HRVATSKI SABOR

KLASA: 022-02/26-01/92
URBROJ: 65-26-2

Zagreb, 11. rujna 2026.

Hs"NP'022-02/26-01/92*65-26-2"Hs

ZASTUPNICAMA I ZASTUPNICIMA HRVATSKOGA SABORA

PREDSJEDNICAMA I PREDSJEDNICIMA RADNIH TIJELA

Na temelju članka 33. stavka 1. podstavka 3. Poslovnika Hrvatskoga sabora u prilogu upućujem, radi davanja prethodne suglasnosti Hrvatskoga sabora za potvrđivanje, ***Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) Nuklearne elektrane Krško,*** koju je predsjedniku Hrvatskoga sabora u skladu s člankom 3. Zakona o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško i Zajedničke izjave povodom potpisivanja Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško ("Narodne novine - Međunarodni ugovori", br. 9/02) i Zaključaka Vlade Republike Hrvatske, pod brojem KLASA: 022-03/26-07/141, URBROJ: 50301-05/14-26-5 od 20. kolovoza 2026. godine, dostavilo Izaslanstvo Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu za praćenje provedbe Ugovora i obavljanje drugih zadataka u skladu s Ugovorom između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško, aktom od 1. rujna 2026. godine.

PREDSJEDNIK

Gordan Jandroković

REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO GOSPODARSTVA

KLASA: 391-01/23-01/677
URBROJ: 526-06-01-02-26-20
Zagreb, 01. rujna 2026.

P/8223883
REPUBLIKA HRVATSKA
65 - H R V A T S K I S A B O R
ZAGREB

Primljeno: 11-09-2026		
Klasifikacijska oznaka	Org. jed.	
022-02/26-01/92	65	
Urudžbeni broj:	Pril.	Vrijednost
526-26-1	-	USB

Hs"NP"022-02/26-01/92"526-26-1"Hs

HRVATSKI SABOR
n/ r g. Gordan Jandroković, predsjednik Hrvatskog sabora

PREDMET: Četvrta revizija Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrta revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) Nuklearne elektrane Krško i Zaključak Vlade Republike Hrvatske
- *prethodna suglasnost Hrvatskog sabora, traži se*

Poštovani g. Jandroković,

u ime Izaslanstva Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu, a vezano s člankom 3. Zakona o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško i Zajedničke izjave povodom potpisivanja Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Narodne novine, Međunarodni ugovori broj 9/02), dostavljam Vam Četvrtu reviziju Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrtu reviziju Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK, te predmetni Zaključak Vlade Republike Hrvatske radi ishođenja prethodne suglasnosti Hrvatskog sabora.

Prema odredbama Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Zakon o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško, Narodne novine, Međunarodni ugovori br. 9/2002.“, dalje u tekstu: Međudržavni ugovor), razgradnja i zbrinjavanje radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva zajednička je obveza ugovornih strana, odnosno Republike Hrvatske i Republike Slovenije i mora se provesti sukladno Međudržavnom ugovoru.

Razgradnja Nuklearne elektrane Krško provodit će se prema Programu razgradnje NEK koji opisuje scenarije razgradnje, a odlaganje radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva iz pogona i razgradnje provodit će se sukladno Programu odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog

nuklearnog goriva (dalje u tekstu: Program odlaganja RAO i ING). Program razgradnje uključuje i zbrinjavanje cjelokupnog radioaktivnog i drugog otpada nastalog tijekom razgradnje do odvoženja s lokacije NEK, ocjenu potrebnih financijskih sredstava kao i rokove za njegovu provedbu. Program odlaganja RAO i ING između ostalog uključuje: prijedlog moguće podjele i preuzimanja RAO i ING, kriterije prihvatljivosti za odlaganje te ocjenu potrebnih financijskih sredstava i rokova izvedbe. Ovi programi sažeti su u konačnici u dokument Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK u kojem se nalaze svi bitni pokazatelji potrebni za aktivnosti vezane uz reviziju programa.

Izrada navedenih programa predviđena je Međudržavnim ugovorom. Isti dokument predviđa reviziju obaju programa svakih pet godina da bi se predviđene aktivnosti sve detaljnije i pouzdanije isplanirale kako se približava vrijeme njihove provedbe te, prema potrebi, korigirale i uplate u nacionalne fondove. Odredbama Međudržavnog ugovora utvrđeno je da će zajedničke revizije Programa razgradnje i Programa odlaganja RAO i ING izrađivati stručne organizacije koje su nositelji aktivnosti sa slovenske i hrvatske strane. U Republici Hrvatskoj, stručna organizacija koja je nositelj aktivnosti je Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško.

Programi su izrađeni 2004. godine, a usvojeni 2005. godine, a usvojilo ga je Međudržavno povjerenstvo za praćenje provedbe Ugovora i obavljanje drugih zadataka u skladu s Ugovorom između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (dalje u tekstu: Međudržavno povjerenstvo).

U međuvremenu je usvojena Treća revizija, a Četvrta revizija je pripremljena od strane NE Krško, Agencije za radioaktivne odpadke iz Slovenije (ARAO) te Fonda za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško (Fond NEK). Programi sadrže opis aktivnosti i procjenu troškova razgradnje nuklearne elektrane nakon prestanka rada (koji je predviđen za 2043. godinu), prijedlog moguće podjele i preuzimanja radioaktivnog otpada, kriterije prihvatljivosti za odlaganje te rokove i troškove zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva. Periodične revizije Programa razgradnje i Program odlaganja osobito su važne zbog promjena tehnologija, ali i cijena, te procjene ulaganja kako bi se u budućnosti planirala sredstva za provedbu planiranih aktivnosti. Iz navedenih materijala sastavljen je Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK. Sažetak sadrži sve bitne informacije vezane za procjenu navedenih troškova te je kao takav važan dokument za daljnji slijed osiguravanja adekvatnih sredstava.

Na 18. sjednici Međudržavnog povjerenstva, održanoj 26. siječnja 2026. godine, povjerenstvo je zaključkom 5.1. primilo na znanje Četvrtu reviziju Programa razgradnje i Programa odlaganja te ustvrdilo kako su programi propisno pripremljeni za daljnje postupanje sukladno internim zakonodavnim procedurama obje zemlje.

Sukladno Zakonu o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško i Zajedničke izjave povodom potpisivanja Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Narodne novine, Međunarodni ugovori broj 9/02) izaslanstvo Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu treba suglasnost Hrvatskoga sabora o zauzimanju stajališta o usvajanju Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK. Zbog toga Vam, kao predsjednik izaslanstva Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu, upućujem zahtjev za ishođenjem prethodne suglasnosti Hrvatskoga sabora za potvrđivanje Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) Nuklearne elektrane Krško.

S poštovanjem,

PREDSJEDNIK IZASLANSTVA REPUBLIKE HRVATSKE U MEĐUDRŽAVNOM POVJERENSTVU

Ante Šušnjar

Prilozi:

- Četvrta revizija Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK);
- Četvrta revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK;
- Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK te
- Zaključak Vlade Republike Hrvatske

P/8223883

REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO GOSPODARSTVA

KLASA: 391-01/23-01/677
URBROJ: 526-06-01-02-26-20
Zagreb, 01. rujna 2026.

HRVATSKI SABOR
n/ r g. Gordan Jandroković, predsjednik Hrvatskog sabora

PREDMET: Četvrta revizija Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrta revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) Nuklearne elektrane Krško i Zaključak Vlade Republike Hrvatske
- *prethodna suglasnost Hrvatskog sabora, traži se*

Poštovani g. Jandroković,

u ime Izaslanstva Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu, a vezano s člankom 3. Zakona o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško i Zajedničke izjave povodom potpisivanja Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Narodne novine, Međunarodni ugovori broj 9/02), dostavljam Vam Četvrtu reviziju Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrtu reviziju Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK, te predmetni Zaključak Vlade Republike Hrvatske radi ishođenja prethodne suglasnosti Hrvatskog sabora.

Prema odredbama Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Zakon o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško, Narodne novine, Međunarodni ugovori br. 9/2002.“, dalje u tekstu: Međudržavni ugovor), razgradnja i zbrinjavanje radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva zajednička je obveza ugovornih strana, odnosno Republike Hrvatske i Republike Slovenije i mora se provesti sukladno Međudržavnom ugovoru.

Razgradnja Nuklearne elektrane Krško provodit će se prema Programu razgradnje NEK koji opisuje scenarije razgradnje, a odlaganje radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva iz pogona i razgradnje provodit će se sukladno Programu odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog

nuklearnog goriva (dalje u tekstu: Program odlaganja RAO i ING). Program razgradnje uključuje i zbrinjavanje cjelokupnog radioaktivnog i drugog otpada nastalog tijekom razgradnje do odvoženja s lokacije NEK, ocjenu potrebnih financijskih sredstava kao i rokove za njegovu provedbu. Program odlaganja RAO i ING između ostalog uključuje: prijedlog moguće podjele i preuzimanja RAO i ING, kriterije prihvatljivosti za odlaganje te ocjenu potrebnih financijskih sredstava i rokova izvedbe. Ovi programi sažeti su u konačnici u dokument Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK u kojem se nalaze svi bitni pokazatelji potrebni za aktivnosti vezane uz reviziju programa.

Izrada navedenih programa predviđena je Međudržavnim ugovorom. Isti dokument predviđa reviziju obaju programa svakih pet godina da bi se predviđene aktivnosti sve detaljnije i pouzdanije isplanirale kako se približava vrijeme njihove provedbe te, prema potrebi, korigirale i uplate u nacionalne fondove. Odredbama Međudržavnog ugovora utvrđeno je da će zajedničke revizije Programa razgradnje i Programa odlaganja RAO i ING izrađivati stručne organizacije koje su nositelji aktivnosti sa slovenske i hrvatske strane. U Republici Hrvatskoj, stručna organizacija koja je nositelj aktivnosti je Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško.

Programi su izrađeni 2004. godine, a usvojeni 2005. godine, a usvojilo ga je Međudržavno povjerenstvo za praćenje provedbe Ugovora i obavljanje drugih zadataka u skladu s Ugovorom između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (dalje u tekstu: Međudržavno povjerenstvo).

U međuvremenu je usvojena Treća revizija, a Četvrta revizija je pripremljena od strane NE Krško, Agencije za radioaktivne odpadke iz Slovenije (ARAO) te Fonda za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško (Fond NEK). Programi sadrže opis aktivnosti i procjenu troškova razgradnje nuklearne elektrane nakon prestanka rada (koji je predviđen za 2043. godinu), prijedlog moguće podjele i preuzimanja radioaktivnog otpada, kriterije prihvatljivosti za odlaganje te rokove i troškove zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva. Periodične revizije Programa razgradnje i Program odlaganja osobito su važne zbog promjena tehnologija, ali i cijena, te procjene ulaganja kako bi se u budućnosti planirala sredstva za provedbu planiranih aktivnosti. Iz navedenih materijala sastavljen je Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK. Sažetak sadrži sve bitne informacije vezane za procjenu navedenih troškova te je kao takav važan dokument za daljnji slijed osiguravanja adekvatnih sredstava.

Na 18. sjednici Međudržavnog povjerenstva, održanoj 26. siječnja 2026. godine, povjerenstvo je zaključkom 5.1. primilo na znanje Četvrtu reviziju Programa razgradnje i Programa odlaganja te ustvrdilo kako su programi propisno pripremljeni za daljnje postupanje sukladno internim zakonodavnim procedurama obje zemlje.

Sukladno Zakonu o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško i Zajedničke izjave povodom potpisivanja Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Narodne novine, Međunarodni ugovori broj 9/02) izaslanstvo Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu treba suglasnost Hrvatskoga sabora o zauzimanju stajališta o usvajanju Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK. Zbog toga Vam, kao predsjednik izaslanstva Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu, upućujem zahtjev za ishođenjem prethodne suglasnosti Hrvatskoga sabora za potvrđivanje Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) Nuklearne elektrane Krško.

S poštovanjem,

PREDSJEDNIK IZASLANSTVA REPUBLIKE HRVATSKE U MEĐUDRŽAVNOM POVJERENSTVU

Ante Šušnjar

Prilozi:

- Četvrta revizija Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK);
- Četvrta revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK;
- Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK te
- Zaključak Vlade Republike Hrvatske

PROMEMORIJA

Sukladno članku 10. Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (u daljnjem tekstu: Ugovor) razgradnja će se provoditi sukladno Programu razgradnje, a odlaganje radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva iz pogona i razgradnje Nuklearne elektrane Krško (u daljnjem tekstu: NE Krško) provodit će se sukladno Programu odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva.

Program razgradnje i Program odlaganja izrađeni su 2004. godine u suradnji s NE Krško u skladu sa svim međunarodnim standardima. Sukladno Ugovoru, Program razgradnje i Program odlaganja moraju se svakih pet godina revidirati, u svrhu detaljnijeg i pouzdanijeg planiranja predviđenih aktivnosti kako se približava vrijeme njihove provedbe, te prema potrebi, korigirale uplate u nacionalne fondove. Periodične revizije Programa razgradnje i Program odlaganja osobito su važne zbog promjena tehnologija, ali i cijena, te procjene ulaganja kako bi se u budućnosti planirala sredstva za provedbu planiranih aktivnosti.

Četvrtu reviziju pripremali su NE Krško, Agencija za radioaktivne odpadke iz Slovenije (ARAO) te Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško (Fond NEK).
Na 18. sjednici Međudržavnog povjerenstva, održanoj 26. siječnja 2026. godine, povjerenstvo je primilo na znanje Četvrtu reviziju Programa razgradnje i Programa odlaganja te ustvrdilo kako su programi propisno pripremljeni za daljnje postupanje sukladno internim zakonodavnim procedurama obje zemlje.

Proveden je postupak zahtjeva za mišljenjem tijela državne uprave te su prihvaćene primjedbe Ureda za zakonodavstvo, a svoju suglasnost su dali Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Ministarstvo vanjskih i europskih poslova, Ministarstvo unutarnjih poslova te Ministarstvo financija. Ostalim tijelima državne uprave dokumentacija je dostavljena na znanje.

Javno savjetovanje za Program razgradnje i Program odlaganja provedeno je u razdoblju od 10. lipnja do 10. srpnja 2026. godine, a dokument i sve prateće studije su dostupni i na mrežnim stranicama Ministarstva gospodarstva.

Temeljem Zaključka Vlade Republike Hrvatske od 20. kolovoza 2026., upućujemo zahtjev za ishođenjem prethodne suglasnosti Hrvatskoga sabora za potvrđivanje Četvrte revizije Programa razgradnje i Programa odlaganja.

VLADA REPUBLIKE HRVATSKE

KLASA: 022-03/26-07/141
URBROJ: 50301-05/14-26-6

Zagreb, 20. kolovoza 2026.

MINISTARSTVO GOSPODARSTVA

MINISTARSTVO VANJSKIH I EUROPSKIH POSLOVA

PREDMET: Četvrta revizija Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrta revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško
- Zaključak Vlade

U prilogu se dostavlja predmetni Zaključak, koji je Vlada Republike Hrvatske donijela na sjednici održanoj 20. kolovoza 2026.

Prilog: 1

GLAVNA TAJNICA

Ivana Ferenčić

VLADA REPUBLIKE HRVATSKE

Na temelju članka 31. stavka 3. Zakona o Vladi Republike Hrvatske („Narodne novine“, br. 150/11., 119/14., 93/16., 116/18., 80/22. i 78/24.), a u vezi s člankom 3. Zakona o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško i Zajedničke izjave povodom potpisivanja Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško („Narodne novine – Međunarodni ugovori“, broj 9/02.), Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 20. kolovoza 2026. donijela

Z A K L J U Č A K

1. Prima se na znanje Četvrta revizija Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrta revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško, u tekstu koji je Vladi Republike Hrvatske dostavilo Ministarstvo gospodarstva aktom, KLASA: 391-01/23-01/677, URBROJ: 526-06-01-02-26-18, od 13. srpnja 2026.

2. Izaslanstvo Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu za praćenje provedbe Ugovora i obavljanje drugih zadataka u skladu s Ugovorom između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško zatražit će prethodnu suglasnost Hrvatskoga sabora radi zauzimanja stajališta izaslanstva Republike Hrvatske u Međudržavnom povjerenstvu o potvrđivanju Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško.

KLASA: 022-03/26-07/141
URBROJ: 50301-05/14-26-5

Zagreb, 20. kolovoza 2026.

PREDSJEDNIK

mr. sc. Andrej Plenković

TEHNIČKI DOKUMENT

Dokument br.: 4520 / CA / F 010921 5 / 02

Naslov: **Četvrta revizija Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (hrvatski prijevod)**

Naručitelj: **Nuklearna elektrana Krško d.o.o.**

02	9. 2. 2024.	IC / P. Hippauf		
01	11. 12. 2023.	IC / P. Hippauf	C. Brewka	P. Hippauf
00	11. 8. 2023.	IC / P. Hippauf	C. Brewka	P. Hippauf
Rev.	Datum izdanja	BU/(ime) Pripremio/pripremila	(Potpis) Pregledao/pregledala	(Potpis) Odobrio/odobrila

Rev.	Stranica / poglavlje	Opis promjena	Datum
00	Sve	Prvo izdanje	11. 8. 2023.
01	Sve	Ažuriranje u skladu s revizijom prvog izdanja Ažuriranje u skladu s revizijom Zadatka izvještavanja B1 rev. 00	11. 12. 2023.
02	Sve	Ažuriranje oznaka stupaca u tablicama koje se odnose na mase	9. 2. 2024.

Sažetak

U ovom se izvještaju opisuje program razgradnje (PR) Nuklearne elektrane Krško (NE Krško) u skladu sa strategijom razgradnje „neposrednog rastavljanja" nakon konačne obustave rada 2043. godine za osnovne scenarije 0 i 1, odnosno 2063. godine za dodatne scenarije A i B. Izvještaj sadržava informacije o radu i razgradnji suhog skladišta istrošenoga goriva (SFDS) i jedinice za izvlačenje goriva (RU), kao i naknadno konvencionalno rušenje preostalih zgrada. Prema osnovnim scenarijima i dodatnom scenariju A predviđa se da će SFDS i RU raditi do 2103. godine, a prema dodatnom scenariju B do 2123. godine. Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, postoji dodatna mogućnost da se između 2026. i 2027. stari parogeneratori (SG) otpreme u SAD u skladu s trenutačnom ponudom. U osnovnom scenariju 0 i dodatnim scenarijima uklanjanje starih parogeneratora dio je pripremnih radova nakon konačne obustave rada. Osim toga, u svim je scenarijima ostavljena mogućnost da zgrada za manipuliranje gorivom (FHB) nastavi s radom umjesto RU-u.

Što se tiče SFDS-a, u PR-u se navode i troškovi premještanja gorivnih elemenata (FA), njihova rada i razgradnje suhog skladišta. To se odnosi i na premještanje 1098 gorivnih elemenata u 30 spremnika nakon 2043. u osnovnim scenarijima i premještanje 900 gorivnih elemenata u 25 spremnika nakon 2063. u obama dodatnim scenarijima. U SFDS će se pohraniti ukupno 2282 gorivnih elemenata (1184 do 2028. i 1098 nakon 2043.) u osnovnim scenarijima i 3182 (dodatnih 900 nakon 2063.) u obama dodatnim scenarijima.

Na temelju postojećeg Bilateralnog ugovora između Slovenije i Hrvatske [1] i zaključaka s 10. sjednice Međudržavnog povjerenstva održane u srpnju 2015. [2] NEK je nadležan za rad postrojenja SFDS-a na lokaciji NE Krško isključivo do završetka rada nuklearne elektrane (2043. u osnovnom scenariju, tj. 2063. u obama dodatnim scenarijima radi skladištenja slovenskog i hrvatskog dijela istrošenog goriva). Daljnji rad SFDS-a na lokaciji NE Krško ovisi o dodatnim pregovorima i mogućem novom sporazumu između slovenske i hrvatske vlade.

Prikazani rezultati odnose se na trenutačnu reviziju preliminarnog plana razgradnje NE Krško (PDP) [3].

Tablica 0-1 sadržava ukupne mase koje se uzimaju u obzir u ovoj studiji. Podaci su revidirani i ažurirani, posebno kad je riječ o novoizgrađenim (SFDS, zgrada za manipuliranje otpadom (WMB), centar za operativnu podršku) i planiranim zgradama (RU).

Fizički inventar NE Krško

Vrsta komponente	Masa unutar kontroliranog područja [Mg]		Masa unutar područja nadziranja [Mg]			Masa unutar područja unutar ograde [Mg]		Ukupna masa NPP-a Krško [Mg]		
	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
Konstrukcija zgrade	147 527		160 130		173 310	128 289		435 946		449 126
Beton u zaštitnoj zgradi	7000							7000		
Biološki štit	1600							1600		
Uređaji	8080		9 569	8 925	9 829	4 460		22 109	21 465	22 369
Ukupno	**164 207**		**169 699**	**169 055**	**183 139**	**132 749**		**466 654**	**466 010**	**480 094**

Tablica 0-1:Fizički inventar NE Krško

Tablica 0-2 prikazuje ukupnu aktivnost NE Krško. Pregledom radiološke procjene i pristupa gospodarenju otpadom dobivaju se mase po cilju odlaganja prikazane u Tablici 0-3 s obzirom na ažurirani inventar i sekundarne mase. Tablica 0-4 sadržava pregled očekivanih neto volumena otpada. Pretpostavlja se da će se imobilizacija provesti cementiranjem u novoj zgradi koja će se sagraditi na lokaciji NE Krško. Troškovi te zgrade i cementiranja nisu uvršteni u PR jer su uračunani u programu odlaganja otpada [4].

Pregled ukupnih aktivnosti

Klasifikacije sustava	Ukupna aktivnost [Bq]			Masa [Mg]		
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
Aktivirano		2,46E+16		1457,8		1677,6
Visoka kontaminacija	4,41E+12	4,12E+12	4,41E+12	2137,0	1493,0	2137,0
Srednja kontaminacija		1,38E+11		1290,6		
Niska kontaminacija		1,67E+11		9238,4		
Kontaminacija iz zraka		2,37E+10		4508,6		4548,6
Bez kontaminacije*		1,86E+10		448 022,0		461 202,0
Ukupno aktivirano		**2,46E+16**		**1457,8**	**1457,8**	**1677,6**
Ukupno kontaminirano	**4,76E+12**	**4,47E+12**	**4,76E+12**	**17 174,6**	**16 530,6**	**17 214,6**

*Kontaminacija građevinskih površina

Tablica 0-2:Ukupna aktivnost NE Krško

Mase po cilju odlaganja otpada

Cilj	Masa za osnovni scenarij 0 [Mg]	Masa za osnovni scenarij 1 [Mg]	Masa za dod. scenarije A i B [Mg]
Odlaganje VRAO-a	140,0		
Odlaganje VRAO-a za NSRAO iz SFDS-a/RU-a	549,5		769,3
Odlaganje NSRAO-a	2682,1	2500,0	2682,1
Otpuštanje za odlagalište/recikliranje	19.121,2	18.414,5	19.121,2
Konvencionalni otpad za odlagalište/recikliranje	448.661,6		461.881,6
Ukupna maza za odlaganje (bez FA)	**471.154,3**	**470.265,6**	**484.594,1**

Tablica 0-3:Mase primarnog i sekundarnog otpada po cilju

Volumen otpada po cilju otpada

Cilj	Osnovni scenarij 0 volumen [m^3]	Osnovni scenarij 1 volumen [m^3]	Dod. scenarij A i B volumen [m^3]
Odlaganje VRAO-a	17,7		
Odlaganje VRAO-a za NSRAO iz SFDS-a/RU-a	70,0		98,0
Odlaganje NSRAO-a	1472,9	1455,6	1472,9
Otpuštanje za odlagalište/recikliranje	16.454,1	15.235,6	16.454,1
Konvencionalni otpad za odlagalište/recikliranje	343.511,0		360.697,0
Ukupna masa za odlaganje (bez FA-a)	**361.525,7**	**360.290,0**	**378.739,7**

Tablica 0-4:Volumen primarnog i sekundarnog otpada po cilju

Mase NSRAO-a (nisko i srednje radioaktivnog otpada) pakiraju se u N2d (50 % mase) i armiranobetonske (RCC) spremnike (50 % mase). Tablica 0-5 sadržava broj potrebnih paketa za odlagalište i dobivene volumene odlagališta.

Mase otpada i pakiranja otpada za završno odlaganje

Vrsta spremnika	Zapakirana masa [t]			Broj pakiranja			Volumen odlagališta [m^3]		
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
Spremnik Holtec HI-SAFE		140			7			237	
Spremnik N2d	1341	1250	1341	176	165	176	2166	2025	2166
RCC	1341	1250	1341	549	519	549	2696	2551	2696
Spremnik N2d za odlagalište VRAO*	275		385	28		39	341		478
RCC za odlagalište VRAO*	275		385	62		86	304		425
Ukupno	**3372**	**3190**	**3591**	**822**	**781**	**857**	**5744**	**5458**	**6002**

*Za otpad od razgradnje SFDS-a (po prestanku rada) koji će se zajedno s VRAO-om odlagati na odlagalište VRAO, tip spremnika je trenutačno nepoznat.

Tablica 0-5:Otpad i paketi za završno odlaganje (N2d i RCC spremnici)

Revizijom plana projekta razgradnje NE Krško dobivamo sljedeće glavne faze:

Glavne faze projekta razgradnje NE Krško

Faza	Mjesec/godina

	Osnovni scenarij 0	**Osnovni scenarij 1**	**Dod. scenarij A**	**Dod. scenarij B**
Početak projekta (Postupci prije razgradnje)	7./2040.		7./2060.	
Konačna obustava rada / odobrenje D&D-a	12./2043.		12./2063.	
Poklopac starog RPV-a rastavljen i zapakiran	12./2045.	1./2045.	12./2065.	
Završteak rastavljanja primarnog kruga	7./2047.	8./2046.	7./2067.	
Završetak rastavljanja unutrašnjosti RPV-a	7./2049.	8./2048.	7./2069.	
Završetak rastavljanja e RPV-a	4./2051.	5./2050.	4./2071.	
Završetak rastavljanja biološkog štita	10./2052.	11./2051.	10./2072.	
Uklonjene konstrukcije zgrada (*brownfield stanje lokacije*)	2./2058.	4./2057.	2./2078.	
Završetak rada SFDS-a	1./2103.			1./2123.
Greenfield stanje lokacije	7./2107.			7./2127.

Tablica 0-6:Glavne faze[1] projekta razgradnje

Evaluacijom i procjenom potrebne radne snage i troškova projekta razgradnje NE Krško dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 0-7.

Troškovi se temelje na cijenama iz 2023.

Pregled troškova i radne snage

NE Krško Scenarij razgradnje	**Troškovi bez slovenskog PDV-a [izraženi u milijunima eura]**	**Troškovi uklj. slovenski PDV [izraženi u milijunima eura]**	**Radna snaga [Čovjek-godina]**
Osnovni scenarij 0	469,7	531,4	5524
Osnovni scenarij 1	505,5	576,5	5354
Dodatni scenarij A	443,6	503,3	5069
Dodatni scenarij B	463,9	524,3	5534

Tablica 0-7:Troškovi razgradnje i radna snaga

[1] Radioaktivni otpad iz posljednje kampanje razgradnje SFDS-a odložit će se u odlagalište VRAO-a jer se nacionalna odlagališta NSRAO-a neće ponovno otvarati zato što se rastavlja SFDS. To znači da će se na kraju rada SFDS-a sav otpad nastao razgradnjom odložiti zajedno s VRAO-om u odlagalište VRAO-a.

Sadržaj

Sažetak **3**

Popis slika **8**

Popis tablica **11**

Kratice i pokrate **13**

1 Uvod **15**

2 Opis postrojenja **17**

2.1 NE Krško 17
2.1.1 Konstrukcije 17
2.1.2 Sustav za hlađenje reaktora 18
2.1.3 Nuklearno gorivo 18
2.1.4 Turbogenerator i električni sustav 18
2.1.5 Radioaktivni otpad i zaštita okoliša 19
2.2 Specifikacija inventara 21
2.2.1 Tehnički inventar 21
2.2.2 Opasni inventar 25
2.2.3 Osnovni podaci o preostalom pogonskom otpadu 25
2.2.4 Podaci o zgradama, prostorijama i površinama 26

3 Strategija razgradnje **27**

3.1 Općenito 27
3.2 Izbor strategije 29
3.2.1 Nacionalne politike i regulatorni okvir 30
3.2.2 Financijska sredstva/troškovi za provedbu strategije 30
3.2.3 Sustav gospodarenja istrošenim gorivom i otpadom 31
3.2.4 Utjecaj na zdravlje, sigurnost i okoliš 31
3.2.5 Upravljanje znanjem i ljudski potencijali 31
3.2.6 Društveni utjecaj i uključenost dionika 31
3.2.7 Prikladne tehnologije i tehnike 32
3.2.8 Konačni zaključak 32
3.3 Strategija razgradnje za NE Krško 32
3.3.1 Opći pristup slijedu zadataka razgradnje 35
3.3.2 Projekti za slijed radova na razgradnji 36

4 Upravljanje projektima **42**

5 Aktivnosti razgradnje **44**

5.1 Tehnike razgradnje 44
5.1.1 Tehnike rastavljanja 44
5.1.2 Tehnike dekontaminacije 50
5.1.3 Oprema za mjerenje radioaktivnosti 60
5.1.4 Slobodno otpuštanje komponenata, opreme, zgrada i lokacije 63
5.1.5 Rastavljanje nenuklearne opreme i zgrada 74
5.2 Planiranje aktivnosti razgradnje 78
5.2.1 Struktura razrade radova (WBS) 78
5.2.2 Sadržaj radnih paketa (WP) 79
5.2.3 Vremenski raspored 85

6 Inspekcije i održavanje **93**

7 Gospodarenje otpadom **94**

7.1 Osnovni aspekti i definicije 94
7.2 Mase za obradu 95

7.3 Strategija gospodarenja otpadom....97
7.3.1 Gospodarenje otpadom za projekt D&D-a 97
7.3.2 Obrada komponenata....101
7.3.3 Načelo pakiranja 113
7.4 Uvođenje u CORA-u 119
7.5 Rezultati gospodarenja otpadom....120
8 Procjena troškova....124
8.1 Uvod 124
8.2 Revizije 124
8.2.1 Osiguranje kvalitete – redovite revizije 124
8.2.2 Revizije vanjskih organizacija 124
8.3 Softverski alati i modeli procjenjivanja 125
8.3.1 CORA: alat za inventar....125
8.3.2 CALCOM: alat za procjenu troškova i planiranje projekata 126
8.4 Osnovne pretpostavke za izračun troškova razgradnje....127
8.4.1 Pretpostavke nepovezane s troškovima 127
8.4.2 Pretpostavke troškova....129
8.5 Nalazi 132
8.5.1 Ukupni troškovi 132
8.5.2 Potreba za radnom snagom i ljudski kapaciteti....147
8.6 Usporedba rezultata PR-a za osnovni scenarij iz 2019. i osnovni scenarij 0 iz 2023. 154
9 Sigurnosna procjena....156
9.1 Sigurnosne kategorije (sigurnosni dokument) 156
9.2 Moguće preinake....156
10 Procjena utjecaja na okoliš 157
11 Sigurnost na radu....159
12 Osiguranje kvalitete....160
13 Plan u slučaju opasnosti....161
14 Fizička sigurnost i zaštita za nuklearne i radioaktivne tvari 162
15 Konačni pregled radiološkog stanja....164
15.1 Radioaktivnost aktiviranih komponenata....164
15.2 Radioaktivnost kontaminiranih komponenata....174
15.3 Nalazi o radioaktivnom inventaru....177
16 Zaključak i preporuke 178
Spomenuti dokumenti 179
Prilog 1.: Mogući rad FHB-a 182
Prilog 2.: Odlaganje pogonskog otpada....196

Popis slika

Slika 2-1: Shematski poprečni presjek elektrane ... 17
Slika 2-2: Funkcionalna shema elektrane ... 20
Slika 2-3: Područja NE Krško ... 22
Slika 3-1: Strategije razgradnje ... 27
Slika 3-2: Usporedba strategija razgradnje ... 28
Slika 3-3: Shema scenarija razgradnje NE Krško ... 34
Slika 3-4: Opći pristup procesu razgradnje ... 35
Slika 3-5: Postupci prije razgradnje ... 36
Slika 3-6: Pripremni radovi ... 37
Slika 3-7: Rastavljanje komponenata primarnog kruga ... 38
Slika 3-8: Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a ... 38
Slika 3-9: Rastavljanje RPV-a ... 39
Slika 3-10: Rastavljanje biološkog štita ... 39
Slika 3-11: Rastavljanje preostalih sustava u kontroliranom području ... 40
Slika 3-12: Otpuštanje iz nadzora građevinskih konstrukcija u kontroliranom području ... 40
Slika 3-13: Konvencionalno rušenje i obnova lokacije ... 41
Slika 4-1: Primjer organizacije za projekt razgradnje nuklearne elektrane ... 43
Slika 5-1: Tračna pila (izvor: NE Kahl) ... 45
Slika 5-2: Žica za rezanje s dijamantnim reznim elementima i oprugama za razmak (izvor: Wikipedija) ... 46
Slika 5-3: Hidraulične škare (izvor: EWN) ... 47
Slika 5-4: Toplinsko rezanje (izvor: EWN) ... 48
Slika 5-5: Dijagram tijeka ASDOC-a ... 52
Slika 5-6: Logistika procesa HP/CORD UV ... 53
Slika 5-7: Načela procesa HP/CORD UV – HP/CORD D UV ... 54
Slika 5-8: Mokra dekontaminacija visokotlačnom vodom (izvor: EWN) ... 54
Slika 5-9: Dekontaminacija suhom obradom mlazom (izvor: EWN) ... 56
Slika 5-10: Kavez za obradu mlazom u NE-u Kahl ... 56
Slika 5-11: Kemijska dekontaminacija (izvor: EWN) ... 57
Slika 5-12: Talionica CARLA (Siempelkamp, 1. stranica) ... 59
Slika 5-13: Postrojenje za taljenje CARLA (Siempelkamp, 2. stranica) ... 60
Slika 5-14: Mjerno postrojenje za slobodno otpuštanje komponenata (izvor: NE Kahl) ... 65
Slika 5-15: Metalni materijal koji je slobodno otpušten za reciklažu (izvor: NE Kahl) ... 66
Slika 5-16: Rastavljanje betona unutar kontejnmenta ... 67
Slika 5-17: Mjerenja na temelju mase za slobodno otpuštanje rastavljenog betona ... 68
Slika 5-18: Slobodno otpušteni beton za punjenje jama ... 68
Slika 5-19: FHT 111 CONTAMAT® ... 69
Slika 5-20: SCINTOMAT® Hx model: 6134A ... 69
Slika 5-21: Beton u kontroliranom području tijekom radiološke karakterizacije ... 70
Slika 5-22: Utvrđene i označene kritične točke ... 70
Slika 5-23: Priprema za skarifikaciju: skidanje cilindričnih zatika ... 71
Slika 5-24: Uklanjanje dublje kontaminacije ... 72
Slika 5-25: Uklanjanje velikih količina: lijevo bager, desno čelično uže ... 72
Slika 5-26: Mjerenja za slobodno otpuštanje ... 73
Slika 5-27: Gama-spektrometrija popločanih (lijevo) i nepopločanih (desno) vanjskih površina ... 74
Slika 5-28: Konvencionalno rastavljanje građevinskih konstrukcija ... 76

Slika 5-29: Kritični put za osnovni scenarij 0 i dodatne scenarije A i B 87
Slika 5-30: Kritični put za osnovni scenarij 1 87
Slika 5-31: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (osnovni scenarij 0) 88
Slika 5-32: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (osnovni scenarij 1) 90
Slika 5-33: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (dodatni scenarij A) 91
Slika 5-34: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (dodatni scenarij B) 92
Slika 7-1: Obrada i kondicioniranje između D&D-a i izlaznih tokova 95
Slika 7-2: Opći postupak zbrinjavanja otpada 98
Slika 7-3: Radionica u međuzgradi 99
Slika 7-4: Radionica u zgradi za manipuliranje gorivom 99
Slika 7-5: Radionica u zgradi za dekontaminaciju 100
Slika 7-6: Zgrada za manipuliranje otpadom (prizemlje) 100
Slika 7-7: Primjeri RPV-a, poklopca i unutarnjih dijelova 102
Slika 7-8: Rastavljanje i rezanje unutarnjih dijelova RPV-a 103
Slika 7-9: Primjeri poklopca RPV-a 104
Slika 7-10: Primjeri RPV-a 105
Slika 7-11: Rezanje cijevi primarne petlje i prvog dijela RPV-a 106
Slika 7-12: Rezanje ostalih dijelova RPV-a 106
Slika 7-13: Dodatno rezanje dijelova RPV-a i pakiranje u spremnik za odlaganje 107
Slika 7-14: Primjer parogeneratora 108
Slika 7-15: Primjer komponenata primarnog kruga 109
Slika 7-16: Primjer crpke primarnog kruga 110
Slika 7-17: Primjer tlačnika 110
Slika 7-18: Primjeri Holtecovih spremnika HI-SAFE 114
Slika 7-19: Shematski prikaz N2d spremnika 115
Slika 7-20: Prikaz RCC spremnika 116
Slika 7-21: Shematski prikaz bačve od 200 l 116
Slika 7-22: Bačva od 200 l sa zaštitom 116
Slika 7-23: Shematski prikaz TTC-a 117
Slika 7-24: Primjer TTC-a 117
Slika 8-1: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 bez PDV-a 139
Slika 8-2: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 bez PDV-a 139
Slika 8-3: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A bez PDV-a 140
Slika 8-4: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B bez PDV-a 140
Slika 8-5: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 s PDV-om 145
Slika 8-6: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 s PDV-om 145
Slika 8-7: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A s PDV-om 146
Slika 8-8: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B s PDV-om 146
Slika 8-9: Godišnji ekvivalent radne snage za osnovni scenarij 0 152
Slika 8-10: Godišnji ekvivalent radne snage za osnovni scenarij 1 152
Slika 8-11: Godišnji ekvivalent radne snage za dodatni scenarij A 153
Slika 8-12: Godišnji ekvivalent radne snage za dodatni scenarij B 153
Slika 10-1: Mjerna mjesta u blizini NE Krško 158
Slika 15-1: Radioaktivni inventar 164
Slika 15-2: Vodoravni presjek MCNP modela 165
Slika 15-3: Okomiti presjek MCNP modela 165
Slika 15-4: Ukupni tok neutrona pri punoj snazi reaktora kao funkcija radijusa (azimutni prosjek u središnjoj ravnini jezgre) 166

Slika 15-5: Jednogrupni presjek za Co-59(n, γ) kao funkcija radijusa (središnja ravnina jezgre) 167
Slika 15-6: Azimutalno prosječna maksimalna specifična aktivnost Co-60 i Eu-152 (u Bq/g) kao funkcija radijusa (pet godina nakon obustave rada)..... 170
Slika 15-7: Azimutalno prosječna specifična aktivnost Co-60 (u Bq/g) u gornjoj i donjoj ploči i donjem podupiraču jezgre kao funkcija radijusa (pet godina nakon obustave rada)..... 171
Slika 15-8: Azimutalno prosječna maksimalna specifična aktivnost Co-60 (u Bq/g, pet godina nakon obustave rada) kao funkcija aksijalne visine za reaktorske komponente..... 172
Slika 15-9: Azimutalno prosječna maksimalna specifična aktivnost Co-60 (u Bq/g, pet godina nakon obustave rada) kao funkcija aksijalne visine za biološki štit..... 172

Slika A1-1: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 bez PDV-a..... 188
Slika A1-2: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 bez PDV-a..... 188
Slika A1-3: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A bez PDV-a..... 189
Slika A1-4: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B bez PDV-a..... 189
Slika A1-5: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 s PDV-om ... 194
Slika A1-6: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 s PDV-om ... 194
Slika A1-7: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A s PDV-om ... 195
Slika A1-8: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B s PDV-om ... 195

Popis tablica

Tablica 0-1: Fizički inventar NE Krško ... 3
Tablica 0-2: Ukupna aktivnost NE Krško ... 4
Tablica 0-3: Mase primarnog i sekundarnog otpada po cilju ... 4
Tablica 0-4: Volumen primarnog i sekundarnog otpada po cilju ... 4
Tablica 0-5: Otpad i paketi za završno odlaganje (N2d i RCC spremnici) ... 4
Tablica 0-6: Glavne fazeprojekta razgradnje ... 5
Tablica 0-7: Troškovi razgradnje i radna snaga ... 5
Tablica 2-1: Fizički inventar po zgradi i području ... 23
Tablica 2-2: Fizički inventar po vrsti komponente i području ... 24
Tablica 2-3: Fizički inventar po skupini materijala ... 25
Tablica 2-4: Opasni neradioaktivni materijal ... 25
Tablica 2-5: Površine kontroliranog i nadziranog područja ... 26
Tablica 2-6: Površine za uklanjanje betona ... 26
Tablica 3-1: Prednosti i nedostaci neposrednog i odgođenog rastavljanja ... 29
Tablica 3-2: Navedene glavne faze i operativna razdoblja ... 32
Tablica 5-1: 1. razina WBS-a ... 79
Tablica 5-2: Glavne faze ... 86
Tablica 7-1: Mase u NE Krško za obradu ... 96
Tablica 7-2: Sekundarne mase ... 96
Tablica 7-3: Reprezentativna obilježja Holtecova ovojnog paketa HI-SAFE [24] ... 114
Tablica 7-4: Dimenzije i težina N2d spremnika [25] ... 114
Tablica 7-5: Dimenzije i težina RCC spremnika [26] ... 115
Tablica 7-6: Čimbenici pakiranja ... 120
Tablica 7-7: Mase obrade otpada ... 121
Tablica 7-8: Ciljne mase otpada ... 121
Tablica 7-9: Neto obujmi otpada po cilju ... 121
Tablica 7-10: Otpad i paketi za završno odlaganje ... 122
Tablica 7-11: Godišnji broj spremnika za završno odlaganje ... 123
Tablica 8-1: Čimbenici rada ... 129
Tablica 8-2: Kvalifikacije i plaće osoblja ... 130
Tablica 8-3: Troškovi ulaganja ... 131
Tablica 8-4: Troškovi praznih paketa ... 131
Tablica 8-5: Čimbenici troškova za troškove koji nisu povezani s osobljem ... 132
Tablica 8-6: Troškovi po radnom paketu ... 133
Tablica 8-7: Troškovi po kategoriji ... 133
Tablica 8-8: Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 bez PDV-a ... 135
Tablica 8-9: Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 bez PDV-a ... 136
Tablica 8-10: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A bez PDV-a ... 137
Tablica 8-11: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B bez PDV-a ... 138
Tablica 8-12: Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 s PDV-om ... 141
Tablica 8-13: Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 s PDV-om ... 142
Tablica 8-14: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A s PDV-om ... 143
Tablica 8-15: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B s PDV-om ... 144
Tablica 8-16: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama) po radnom paketu ... 147
Tablica 8-17: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za osnovni scenarij 0 ... 148
Tablica 8-18: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za osnovni scenarij 1 ... 149
Tablica 8-19: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za dodatni scenarij A ... 150

Tablica 8-20: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za dodatni scenarij B 151
Tablica 8-21: Usporedba rezultata troškova PR-a 2019./2023. 154
Tablica 15-1: Specifične aktivnosti (u Bq/g) najvažnijih izotopa i komponenata kao funkcija vremena nakon obustave rada 168
Tablica 15-2: Dugoživući nuklidi za završno odlaganje (pet godina nakon obustave rada) 169
Tablica 15-3: Radiološka klasifikacija sustava 175
Tablica 15-4: Specifična aktivnost povezana s klasama kontaminacije 176
Tablica 15-5: Ukupna aktivnost lokacije NE Krško 177

Tablica A1-1: Mogućnost rada FHB-a – troškovi po radnom paketu 183
Tablica A1-2: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 bez PDV-a 184
Tablica A1-3: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 bez PDV-a 185
Tablica A1-4: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A bez PDV-a 186
Tablica A1-5: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B bez PDV-a 187
Tablica A1-6: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 s PDV-om 190
Tablica A1-7: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 s PDV-om 191
Tablica A1-8: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A s PDV-om 192
Tablica A1-9: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B s PDV-om 193

Tablica A2-1: Godišnji troškovi uklanjanja pogonskog otpada (bez PDV-a) 196
Tablica A2-2: Godišnji troškovi uklanjanja pogonskog otpada (s PDV-om) 196
Tablica A2-3: Rezultati pakiranja pogonskog otpada 197

Kratice i pokrate

ALARA	Što je moguće niže (engl. as *low as reasonably achievable*)
CALCOM	Izračun i upravljanje troškovima (engl. *Calculation and Cost Management*)
CORA	Registracija i analiza komponenata (engl. *Component Registration and Analysis*)
D&D	Dekontaminacija i razgradnja (engl. *Decontamination and Decommissioning*)
DB	Zgrada za dekontaminaciju (engl. *Decontamination Building*)
PR	Program razgradnje (engl. *Decommissioning Program*)
DQAP	Program osiguranja kvalitete razgradnje (engl. *Decommissioning Quality Assurance Program*)
FA	Gorivni elementi (engl. *Fuel Assemblie*s)
FHB	Zgrada za manipuliranje gorivom (engl. *Fuel Handling Building*)
FSD	Potpuna dekontaminacija sustava (engl. *Full system decontamination*)
HEP	Hrvatska elektroprivreda
IAEA	Međunarodna agencija za atomsku energiju (engl. *International atomic energy agency*)
MCNP	Monte Carlo N-Particle Transport Code
MDP	Međudržavno povjerenstvo (engl. *Intergovernmental Commission*) za praćenje provedbe bilateralnog ugovora, IC
NE	Nuklearna elektrana (engl. *Nuclear Power Plant*), NPP
NEK	Nuklearna elektrarna Krško
NIS	Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH
NPV	Neto sadašnja vrijednost (engl. *Net Present Value*)
NRC	Američka Nuklearna regulatorna komisija (engl. *Nuclear Regulatory Commission*)
NSRAO	Nisko i srednje radioaktivni otpad (engl. *Low and Intermediate Level Waste*), LILW
NUREG	Oznaka tehničkog izvještaja američke Nuklearne regulatorne komisije
OWA	Pogonski otpad (engl. *Operational Waste*)
PCB	Poliklorirani bifenil
PDP	Preliminarni plan razgradnje (engl. *Preliminary Decommissioning Plan*)
PDV	Porez na dodanu vrijednost (engl. *Value-Added Tax*), VAT
POP	Faza nakon rada (engl. *Post Operational Phase*)
PWR	Tlakovodni reaktor ili Lakovodni tlačni reaktor (engl. *Pressurised Water Reactor*)
QA	Osiguranje kvalitete (engl. *Quality Assurance*)
R&D	Istraživanje i razvoj (engl. *Research & Development*)
RCC	Armiranobetonski spremnik (engl. *Reinforced Concrete Container*)
RPV	Reaktorska tlačna posuda (engl. *Reactor Pressure Vessel*)
RU	Jedinica za izvlačenje goriva (engl. *Retrieval Unit*)
ING, IG	Istrošeno gorivo (engl. *Spent Fuel*)
SFDS	Suho skladište istrošenoga goriva (engl. *Spent Fuel Dry Storage*)

SG	Parogenerator (engl. *Steam Generator*)
TTC	Cjevasti spremnik (engl. *Tube Type Container*)
ToR	Projektni zadatak (engl. *Terms of Reference*)
USAR	Ažurirani izvještaj o analizi sigurnosti (engl. *Updated Safety Analysis Report*)
VRAO	Visoko radioaktivni otpad (engl. *High Level Waste*), HLW
WAS	Abrazivna vodena suspenzija (engl. Water Abrasive Suspension)
WBS	Struktura raščlambe radova (engl. *Work Breakdown Structure*)
WENRA	Udruga zapadnoeuropskih nuklearnih regulatora (engl. *Western European Nuclear Regulators Association*)
WGWD	Radna skupina za otpad i razgradnju (engl. *Working Group on Waste and Decommissioning*)
WP	Radni paket (engl. *Working Package*)

1 Uvod

Nuklearna elektrana (NE) Krško tlakovodni je reaktor (PWR) neto električne snage 696 MWe. Nalazi se u Vrbini u slovenskoj općini Krško i njome upravlja Nuklearna elektrarna Krško (NEK). NEK je u suvlasništvu slovenskog poduzeća u državnom vlasništvu GEN-Energija i hrvatskog poduzeća u državnom vlasništvu Hrvatska elektroprivreda (HEP).

Nuklearna elektrana priključena je na elektroenergetsku prijenosnu mrežu u listopadu 1981. godine, dok je u komercijalni pogon puštena u siječnju 1983. godine. Zamjenom visokotlačne turbine i regulacijskih ventila 2022. godine dobivena su dodatna 5,2 MW proizvodne snage. NEK-u je 2023. godine dopušteno da radi još dvadeset godina na temelju uspješno provedene procjene utjecaja na okoliš. Dakle, konačna obustava rada predviđena je za 2043. godinu, ako se u budućnosti prođu periodične sigurnosne provjere. To su osnovni scenariji trenutačne studije. Kad je riječ o dodatnim scenarijima, pretpostavlja se da će konačna obustava rada nastupiti 2063. godine.

Izvorni program razgradnje NE Krško izrađen je 1996. godine [5]. Prva zajednička iteracija slovensko-hrvatskog Programa razgradnje NE Krško i odlaganja istrošenoga goriva i nisko i srednje radioaktivnog otpada (NSRAO) [6] pripremljena je 2003./2004. u skladu sa člankom 10. Ugovora između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško [1]. Vlada Republike Slovenije i Hrvatski sabor donijeli su 2004. godine PR u skladu s Ugovorom. Nova revizija koja bi obuhvatila nova otkrića u tom području morala se pripremiti u roku od pet godina.

Od 2008. do 2011. radilo se na drugoj reviziji PR-a NE Krško i odlaganja NSRAO-a i ING-a. U tu je svrhu pripremljeno nekoliko tehničkih dokumenata, uključujući PDP rev. 5 [7]. Budući da su se okolnosti uvelike promijenile, MDP je odlučio 2015. suspendirati sve aktivnosti povezane s Drugom revizijom i naložilo izradu Projektnog zadatka za Treću reviziju PR-a NE Krško.

Treća revizija PR-a NE Krško [8] dovršena je 2019. s nekoliko tehničkih dokumenata, uključujući PDP rev. 6 [9]. Potvrđena je na 14. sjednici MDP-a održanoj 14. srpnja 2020. godine. U konačnici je odlučeno da se izradi Projektni zadatak [10] za daljnju reviziju PR-a NE Krško.

Cilj je periodičnih revizija povremeno revidiranje, provedba novih međunarodnih normi i primjena najboljih praksi dok je elektrana u pogonu. Te su revizije potrebne za procjenu troškova buduće razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva. Na temelju njih se u Sloveniji i Hrvatskoj izdvajaju sredstva za razgradnju.

Revizija PDP-a i PR-a NE Krško obveza je iz Bilateralnog ugovora između hrvatske i slovenske vlade. MDP je odlučilo 2022. godine da će se započeti revizija PR-a pod vodstvom NEK-a. Opći je cilj da se provede redovita revizija i uzimu u obzir sve nove okolnosti koje su se pojavile od prethodne revizije. Postoje dva osnovna (osnovni scenariji 0 i 1) i dva dodatna scenarija (dodatni scenariji A i B). U osnovnim scenarijima predviđa se rad NE Krško do 2043. godine, dok se u dodatnim scenarijima razmatra mogućnost produljenja rada na još dvadeset godina. Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, postoji dodatna mogućnost da se između 2026. i 2027. godine stari parogeneratori (SG) otpreme u SAD u skladu s trenutačnom ponudom. U osnovnom scenariju 0 i dodatnim scenarijima uklanjanje starih parogeneratora dio je pripremnih radova nakon konačne obustave rada elektrane. Osim toga, u svim je scenarijima ostavljena mogućnost da zgrada za manipuliranje gorivom (FHB) nastavi s radom umjesto RU-u. NEK je 2022. godine reviziju povjerio društvu Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH (NIS) iz njemačkog Alzenaua.

Ovaj je izvještaj Četvrta revizija Programa razgradnje (PR-a rev. 4) [8] sa standardnim sadržajem u skladu sa slovenskim Pravilnikom o čimbenicima nuklearne sigurnosti i sigurnosti od zračenja, JV5 [11].

U Prilogu 1. razmatra se mogućnost daljnjeg rada FHB-a. U njemu su navedeni dodatni troškovi ako se izuzmu izgradnja i rad RU-a.

Konačno, Prilog 2. prikazuje rezultate zbrinjavanja predviđenog pogonskog otpada do kraja rada NE Krško, tj. 2043. prema osnovnim scenarijima, a 2063. prema dodatnim scenarijima.

2 Opis postrojenja

2.1 NE Krško

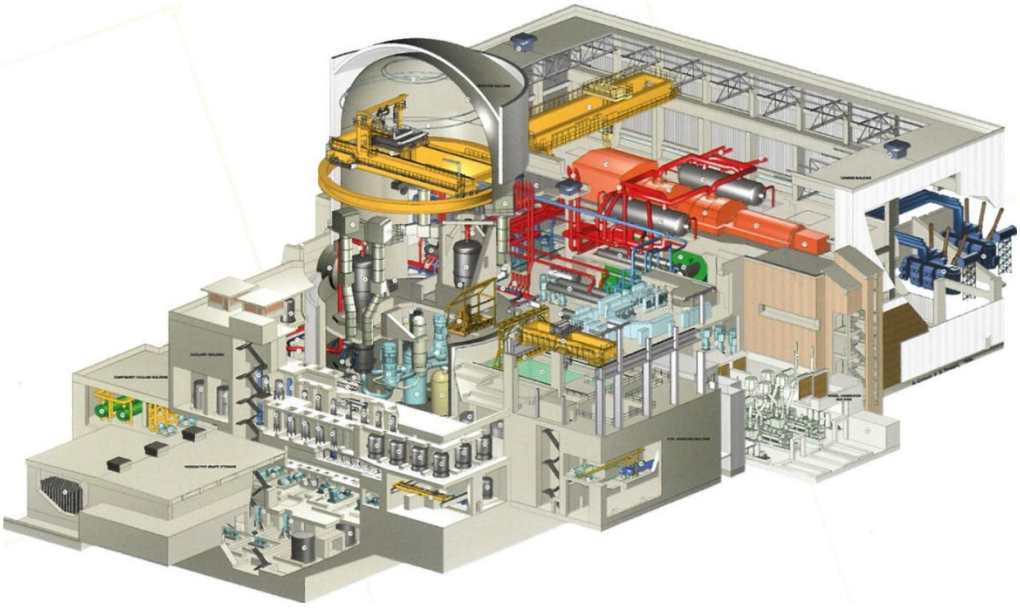
NE Krško nalazi se na lijevoj obali rijeke Save u industrijskoj zoni grada Krškog. Do elektrane se dolazi industrijskom cestom povezanom s regionalnom prometnicom Krško – Brežice. Do elektrane vodi i industrijska pruga koja je povezuje sa željezničkom postajom u Krškom.

NE Krško opremljen je Westinghouseovim tlakovodnim reaktorom toplinske snage 1994 MW. Elektrana je priključena na prijenosni sustav od 400 kV kako bi se pokrile potrebe glavnih potrošača u Republici Sloveniji i Republici Hrvatskoj. Nakon zamjene parogeneratora i niskotlačnih turbina, povećanja snage i zamjene visokotlačnih turbina i regulacijskih ventila neto kapacitet elektrane povećao se na 701 MW. Planira se godišnja proizvodnja 5 TWh električne energije. To čini 40 % ukupne električne energije koja se proizvodi u Sloveniji.

2.1.1 Konstrukcije

Sve se glavne konstrukcije nuklearne elektrane nalaze na čvrstoj armiranobetonskoj platformi smještenoj na pliocenskim pješčano-glinenim sedimentima Krškog bazena. Platforma Krškog bazena čvrst je i seizmički siguran temelj. Konstrukcije su projektirane i izgrađene tako da izdrže očekivane potrese na tom području bez većih oštećenja.

Reaktorska zgrada s ugrađenim sustavom za hlađenje reaktora i sigurnosnim sustavima sastoji se od unutarnjeg cilindričnog čeličnog kućišta i vanjske armiranobetonske zaštitne zgrade. Zračna komora kontejnmenta opremljena je zabrtvljenom prolaznom komorom s dvostrukim vratima. Brojni su prolazi za cijevi i kabele dvostruko zabrtvljeni. Pokraj zgrade za hlađenje komponenata reaktora nalaze se zgrada za manipuliranje gorivom, zgrada s dizelskim generatorima i turbinska zgrada (Slika 2-1 i Slika 2-3).



Slika 2-1: Shematski poprečni presjek elektrane

Konstrukcije za dovod rashladne vode i bitne opskrbne vode nalaze se na obali rijeke Save iznad njezine brane za održavanje odgovarajuće razine vode. Konstrukcija za odvod rashladne vode smještena je ispod brane na rijeci Savi. Osim toga, postavljeni su i višećelijski rashladni tornjevi sa strujanjem zraka za hlađenje vode u optjecaju u slučaju niskog protoka vode u rijeci.

Istrošeno gorivo skladišti se u suhom skladištu (SFDS) na zapadnoj strani reaktorske zgrade. SFDS je izrađen od armiranog betona kako bi se pohranjeni spremnici zaštitili od vremenskih

nepogoda i poplava. Nadalje, zidovi imaju otvore za prirodno kruženje hladnog zraka. U SFDS je već premještrno 592 gorivnih elemenata (FA).

Zgrada za manipuliranje otpadom (WMB) nalazi se na zapadnoj strani reaktorske zgrade. Riječ je o betonsko-metalnoj konstrukciji s nekoliko postrojenja za obradu otpada.

Na jugozapadnoj strani reaktorske zgrade u blizini rijeke Save nalaze se ojačane zgrade koje služe kao sustavi za hlađenje u hitnim slučajevima.

Skladište za kruti (radioaktivni) otpad nalazi se na jugozapadnoj strani elektrane. Upravna zgrada s radionicama i rasklopnim postrojenjem nalazi se na sjevernoj strani ulaza u elektranu.

2.1.2 Sustav za hlađenje reaktora

Reaktorska zgrada sadrži Westinghouseov PWR s dva rashladn kruga, a sastoji se od reaktorske posude (RVP) s unutarnjim dijelovima i poklopcem, dvaju parogeneratora, dviju crpki reaktorskog rashladnog sredstva, tlačnika, cijevi, ventila i pomoćnih sustava reaktora. Tijekom rada koristi se demineralizirana voda kao reaktorsko rashladno sredstvo, usporivač neutrona i razrjeđivač otopine borne kiseline. U parogeneratoru reaktorsko rashladno sredstvo predaje svoju toplinu napojnoj vodi na sekundarnoj strani parogeneratora radi proizvodnje pare. Tlak reaktorskog rashladnog sredstva održava tlačnik uz pomoć električnih grijača i raspršivača vode koji se opskrbljuju vodom iz izlaza (engl. *cold leg*) reaktorskog rashladnog sredstva.

Podaci potrebni za upravljanje i zaštitu reaktora dobivaju se mjerenjem toka neutrona, temperature reaktorskog rashladnog sredstva, protoka, razine vode u tlačniku i detektora tlaka.

Snaga reaktora regulira se kontrolnim štapovima. Pogonski mehanizam kontrolnog štapa pričvršćen je za poklopac reaktora, dok se apsorpcijski štapovi protežu u jezgru reaktora. Dugoročne promjene reaktivnosti jezgre i njezino trovanje/zasićenje fisijskim produktima reguliraju se promjenom koncentracije borne kiseline u reaktorskom rashladnom sredstvu.

Dva stara parogeneratora i stari poklopac RPV-a trenutačno se skladište u DB-u.

2.1.3 Nuklearno gorivo

Jezgra reaktora sastoji se od 121 gorivnog elementa. Svaki se gorivni element sastoji od gorivnih štapova, gornjih i donjih mlaznica, sklopova rešetki, vodilica kontrolnih štapova i instrumenata. Gorivni štapovi sadržavaju keramičke tablete uranijeva dioksida zavarene u ZIRLO cijevi. Gorivo od uranijeva oksida oblikuje se u sinterirane tablete i obogaćuje izotopom uranija U-235.

Za vrijeme remona elektrane (svakih 18 mjeseci), gotovo polovica gorivnih elemenata zamjenjuje se svježima. Svježi gorivni elementi drže se u skladištu za svježe gorivo. Istrošeni gorivni elementi drže se i hlade pod vodom u bazenu za istrošeno gorivo.

Dok traje nadopuna goriva, gorivni elementi uklanjaju se iz reaktora poplavljenim odvodnim kanalom kroz kontejnment u bazen za istrošeno gorivo. Reaktor je otvoren dok se puni gorivom, a njegova šupljina poplavljena. Strojem za nadopunu goriva uklanjaju se istrošeni gorivni elementi iz jezgre reaktora i zamjenjuju svježima. Gorivni elementi ostaju u jezgri reaktora barem dva gorivna ciklusa.

2.1.4 Turbogenerator i električni sustav

Parogeneratori proizvode zasićenu paru koja pokreće turbinu. U dvoprotočnoj visokotlačnoj turbini para ekspandira do 0,8 MPa. Potom prolazi kroz separator vlage i dogrijač u dvoprotočnu niskotlačnu turbinu u kojoj ekspandira do 5 kPa. Nakon što se para kondenzira u konden-

zatorima, crpke napojne vode vraćaju je kroz grijače u parogeneratore. Dvoprotočna visokotlačna turbina, generator, kondenzatori, crpke za kondenzat, niskotlačni grijač, crpka napojne vode i visokotlačni grijač napojne vode nalaze se u dvorani za turbine.

Trofazni generator ima snagu od 850 MVA, njegov je *cos fi* 0,876; a napon 21 kV. Rotor generatora hladi se vodikom, a stator vodom. Uzbudnik je bez četkica.

Kad tok rijeke Save premaši brzinu od 100 m^3/s, kondenzatori se hlade izravnim protokom vode iz rijeke kroz žlijeb. U slučaju niskog protoka rijeke hlađenje se kombinira s rashladnim tornjevima tako da se pri najnižim protocima iz rijeke Save uzima samo mala količina vode, dok se preostala voda vraća u nju odvodom vode za hlađenje. Temperatura rijeke Save smije porasti za najviše 3°C i ne smije prijeći 28 C u točki miješanja.

NE Krško je priključena rasklopnim postrojenjem od 400 kV na prijenosni sustav od 400 kV. Električna energija prenosti se iz generatora kroz dva glavna transformatora u rasklopno postrojenje od 400 kV. Prijenos se nastavlja jednim dalekovodom prema Mariboru, dvama dalekovodima prema Ljubljani, dvama dalekovodima prema Zagrebu i sabirnicama do distribucijske trafostanice Krško TS 400/110kV.

Elektranu napaja njezin generator ili prijenosni sustav od 400 kV. Ako dođe do kvara prijenosnog sustava od 400kV, električnom energijom se opskrbljuje kabelom od 110 kV iz distribucijske trafostanice Krško TS 400/110kV. Pričuvnu opskrbu električnom energijom osigurava kombinirana termoelektrana Brestanica, koja je od NE Krško udaljena 7km. Termoelektrana Brestanica može isključiti sve ostale potrošače s mreže i opskrbljivati strujom samo NE Krško.

Osim toga, elektrana je opremljena trima dizelskim generatorima nazivne snage po 3500 kW koji služe kao neovisan izvor električne energije u hitnim slučajevima za bitne sustave elektrane i mogu se aktivirati već za deset sekundi.

Funkcionalna shema elektrane prikazana je na sljedećoj slici (Slika 2-2).

2.1.5 Radioaktivni otpad i zaštita okoliša

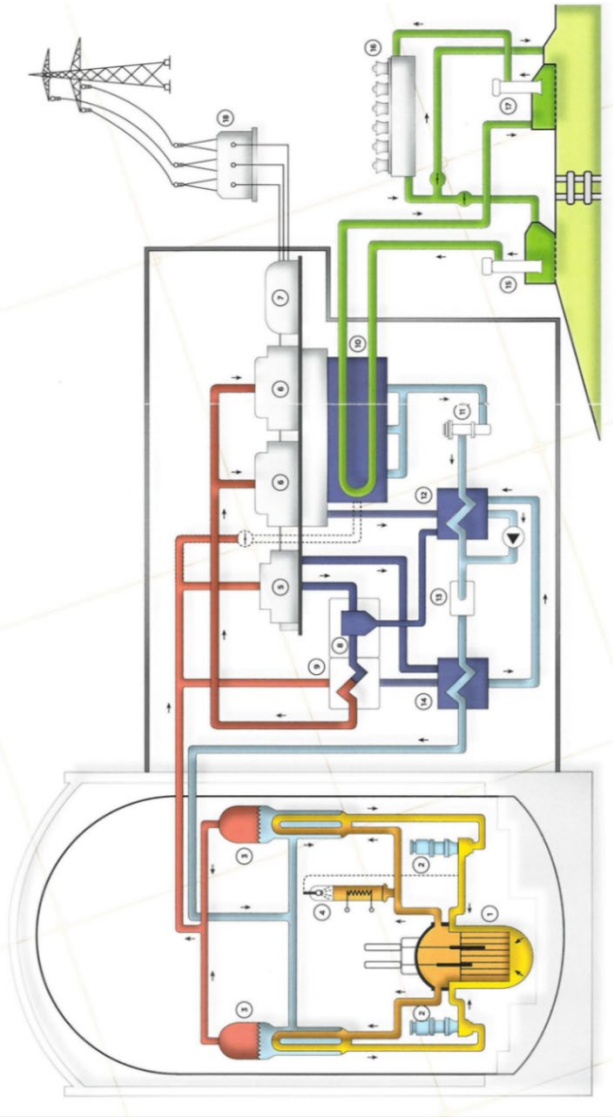
Tijekom rada nuklearne elektrane nastaje plinoviti, tekući i kruti otpad. Elektrana je opremljena sustavom za obradu plinovitog otpada koji se sastoji od dvaju usporednih zatvorenih petlji s kompresorima i katalitičkim rekombinatorima za vodik i od šest spremnika za raspad stlačenih fisijskih plinova. Četiri spremnika rabe se tijekom normalnog rada elektrane, a preostala dva u slučaju gašenja reaktora. Spremnici imaju dovoljno kapaciteta za čuvanje plinovitog otpada duže od mjesec dana. U tom se razdoblju većina kratkoživućih fisijskih plinova raspada, dok se preostali plinovi ispuštaju u atmosferu pod povoljnim meteorološkim uvjetima. Automatski instrumenti za praćenje zračenja u ventilacijskom kanalu sprječavaju nekontrolirano ispuštanje kad koncentracija radioaktivnog plina prekorači dopuštenu razinu.

Tekući radioaktivni otpad pročišćava se u postrojenjima za obradu tekućeg otpada koja se sastoje od spremnika, crpki, filtara, isparivača i dva demineralizatora. Otpadna voda iz parogeneratora pročišćava se zasebno. Radioaktivnost vode koja se ispušta u rijeku Savu nije ni blizu najvećoj dopuštenoj koncentraciji.

Sav kruti radioaktivni otpad koji nastaje tijekom rada elektrane, održavanja i servisiranja skuplja se u skladištu krutog otpada. Rabljeni ionski izmjenjivači, koncentrati isparivača, rabljeni filtri i ostali kontaminirani kruti otpad, kao što su papir, ručnici, radna odjeća, laboratorijska oprema i razni alati čine veći dio krutog otpada. Kruti se otpad komprimira i zatvara u čelične bačve od 208 litara. Bačve se privremeno drže u skladištu za kruti otpad na području elektrane.

Zahvaljujući suvremenim postrojenjima za obradu otpada i neprestanom radiološkom praćenju, zračenje izvan mjesta nastanka porijeklom od rada elektrane manje je od 0,1% godišnje doze primljene od pozadinskog zračenja i umjetnih izvora.

Tijekom razgradnje niz postrojenja za obradu otpada i skladišta ostat će u pogonu koliko je god to moguće.



1. Reaktor
2. Crpke za rashladno sredstvo reaktora
3. Parogeneratori
4. Tlačni uređaj (Tlačnik)
5. Visokotlačna turbina
6. Niskotlačna turbina
7. Generator
8. Separator vlage
9. Dogrijač
10. Kondenzator
11. Kondenzacijske pumpe
12. Niskotlačni grijač
13. Pumpa za napojnu vodu
14. Visokotlačni grijač napojne vode
15. Cirkulacijska crpka za vodu
16. Višećelijski rashladni tornjevi mehaničkog propuha
17. Cirkulacijske pumpe rashladnog tornja
18. Transformator

Slika 2-2: Funkcionalna shema elektrane

2.2 Specifikacija inventara

Za planiranje razgradnje i odgovarajuću procjenu troškova, najvažnije informacije su tehnički i radiološki inventar nuklearne elektrane. Pregled očekivanih radioloških uvjeta u elektrani na početku razgradnje nalazi se u poglavlju 15.

Specifikacija inventara temelji se na podacima iz NEK-ovih baza podataka koje po potrebi dopunjava NIS. Podaci se upisuju u NIS-ovu bazu podataka CORA (engleski: ***CO**mponent **R**egistration and **A**nalysis*, za *Registraciju i analizu komponenata*) radi daljnje procjene.

Posljednji je put specifikacija inventara ažurirana u okviru revizija PDP-a i PR-a NE Krško iz 2018. i 2019. [8], [9].

Za potrebe ovbog PR-a podaci su revidirani i ažurirani s obzirom na sve nove okolnosti koje su se pojavile od posljednje revizije.

2.2.1 Tehnički inventar

U CORA-i je registrirano otprilike 33 000 komponenata. Za svaku od tih komponenata povezani su parametri poput lokacije (zgrada i/ili prostorija), kao i dodatne informacije o specifikaciji, materijalu, geometriji, vrsti komponente, povezanom sustavu i sl.

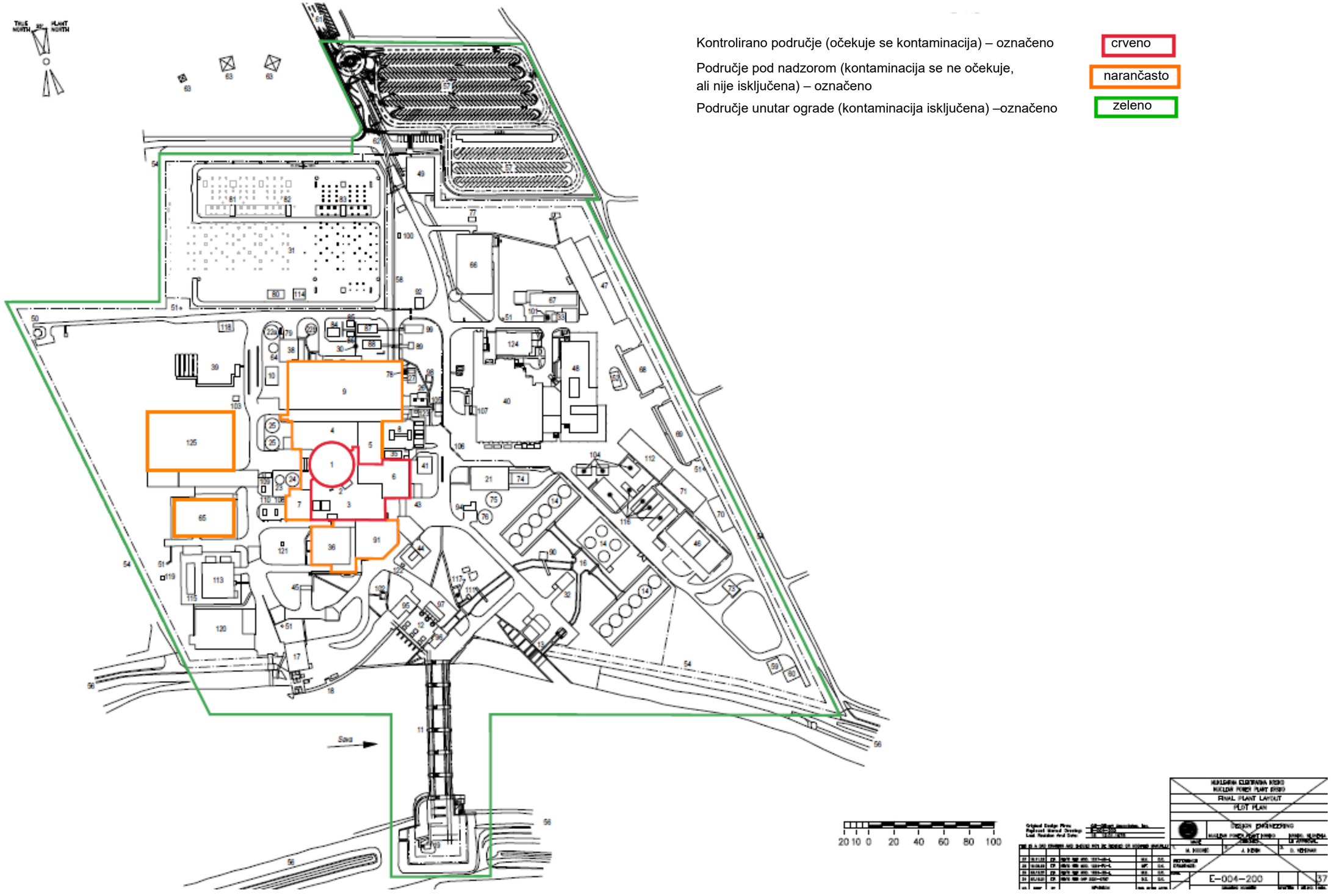
Ukupno je u CORA-i registrirana masa od oko **466 654 Mg** (tona) za osnovni scenarij i od oko **480 094 Mg** (tona) za oba dodatna scenarija. Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori već su uklonjeni, pa je ukupna masa smanjena na **466 010 Mg** (tona). U navedene mase nisu uključene količine očekivanog pogonskog otpada do konačne obustave rada, već je operativni otpad analiziran u Prilogu 2.

Na sljedećoj slici (Slika 2-3) označena su područja na kojima se na lokaciji NE Krško rukuje radioaktivnim materijalom:

- kontrolirano područje (označeno crvenom bojom)
- nadzirano područje (označeno narančastom bojom)
- područje unutar ograde (označeno zelenom bojom).

Kontrolirano područje obuhvaća zgrade u kojima se očekuje kontaminacija. Kad je riječ o PDP-u i PR-u, to podrazumijeva dekontaminaciju i mjerenja za ukidanje nuklearnih ograničenja na tom inventaru. Nadzirano područje obuhvaća zgrade u kojima se ne očekuje, ali nije isključena mogućnost kontaminacije. Kad je riječ o PDP-u i PR-u, to podrazumijeva mjerenja za dokazivanje usklađenosti s graničnim vrijednostima za otpuštanje. Na preostalom području unutar ograde ne očekuje se nikakva kontaminacija.

Tablica 2-1 sadržava mase komponenata i zgrada po zgradi unutar pojedinih područja NE Krško.



Kontrolirano područje (očekuje se kontaminacija) – označeno — crveno

Područje pod nadzorom (kontaminacija se ne očekuje, ali nije isključena) – označeno — narančasto

Područje unutar ograde (kontaminacija isključena) –označeno — zeleno

Slika 2-3: Područja NE Krško

Fizički inventar po zgradi i području

ZGRADA		Masa unutar kontroliranog područja [Mg]		Masa unutar područja nadziranja [Mg]			Masa unutar područja unutar ograde [Mg]		Ukupna masa NE Krško [Mg]		
		Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A&B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
AD1	PKS I FAZA MONTAZNA HALA IN DELAVNICE						5475,5		**5475,5**		
AD2	PKS II FAZA POSLOVNI KOMPLEKS						9356,8		**9356,8**		
AD3	RDO III FAZA POSL KOMPL IN SKLADISCE R/D						12204		**12204**		
BB1	OJAČANA ZGRADA 1						7904		**7904**		
BB2	OJAČANA ZGRADA 1						4756		**4756**		
CPD	CRPALNA POSTAJA DEMI						32,6		**32,6**		
CTA	PODRUČJE S RASHLADNIM TORNJEVIMA						9787,1		**9787,1**		
CWI	KONSTRUKCIJA ZA DOVOD VODE U OPTJECAJU						5940,5		**5940,5**		
DAM	PODRUČJE BRANE						26833,1		**26833,1**		
DGB	ZGRADA S DIZELSKIM GENERATORIMA ZA HITNE SLUČAJEVE						4452,5		**4452,5**		
EB	ULAZNA ZGRADA						1471,2		**1471,2**		
ENV	OKOLINA NEK-A (NEK OKOLJE)						11,1		**11,1**		
ESW	ZGRADA S BITNOM OPSKRBNOM VODOM						7635		**7635**		
FPY	PROTUPOŽARNO PODRUČJE						30		**30**		
HP	PRISTUPNA TOČKA PODRUČJA NA KOJEM SE KONTROLIRA ZRAČENJE						1698,6		**1698,6**		
IFA	PODRUČJE UNUTAR OGRADE						1009,1		**1009,1**		
MT	PODRUČJE S METEOROLOŠKIM TORNJEM						11,2		**11,2**		
NSH	POSTROJENJE SA SPREMNICIMA ZA NEUTRALIZACIJU						53,7		**53,7**		
OSC	CENTAR ZA OPERATIVNU PODRŠKU						4600		**4600**		
PB	ZGRADA ZA PREDOBRADU VODE						2783,4		**2783,4**		
PGY	SKLADIŠNI PROSTOR ZA PLIN						269,9		**269,9**		
PMH	POSTROJENJE S CRPKAMA ZA PRIJENOS						32,3		**32,3**		
SB	ZGRADA SA SIMULATOROM						5215,4		**5215,4**		
SYA	PODRUČJE RASKLOPNOG POSTROJENJA						9371		**9371**		
TP1	6,3/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-1						11,6		**11,6**		
TP2	6,3/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-2						11,7		**11,7**		
TP3	6,3/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-3						31,5		**31,5**		
TP4	6,3/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-4						17,1		**17,1**		
TP5	10/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-E						11,6		**11,6**		
TP6	6,3/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-B						11,6		**11,6**		
TP7	10/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-J						11		**11**		
TP8	10/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-D						10,5		**10,5**		
TP9	10/0,4 KV TRAFOSTANICA TP-A2						10,5		**10,5**		
VKT	VHODNA KONTROLNA TOCKA						153,9		**153,9**		
YRD	DVORIŠTE NEK-A (OBMOĆE ELEKTRARNE)						11 533,7		**11 533,7**		
AB	POMOĆNA ZGRADA	92 969,9							**92 969,9**		
CA	KONTROLIRANO PODRUČJE	269							**269**		
FHB	ZGRADA ZA MANIPULIRANJE GORIVOM	10 056,5							**10 056,5**		
RB	REAKTORSKA ZGRADA	60 911,1							**60 911,1**		
ABH	ZGRADA S POMOĆNIM KOTLOM				1826,4				**1826,4**		
CB	KONTROLNA ZGRADA				7646				**7646**		
CCB	ZGRADA ZA HLAĐENJE KOMPONENATA				12 711,6				**12 711,6**		
DB	ZGRADA ZA DEKONTAMINACIJU			8967,8	8323,8	8967,8			**8967,8**	**8323,8**	**8967,8**
IB	MEĐUZGRADA				28 910,5				**28 910,5**		
MA	PODRUČJE NADZIRANJA				281				**281**		
RU	JEDINICA ZA IZVLAČENJE GORIVA				4579				**4579**		
RWS	SKLADIŠNI PROSTOR ZA RADIOAKTIVNI OTPAD				10251,4				**10251,4**		
SFDS	SUHO SKLADIŠTE ISTROŠENOGA GORIVA				33 599,5	47 039,3			**33 599,5**		**47 039,3**
TB	TURBINSKA ZGRADA				42 444,8				**42 444,8**		
WMB	ZGRADA ZA MANIPULIRANJE OTPADOM				18 481,3				**18 481,3**		
Ukupno		**164206,5**		**169699,3**	**169055,3**	**183139,1**	**132748,6**		**466654,4**	**466010,4**	**480094,2**

Tablica 2-1:Fizički inventar po zgradi i području

U usporedbi s prošlim PR-om u inventar je dodana RU koji omogućuje izvlačenje goriva tijekom razgradnje i rada SFDS-a.

U osnovnom scenariju 1 više se ne uzimaju u obzir stari parogeneratori.

U obama je dodatnim scenarijima operativno razdoblje produljeno za dvadeset godina. Za dodatne gorivne elemente (FA) istrošene u tom razdoblju razmatra se mogućnost proširenog SFDS-a i dodatnih spremnika za međuskladištenje istrošenoga nuklearnog goriva.

Sve su komponente kategorizirane po vrsti. U sljedećoj su tablici prikazane mase po vrsti komponente na raznim područjima.

Fizički inventar po vrsti komponente i području

Vrsta komponente	Masa unutar kontroliranog područja [Mg]		Masa unutar područja nadziranja [Mg]			Masa unutar područja unutar ograde [Mg]		Ukupna masa NE Krško [Mg]		
	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
VENTILACIJSKI KANALI	290,0		172,5			17,1		**4793**		
AKUMULATORSKA OPREMA	0,4		48,7			8,0		**573**		
BIOLOŠKI ŠTIT	1600,0							**46 003**		
GRAĐEVINSKI BETON	138 293,9		150 932,3		163 172,3	121 978,0		**411 204,1**	**423 444,1**	
KABEL	179,4		187,3			482,7		**8493**		
POLICA I NOSAČ KABLOVA	89,7		93,7			243,4		**426,7**		
BETON U ZAŠTITNOJ ZGRADI	7000,0							**73 003**		
KONDENZATOR	14,9		43,2			7,5		**452,7**		
OSNOVNA KOMPONENTA	223							**223**		
DIZALICA	5444		195,1			97,2		**8363**		
VRATA	16,5		25,5			17,4		**593**		
ELEKTRIČNA OPREMA	67,0		535,5			12 047		**4807,2**		
FILTAR	9,3		42,4			17,0		**68,7**		
KUKA ILI NOSAČ	375,6		255,7			20,6		**651,9**		
POKLOPAC	80,0							**80,0**		
IZMJENJIVAČ TOPLINE	777,7		1133,8	489,8	1133,8	24,4		**1935,9**	**489,8**	**1935,9**
IZOLACIJA	2843		546,5			58,7		**8893**		
OBLOGA	76,0							**763**		
PODMAZIVANJE						285,0		**2853**		
MOTOR I POGON	177,0		830,3			291,1		**42 983**		
CIJEV	1146,3		2397,5			293,7		**33 373**		
CRPKA	133,4		139,4			129,9		**402,7**		
REAKTORSKA TLAČNA POSUDA + UNUTARNJI DIJELOVI 4 KONTROLNA ŠTAPA	367,1		33,7					**400,7**		
ARMATURA ZGRADE	9233,0		9198,0	10 138,0		6310,5		**24 741,5**		**25 681,5**
MALI DIJELOVI	80,0		216,8			434,5		**731,3**		
ČELIČNE KONSTRUKCIJE	2578,4		1119,7	1379,5		147,1		**3845,2**		**4105,0**
STALAK ZA SKLADIŠTENJE	390,7							**390,7**		
SPREMNIK	241,0		206,6			528,2		**975,8**		
TURBINA			406,8					**406,8**		
VENTIL	129,6		521,6			143,6		**794,9**		
OPERATER VENTILA	9,1		29,7			8,2		**463**		
Ukupno	**164206,5**		**169699,3**	**169055,3**	**183139,1**	**132748,3**		**466654,4**	**466010,4**	**480094,2**

Tablica 2-2:Fizički inventar po vrsti komponente i području

Registrirane komponente sastoje se od različitih materijala. Za svaku je komponentu odabrana skupina materijala. Tablica 2-3 daje pregled masa po skupinama materijala.

Fizički inventar po skupini materijala

Skupina materijala	Masa NE Krško [Mg]		
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 0	Dod. scenarij A i B
Austenitni čelik	3181,3		
Građevinska šuta	419 626,1		431 866,1
Kabel s izolacijom	849,4		
Konvencionalni miješani otpad	20,1		
Filtri	65,1		
Pocinčani čelik (ventilacija)	428,0		
Željezni čelik (feritni)	35 493,1		36 652,9
Mineralna vuna	772,5		
Mješoviti materijal (npr. crpke, motori)	3888,2		3928,2
Mješoviti materijal (električne komponente)	154,3		
Mješoviti materijal (feritni/austenitni)	1652,8	1008,8	1652,8
Poseban otpad (baterije, vrata (opasna), ulje)	523,5		
Ukupno	**466654,4**	**466010,4**	**480094,2**

Tablica 2-3:Fizički inventar po skupini materijala

2.2.2 Opasni inventar

Čini se da je azbest glavni opasni neradioaktivni materijal u NE Krško. U prošlosti je taj materijal obično služio za brtve, elemente građevinskih konstrukcija i zaštitu od požara. Pretpostavlja se da poliklorirani bifenil (PCB) nije prisutan kao u prijašnjoj studiji.

Tablica 2-4 daje pregled opasnih materijala uzetih u obzir u ovom PR-u koje je NIS utvrdio tijekom planiranja trenutačnih projekata razgradnje.

Otrovni neradioaktivni materijal

Područje	Masa azbestne izolacije [Mg]	Masa azbestnog cementa [Mg]	Masa brtvljenja [Mg]
Kontrolirano područje	5	5	50
Područje nadziranja	2	3	65
Ukupno	**7**	**8**	**115**

Tablica 2-4:Opasni neradioaktivni materijal

U pravilu se opasni materijali odvajaju od neopasnih. Ako dođe do kontaminacije, materijal se smatra radioaktivnim materijalom jer su za njega zahtjevi stroži i usklađeni s potrebnim normama. Pretpostavlja se da se s neradioaktivnim opasnim materijalom postupa u skladu sa slovenskim zakonskim zahtjevima i da se odvojeno odlaže, npr. na dostupno odlagalište.

2.2.3 Osnovni podaci o preostalom pogonskom otpadu

Krajem 2022. godine u zgradu za skladištenje radioaktivnog otpada pohranjeno je 2358 m³ pogonskog otpada. Osim toga, na drugim je mjestima smješteno dodatnih 166 m³, što znači da je ukupna količina pogonskog otpada 2524 m³. Na temelju proteklih godina očekuje se da će ubuduće nastajati 40 m³ pogonskog otpada godišnje. To znači da se u osnovnim scenarijima predviđa ukupni volumen od 3364 m³ za 2043., a u dodatnim scenarijima 4164 m³ za 2063.

Kao i u prethodnoj studiji primjenjuje se prosječna gustoća od 1,16 Mg/m³. Dakle, pogonski otpad trebao bi 2043. doseći neto masu od 3902 Mg (tona), a 2063. od 4830 Mg (tona).

Da bi se precizno procijenila bruto masa, uzima se u obzir dodatna težina spremnika za otpad. Na temelju spomenutih podataka očekuje se da će bruto masa pogonskog otpada 2043. biti 6700 Mg, dok će 2063. doseći 8290 Mg.

U skladu s tehničkom specifikacijom [12] pogonski otpad nije dio PR-a. Međutim, povezani rezultati su prikazani u Prilogu 2.

2.2.4 Podaci o zgradama, prostorijama i površinama

Osim masa komponenata, baza podataka CORA sadržava i podatke o zgradama, prostorijama i površinama važnima za planiranje razgradnje. Za prostorije ili građevine u kontroliranom i nadziranom području registriraju se unutarnje površine. Osim toga, prostorije se radiološki klasificiraju prema očekivanom trudu koji je potrebno uložiti u dekontaminaciju i otpuštanje. Kad je riječ o prostorijama čiju površinu treba dekontaminirati, predviđena je mogućnost skarifikacije, odnono odstranjivanja gornjeg (kontaminiranog) sloja betonske površine.

Tablica 2-5 sadržava dobivene površine, a Tablica 2-6 očekivanu masu betona koji će se ukloniti skarifikacijom zgrade.

Pregled površina

Zgrada		Površina [m²]							
		Pod		Stijenka		Strop		Ukupno	
		Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scena-rij A i B	Osnovni scenarij 0 i 1	Dod. scenarij A i B
Kontrolirano područje									
AB	POMOĆNA ZGRADA	9153		27 768		9153		**46 374**	
FHB	ZGRADA ZA MANIPULIRANJE GORIVOM	1318		4910		1094		**7322**	
RB	REAKTORSKA ZGRADA	2170		5580		893		**8643**	
Područje nadziranja									
DB	ZGRADA ZA DEKONTAMINACIJU	1410		1550		1410		**4370**	
RU	JEDINICA ZA IZVLAČENJE GORIVA	659		2455		547		**3361**	
SFDS	SUHO SKLADIŠTE ISTROŠENOGA GORIVA	2970	4158	5480	7672	2970	4158	**11 420**	**15 388**
WMB	ZGRADA ZA MANIPULIRANJE OTPADOM	1140		2055		1140		**4335**	
Ukupno								**85 825**	**90 393**

Tablica 2-5:Površine kontroliranog i nadziranog područja

Površine za uklanjanje betona

Zgrada		Masa uklanjanja betona [Mg]			
		Pod Osnovni scenarij 0 i 1 Dod. scenarij A i B	Stijenka Osnovni scenarij 0 i 1 Dod. scenarij A i B	Strop Osnovni scenarij 0 i 1 Dod. scenarij A i B	Ukupno Osnovni scenarij 0 i 1 Dod. scenarij A i B
Kontrolirano područje					
AB	POMOĆNA ZGRADA	509,3	183,4	2,5	**695,2**
FHB	ZGRADA ZA MANIPULIRANJE GORIVOM	86,7	31,5	0,0	**118,3**
RB	REAKTORSKA ZGRADA	145,9	88,0	0,6	**234,4**
Područje nadziranja					
DB	ZGRADA ZA DEKONTAMINACIJU	101,5	11,2	0,0	**112,7**
RU	JEDINICA ZA IZVLAČENJE GORIVA	0,0	0,0	0,0	**0,0**
SFDS	SUHO SKLADIŠTE ISTROŠENOGA GORIVA	0,0	0,0	0,0	**0,0**
WMB	ZGRADA ZA MANIPULIRANJE OTPADOM	82,1	14,8	0,0	**96,9**
Ukupno					**1257,4**

Tablica 2-6:Površine za uklanjanje betona

3 Strategija razgradnje

3.1 Općenito

Prema IAEA[2] Općim sigurnosnim zahtjevima, dijelu 6. [13] operater, nositelj dozvole odabire strategiju razgradnje na kojoj će se temeljiti plan razgradnje. Strategija mora biti u skladu s nacionalnom politikom o gospodarenju radioaktivnim otpadom.

Slika 3-1 prikazuje moguće strategije razgradnje prema IAEA-inu Posebnom sigurnosnom vodiču br. SSG-47 [14]. Riječ je o neposrednom i odgođenom rastavljanju nakon razdoblja sigurnog zatvaranja koje slijedi poslije konačne obustave rada.



Slika 3-1: Strategije razgradnje

U prošlosti se imobilizacija (engl. *entombment*) razmatrala kao dodatna mogućnost za razgradnju nuklearnih postrojenja [15]. U toj se metodi radioaktivna kontaminacija zatvara u strukturno dugotrajno stabilni materijal, npr. beton. Prema IAEA-i imobilizacija nije prihvatljiva strategija. Može se smatrati prihvatljivom samo u iznimnim okolnostima (npr. nakon teške nesreće) [16].

Rastavljanje u skladu sa strategijom neposrednog rastavljanja započinje ubrzo nakon konačne obustave rada. Oprema i konstrukcije, sustavi i komponente postrojenja koje sadržavaju radioaktivni materijal uklanjaju se i/ili dekontaminiraju do mjere koja dopušta prestanak regulatornog nadzora postrojenja i njegovo otpuštanje za neograničenu upotrebu ili uz ograničenja buduće upotrebe.

Prema strategiji odgođenog rastavljanja konačna razgradnja odgađa se na dulje razdoblje, obično 30 – 50 godina nakon trajne obustave rada. Najprije se istrošeno gorivo uklanja u skladu s planom za neposredno rastavljanje. Potom se dio postrojenja ili cijelo postrojenje u kojem se nalazi radioaktivni materijal ili obrađuje ili dovodi u takvo stanje da se može pohraniti. Postrojenje se sigurno zatvara i održava dok ne bude spremno za dekontaminaciju i/ili rastavljanje.

[2] IAEA - Međunarodna agencija za atomsku energiju (engleski *International Atomic Energy Agency*)

Odgođeno rastavljanje može uključivati rano rastavljanje pojedinih dijelova postrojenja i ranu obradu dijela radioaktivnog materijala i njegovo uklanjanje iz postrojenja kao pripremne korake za skladištenje preostalih dijelova postrojenja.

Slika 3-2 prikazuje slijed obiju strategija, a Tablica 3-1 daje pregled prednosti i nedostataka.



Slika 3-2: Usporedba strategija razgradnje

Prednosti i nedostaci neposrednog i odgođenog rastavljanja

	Neposredno rastavljanje	Odgođeno rastavljanje / sigurno zatvaranje
Prednosti	• Dostupnost osoblja upoznatog s poviješću rada • Dostupnost opreme i sustava za rastavljanje • Ublažavanje ekonomskih učinaka za regiju • Sigurnost financiranja • Moguća rana ponovna upotreba lokacije	• Radioaktivnost se smanjuje (raspad) • Smanjenje radioaktivnog otpada • Smanjenje brzine doze za radove rastavljanja i obrade otpada • Upotreba jednostavnijih ili novorazvijenih tehnika • Prednosti popusta zbog odgođenih troškova razgradnje
Nedostaci	• Veća radioaktivnost • Veća količina radioaktivnog otpada • Veća brzina doze za radove rastavljanja i obrade otpada	• Veći napori u vezi s mjerenjem zbog promjena vektora nuklida • Gubitak znanja o objektu • Rad i nadzor tijekom razdoblja sigurnog zatvaranja • Duže zauzimanje lokacije • Prijenos tereta razgradnje na buduće generacije

Tablica 3-1:Prednosti i nedostaci neposrednog i odgođenog rastavljanja

IAEA-a preporučuje neposredno rastavljanje kao strategiju razgradnje. Doduše, u nekim situacijama neposredno rastavljanje možda nije izvediva strategija kad se uzmu u obzir svi bitni čimbenici [13]. U Četvrtoj reviziji PR NE Krško predviđa se neposredno rastavljanje. Taj je izbor objašnjen u Poglavlju 3.2.

3.2 Izbor strategije

Čimbenici koji utječu na izbor strategije razgradnje općenito su dosljedni za sva nuklearna postrojenja. Ti čimbenici mogu poslužiti kao pozitivni pokazatelji ili kao ograničenja, npr. dostupnost sredstava. Utjecaj pojedinačnih čimbenika ujedno ovisi o konkretnim uvjetima zemlje, lokacije ili postrojenja. Prvo se navode čimbenici koje treba uzeti u obzir pri odabiru strategije razgradnje prema IAEA-i [17]. Zatim se daju glavni aspekti koje treba razmotriti kako bi se opravdao konačni odabir strategije razgradnje.

- Nacionalne politike i regulatorni okvir:
  - politički dokumenti s programima i smjernicama nuklearne politike na nacionalnoj razini;
  - pravni okvir koji pokriva regulatorne funkcije i infrastrukturu, kao i zahtjeve i norme koje se odnose na razgradnju:
  - odobrenje / ishođenje dozvole za procese kako bi se zajamčila reguliranost cijelog životnog ciklusa postrojenja, posebno propisi za planiranje i izvođenje razgradnje.
- Financijska sredstva/troškovi za provedbu strategije:
  - dostupnost adekvatnih financijskih sredstava i mehanizama financiranja;
  - izravni troškovi provedbe strategije razgradnje;
  - neizravni troškovi povezani sa strategijom (npr. troškovi koji se odnose na uključenost dionika i društvenu prihvaćenost).
- Sustav gospodarenja istrošenim gorivom i otpadom:
  - nacionalna politika i strategija gospodarenja istrošenim gorivom i otpadom;
  - dostupnost konkretnih planova i postrojenja za gospodarenje istrošenim gorivom i otpadom iz postrojenja koje se razgrađuje;
  - količine i vrste otpada nastalog razgradnjom.
- Utjecaj na zdravlje, sigurnost i okoliš:

  - sigurnosni/zdravstveni rizici;
  - utjecaj na okoliš, uključujući utjecaj odvoza materijala/otpada;
  - fizičko stanje postrojenja, npr. očekivani integritet zgrada tijekom razgradnje;
  - radiološka svojstva materijala i opasnih materijala;
  - utjecaj industrijskih rizika na lokaciji.
- Upravljanje znanjem i ljudski potencijali:
  - osoblje s odgovarajućim kvalifikacijama i iskustvom;
  - lekcije naučene iz prijašnjih projekata razgradnje;
  - operativna povijest i prikladnost informacija o razgradnji (zapisi, nacrti itd.);
  - resursi drugih nuklearnih postrojenja u pogonu na lokaciji ili u zemlji;
  - razlozi za trajnu obustavu rada ako nisu u skladu s izvornim planom (gospodarski, politički, nesreća itd.).
- Društveni utjecaj i uključenost dionika:
  - utjecaj procesa razgradnje na općine;
  - brige i predodžbe javnosti/dionika;
  - mogućnosti prenamjene lokacije.
- Prikladne tehnologije i tehnike.

3.2.1 Nacionalne politike i regulatorni okvir

U slovenskim politikama i regulatornom okviru ne propisuje se strategija razgradnje. Međutim, IAEA i većina europskih zemalja daju prednost neposrednom rastavljanju jer se time izbjegava svaljivanje razgradnje na buduće naraštaje. Sve je više dobrih primjera i iskustva iz prakse. Osim toga, nema razloga za promjene strategija u trenutačnim planovima razgradnje u koje je uključen NIS. Iz te je perspektive neposredno rastavljanje najbolja strategija za razgradnju NE Krško.

Međutim, PR NE Krško redovito se revidira u skladu sa slovensko-hrvatskim ugovorom o NE Krško. Prednost se daje strategiji neposredne razgradnje. Ako se izabere druga strategija, operator postrojenja mora to podrobno obrazložiti.

3.2.2 Financijska sredstva/troškovi za provedbu strategije

Prema sporazumu vlasnika NE Krško uspostavljen je sustav financiranja kako bi se osigurala financijska sredstva za razgradnju i konačno odlaganje radioaktivnog otpada i istrošenoga goriva. I Slovenija i Hrvatska imaju fond za prikupljanje odgovarajućih doprinosa na temelju kapaciteta za proizvodnju električne energije (u MW) ili fiksiranim anuitetima. Oba fonda podnose godišnji izvještaj o ostvarenim rezultatima. Nadalje, plan razgradnje i pripadajući izračun troškova redovito se ažuriraju kako bi se proveli novi međunarodni standardi, primijenila najbolja praksa i uzele u obzir nove okolnosti i stečeno iskustvo.

NIS ne očekuje nikakve troškovne prednosti od odgode razgradnje NE Krško. Moguće uštede u troškovima rastavljanja i gospodarenja otpadom zbog dodatnog razdoblja radioaktivnog raspada premašuju ili barem nadoknađuju pripremni i operativni troškovi sigurnog zatvaranja. Ovisno o stvarnom diskontiranju možda postoji prednost u vidu niže neto sadašnje vrijednosti za scenarij odgođenog rastavljanja. Međutim, u konačnici je neposredna razgradnja financijski izvediva mogućnost.

3.2.3 Sustav gospodarenja istrošenim gorivom i otpadom

Slovenija je razradila nacionalni program za zbrinjavanje istrošenog goriva i radioaktivnog otpada (ReNPROIG23-32). Pregledao ga je IAEA-in tim stručnjaka 2022. godine i zaključio da je riječ o sveobuhvatnu, pouzdanu i funkcionalnom sustavu zbrinjavanja istrošenog goriva i radioaktivnog otpada.

Procijenjena količina i svojstva otpada koji nastaje razgradnjom navedeni su u ovom PR-u i PDP-u. Osim toga, podnesen je izvještaj o obradi otpada koji nastaje razgradnjom na lokaciji. PR i PDP redovito se ažuriraju kako bi se ukomponiralo iskustvo stečeno na trenutačnim projektima razgradnje i aktivnostima planiranja. Tijekom razgradnje NE Krško i nakon što nastane sav dekomisijski radioaktivni otpad, već će postojati prikladni kanali zbrinjavanja otpada, kao i skladišta i odlagališta u Sloveniji i Hrvatskoj za pravilno zbrinjavanje otpada.

Zaključno, strategija neposrednog rastavljanja je primjenjiva na sustav zbrinjavanja istrošenog goriva i otpada.

3.2.4 Utjecaj na zdravlje, sigurnost i okoliš

Na temelju trenutačnih informacija i pretpostavljenog stanja pri konačnoj obustavi rada NE Krško poznati su sljedeći problemi:

- zdravstveni i sigurnosni rizici
- utjecaj na okoliš, uključujući utjecaj odvoza materijala i radioaktivnog otpada
- stanje NE Krško
- radiološka svojstva materijala
- opasni materijali
- neradiološki i industrijski rizici.

Očekuje se da će izlaganje osoblja zračenju u slučaju odgođene razgradnje biti niže nego u slučaju neposredne razgradnje. Međutim, pojedinačne doze bit će u skladu sa zakonski propisanim granicama i održavat će se onoliko niskima koliko je razumno moguće.

Zaključno, strategija neposrednog rastavljanja može se provesti.

3.2.5 Upravljanje znanjem i ljudski potencijali

Pretpostavlja se da će u projektu sudjelovati osposobljeno operativno osoblje s odgovarajućim znanjem i iskustvom. To osoblje neće više biti dostupno u slučaju odgođenog rastavljanja. Nadalje, budući da se konačna obustava rada NE Krško planira za 2043. u osnovnom scenariju, a u 2063. u obama dodatnim scenarijima, steći će se mnogo iskustva i dovoljno znanja na temelju uspješno provedenih projekata razgradnje.

Kad je riječ o upravljanju znanjem i ljudskim potencijalima, strategija neposrednog rastavljanja ima prednost jer se tijekom razdoblja sigurnog zatvaranja očekuje gubitak znanja.

3.2.6 Društveni utjecaj i uključenost dionika

S dionicima se može transparentno raspravljati o društvenim utjecajima neposrednog rastavljanja. Prema Tablici 3-1 prednost neposrednog rastavljanja jest mogućnost ranije ponovne upotrebe lokacije. U slučaju NE Krško ta prednost nije sigurna jer se zemljište planira pretvoriti u *greenfield* (lokaciju neograničene namjene) nakon završetka rada SFDS-a.

Međutim, na kraju razdoblja sigurnog zatvaranja potrebno je povećati sudjelovanje dionika. Dakle, strategija neposrednog rastavljanja najprihvatljivija je mogućnost.

3.2.7 Prikladne tehnologije i tehnike

Dijapazon tehnologija i tehnika za sve aktivnosti razgradnje, uglavnom za dekontaminaciju i rastavljanje, već je dobro poznat. Osim toga, iskustva će se do konačne obustave rada NE Krško povećati. U ovom PR-u i PDP-u predviđa se angažiranje iskusnog osoblja i specijaliziranih tvrtki, kao i primjena provjerenih tehnika dekontaminacije i rastavljanja. Zaključno, iz tehničke je perspektive neposredno rastavljanje najprihvatljivija strategija razgradnje.

3.2.8 Konačni zaključak

Na temelju zaključaka iznesenih u poglavljima 3.2.1 – 3.2.7 neposredno rastavljanje najprihvatljivija je strategija razgradnje. U poglavlju 3.3 objašnjava se strategija razgradnje pripremljena za ovaj PR NE Krško.

3.3 Strategija razgradnje za NE Krško

Ova revizija PR-a odnosi se na neposredno rastavljanje kao strategiju razgradnje i uvažava potrebu za mokrim skladištenjem još pet godina nakon obustave rada NE Krško radi zbrinjavanja posljednjeg goriva iz reaktora [12], [10]. Nakon tog razdoblja počinju radovi na rastavljanju. Kad se uklone instalacije, oprema i ostali inventar, preostale se građevinske konstrukcije dekontaminiraju i otpuštaju iz nuklearnog nadzora kako bi se stvorila *brownfield* lokacija (lokacija za industrijsku namjenu).

U okviru strategije razgradnje uzima se u obzir rad suhog skladišta istrošenoga goriva (SFDS) na lokaciji nakon konačne obustave rada NE Krško. Osim toga, u istom se razdoblju predviđa rad jedinice za izvlačnjenje goriva (RU) iz zavarenih skladišnih spremnika. Rad FHB-a razmatra se kao alternativa RU-u.

Kad SFDS i RU završe s radom, uklonit će se inventar tih zgrada i započeti konvencionalno rastavljanje i rušenje drugih zgrada kako bi se stvorila *greenfield* lokacija (lokacija neograničene namjene).

PR obuhvaća dva osnovna scenarija 0 i 1 te dva dodatna scenarija A i B. Scenariji se razlikuju po datumu konačne obustave rada jer se u obama dodatnim scenarijima predviđa produljenje operativnog razdoblja NE Krško za još dvadeset godina. te u operativnom razdoblju SFDS-a i RU-a.

Tablica 3-2 daje pregled glavnih faza i operativnih razdoblja, dok Slika 3-3 prikazuje shemu različitih scenarija.

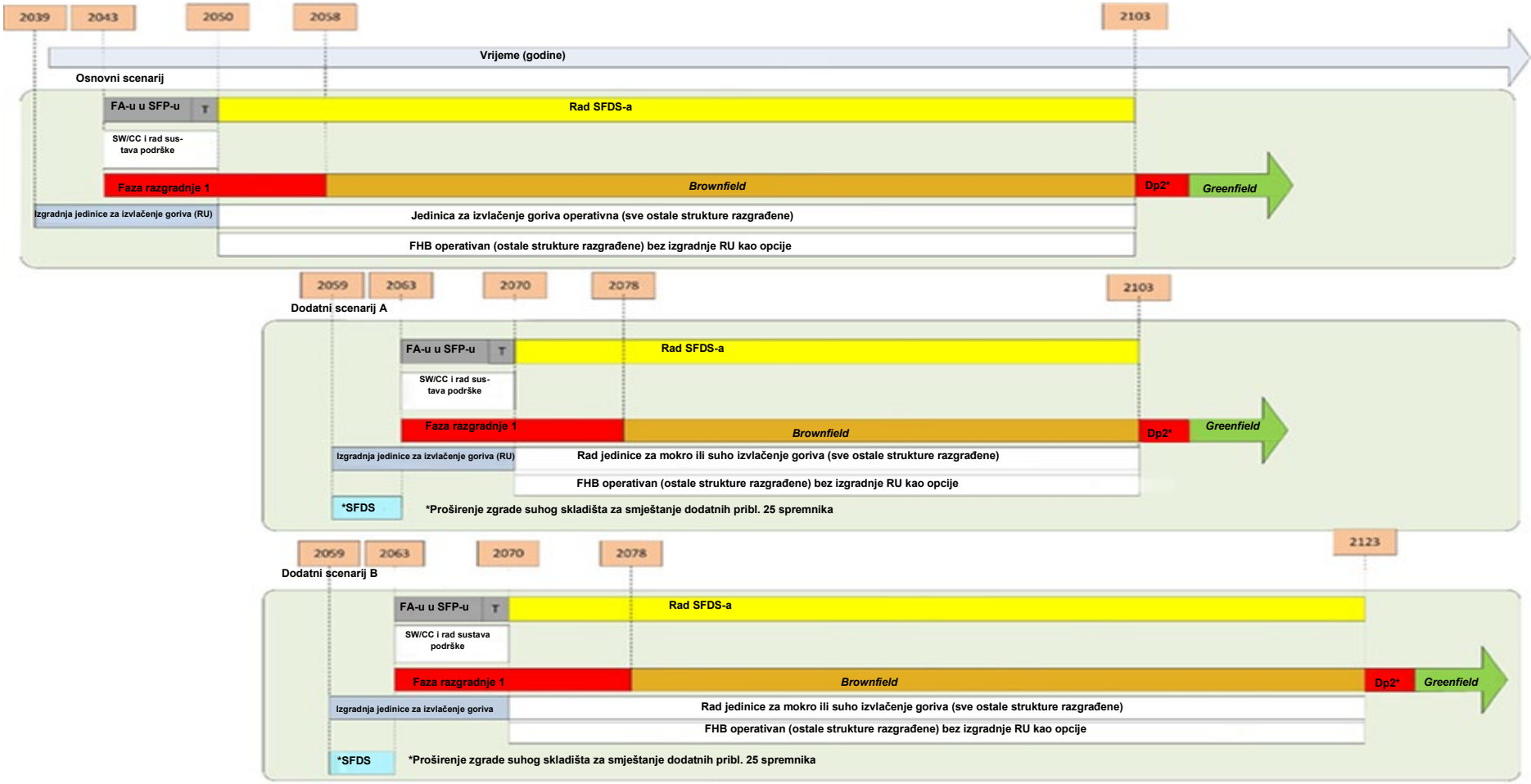
U nastavku se opisuje slijed zadataka razgradnje u okviru strategije neposrednog rastavljanja.

Razdoblja konačne obustave i rada SFDS-a

Faza	Vremenski okvir			
	Osnovni scenarij 0	**Osnovni scenarij 1**	**Dod. scenarij A**	**Dod. scenarij B**
Početak pripreme i licenciranja	2040.		2060.	
Konačna obustava rada NE Krško	2043.		2063.	
Početak prijenosa FA-a do SFDS-a	2048.		2068.	
Kraj prijenosa FA-a do SFDS-a	2050.		2070.	
Kraj rada SFDS-a	2103.			2123.

Tablica 3-2:Navedene glavne faze i operativna razdoblja

NAPOMENA: radioaktivni otpad iz posljednje kampanje razgradnje SFDS-a odložit će se u odlagalište VRAO-a jer se postrojenja za odlaganje NSRAO-a neće ponovno otvarati zato što se rastavlja SFDS. To znači da će se na kraju rada SFDS-a sav otpad nastao razgradnjom odložiti zajedno s VRAO-om u odlagalište VRAO-a.



Dp2*= Faza razgradnje 2 označava razgradnju SFDS-a bez istrošenog goriva

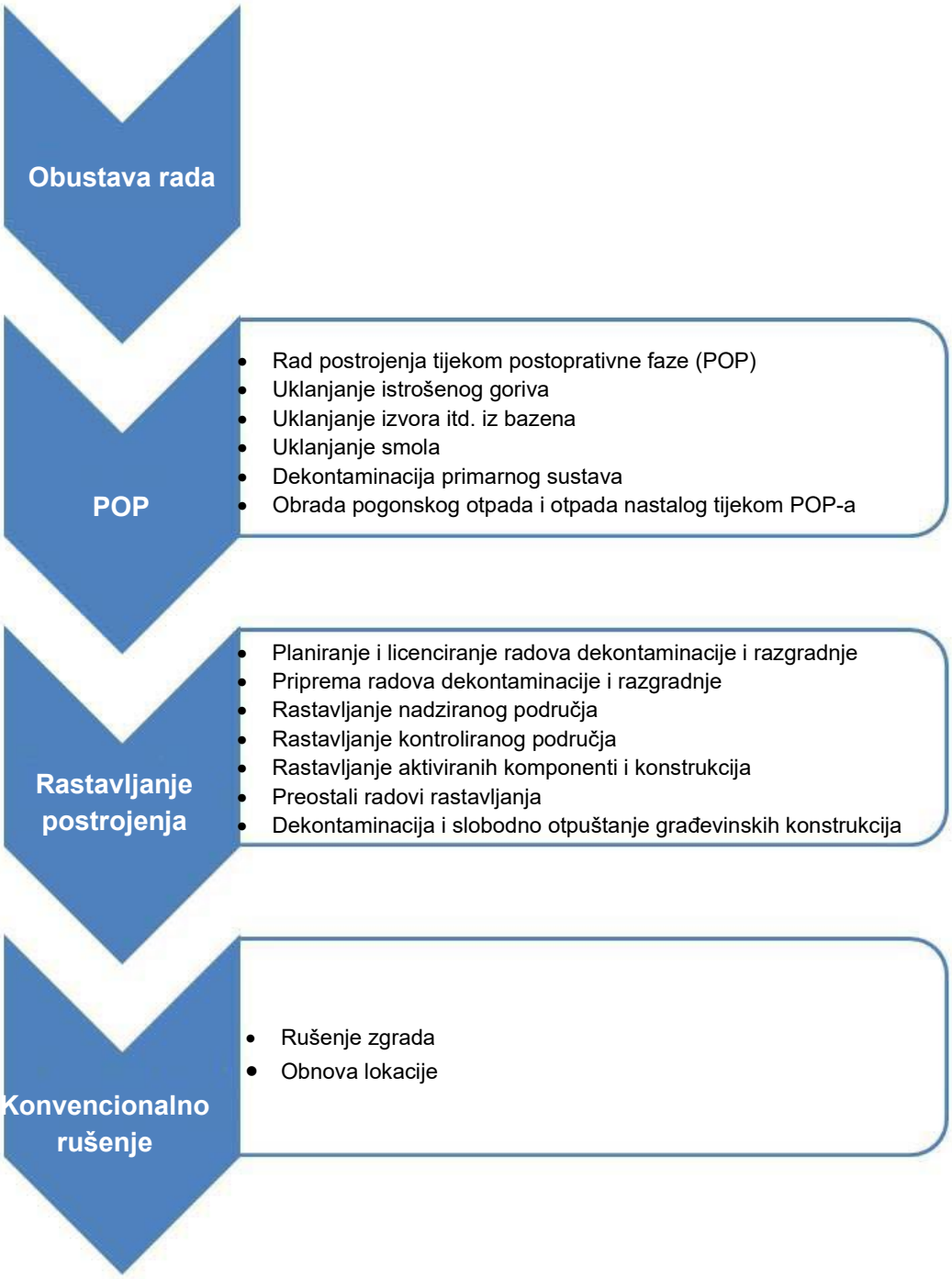
T= Prijenos elemenata istrošenoga goriva (FA) iz SFP-a u SFDS

Slika 3-3: Shema scenarija razgradnje NE Krško

3.3.1 Opći pristup slijedu zadataka razgradnje

Načelno je slijed isti u osnovnim i dodatnim scenarijima. Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori uklonit će se već za nekoliko godina u skladu s trenutačnom ponudom. U osnovnom scenariju 0 i dodatnim scenarijima to je dio pripremnih radova nakon konačne obustave rada. Osim toga, scenariji se razlikuju po datumu konačne obustave rada i operativnim razdobljima SFDS-a i RU-a. Vremenski raspored razgradnje NE Krško određen je u skladu s glavnim fazama za nuklearnu elektranu, ali i rad SFDS-a i RU-a iz tehničkih specifikacija [12].

Opći pristup primjenjuje se na strategiju neposrednog rastavljanja i odnosi na stečena iskustva i trenutačne planove na temelju drugih projekata razgradnje nuklearnih elektrana.



Slika 3-4: Opći pristup procesu razgradnje

Sljedeći su aspekti svojstveni lokaciji i strateškim uvjetima za NE Krško:

- Režu se i uklanjaju privremeno uskladišteni stari parogeneratori[3] i stari poklopac RPV-a u zgradi za dekontaminaciju (DB).
- Pripremit će se područja za gospodarenje otpadom u DB-u, međuzgradi (IB), zgradi za postupanje s gorivom (FHB) i zgradi za manipuliranje otpadom WMB).
- Dozvola za razgradnju odobrava se pri konačnoj obustavi rada.
- Rad na nuklearnom i konvencionalnom rastavljanju počinje nakon izdavanja dozvole za razgradnju.
- Rastavljanje u zgradama u kontroliranom području, npr. rastavljanje kontaminiranih materijala u pomoćnoj ili reaktorskoj zgradi, izvodi se usporedno s vremenski osjetljivim projektima koji su na kritičnom putu.
- Konvencionalno rušenje počinje odmah nakon slobodnog otpuštanja SFDS-a i RU-a kako se ne bi produljilo ukupno trajanje projekta.

Opis u nastavku odnosi se na zadatke razgradnje u okviru kritičnog puta.

3.3.2 Projekti za slijed radova na razgradnji

U ovom se poglavlju daje pregled projekata bitnih za kritični put projekta razgradnje NE Krško. Cijela organizacija radnih paketa i ukupni vremenski raspored opisani su u poglavlju 5.2.3.

Krajnji datum završetka projekta ovisi o trajanju kritičnog puta. Stoga su u nastavku opisani glavni zadaci u okviru kritičnog puta zajedno s njihovim uvjetovanostima.

Postupci prije razgradnje:



Slika 3-5: Postupci prije razgradnje

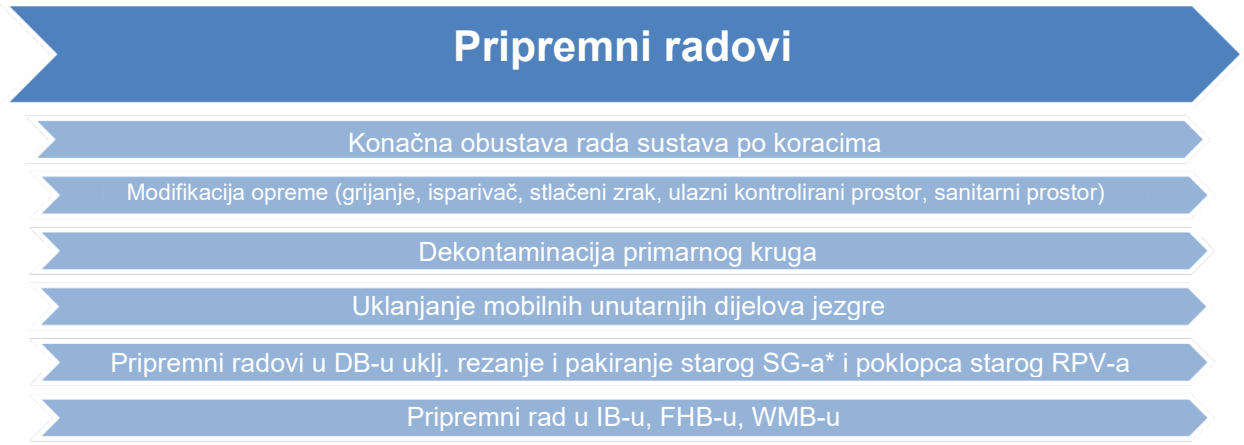
Postupci prije razgradnje obuhvaćaju sve aktivnosti do konačne obustave rada elektrane.

Riječ je o:

- prikupljanju tehničkih podataka (tehničko i radiološko stanje elektrane)
- projektnom planiranju i projektiranju (ažuriranje PDP-a/PR-a, odabir glavnog izvođača, kupnja instalacija i opreme za razgradnju, npr. postrojenja za mjerenje radi otpuštanja iz nadzora, opreme za rezanje i pakiranje)
- postupku izdavanja dozvole koji obuhvaća odobrenje opće dozvole, uključujući podroban tehnički koncept i popratne zadaće stručnjaka i nadležnih tijela, npr. nadzor sigurnog rada preostalih sustava
- konačnoj obustavi rada nuklearne elektrane.

[3] Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori uklonit će se već za nekoliko godina.

Priprema rada na razgradnji:



*Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari SG-ovi uklonit će se već za nekoliko godina.

Slika 3-6: Pripremni radovi

Nakon konačne obustave rada obavljaju se pripremni radovi za projekt razgradnje. To obuhvaća sljedeće zadatke nakon odobrenja dozvole za razgradnju:

- gašenje sustava i izmjenu opreme
- dekontaminaciju primarnog kruga
- uklanjanje mobilnih unutarnjih dijelova jezgre
- izmjenu DB-a i postavljanje novih postrojenja
- pripremu postrojenja za obradu materijala (pomoćna zgrada)
- rezanje i pakiranje starih parogeneratora[4] i starog poklopca RPV-a.

Gašenje sustava slijedi odmah nakon odobrenja dozvole. Glavne aktivnosti:

- izrada koncepata i preliminarne evaluacije
- rasprave s vanjskim stručnjacima/agencijama
- gašenje sustava
- potvrda gašenja.

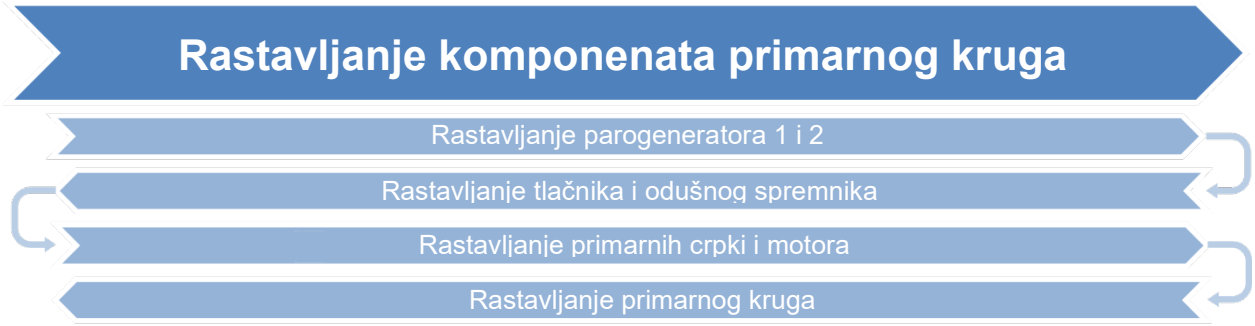
Gašenje se odnosi na pojedinačne sustave ili skupine sustava. Sustavi koji su i dalje potrebni za preostali rad modificiraju se kako bi se smanjili troškovi održavanja i periodičnih provjera. Modificiraju se sustavi za grijanje, isparavanje i zrak pod pritiskom.

Primarni krug dekontaminira se kako bi se smanjila brzina doze za daljnje aktivnosti rastavljanja.

Uklanjanje mobilnih unutarnjih dijelova jezgre obuhvaća, na primjer, kontrolne šipke, instrumentacijske sonde za jezgru i kanale gorivnih elemenata. Režu se na odgovarajuće komade u bazenu za istrošeno gorivo i pakiraju u skladu s kriterijima prihvatljivosti za konačno odlaganje.

[4] Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori uklonit će se već za nekoliko godina.

Rastavljanje komponenata primarnog kruga:

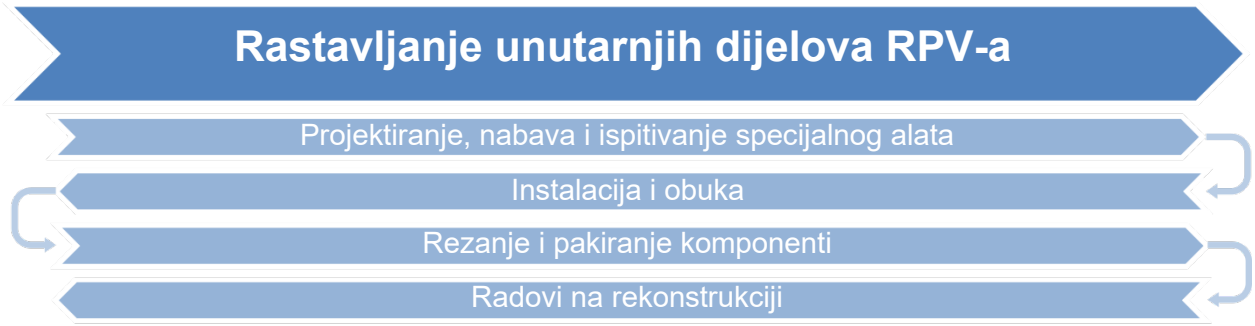


Slika 3-7: Rastavljanje komponenata primarnog kruga

Projekt obuhvaća rastavljanje sljedećih glavnih komponenata primarnog kruga:

- parogeneratora 1 i 2
- tlačnika
- odušnog spremnika tlačnika
- primarnih crpki i motora
- kruga.

Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a:



Slika 3-8: Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a

Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a slijedi nakon rastavljanja komponenata primarnog kruga. Obuhvaća rastavljanje, rezanje i pakiranje unutarnjih dijelova RPV-a, kao i:

- projektiranje, nabavu i testiranje posebnog alata/opreme za daljinsko rastavljanje
- simulaciju složenog rada na modelima i osposobljavanje osoblja
- pripremne radove
- radove na obnovi i oporavku na području reaktorskog bazena
- radove na pripremi i obnovi sustava u pogonu.

Unutarnji dijelovi RPV-a režu se i pakiraju izravno u reaktorskom bazenu. Predviđa se podvodna tehnika.

Rastavljanje RPV-a:



Slika 3-9: Rastavljanje RPV-a

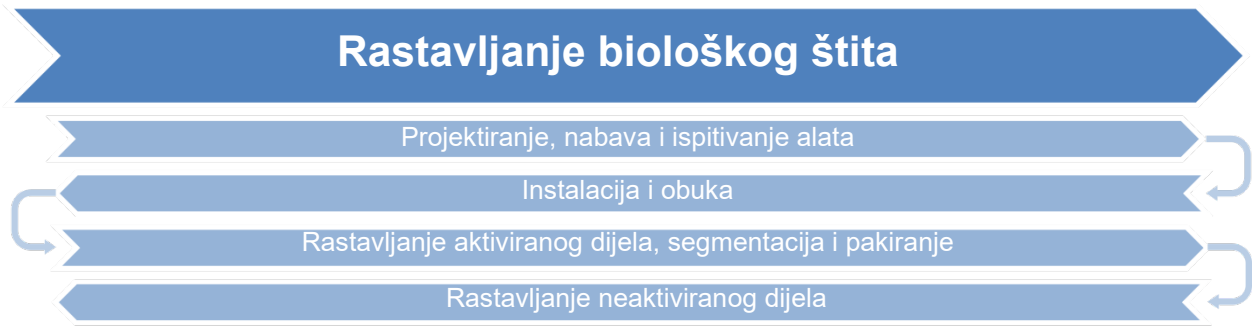
Sljedeći projekt kritičnog puta je rastavljanje RPV-a. Pripremni rad nadovezuje se na završetak rastavljanja unutarnjih dijelova RPV-a. Započinje pripremom reaktorskog bazena za postavljanje opreme za rastavljanje. Rastavljanje može započeti čim završi postavljanje.

Projekt obuhvaća rastavljanje, rezanje i pakiranje RPV-a, kao i:

- projektiranje, nabavu i testiranje posebnog alata/opreme za daljinsko rastavljanje
- simulaciju složenog rada na modelima i osposobljavanje osoblja
- pripremne radove
- radove na pripremi i obnovi sustava u pogonu.

RPV se reže i pakira u postavljenom položaju. Nije potrebna primjena podvodne tehnike.

Rastavljanje biološkog štita:



Slika 3-10: Rastavljanje biološkog štita

Nakon što se ukloni RPV, rastavlja se biološki štit. Pripremni radovi započinju kad završi rastavljanje RPV-a.

Nakon pripreme i postavljanja opreme započinje rastavljanje aktiviranih dijelova. Biološki štit reže se na blokove od 5 do 10 Mg. Zatim se ti blokovi odvoze u stanicu za rezanje izvan područja za rastavljanje. Tamo se segmentiraju u manje dijelove prikladne za pakiranje i konačno skladištenje ili za mjerenja radi otpuštanja iz nadzora.

Rastavljanje preostalih sustava:

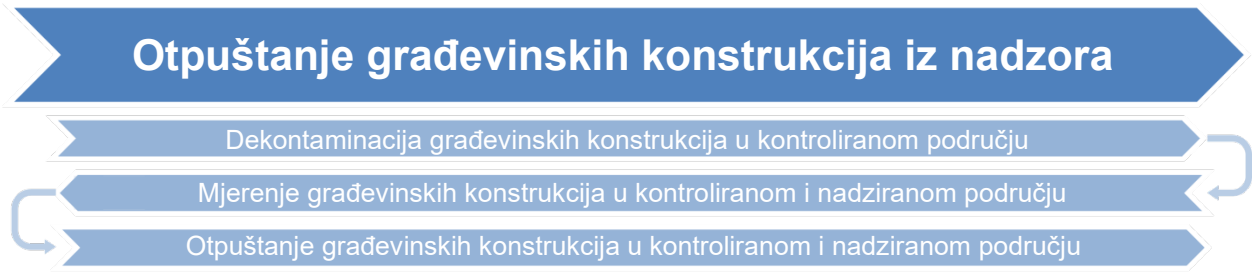


Slika 3-11: Rastavljanje preostalih sustava u kontroliranom području

Sljedeći projekt kritičnog puta je rastavljanje preostalih komponenata i sustava u kontroliranom području. Prvo se pripremaju radne lokacije. Potom započinje rad na rastavljanju. Rad se sastoji od dvaju dijelova: rastavljanja sustava i komponenata i rastavljanja preostale infrastrukture u kontroliranom području.

Rastavljanje preostalih sustava i komponenata obuhvaća, među ostalim, čelične konstrukcije, naprave za podizanje, kabele, kabelske i ventilacijske kanale itd. Završno rastavljanje infrastrukture obuhvaća uklanjanje nepotrebnih alata, skela, čeličnih sandučastih nosača itd.

Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora:



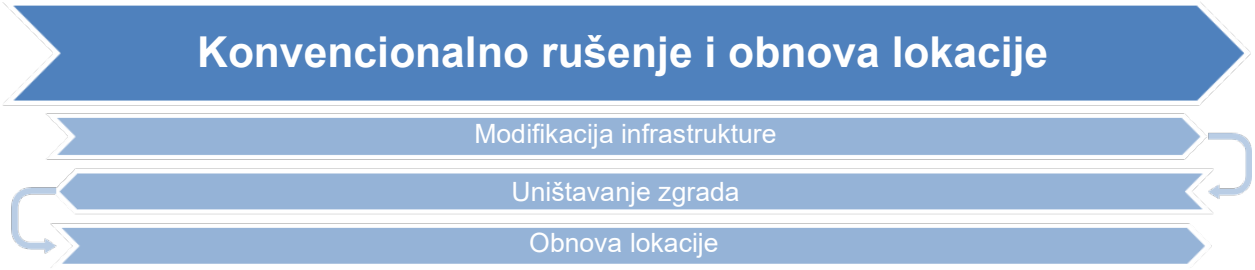
Slika 3-12: Otpuštanje iz nadzora građevinskih konstrukcija u kontroliranom području

Sljedeći korak kritičnog puta je otpuštanje građevinskih konstrukcija u kontroliranom i nadziranom području iz nadzora. Završetkom tog koraka nuklearna elektrana postaje *brownfield* lokacija.

Radni paket dijeli se na aktivnosti dekontaminacije i mjerenja radi otpuštanja iz nadzora. Nakon opsežne radiološke karakterizacije slijedi dekontaminacija građevinskih konstrukcija. To uključuje skarifikaciju površina.

Na kraju se površine ponovno mjere kako bi se potvrdilo da su u skladu s graničnim vrijednostima za otpuštanje. Uz odobrenje nadležnih tijela građevinske konstrukcije otpuštaju se iz nuklearnog nadzora.

Konvencionalno rušenje i obnova lokacije:



Slika 3-13: Konvencionalno rušenje i obnova lokacije

Nakon otpuštanja iz nuklearnog nadzora može započeti konvencionalno rušenje zgrada. Prema specifikaciji za PR NE Krško [12] to počinje nakon prestanka rada SFDS-a i RU-a i otpuštanja tih postrojenja iz nuklearnog nadzora. Radni paket obuhvaća rušenje zgrada i obnovu lokacije.

Najprije se infrastruktura preinačava kako bi se napravilo dovoljno ulaza i izlaza za potrebe prijevoza. Nakon što se isprazne, zgrade se konvencionalno ruše. Kad se jame napune odgovarajućim materijalom, prelazi se na obnovu lokacije i uređenje okoliša. Na kraju se zemljište pretvara u *greenfield* lokaciju.

Raspored projekta razgradnje NE Krško ovisi o potvrdi trajanja aktivnosti razgradnje. Naveden je na kraju poglavlja 5.

4 Upravljanje projektima

Općenito se postavljanje, planiranje, vođenje, nadziranje i završavanje projekata naziva upravljanjem projektima. U projektu razgradnje NE Krško provlači se kroz sve vrste aktivnosti za upravljanje aktivnostima razgradnje te inženjersku, tehničku, sigurnosnu i drugu bitnu podršku u svim fazama projekta. Glavna su ograničenja opseg, vrijeme i proračun u okviru primjenjive regulative.

Projekt razgradnje NE Krško podijeljen je na nekoliko radnih paketa. Aktivnosti koje obuhvaćaju opseg projekta povezane su s radnim paketom, što dovodi do stvaranja WBS-a opisanog u poglavljima 5.2.1 i 5.2.2.

Odabiru se odgovarajuće tehnike i procesi za vremensko planiranje projekta razgradnje. Povezivanjem aktivnosti uspostavlja se slijed za cijeli projekt. Trajanje koraka određuje se prema kadrovskim zahtjevima i kapacitetima, kao i odabranim tehnikama. Redoslijed radova opisan je u poglavlju 3.3.1, a vremenski raspored možete provjeriti u poglavlju 5.2.3.

Ukupni troškovi, troškovi za svaku razinu WBS-a i godišnji troškovi prema rasporedu projekta prezentirani su u poglavlju 8.5.1.

Budući da je NEK odgovoran za sigurnu razgradnju NE Krško, organizacija se treba razvijati pri tranziciji iz operativne faze u fazu razgradnje. Prvi je cilj te tranzicije pobrinuti se da učinkovita i kompetentna organizacija ostane na čelu NE Krško.

Voditelj projekta razgradnje ključno je radno mjesto koje se treba otvoriti u upravi elektrane tijekom tranzicije. Voditelj projekta razgradnje mora se pobrinuti da se projekt provede sigurno i u skladu s očekivanjima NEK-a i njegovih dionika. Na to bi radno mjesto trebali biti izabrani voditelji projekata koji imaju već iskustva s upravljanjem projektima u nuklearnoj industriji. Učinkovit voditelj projekata trebao bi imati sljedeće vještine:

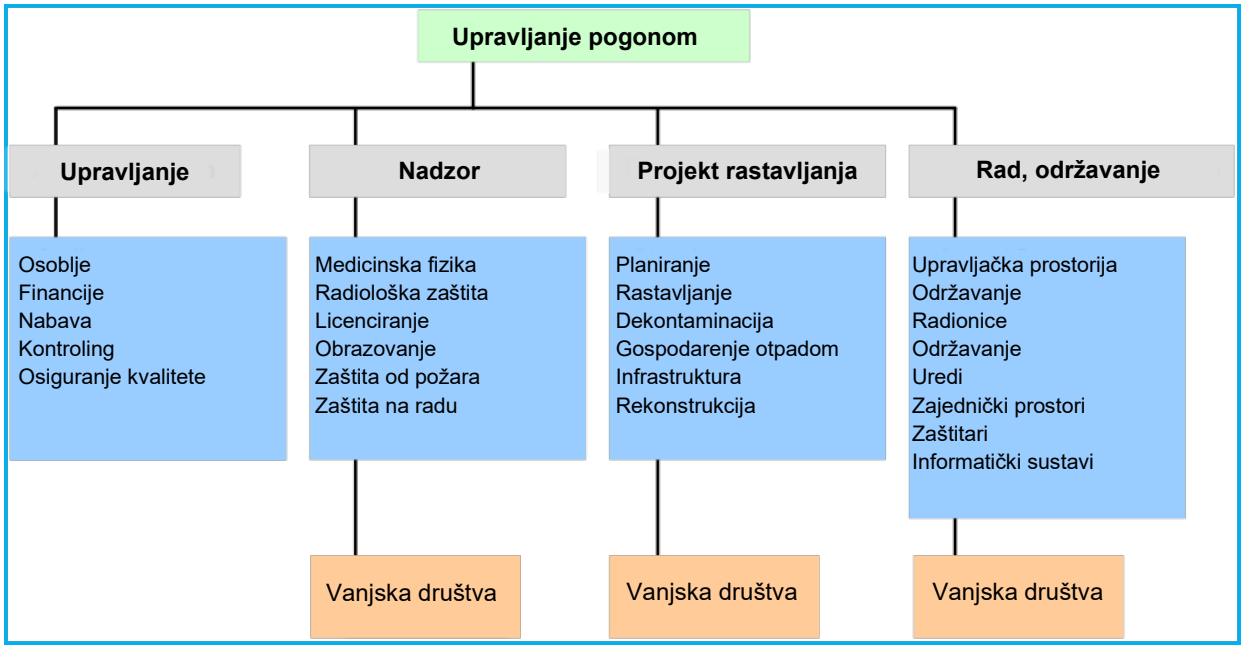
- tehničko znanje o nuklearnim postrojenjima
- upravljanje rizikom
- znanje o razgradnji
- integracijske vještine.

Sveobuhvatno upravljanje bivšim operativnim osobljem još je jedan od ključnih uvjeta za uspjeh projekta razgradnje. Osoblje očito mora sigurno upravljati NE Krško do konačne obustave rade, ali i tijekom razgradnje. Osim toga, ima ključnu ulogu u nekim aktivnostima nakon prestanka rada kao što su uklanjanje goriva ili potpuna dekontaminacija sustava. Nadalje, znanje i iskustvo koje stekne tijekom radnog vijeka vrlo je korisno za planiranje i provođenje razgradnje. Za aktivnosti kao što su uklanjanje istrošenog goriva, dekontaminacija primarnog kruga i gašenje redundantnih sustava potrebna je stručnost pogonskog osoblja postrojenja. Pogonsko osoblje ujedno mora biti upoznato s novim rizicima i promjenama koje predstoje postrojenju. Za razgradnju je potrebna odgovarajuća mješavina iskusnih radnika koji su upoznati s radom elektrane i novih radnika koji imaju iskustva s razgradnjom.

Na Slici 4-1 primjer je organizacije osoblja za projekt razgradnje nuklearne elektrane. Uprava elektrane, uključujući voditelja projekta razgradnje, zadužena je za uspješnu provedbu projekta razgradnje i siguran rad lokacije, kao i za njihovu administrativnu potporu. Odgovarajuće aktivnosti i pretpostavljeni broj članova osoblja nakon konačne obustave rada opisani su u poglavlju 5.2.2.13 „WP 13: Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji” i poglavlju 5.2.2.14 „WP 14: Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije”. Usto, osoblje NEK-a pomaže u aktivnostima razgradnje (npr. inženjering, radiološka zaštita na lokaciji).

Vanjski izvođači iz Slovenije i inozemstva predviđaju se kao podrška za osoblje NEK-a ako su im potrebni radnici s posebnim iskustvom i kvalifikacijama. To se posebno odnosi na radove rastavljanja i dekontaminacije nuklearnih postrojenja, kao i na prošireno gospodarenje otpadnom masom nastalom razgradnjom na lokaciji. Daljinsko rastavljanje aktiviranih komponenata (npr. RPV-a i unutarnjih dijelova) obavljaju strane tvrtke.

Predviđene kvalifikacije i odgovarajuće satnice navedene su u poglavlju 8.4.2, Tablica 8-2. U poglavlju 8.5.2 opisana je potrebna radna snaga za cijeli projekt razgradnje NE Krško.



Slika 4-1: Primjer organizacije za projekt razgradnje nuklearne elektrane

5 Aktivnosti razgradnje

5.1 Tehnike razgradnje

Kad su se prve nuklearne instalacije razgrađivale i rastavljale, dostupne tehnike i alati morali su se prilagoditi posebnim potrebama nuklearnih graničnih uvjeta. U nekim su se slučajevima morale razviti potpuno nove tehnike i alati. Danas ljudi imaju sve više iskustva s velikim brojem tehnika rastavljanja, dekontaminacije i otpuštanja iz nadzora. Sve su potrebne tehnike dostupne i provjerene.

Nisu sve tehnike razvijene u prošlosti zaživjele u praksi. Posljednjih je godina u tijeku proces konsolidacije. Međutim, postoji nekoliko tehnika koje bi moglo biti vrijedno dodatno istražiti. Većina tehnika i alata opisanih u nastavku dostupna je na tržištu i naširoko se upotrebljava.

Budući da se razgradnja NE Krško planira za otprilike dvadeset godina u osnovnim scenarijima, odnosno četrdeset godina u dodatnim scenarijima, tehnike se ne moraju baš istog trenutka odrediti. Međutim, u poglavljima u nastavku pruža se pregled tehnika koje se primjenjuju na razgradnju NE Krško iz današnje perspektive. Nadalje, iskustva stečena primjenom široke palete tehnika u stvarnim projektima razgradnje uzeta su u obzir pri procjeni trajanja i troškova ove studije.

5.1.1 Tehnike rastavljanja

5.1.1.1 Općenito

Danas imamo dosta iskustva s rastavljanjem komponenata u nuklearnim postrojenjima. Nova su otkrića potrebna samo u posebnim slučajevima zbog vrlo osobitih lokalnih uvjeta. Većina je primjenjivih tehnika i alata dostupna na tržištu i široko rasprostranjena.

Ovisno o zahtjevima različitih materijala i radioloških kategorija tijekom projekta razgradnje mogu se primjenjivati razne tehnike rastavljanja opisane u nastavku.

Rastavljanjem se dimenzije komponenata prilagođavaju za:

- unutarnji prijevoz
- dekontaminaciju
- mjerenje za slobodno otpuštanje
- što učinkovitije kondicioniranje i pakiranje u obliku radioaktivnog otpada.

Neke se komponente mogu ukloniti u jednom komadu, npr. spremnici golemog promjera i s niskom razinom ili bez ikakve kontaminacije.

Potrebni su dodatni postupci rezanja u odvojenim stanicama za rezanje kako bi se olakšala dekontaminacija, bolje iskoristili paketi ili olakšala mjerenja za slobodno otpuštanje.

Tehnike rastavljanja potrebne su za sljedeće:

- Rastavljanje na licu mjesta:
  Odnosi se na većinu komponenata i opreme koju treba ukloniti iz postrojenja. Nakon odvajanja od sustava komponente će se dodatno izrezati na prikladnije dijelove. Ti su dijelovi optimizirani za unutarnji prijevoz, lakše rukovanje, dekontaminaciju i naknadno mjerenje za slobodno otpuštanje.
- Daljinsko rastavljanje:
  Odnosi se na unutarnje dijelove reaktora, a katkad i na dijelove biološkog štita, koji se daljinski rastavljaju na licu mjesta. Unutarnji dijelovi reaktora rastavljaju se pod vodom. Izrezani komadi izravno se stavljaju u pakete za odlaganje.

Glavne tehnike rastavljanja predviđene u ovom projektu opisane su u nastavku.

5.1.1.2 Mehaničko rezanje

Mehaničkim rezanjem nazivaju se tehnike kao što su piljenje, rezanje, glodanje, blanjanje, abrazivno rezanje itd. Ti su postupci odvajanja mogući u suhim uvjetima, ali i pod vodom.

Postoje mnogi mehanički alati za rezanje koji zadovoljavaju potrebe razgradnje nuklearnih postrojenja. Obično služe za rezanje cijevi malog promjera ili tankih ploča. Primjenom te tehnike nastaje neznatna količina aerosola i ne nastaje troska (šljaka). Većinom tehnika rezanja može se daljinski upravljati ako daljinska oprema može izdržati sile koje nastaju u postupku rezanja.

Alati se uspoređuju na temelju kriterija kao što su brzina, rukovanje, rez i proizvodnja sekundarnog otpada. Otpadni materijal koji nastaje postupcima odvajanja (krhotine i sl.) tretirat će se kao sekundarni otpad.

U načelu se sve komponente mogu rastaviti mehaničkim postupcima odvajanja. Što je stijenka deblja, to je veće opterećenje, pa su potrebni nosači alata masivne konstrukcije.

Rezanje tračnom pilom

Tračna pila (Slika 5-1) posebno je prikladna za rezanje velikih komponenata s debelim stijenkama. Oprema treba prostora za unošenje velikih komponenata, uklanjanje odrezanih dijelova, kao i za poprečni put pile te za intervencije i održavanje (npr. zamjenu trake pile).

Komponenta koja se reže stavlja se na stol, pričvršćuje stezaljkama pa se prinosi listu pile ako pila nema pomični okvir za piljenje. Za neke komponente može biti potrebna potkonstrukcija za pričvršćivanje odrezanog komada i preostale komponente kako bi se izbjegli problemi pri rezanju (padanje komada, vibracije itd.).

Velikim se komponentama obično rukuje dizalicom. Njome se, među ostalim, mogu ukloniti odrezani komadi.

Kad se biraju zamjenske rezne trake, važan je parametar, naravno, učinkovitost rezanja, ali je pri odabiru reznih traka u prvom planu životni vijek trake.



Slika 5-1: Tračna pila (izvor: NE Kahl)

Strugotine nastale rezanjem kontaminiranih ili aktiviranih komponenata uklonit će se na mjestu nastanka (usisavanjem) ili će se voditi (pločama za vođenje) i skupiti kako bi se bez problema uklonile.

Na ukupno vrijeme rezanja utječu čimbenici kao što su stvarno vrijeme rezanja, ali i neproduktivno vrijeme (vrijeme rukovanja, zastoji zbog održavanja i popravka). Omjer stvarnog vremena rezanja i neproduktivnog vremena ovisi o geometriji i debljini komponente.

Kutna brusilica

Kutne brusilice služe za uklanjanje prepreka ili glomaznih dijelova kao što su nosači, sitasti umetci, zaglavljeni vijci, matice itd. s komponenata uz relativno umjeren napor stroja i radne snage. Međutim, nisu uvijek najbolji alat za to.

Dijamantna kružna pila

Maksimalna debljina koja se može rezati kružnom pilom ovisi o promjeru pile i općenito odgovara otprilike trećini njezina promjera.

Najveća proizvedena pila namijenjena je rezanju betonskih bioloških štitova u energetskim reaktorima i ima promjer od 2,5 m te može rezati armirani beton debljine 1 m. Oštrica te pile pomiče se 180 mm u minuti, što daje učinak rezanja od deset kvadratnih metara po satu. Oštrica se mora mijenjati otprilike jednom svakih 200 kvadratnih metara, što je otprilike jednom svakih 20 sati rada. Alat teži 2,5 Mg, što podrazumijeva korištenje opreme za rukovanje i navođenje prilagođene postojećim uvjetima u radnoj zoni. Na tržištu se mogu lako nabaviti pile svih promjera, koje mogu biti prijenosne ili na daljinsko upravljanje. Pogonski motori kružne pile obično su hidraulički ili pneumatski.

Onečišćenje okoliša korištenjem dijamantne pile je malo, a prikladne su za rezanje betona. Dobre su za probijanje betonskih zidova, podova i stropova po konkurentnoj cijeni i s minimalnim štetnim učincima. Teže ih je postaviti kad se režu debljine veće od 30 cm jer su tad zbog težine i obujma strojeva potrebne posebne prilagodbe opreme za rukovanje i navođenje.

Dijamantna žična pila

Dijamantna žična pila ima sve prednosti kružnih pila i omogućuju rezanje većih debljina. U teoriji je debljina ograničena time što sajla mora proći točno oko komada koji se reže. Pogonski motor mora biti dovoljno snažan da nadvlada nastalo trenje razmjerno duljini reza (širina je konstanta).

Žičanom pilom može se rezati armirani beton, ali i jednostavne debele čelične konstrukcije ako nisu sklone zaglavljivanju. Žice imaju male oštrice.



Slika 5-2: Žica za rezanje s dijamantnim reznim elementima i oprugama za razmak (izvor: Wikipedija)

Žicom se može rezati na suho ili mokro. Suho rezanje sporije je od mokrog (50 % učinka), ali sprječava stvaranje mokrog otpada čije je uklanjanje skupo. S druge strane, potrebno je usisavanje rez i vodilice žice iz dobrog smjera zasebnom ventilacijskom jedinicom.

Tehnika rezanja žicom dobro je poznata u konvencionalnoj industriji i može poslužiti za glatko i precizno rezanje uz minimalan utjecaj na okoliš od npr. udara, vibracija, buke, iskri i prašine, i manje stvaranje sekundarnog otpada. Petlja se sastavlja od žice specifične duljine za određeni zadatak. Dijelovi moraju biti približno jednako istrošeni jer će inače najmanje istrošeni dijelovi odrađivati sav posao i imati mnogo kraći vijek trajanja. Stoga je važno voditi ažurnu evidenciju o korištenju žice.

Hidraulične škare

Hidraulične škare dobre su za rezanje dijelova u obliku cijevi ili manje čelične opreme (kutnih profila, ravnih šipki, malih T-profila). Na tržištu su dostupne škare s tlakom od 400 bara i silom rezanja do 400 kN.



Slika 5-3: Hidraulične škare (izvor: EWN)

U slučaju daljinskog upravljanja potrebno je motriti sile rezanja i pripadajuće momente kako bi se spriječila oštećenja alata za rukovanje na daljinsko upravljanje.

5.1.1.3 Toplinsko rezanje

Postupci toplinskog rezanja uključuju, na primjer, rezanje acetilenom, rezanje plazmom, elektrolučno rezanje kisikom i žičanom elektrodom. Komponente se odvajaju primjenom visoke toplinske energije. Općenito je toplinsko rezanje vrlo učinkovito. Omogućuje rezanje debelog čelika, jednostavno je za upotrebu i izvedivo pod vodom. Toplinsko rezanje moguće je i u slučaju složene geometrije. Što je stijenka deblja, to je primjena toplinskih procesa teža.

S druge strane, toplinskim rezanjem nastaju plin, dim i aerosoli zbog kojih treba ugraditi sustave za filtraciju i ventilaciju, što pak povećava troškove rezanja. Toplinsko rezanje „u zraku" proizvodi prašinu i aerosole koji mogu kontaminirati okolne površine. To se može izbjeći ili obuzdati dodatnim ventilacijskim sustavima i/ili kesonima. Voda učinkovito zadržava „podvodne" čestice i aerosole, ali se s njom mora postupati kao s radioaktivnim otpadom.



Slika 5-4: Toplinsko rezanje (izvor: EWN)

Plinsko (autogeno) rezanje

Plinsko (autogeno) rezanje tehnika je toplinskog rezanja koja se izvodi loživim plinom (npr. acetilenom ili propanom) u kombinaciji s kisikom. Plamen zagrijava metalni obradak do temperature paljenja. Nakon toga metal sagorijeva u snopu reznog kisika. Materijal koji se namjerava rezati mora ispunjavati sljedeće zahtjeve:

- Materijal mora reagirati s kisikom u egzotermnom procesu.
- Temperatura paljenja materijala mora biti niža od njegova tališta. Pri temperaturama iznad temperature paljenja toplina izgaranja premašuje raspršenu toplinu. Meki čelik, koji je pogodan za rezanje plamenom, ima temperaturu paljenja oko 1150 °C.
- Talište nastalih oksida mora biti niže od tališta materijala.
- Viskoznost troske mora biti što niža.
- Toplinska vodljivost materijala trebala bi biti što niža.
- Energija proizvedena izgaranjem mora biti što viša.

Zbog tih je ograničenja plinsko (autogeno) rezanje ograničeno na meki čelik, titanij i molibden. Nehrđajući čelik i ostali neželjezni metali nisu pogodni za rezanje plamenom bez dodatnog ubrizgavanja praha. Meki čelik može se rezati na maksimalnu debljinu veću od 2000 mm.

Postoje mnogi primjeri rezanja komponenata tom tehnikom toplinskog rezanja, npr. poklopac RPV-a u NE-u Gundremmingen A, RPV-ovi u NE-u Stade, NE-u Zion ili NE-u San Onofre.

Elektrolučno rezanje plazmom

Toplinska plazma je visoko zagrijani vodljivi plin ili smjesa plinova koja se sastoji od iona, elektrona i neutralnih atoma ili molekula. Jednoatomni plinovi kao što su argon i helij, višeatomni plinovi kao što su dušik i vodik te njihove smjese ili zrak mogu se upotrebljavati kao plazmeni plinovi.

Luk plazme sužava se bakrenom mlaznicom. Toplinski i električni učinci štipaljke (engl. *pinch effect*) rabe se za postizanje temperatura koje su znatno više od temperatura dobivenih s otvorenim lukovima opisanima u prethodnom poglavlju. Maksimalna temperatura u unutarnjem luku plazme može doseći otprilike 20 000 K ili više.

U praktičnim primjenama preneseni luk služi gotovo isključivo za rezanje i erodiranje vodljivih materijala. Neprenesenim lukom mogu se rezati bilo koji materijali, tj. i nevodljivi materijali, ali se znatno manje energije prenosi na komad koji se obrađuje.

Za potrebe razgradnje razvijeni su modularni plamenici za rezanje koji omogućuju daljinsku zamjenu istrošenih dijelova uz primjenu manipulatora. Stoga se najistrošeniji dijelovi, tj. mlaznica i elektroda, mogu lako zamijeniti, a plamenik prilagoditi pojedinim zadacima rezanja. To usto omogućuje prebacivanje između ravnih i koljenastih uređaja za rezanje. Takvi uređaji moraju biti što manji jer služe za rezanje skučenih, složenih konstrukcija.

U atmosferi se može postići maksimalna debljina reza od 172 mm za nehrđajući čelik, 150 mm za meki čelik i 80 mm za aluminij.

Za potrebe razgradnje elektrolučno rezanje plazmom najraširenija je tehnika toplinskog rezanja aktiviranih komponenata. Tehnika se od 1963. primjenjuje na nizu projekta.

5.1.1.4 Hidrauličko rezanje

Tehnike hidrauličkog rezanja mogu se primjenjivati na metalnim konstrukcijama i betonu. Postoji široka lepeza tehnika. Za ovaj je projekt najzanimljivija tehnika visokotlačne vode u kojoj se visokotlačnom vodenom mlazu dodaju abrazivni aditivi.

Korišteni se abrazivi ne regeneriraju jer se veličina zrna mijenja, pa aditivi više nisu za upotrebu. Korišteni se aditivi uklanjaju zajedno s materijalom iz rupe i s njima se postupa kao s radioaktivnim otpadom.

Tehnika se može primjenjivati u zraku ili pod vodom na stijenkama debljine do 300 mm. Neke od njezinih prednosti su mala količina prašine i emisija aerosola.

WAS tehnika

Primjenom postupka rezanja abrazivnom vodenom suspenzijom (WAS) uz pomoć vodenog mlaza i oštrog abrazivnog materijala, po mogućnosti vrlo sitnog granatnog pijeska, mogu se učinkovito i precizno odvojiti čak i iznimno čvrsti čelici debljine do 30 cm i armirani beton do metra debljine, kao i niz drugih materijala.

Postupak se ističe time što se rezovi izvode beskontaktno bez većeg stvaranja topline ili deformacija neovisno o kojem je materijalu riječ, a moguće ih je izvoditi i na daljinu, i to na udaljenostima većima od 1000 m. Nastaju samo vrlo tanke razdjelne linije uz malu količinu sekundarnog otpada.

Važni su dijelovi opreme visokotlačna crpka, jedinica za miješanje abrazivnog materijala, visokotlačna crijeva i mlaznica za rezanje promjera od 0,5 do 1,3 mm. Vodeni mlaz i abrazivni

materijal guraju se kroz mlaznicu za rezanje. Ovisno o predviđenoj primjeni i zahtjevima dostupna je oprema za rezanje s rasponom tlaka od 450 do 2500 bara. Vodeni mlaz sastoji se od vode (92,5 %) i abrazivnog materijala (7,5 %) u slučaju dvofaznog sustava ili zraka (90 %), vode (6 %) i abrazivnog materijala (4 %) u slučaju trofaznog sustava.

Prednosti WAS rezanja:

- hladno rezanje bez toplinskog utjecaja
- brza i precizna strojna obrada minerala, uključujući nevodljivih materijala
- uska širina reza
- jednostavno rukovanje alatima za rezanje
- jednostavna zamjena alata
- jednostavan pristup radi intervencija.

5.1.1.5 Tehnike daljinskog upravljanja

Za rad na aktiviranim ili iznimno kontaminiranim komponentama može biti potrebno daljinsko upravljanje. Postoji nekoliko tehnika kao što su teleskopska greda, samozatvarajući prstenasti nosači, električni nadređeni/podređeni manipulatori i posebni alati za podizanje i držanje. Ti su alati na daljinsko upravljanje nosači za mehaničke, hidrauličke ili toplinske alate za rezanje.

Upotrebljavat će se alati dostupni na tržištu, ali će se možda morati prilagoditi lokalnim uvjetima. Bitno je da imaju sljedeće značajke:

- jednostavno rukovanje alatima za rezanje
- jednostavna zamjena alata
- jednostavan pristup radi intervencija
- jednostavno rukovanje izrezanim dijelovima radi ispiranja i pakiranja
- jednostavna daljnja obrada (rezanje na licu mjesta ili na posebnom mjestu za rezanje).

5.1.1.6 Zaštitne mjere

Zaštitne mjere služe kao pomoć pri rastavljanju i smanjenju izlaganja zračenju osoblja zaduženog za rastavljanje. Zaštita može biti privremena ili trajna.

Privremene zaštite postavljaju se za pojedinačne, pa čak možda i kratke aktivnosti. Obično se sastoje od zaštitnih zidova izrađenih od pojedinačnih elemenata koji se mogu brzo postaviti i ukloniti.

Trajne zaštite i oprema poput kesona služe kao zaštita od izravnog zračenja, ali stvaraju i kontroliranu okolinu sa zasebnim ventilacijskim sustavom kako bi se izbjeglo širenje prašine/ aerosola.

Voda također može pružiti adekvatnu zaštitu. Pod vodom se, na primjer, alatima na daljinsko upravljanje rastavljaju unutarnji dijelovi RPV-a.

5.1.2 Tehnike dekontaminacije

Dekontaminacija je važan dio projekta razgradnje. Dekontaminacijom se može prije i tijekom radova na razgradnji smanjiti razina zračenja kojemu je izloženo osoblje zaduženo za rastavljanje. Dekontaminacija nakon rastavljanja služi za smanjivanje količine radioaktivnog otpada. Dakle, primjenjuje se u sljedećim područjima:

- potpuna dekontaminacija sustava (FSD)

- popratna dekontaminacija tijekom rastavljanja[5]
- dekontaminacija rastavljenih komponenata i konstrukcija
- dekontaminacija građevinskih konstrukcija
- dekontaminacija alata i opreme
- dekontaminacija opreme za prijevoz i paketa.

Odabir tehnika dekontaminacije ovisi o očekivanom rezultatu, trajanju postupka dekontaminacije, sekundarnom otpadu i očekivanom izlaganju osoblja zračenju. Moraju se uzeti u obzir i geometrija materijala te njegova površinska i fizička svojstva.

Tehnike dekontaminacije u nastavku usmjerene su na čišćenje površina rastavljenih komponenata i opreme. Svrha je da se kontaminacija spusti ispod razine za slobodno otpuštanje iz radiološkog nadzora.

5.1.2.1 Potpuna dekontaminacija sustava (FSD)

Dekontaminacija primarnog sustava, tzv. potpuna dekontaminacija sustava (FSD), jedan je od prvih zadataka nakon gašenja reaktora. FSD se obavlja na licu mjesta dok su sve cijevi i komponente još na mjestu. Sustav se ispire kemijskim sredstvom za dekontaminaciju. Svrha je FSD-a smanjiti razinu zračenja tijekom pripreme i izvođenja radova na rastavljanju.

Iskustvo pokazuje da FSD primarnog rashladnog sustava daje i do 100 puta bolje rezultate od onih koji se postižu tehnikom intenzivne dekontaminacije. U ovoj se studiji konzevativno pretpostavlja sigurno smanjenje kontaminacije za faktor 10. Dakle, FSD-om se uklanja 90 % kontaminacije primarnog sustava. Ta se količina kontaminacije skuplja kao sekundarni otpad i posebno obračunava. Pri izračunu radioaktivnog inventara za materijale obrađene FSD-om uzima se u obzir samo 10 % od ukupne kontaminacije nakon konačne obustave rada.

FSD-om se smanjuje razina zračenja tijekom razgradnje i rastavljanja komponenata primarnog kruga:

- RPV-a
- parogeneratora
- cijevi i crpki primarnog rashladnog kruga
- tlačnika
- odušnog spremnika tlačnika.

U svim se dostupnim tehnikama upotrebljavaju kemijske tekućine, npr. permanganatna kiselina. Primarni krug se puni kemijskom tekućinom kako bi se dekontaminirao. Opisuju se dva poznata procesa:

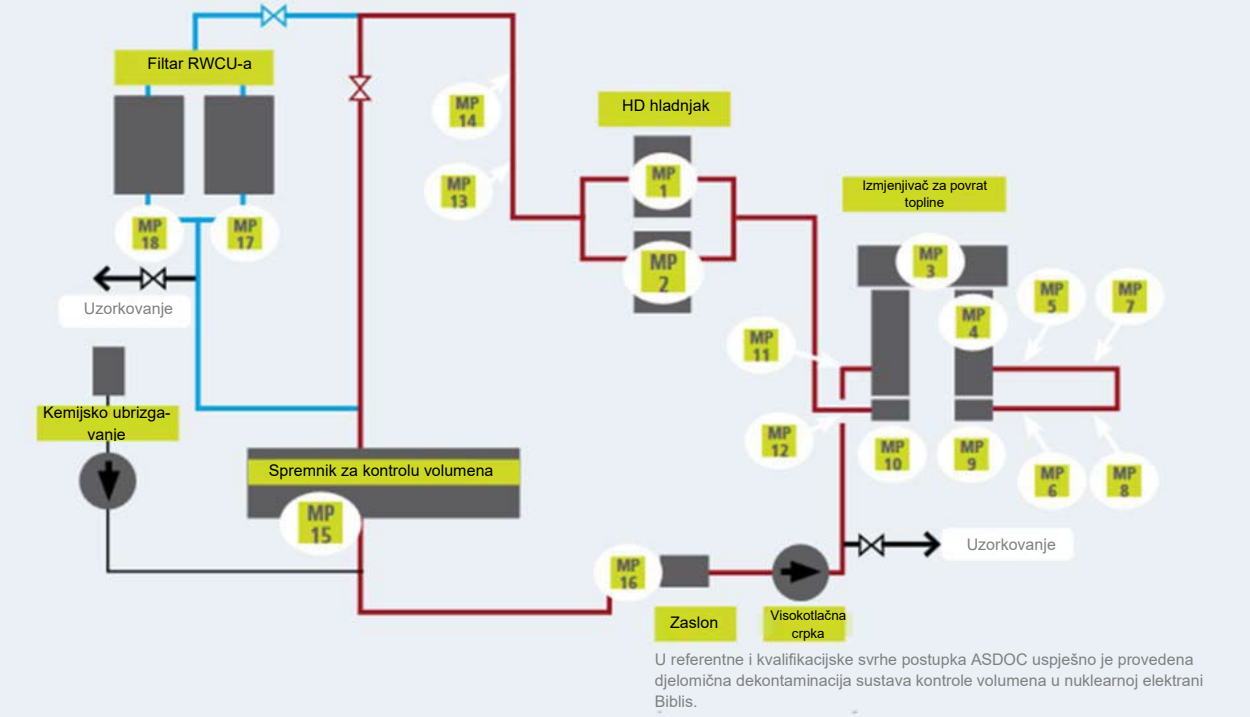
- proces kemijske dekontaminacije ASDOC (NIS)
- koncept CORD® (Framatome).

Proces kemijske dekontaminacije ASDOC (NIS):

ASDOC (napredna dekontaminacija sustava kemijskom oksidacijom, tj. engl. *Advanced System Decontamination by Oxidizing Chemistry*) služi se poznatim i dostupnim procesnim kemikalijama u znatno smanjenoj koncentraciji i s izmijenjenom operativnom logikom. Kemijski koncentrati ubrizgavaju se u primarni sustav reaktora kroz postojeće instalacije za doziranje. Pro-

[5] To su radovi na dekontaminaciji u radnom području prije/tijekom/poslije radova na rastavljanju. Može biti potrebna za smanjenje razine zračenja ili održavanje čistoće radnog područja i sprječavanje širenja kontaminacije.

cesne otopine kruže u primarnom sustavu uobičajenim radom sustava reaktora. Kao i u normalnoj elektrani pogonsko osoblje zaduženo za održavanje elektrane upravlja sustavima elektrane potrebnima za dekontaminaciju. NIS daje potrebne parametre za, na primjer, postupke doziranja, propusnosti i temperature. Otopljeni ioni i nuklidi iz površinskih oksidiranih slojeva primarnog sustava uklanjaju se postojećim sustavom ionskih izmjenjivača za pročišćavanje vode. ASDOC se može prekinuti i ponovno pokrenuti u bilo kojem trenutku bez taloženja, na primjer, kemijskih spojeva. Proces dekontaminacije koji je podijeljen na nekoliko koraka obrade može se točno prekinuti na granici između oksidiranog sloja i dijelova osnovnog materijala. Time se svakako može spriječiti nenamjerno oštećenje osnovnog metala i posljedično povećanje količine otpada.



Slika 5-5: Dijagram tijeka ASDOC-a

Proces pokazuje da se uklanjanje oksidnih slojeva može kontrolirano izvesti i pratiti. To je rezultat precizne i ograničene količine ispuštenih kemikalija. Nakon svakog koraka u okviru procesa korištene se kemikalije konvertiraju u skladu sa stehiometrijskim omjerima. Stoga u ciklusu dekontaminacije nema viška kemikalija. Oksidni slojevi otapaju se tijekom svakog koraka procesa, a to se postiže gotovo konstantnim brzinama ablacije. Ne dolazi do oslobađanja čestica. Koraci procesa mogu se ponoviti nekoliko puta dok se ne postigne željeni rezultat dekontaminacije. Distribucija aktivnosti na metalnim površinama može se time smanjiti do granične vrijednosti za otpuštanje. Budući da nema vanjskih komponenata koje se moraju sastavljati ili rastavljati, akumulirana brzina doze operatera tijekom dekontaminacije iznosi nekoliko millisieverta. Zahvaljujući preciznoj kontroli procesa ASDOC može se postići dekontaminacija za faktor > 75.

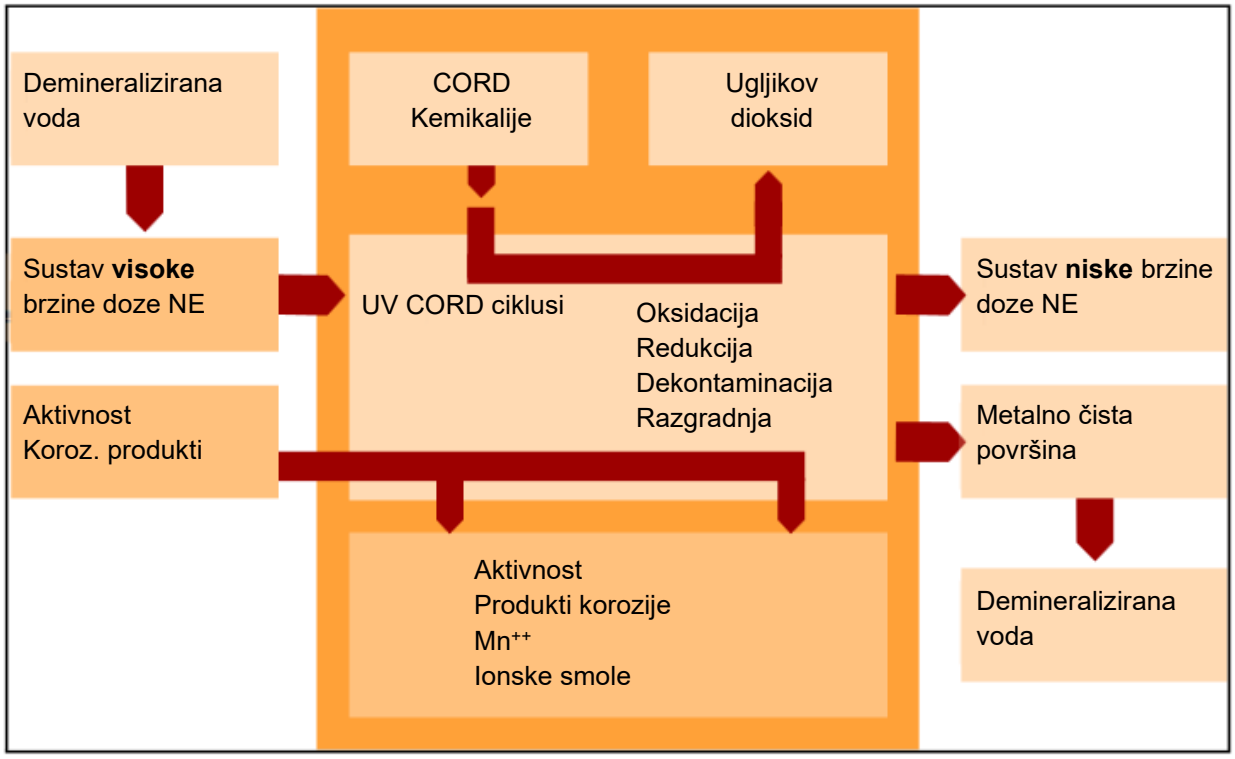
Koncept CORD®:

Općenito se standardne dekontaminacije sustava izvode primjenom procesa HP/CORD UV zajedno s Framatomeovom mobilnom opremom za dekontaminaciju AMDA kao vanjskim sustavom za dekontaminaciju. Uobičajene primjene:

- dekontaminacija komponenata
- dekontaminacija (pod)sustava

- FSD.

Proces HP/CORD UV može poslužiti i za dekontaminaciju sustava s mješavinom osnovnih materijala kao što su nehrđajući/ugljični čelik.

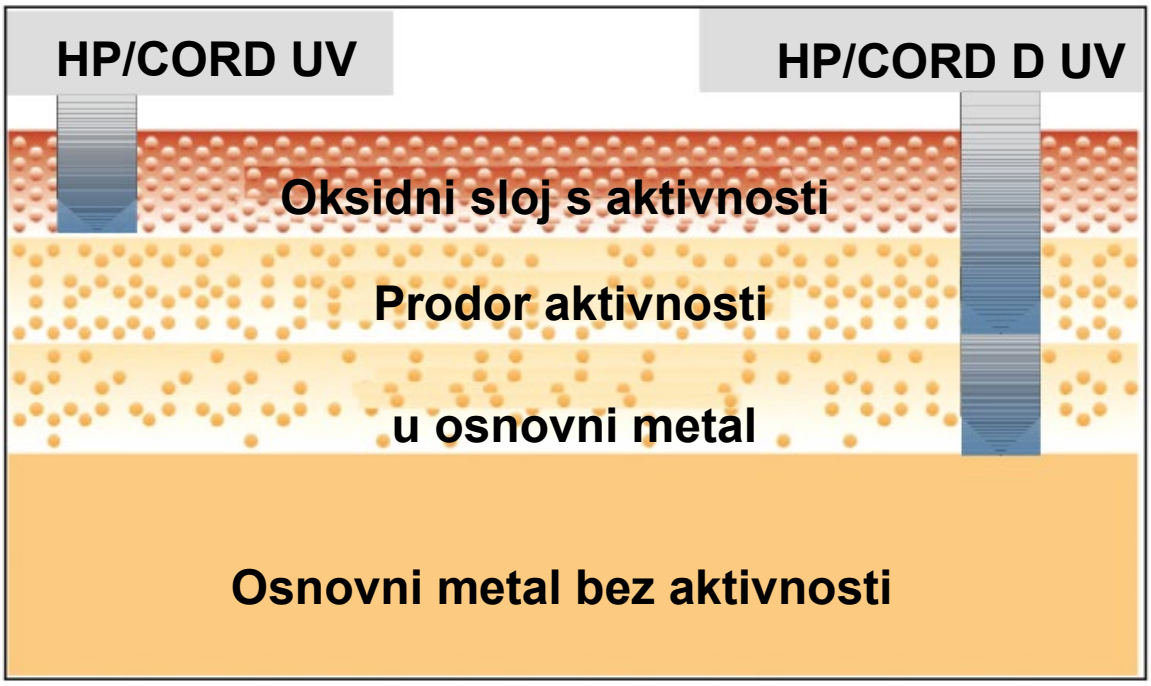


Slika 5-6: Logistika procesa HP/CORD UV

Proces HP/CORD UV, kao i svi najsuvremeniji procesi dekontaminacije iz obitelji CORD, primjenjuje se kao proces s više ciklusa u skladu s ciljevima dekontaminacije. Cijeli se proces obavlja sa samo jednim punjenjem vode. Svaki je ciklus podijeljen na sljedeće korake:

- 1. korak: oksidacija visokim tlakom
- 2. korak: smanjenje visokog tlaka i kemijska dekontaminacija
- 3. korak: dekontaminacija
- 4. korak: UV razgradnja kemikalija za dekontaminaciju i čišćenje.

Zaobilazno pročišćavanje (engl. *bypass purification*) provodi se tijekom koraka dekontaminacije kako bi se otopljeni produkti aktivnosti i korozije ulovili na smolama za ionsku izmjenu. Na kraju koraka dekontaminacije odvija se *in situ* UV razgradnja preostalih kemikalija za dekontaminaciju. Kemikalije za dekontaminaciju razgrađuju se na vodu i ugljikov dioksid dok je pročišćavanje preostalih produkata aktivnosti i korozije u tijeku. Tim postupkom voda u sustavu na kraju ciklusa postiže čistoću koja je kvalitetom slična demineraliziranoj vodi. Proces HP/CORD UV ne zahtijeva izvođenje unaprijed određenog broja ciklusa. Broj ciklusa dio je prilagođenog koncepta u skladu sa zadanim zadacima i ciljevima dekontaminacije. HP/CORD D UV (proces razvijen za posebne zahtjeve razgradnje) može se primijeniti u posljednjem ciklusu razgradnje za uklanjanje aktivnosti koja je prodrla u osnovni metal. To se uklanjanje aktivnosti može ostvariti kontroliranim napadom na osnovni metal s preciznošću od 0,1 µm. Kontrolirani napad na osnovni metal ostvaruje se samo ciljanim smanjenjem redoks-potencijala otopine za dekontaminaciju. Tako logistika procesa HP/CORD UV (kao što su korištene kemikalije ili koraci procesa) ostaje nepromijenjena (Slika 5-7).



Slika 5-7: Načela procesa HP/CORD UV – HP/CORD D UV

5.1.2.2 Mokra dekontaminacija

Ta je tehnika dobro poznata za nenuklearne primjene, a služi za površinske kontaminacije. Voda pod visokim tlakom raspršuje se po površini. Mogu se čistiti i složene površine. Troši se mala količina aditiva.



Slika 5-8: Mokra dekontaminacija visokotlačnom vodom (izvor: EWN)

Primjenjivost tehnike mokre dekontaminacije postaje ograničena kad je kontaminacija kemijski vezana za površinu ili prodrla u nju. U tom se slučaju savjetuje tehnika uklanjanja površine.

Kako bismo obuhvatili sve tehnike, u ovom se dokumentu spominje jednostavno pranje deterdžentima, što je također vrsta mokre dekontaminacije.

5.1.2.3 Mehanička dekontaminacija

Metode mehaničke dekontaminacije mogu se klasificirati ili kao čišćenje (npr. metenje, brisanje, ribanje) ili uklanjanje površine (npr. pjeskarenje, skarifikacija, bušenje i ljuštenje).

Postupci se kreću od jednostavnog četkanja čeličnim četkama do abrazije i mehaničkog uklanjanja površina, primjerice pjeskarenjem. Postupci se primjenjuju na vanjskim, lako dostupnim površinama svih materijala s rastresitim, prašinastim ili tvrdokornim kontaminacijama. Volumen sekundarnog otpada relativno je mali jer se abrazivna sredstva, na primjer, mogu nanijeti nekoliko puta. Moguća je djelomična dekontaminacija površina kako bi se uklonile tzv. kritične točke. Mehanička dekontaminacija može se upotrebljavati kao alternativa kemijskoj dekontaminaciji, istodobno s kemijskom dekontaminacijom ili nakon kemijske dekontaminacije.

Mehanička dekontaminacija može se primijeniti samo na dostupnim površinama. Potreban je veliki angažman ljudi. Osim toga, potrebno je provesti brojne mjere protiv širenja prašine. Tehnika obrade mlazom metalnih komadića obično se naziva pjeskarenjem. U toj se tehnici koristi abrazivnim materijalima suspendiranima u mediju koji se izbacuje na površinu koja se obrađuje. Time se postiže ravnomjerno uklanjanje površinske kontaminacije. Abrazivi se mogu prenositi stlačenim zrakom, vodom ili nekom njihovom kombinacijom. Uklonjeni površinski materijal i abraziv skupljaju se i stavljaju u odgovarajuće spremnike za obradu i/ili odlaganje.

Obrada mlazom metalnih komadića pogodna je za većinu površinskih materijala osim onih koje bi abraziv mogao razbiti kao što su staklo ili pleksiglas. Najučinkovitija je na ravnim površinama, a s obzirom na to da se abraziv raspršuje, primjenjiva je i na teško dostupnim područjima kao što su stropovi ili područja iza opreme. Doduše, prepreke u blizini zida ili pričvršćene za njega moraju se ukloniti prije početka primjene i potrebno je poduzeti mjere opreza za stabilizaciju, neutralizaciju ili uklanjanje zapaljivih kontaminanata zato što neki abrazivi mogu izazvati detonaciju nekih materijala. Tijekom postupka pjeskarenja može nastati statički elektricitet. Zato bi trebalo uzemljiti komponentu koja se čisti. Dostupne su i jedinice na daljinsko upravljanje.

U suhim uvjetima mogu biti potrebne mjere za kontrolu prašine kako bi se obuzdala prašina i/ili kontaminacija u zraku. Problem se može ublažiti postavljanjem vakuum-filter sustava na radnom području. Ovisno o primjeni, kao abrazivna sredstva mogu se upotrebljavati sljedeći materijali:

- minerali (npr. magnetit ili pijesak)
- čelične kuglice
- staklene kuglice/frita
- plastične kuglice
- prirodni proizvodi (npr. rižine ljuske ili mljevene ljuske orašastih plodova).



Slika 5-9: Dekontaminacija suhom obradom mlazom (izvor: EWN)



Slika 5-10: Kavez za obradu mlazom u NE-u Kahl

5.1.2.4 Tehnike skarifikacije

Skarifikacijom se fizički stružu obložene i neobložene betonske i čelične površine. Postupkom skarifikacije uklanjaju se gornji slojevi kontaminiranih površina dok se ne dođe do čistih, nekontaminiranih površina. Današnji napredni skarifikatori nisu samo vrlo pouzdani alati nego i daju željeni profil za novu površinsku obradu ako se odobri neograničeno korištenje. Skarifikatori mogu potpuno ukloniti kontaminirane obloge s čeličnih površina, uključujući okujinu, i

ostaviti goli metal na površini. Da bi se postigao željeni profil i rezultati uklanjanja kontaminiranog betona, provodi se postupak struganja, dok se čelik dekontaminira postupkom skarifikacije igličastim čekićem.

5.1.2.5 Kemijska dekontaminacija

U kemijskoj dekontaminaciji koncentrirana ili razrijeđena otapala nanose se na kontaminirani predmet radi otapanja osnovnog metala ili kontaminiranog sloja koji ga prekriva. Otapanje sloja ne bi trebalo oštetiti osnovni metal i obično se upotrebljava za operativna postrojenja. Otapanje osnovnog metala treba uzeti u obzir samo ako se predmet više nikad neće ponovno upotrebljavati. Kemijsko ispiranje preporučuje se za daljinsku dekontaminaciju netaknutih cjevovodnih sustava (primarni sustav). Kemijska dekontaminacija pokazala se učinkovitom alternativom djelomičnom ili potpunom uklanjanju i kad je riječ o smanjenju radioaktivnosti velikih površina poput podova i zidova.

Učinkovitost metoda kemijske dekontaminacije ovisi o agresivnosti otapala, trajanju i temperaturi.



Slika 5-11: Kemijska dekontaminacija (izvor: EWN)

Prednosti su kemijske dekontaminacije to što je pogodna za nedostupne površine, zahtijeva manje radnih sati, može dekontaminirati procesnu opremu i cjevovode na licu mjestu, a obično se može obaviti i na daljinu. Kemijska dekontaminacija ujedno stvara malo opasnih tvari koje se prenose zrakom, upotrebljava kemijske agense koji su lako dostupni, proizvodi otpad koji se može obraditi na daljinu i općenito omogućuje recikliranje tekućina za pranje nakon daljnje obrade. U tim se procesima kao sredstva za dekontaminaciju upotrebljavaju otapala, kiseline i lužine. Rezultat dekontaminacije dosta ovisi o agresivnosti, trajanju reakcije, temperaturi reakcije i materijalu. Ako se kombiniraju, uglavnom su najučinkovitiji postupci u dva koraka.

Nedostaci su kemijske dekontaminacije to što nije učinkovita na poroznim površinama, proizvodi velike količine otpada, stvara miješani otpad i može prouzročiti koroziju i sigurnosne probleme ako se pogrešno primijeni. Osim toga, zahtijeva različite reagense za različite površine i kontrolu odvodnje, izgradnju opreme za skladištenje i skupljanje kemikalija i prema potrebi rješavanje pitanja kritičnosti. Drugi su nedostaci dugo trajanje reakcije, smanjenje učinka sredstva za dekontaminaciju nakon povećanja zasićenosti kemikalijama i velika količina sekundarnog otpada. Obrada i kondicioniranje sekundarnog tekućeg otpada također mogu biti prepreka pri ispunjavanju kriterija prihvatljivosti otpada.

5.1.2.6 Dekontaminacija taljenjem

U postupku D&D-a taljenje se može smatrati metodom dekontaminacije. Dok se talina (koja čini glavni maseni protok) djelomično dekontaminira, aktivnost će se akumulirati u troski, prašini i oblozi peći. Ta se raspodjela aktivnosti može do određene mjere regulirati dodavanjem materijala koji stvaraju trosku. Zarobljavanje aktivnosti unutar tekuće troske može se smatrati vrstom ostakljivanja.

Posebna je prednost taljenja njegov „dekontaminacijski" učinak na Cezij-137, hlapljivi element s vremenom poluraspada od trideset godina. Cs-137 nakuplja se tijekom taljenja u prašini koju skupljaju ventilacijski filtri i uklanja. U lijevanom je željezu dominantni preostali nuklid (za većinu reaktorskog otpada) Kobalt-60 (Co-60). Taj element ima vrijeme poluraspada od samo 5,3 godine. Drugi preostali nuklidi imaju čak i kraće vrijeme poluraspada. Zato se lijevano željezo s razumno niskom koncentracijom aktivnosti može uskladištiti za slobodno otpuštanje u doglednoj budućnosti.

Prašina je radioaktivni otpad. Prašina odvojena elektrostatičkim filtrima skupljat će se i puniti u iste pakete kao i troska od taljenja. Filtarske uloške iz ventilacijskog sustava u otpad odlaže operator talionice.

Taljenje kontaminiranog čelika u posebnim postrojenjima za reciklažu razvilo se kao nova industrija. Količina aktivnog metalnog otpada svodi se na najmanju moguću mjeru provjerenim tehnikama. U brojnim se postrojenjima kontaminirani metali i dandanas tale u industrijskim razmjerima, među ostalim u:

- postrojenju CARLA, Siempelkamp, Njemačka (Slika 5-12, Slika 5-13)
- Postrojenju za taljenje Cyclife, Švedska
- Postrojenju za taljenje Energy Solutions, SAD
- postrojenju INFANTE, Marcoule, Francuska
- postrojenju Scientific Ecology Group (SEG), Oak Ridge, SAD
- Postrojenju za taljenje Capenhurst, Ujedinjeno Kraljevstvo
- tvrtki Manufacturing Sciences Corporation (MSC), Oak Ridge, SAD.

Međutim, ne nude svi navedeni objekti ili postrojenja usluge taljenja vanjskim tvrtkama.

Opremom za taljenje rukuje se u kontroliranim područjima u skladu sa sigurnosnim mjerama predostrožnosti, uključujući filtriranu ventilaciju i nadzor zaštite od zračenja. S troskom i prašinom prikupljenom u filtrima postupa se kao s radioaktivnim otpadom.

Siempelkamp

Metallurgie

Recikliranje radioaktivno kontaminiranih metala taljenjem

CARLA



Recikliranje materijala „CARLA"

- Početak rada 1989.
- Postrojenje za taljenje odobreno prema odj. 12. njemačkog Zakona o zaštiti od zračenja za obradu radioaktivnih materijala
- Licencija U 1734/19 koju je izdalo državno tijelo Bezirksregierung Düsseldorf, datum izdavanja 26. 8. 2019.
- Licencija prema njemačkom Zakonu o kontroli imisija za maks. godišnju količinu taljenja od 4000 t

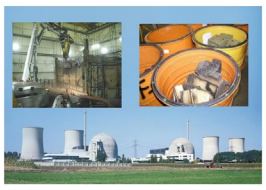
CARLA
Središnje postrojenje za recikliranje nisko radioaktivnog otpada

- ***Glavni su ciljevi sljedeći:***
- Recikliranje
- Smanjenje volumena
- Dekontaminacija
- Sigurno zatvaranje preostale aktivnosti

Siempelkamp 2

Recikliranje materijala „CARLA"

Podrijetlo materijala



- Podrijetlo materijala iz rada, nadogradnje i razgradnje licenciranih objekata:
  - Nuklearne elektrane
  - Radiokemijski laboratoriji
  - Istraživački instituti
  - Postrojenja za proizvodnju goriva
  - Postrojenja za obogaćivanje
  - Centri za obradu i odlaganje otpada

diljem svijeta

Siempelkamp 3

Recikliranje materijala „CARLA"

Materijal



Obrada

- **Teški metali**
  – ugljični čelik / željezo
  – nehrđajući čelik
  – pocinčani čelik
  – obloženi čelik
- **Laki metali**
  – aluminij
  – bakar
  – mjed
  - olovo
- **Složeni materijal**
  – dvokomponentni materijal npr. nehrđajući čelik / olovo

Siempelkamp 4

Recikliranje materijala „CARLA"

Tehnička i vremenska ograničenja



Odobreni godišnji kapacitet taljenja:

4000 t

Iskoristivi godišnji kapacitet:

2000 t

Licencirana vremena skladištenja na lokaciji SMG-a:

– zalihe: 3 godine
– lijevano željezo: 5 godina
– otpad: 1 godina
– skladište za raspad lijevanog željeza na lokaciji:

20 godina

Siempelkamp 5

Recikliranje materijala „CARLA"

Tehnička i vremenska ograničenja

Najveća bruto težina spremnika:

24 t

Preferirani materijali:

– općenito: površinski kontaminirani metali
– za recikliranje: ugljični čelik
– za prodaju nakon otpuštanja:

nehrđajući čelik
bakar
mjed
aluminij
olovo

Preferirani nuklidi u uzorku:

– U, Pu, Am, Th, Pa, Sr, Cs, Ag, Eu, C, H
(visok učinak dekontaminacije taljenjem)

– Fe, Ni
(visoka ograničenja otpuštanja)

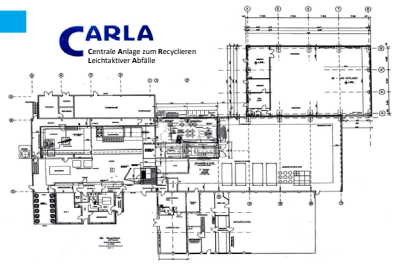
– Co
(kratko vrijeme poluraspada)

Siempelkamp 6

Recikliranje materijala „CARLA"

Skica

CARLA
Centrale Anlage zum Recyclieren Leichtaktiver Abfälle



Siempelkamp 7

Slika 5-12: Talionica CARLA (Siempelkamp, 1. stranica)

Recikliranje materijala „CARLA”

Razvrstavanje i rezanje



- Razvrstavanje po kriterijima specifičnima za postupak ili klijenta.
- Toplinsko i mehaničko smanjenje veličine velikih komponenti dimenzija do 2,5 m × 2,5 m × 12 m
- Uređaji
  - škare za otpad
  - plamenik s plazmom
  - pomoćni alati
  - stroj za pjeskarenje

Siempelkamp

Recikliranje materijala „CARLA”

Stroj za pjeskarenje



- Stroj za pjeskarenje za prethodnu dekontaminaciju metala
  - Površinska dekontaminacija materijala do Ø 900 mm duljina 1100 mm težina 400 kg
  - Povećanje kvote otpuštanja nakon taljenja

Siempelkamp

Recikliranje materijala „CARLA”

Taljenje



- Taljenje u srednjofrekvencijskoj indukcijskoj peći od 3,2 tone
- Homogenizacija elektromagnetski induciranom cirkulacijom
- Lijevanje u lijevano željezo od 0,5 tona
- Količina taljenja do kraja 2022.: pribl. 42 000 tona



Siempelkamp

Recikliranje materijala „CARLA”

Uzorkovanje i analiza



- Uzorkovanje svih dobivenih materijala tijekom postupka (ovdje kao primjer za prašinu, trosku i metale)
- Geometrija uzorka odgovara kalibracijskim normama

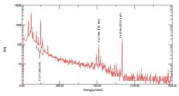
Siempelkamp

Recikliranje materijala „CARLA”

Uzorkovanje i analiza



- Uzimanje reprezentativnih uzoraka svih materijala
- Analiza standardiziranih uzoraka u laboratoriju SMG, akreditiranom u skladu s normom DIN EN ISO/IEC 17025, gamaspektrometrijom
- Osiguravanje sveobuhvatne radiološke dokumentacije
- Zadržani uzorci svih frakcija moraju se pohraniti do kraja svakog projekta.



Siempelkamp

Recikliranje materijala „CARLA”

Referencije za materijale



Materijal:

- **Teški metali** **94 %**
  - ugljični čelik / željezo
  - nehrđajući čelik
  - pocinčani čelik
  - obloženi čelik
- **Laki metali** **5 %**
  - aluminij
  - bakar i mjed
  - olovo
- **Složeni materijal** **1 %**
  - dvokomponentni materijal npr. nehrđajući čelik / olovo

Siempelkamp

Recikliranje materijala „CARLA”

Podaci za kontakt



Siempelkamp Metallurgie GmbH
Siempelkampstrasse 45
47803 Krefeld – Njemačka
www.siempelkamp.com

Kontakt: Thomas Kluth
Telefon: +49 (0) 2151 / 894-299
Telefaks: +49 (0) 2151 / 894-488
E-adresa: Thomas.Kluth@siempelkamp.com

Siempelkamp

Slika 5-13: Postrojenje za taljenje CARLA (Siempelkamp, 2. stranica)

5.1.3 Oprema za mjerenje radioaktivnosti

Mjerenje površinske kontaminacije izravnim mjerenjem

Za izravno mjerenje mjerni uređaj treba pristup površini materijala. U tehničkim priručniku opisuju se stavke kao što su udaljenost između mjernog uređaja i mjerenog materijala, faktor prigušenja koji se upotrebljava i trajanje mjerenja. Upute za kalibraciju uzet će u obzir vrstu materijala, stanje površine i pretpostavljenu dubinu prodiranja kontaminacije.

Ako se zna da je distribucija kontaminacije prilično homogeno raspoređena, tada se uzorci mogu uzeti s reprezentativnih površina.

Mjerenje površinske kontaminacije neizravnim mjerenjem

Takva mjerenja obično služe za preliminarne preglede. Ispituju se uzorci materijala (komadi materijala, uzorci dobiveni bušenjem) i/ili površinski uzorci (dobiveni grebanjem ili brisanjem). Analiza može biti prilagođena određenom nuklidu. Uobičajene su tehnike analiza gama-nuklida i tehnika mjerenja tekućinske scintilacije. U nekim se slučajevima moraju napraviti posebne analize za izvore zračenja koji ne ispuštaju gama-zračenje (izvori alfa-zračenja ili potpunog beta-zračenja).

Mjerenje ukupnog gama-zračenja

Uređaji za mjerenje ukupnog gama-zračenja mjerit će cijele materijale. Podaci o rezultatima mjerenja obradit će se u specijaliziranom softveru kako bi se zajamčilo da su dosegnute razine za slobodno otpuštanje, a sva će se mjerenja i odluke zabilježiti tako da budu sljedivi.

Mjerenje reprezentativnih uzoraka

Katkad je (posebno u slučaju mjerenja radi odlučivanja o rasutom materijalu ili tekućinama) bolje mjeriti specifičnu aktivnost na uzorcima materijala. U tom će se slučaju uzeti i izmjeriti reprezentativni uzorci. Za velike volimene materijala optimalno rješenje može biti kombinacija uzorkovanja i izravnog mjerenja.

Mjerenje gama-zračenja in situ

Infrastruktura (kao što su dijelovi građevinskih konstrukcija ili vanjska područja: zemlja, ceste) može se mjeriti gama-spektrometrijom *in situ*. U tom se slučaju, na primjer, cijele prostorije ili površine prostorije mjere odjednom. Pritom se pretpostavlja da je prethodno ispitivanje pokazalo da je distribucija kontaminacije dovoljno homogena i da je poznata dubina prodiranja kontaminacije.

Mjerenje gama zračenja po nuklidima (gama-spektrometrija)

Gama-spektrometri za određene nuklide mogu odjednom mjeriti gama-emitere na cijelim šaržama. Rezultat je spektar cijele šarže s dodatnim informacijama o raspodjeli aktivnosti u šarži. Taj je postupak složeniji od mjerenja ukupnog gama-zračenja, ali daje više informacija.

Ručni uređaji za praćenje

Ručni uređaj za praćenje beta/gama-kontaminacije namijenjen mjerenju radioaktivne površinske kontaminacije temelji se na visokoučinkovitoj tehnologiji proporcionalnog brojila ispunjenog ksenonom ili drugoj dokazanoj tehnici.

Tehnika pruža iznimno visoku osjetljivost i za beta-zračenje i za gama-zračenje. Instrument je stoga savršen za mjerenje radionuklida koji emitiraju fotone, koji su širokorasprostranjeni u nuklearnim postrojenjima.

Softver tih uređaja za praćenje nudi mnoge korisne načine rada, složene funkcije, programe i pristup svim parametrima za iskusne korisnike. Konfiguracija instrumenta za nekvalificirane korisnike može se postaviti kao jednostavan ili čak iznimno jednostavan sustav. Nadzornik može odobriti pristup samo odabranim izbornicima, funkcijama ili parametrima u korisničkim profilima u skladu s posebnim potrebama lokacije. Instrument ima memoriju za pohranu izmjerenih vrijednosti i dvosmjernu serijsku RS232 komunikaciju. To omogućuje preuzimanje programa, preuzimanje parametara, daljinsko upravljanje i prijenos podataka na računalo ili pisač.

Detektori germanija

Detektori germanija su poluvodičke diode koje imaju P-I-N strukturu s intrinzičnim (I) slojem osjetljivim na ionizirajuće zračenje, posebno na rendgenske zrake i gama-zrake. U nepropusnoj polarizaciji električno polje proteže se kroz intrinzični ili osiromašeni sloj.

Kad fotoni međudjeluju s materijalom unutar osiromašenog obujma detektora, nastaju nosioci naboja (šupljine i elektroni) koje električno polje prenosi na P i N elektrode. Taj naboj, koji je razmjeran energiji koju u detektor polaže dolazni foton, pretvara se u naponski impuls integralnim pretpojačalom osjetljivim na naboj. Budući da germanij ima relativno mali energijski procijep, ti se detektori moraju hladiti kako bi se proizvodnja toplinske energije nosilaca naboja (tj. struja odvoda pri nepropusnoj polarizaciji) svela na prihvatljivu razinu. Inače, šum izazvan strujom odvoda uništava energijsku razlučivost detektora. Uobičajeni je rashladni medij za takve detektore je tekući dušik, koji ima temperaturu od 77 K.

Detektor se montira u vakuumsku komoru koja je pričvršćena ili umetnuta u Dewarovu posudu s tekućim dušikom ili električni hladnjak. Osjetljive površine detektora tako su zaštićene od vlage i kondenzirajućih kontaminanata.

Pretpojačala za detektore germanija

Postoje samo dva osnovna tipa pretpojačala za detektore germanija. To su pretpojačala osjetljiva na naboj koja se temelje na metodi dinamičke obnove naboja (povratna veza otpornika i kondenzatora) ili impulsne obnove naboja (resetiranje optičkim impulsima ili tranzistorom) za pražnjenje integratora.

Pretpojačala koja se resetiraju optičkim impulsima često se mogu pronaći na detektorima niske energije, kojima je razlučivost najvažnija značajka. Uklanjanjem otpornika povratne veze smanjuje se šum bez ozbiljnog utjecaja na vrijeme sve dok je prosječna energija po događaju niska do umjerena.

Pri 5,9 keV po događaju pretpojačalo može obraditi gotovo 1000 impulsa između resetiranja. Budući da je vrijeme oporavka za resetiranje dvije-tri širine impulsa pojačala, u toj se situaciji gubi malo podataka. Sustavi s optičkom povratnom vezom mogu, međutim, imati dugo vrijeme oporavka zbog površinskih stanja aktiviranih svjetlom u tranzistorima s učinkom polja (engl. *Field Effect Transistor*, FET).

Problem se može umanjiti odgovarajućim odabirom komponenata i postupanjem s njima, ali je u određenoj mjeri općenito prisutan u impulsnim optičkim sustavima. Pri visokim energijama, kad je potrebno vrlo često resetiranje (možda nakon samo deset događaja), taj lažni odgovor može biti ozbiljan problem. Zato se impulsni sustavi optičke povratne veze u pravilu ne upotrebljavaju s koaksijalnim detektorima.

Pretpojačalo koje se resetira tranzistorom razvijeno je u pokušaju da se svladaju prepreke povezane s pretpojačalima koja se resetiraju optičkim impulsima u sustavima visoke energije i brzine. Kondenzator za povratnu vezu prazni se tranzistorskim sklopom povezanim s upravljačkom elektrodom (engl. *gate*) FET-a. Tranzistor dodaje ponešto električnog kapaciteta i šuma u ulazni krug, ali je to podnošljivo u većini primjena s velikim brojem događaja ili razinama energije. U usporedbi s RC pretpojačalom s odabranim otpornikom povratne veze za visoke performanse, pretpojačalo koje se resetira tranzistorom manje će šumiti, ali će žrtvovati vrijeme jer će pojačalo trebati dvije-tri širine impulsa da se oporavi od periodičkog resetiranja.

Mjerenja u stanicama za slobodno otpuštanje

Odluke o slobodnom otpuštanju donosit će se na temelju mjerenja ukupne gama-aktivnosti. Korištena mjerna oprema i softver bit će fleksibilni kako bi se mogli prilagoditi posebnim slučajevima, a moći će otkriti sve lokalne koncentracije aktivnosti.

Budući da će vektori nuklida biti složeni, prvo će se odrediti ključni nuklidi, koji će imati fiksne razine za slobodno otpuštanje. Odabrana mjerna tehnika omogućit će dokazivanje da su bitni nuklidi ispod razine za slobodno otpuštanje.

Ovisno o vrsti i svojstvima materijala propusnost je oko 10 Mg dnevno. Iskustvo pokazuje da se u prosjeku više od 90 % materijala predanog za slobodno otpuštanje može slobodno otpustiti bez ograničenja ili kao konvencionalni otpad.

5.1.4 Slobodno otpuštanje komponenata, opreme, zgrada i lokacije

5.1.4.1 Vrste slobodnog otpuštanja

Slobodno otpuštanje iz nuklearnog nadzora

U većini slučajeva izraz „slobodno otpuštanje" znači slobodno otpuštanje iz nuklearnog nadzora kako je regulirano propisima o zaštiti od zračenja [18]. Provest će se mjerenja kako bi se dokazalo da su komponente, šarže, građevinske konstrukcije, područja itd. ispod maksimalnih dopuštenih granica. Upute koje treba slijediti i ograničenja kojih se treba pridržavati opisat će se u okviru radnog postupka. Nadležna tijela mogu provjeriti i izmjeriti materijale koji se slobodno otpuštaju. Materijal može napustiti lokaciju samo nakon što ga nadležna tijela službeno slobodno otpuste.

Slobodno otpuštanje za transport

Potvrda da paketi otpada zadovoljavaju kriterije za prijevoz radioaktivnog materijala je posebna vrsta slobodnog otpuštanja. Obavit će se mjerenja kako bi se dokazalo da su pojedinačni paketi ispod granica za odvoz, a izmjerit će se i cijela šarža (npr. kamion s nekoliko paketa otpada). Upute koje treba slijediti i ograničenja kojih se treba pridržavati opisat će se u okviru radnog postupka. Paketi otpada mogu napustiti lokaciju samo nakon što ih nadležna tijela službeno potvrde, odnosno slobodno otpuste za prijevoz.

5.1.4.2 Načelo za slobodno otpuštanje iz nuklearnog nadzora

Pripremit će se posebno načelo za slobodno otpuštanje za lokaciju kao temelj za slobodno otpuštanje materijala s kontroliranog područja. Načelo za slobodno otpuštanje obuhvatit će pravne aspekte, bitne izvatke iz dozvole za razgradnju, ugovore s vlastima, opis postupaka mjerenja i slobodnog otpuštanja te dokumentaciju rezultata i odluka.

5.1.4.3 Zahtjevi koji se trebaju ispuniti za slobodno otpuštanje

Za komponente i opremu vrijede drukčiji zahtjevi i postupci za slobodno otpuštanje nego za građevinske konstrukcije i lokaciju.

Stacionarna oprema za slobodno otpuštanje služi za komponente i opremu. Dijelovi se prema potrebi režu i dekontaminiraju pa otpremaju u mjernu stanicu za odluku o otpuštanju.

Operator lokacije pripremit će radne upute za slobodno otpuštanje komponenata i opreme. Riječ je o iscrpnim dokumentima koji se temelje na načelu slobodnog otpuštanja. Sadržavaju sve tehničke i praktične pojedinosti kojih se treba pridržavati, na primjer:

- U odnosu na proizvod:
  - vrste materijala podložne slobodnom otpuštanju
  - fizički, kemijski i radiološki kriteriji prihvatljivosti za mjernu stanicu
  - paketi koji se moraju upotrebljavati.
- U odnosu na mjerenja:
  - mjerni uređaji koji se moraju upotrebljavati
  - postavke (raspon mjerenja, osjetljivost, trajanje mjerenja itd.)
  - granice kojih se treba pridržavati.
- U odnosu na dokumentaciju:
  - obrasci koji se moraju upotrebljavati
  - podaci koji se moraju zabilježiti
  - potpisi, širenje, arhiviranje
  - interakcije s nadležnim tijelima (informacije nadležnih tijela, mjesta čekanja, neovisna mjerenja, provjere)
  - upućivanja na druge dokumente kojih se treba pridržavati (npr. upućivanja na upute za kalibraciju mjerne opreme).

Isto vrijedi za građevinsku šutu, betonske blokove itd. koji su ostali od rastavljanja u kontroliranom području kako je opisano u sljedećim poglavljima:

- 5.1.4.5 „Rastavljanje građevinskih konstrukcija unutar primarnog kontejnmenta”
- 5.1.4.6 „Slobodno otpuštanje građevinskog betona na temelju mase”.

Zgrade, vanjska područja i lokacija slobodno se otpuštaju na drugi način. I za tu će se vrstu slobodnog puštanja biti izraditi radne upute. Mjerenja će se provoditi na licu mjesta mobilnom mjernom opremom. To je opisano u sljedećim poglavljima:

- 5.1.4.7 „Dekontaminacija zgrada i slobodno otpuštanje nuklearnih zgrada”
- 5.1.4.8 „Slobodno otpuštanje nenuklearnih zgrada”
- 5.1.4.9 „Slobodno otpuštanje vanjskih područja”
- 5.1.4.10 „Otpuštanje jedinice iz nuklearnog nadzora”.

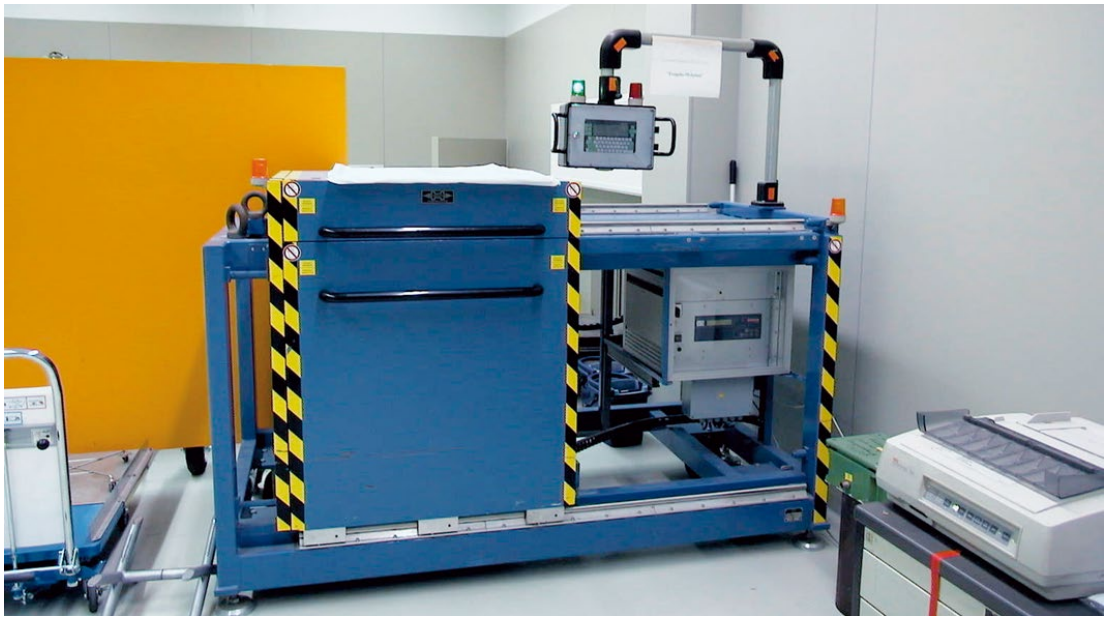
Kao što je prethodno opisano za komponente i opremu, radne upute sadržavat će podrobne opise potrebnih radnji. Međutim, postoji razlika: ako komponenta ne prođe slobodno otpuštanje, može se odbaciti i proglasiti radioaktivnim otpadom. To nije prihvatljivo rješenje za zagrade. Stoga će u slučaju zgrada, vanjskih područja i lokacije u radnim uputama biti opisano što učiniti u određenim okolnostima, na primjer:

- Što učiniti s građevinskim spojevima?
- Što učiniti s pukotinama u betonu?
- Što učiniti s ugrađenim cijevima?
- Što učiniti u slučaju bilo kakvog drugog nalaza?

Radne upute sadržavat će podrobne upute o tome kako postupiti u različitim okolnostima. Na primjer, kad je riječ o slobodnom otpuštanju zgrade za konvencionalno rušenje (otpuštanje zgrade iz nuklearnog nadzora), velika je razlika je li to reaktorska zgrada ili nuklearna pomoćna zgrada (za koju je sasvim sigurno da postoje kontaminirane betonske konstrukcije) ili turbinska zgrada (u kojoj je vjerojatno došlo do male lokalne kontaminacije) ili zgrada za posjetitelje (u kojoj se uopće ne očekuje kontaminacija). Stoga će se radne upute koje treba slijediti razlikovati od zgrade do zgrade (ili čak od okoline zgrade do okoline zgrade) u skladu s njihovom namjenom i povijesti.

5.1.4.4 Slobodno otpuštanje komponenata i opreme

Komponente i oprema za slobodno otpuštanje prema potrebi se režu i dekontaminiraju pa otpremaju u mjernu stanicu za odluku o otpuštanju. Mjerenja za otpuštanje provode se na šaržama. Poštovat će se postupci slobodnog otpuštanja i zabilježit će se sva mjerenja. Dijelovi koji se ne mogu slobodno otpustiti uklonit će se iz šarže i vratiti u stanicu za kondicioniranje otpada.



Slika 5-14: Mjerno postrojenje za slobodno otpuštanje komponenata (izvor: NE Kahl)



Slika 5-15: Metalni materijal koji je slobodno otpušten za reciklažu (izvor: NE Kahl)

Dokumentacija za šaržu predočit će se nadležnim tijelima ili njihovim predstavnicima. Oni će provjeriti dokumentaciju i obaviti neovisna mjerenja. Nakon što je nadležno tijelo slobodno otpusti, šarža se otpušta iz nuklearnog nadzora i može se maknuti s lokacije.

5.1.4.5 Rastavljanje građevinskih konstrukcija unutar primarnog kontejnmenta

Građevinske betonske konstrukcije unutar primarnog kontejnmenta poseban su slučaj. Nakon dekontaminacije zgrade, rastavljaju se u kontroliranim uvjetima, a komadi i ruševine šalju se na mjerenje i slobodno otpuštanje (kao da su rastavljene komponente). Tijekom tih građevinskih radova na rastavljanju osigurat će se statička stabilnost preostalih konstrukcija.

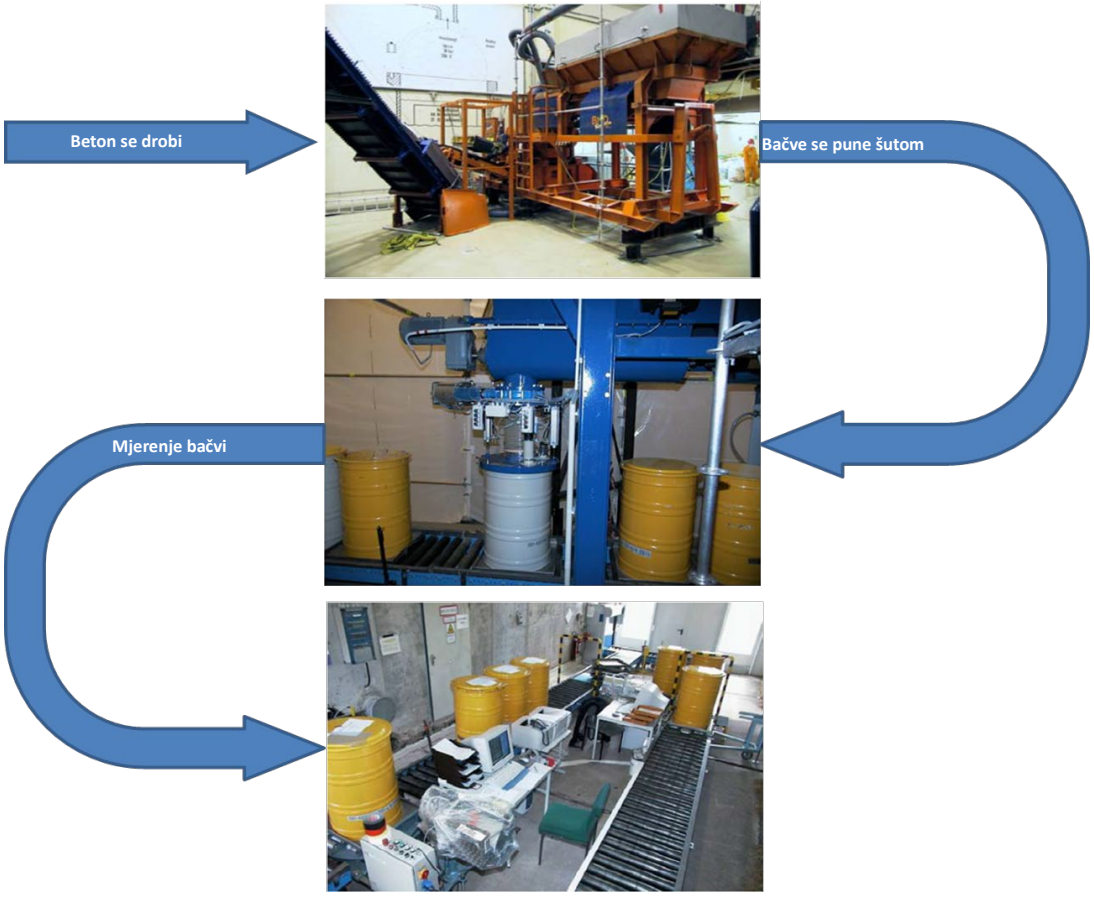


Slika 5-16: Rastavljanje betona unutar kontejnmenta

Nakon što se uklone čelične obloge na unutarnjoj površini primarnog kontejnmenta, na unutarnjoj i vanjskoj površini primarnog kontejnmenta moći će se obaviti radiološka mjerenja. Te se konstrukcije vjerojatno mogu slobodno otpustiti kao cjelina i nakon slobodnog otpuštanja zgrade rastaviti u konvencionalnim (nenuklearnim) uvjetima. Prema potrebi će se izbušiti rupe za uzimanje uzoraka iz betona kako bi se dokazalo da se konstrukcija može slobodno otpustiti kao cjelina.

5.1.4.6 Slobodno otpuštanje građevinskog betona na temelju mase

Rastavljeni beton koji je kandidat za slobodno otpuštanje bit će usitnjen, a šuta će se staviti u bačve radi lakšeg rukovanja, smanjivanja količine prašine i omogućavanja mjerenja na temelju mase.



Slika 5-17: Mjerenja na temelju mase za slobodno otpuštanje rastavljenog betona



Slika 5-18: Slobodno otpušteni beton za punjenje jama

5.1.4.7 Dekontaminacija zgrada i slobodno otpuštanje nuklearnih zgrada

Građevinske konstrukcije izvan metalne obloge primarnog kontejnmenta prema potrebi će se dekontaminirati i slobodno otpustiti na licu mjesta. Rastavljanje se tad može obaviti u uobičajenim uvjetima.

Kad se s određenog mjesta maknu sve komponente i oprema, a preinačeni sustavi ventilacije i opskrbe medijima ostanu u funkciji (zrak pod pritiskom, električna energija i rasvjeta), to se područje odvaja od ostatka kontroliranog područja.

Karakterizacija koja se obavlja unaprijed

Operator će obaviti podrobnu radiološku karakterizaciju kako bi utvrdio vektore nuklida i lokalizirao kontaminaciju. Na površinama će se označiti površine koje se trebaju izmjeriti i mjerna mreža za konkretna mjerenja. Karakterizacija će se u prvom redu obaviti potpunim skeniranjem površina uobičajenim alatima kao što su Contamat[6] ili Scintomat[7].



Slika 5-19: FHT 111 CONTAMAT®



Slika 5-20: SCINTOMAT® Hx model: 6134A

Na nekim će se mjestima uklanjanjem betonskih slojeva ili bušenjem jezgre uzimati uzorci koji će se mjeriti u laboratoriju. Druga mjesta kao što su ugrađene čelične ili sidrene ploče mogu biti prikladna za testove brisanja (engl. *wipe tests*). Rezultati će se zabilježiti u izvještaju o početnom stanju. Neke su ilustracije prikazane u nastavku (Slika 5-21 i Slika 5-22).

[6] CONTAMAT® je zaštićeni znak tvrtke Thermo Fisher Scientific (www.thermo.com/rmp). Contamat je mjerač alfa-zračenja, beta-zračenja i gama-zračenja s mogućnošću istodobnog mjerenja alfa-zračenja i beta-zračenja.
[7] SZINTOMAT® (poznat na engleskom kao SCINTOMAT) zaštićeni znak tvrtke Automess GmbH (www.automess.de). Scintomat je mjerač fotona (gama-zračenja i rendgenskih zraka).



Slika 5-21: Beton u kontroliranom području tijekom radiološke karakterizacije



Slika 5-22: Utvrđene i označene kritične točke

Podrobno planiranje dekontaminacije zgrada

Izvještaj o početnom stanju osnova je za podrobno planiranje mjerenja dekontaminacije zgrada. Podrobnim planiranjem obuhvatit će se:

- popis kritičnih točaka koje se moraju na početku ukloniti
- mjesta koja se moraju dekontaminirati i opseg te dekontaminacije
- debljinu betonskog sloja koji se mora ukloniti
- što točno učiniti na mjestima na kojima se kontaminacija zavukla u pukotine
- mjesta s kojih će se beton ukloniti i u koju svrhu (za slobodno otpuštanje na temelju mase ili za pakiranje kao radioaktivnog otpada).

Podrobno planiranje konkretnih mjerenja dekontaminacije provjerit će i odobriti nadležno tijelo.

Površinska dekontaminacija

Površinska dekontaminacija obavlja se u trima koracima:

- Prvo se uklanjaju površinske kritične točke.
- Zatim se obrađuju površinski diskontinuiteti (zabetonirane tračnice za sidrenje, cilindrični zatici, elementi za pričvršćivanje).
- Na kraju dolazi na red skarifikacija površine.

Tehnike skarifikacije opisane su u poglavlju 5.1.2.4.



Slika 5-23: Priprema za skarifikaciju: skidanje cilindričnih zatika

Uklanjanje dublje kontaminacije

Dublja kontaminacija može se, na primjer, pronaći u:

- dubljim diskontinuitetima
- pukotinama i prolazima za cijevi
- građevinskim spojevima
- uskim mjestima ili oknima.

Dekontaminacija se provodi uklanjanjem materijala ručnim pneumatskim čekićima, bušilicama, malim bagerima s dlijetom, a katkad i čeličnom užadi.



Slika 5-24: Uklanjanje dublje kontaminacije

Uklanjanje aktiviranog ili velikih količina kontaminiranog materijala

Veće količine materijala mogu se ukloniti bagerom s dlijetom, a katkad i čeličnom užadi. U nekim se slučajevima uklanjaju cijeli zidovi ili podovi.



Slika 5-25: Uklanjanje velikih količina: lijevo bager, desno čelično uže

Takav materijal ispunjava kriterije za slobodno otpuštanje na temelju mase.

Karakterizacija za slobodno otpuštanje

Nakon što se završe radovi na dekontaminaciji, operator će obaviti konačnu karakterizaciju *in situ* gama-spektrometrijom i mjerenjima uređajem Contamat na teško dostupnim mjestima.

Na određenim se točkama pripremaju i mjere dubinski profili.



Slika 5-26: Mjerenja za slobodno otpuštanje

Rezultati će se zabilježiti u "izvještaju o konačnom stanju". To će se predočiti nadležnim tijelima zajedno sa zahtjevom za slobodno otpuštanje.

In situ gama-spektrometrijom može se mjeriti nepovršinska radioaktivnost koja je iznimno važna u slučaju pukotina ili na građevinskim spojevima. Kalibracija se može prilagoditi konkretnoj situaciji. Gama-emiteri otkrivaju se selektivno, a prag za prepoznavanje male doze gama-zračenja (Am-241) vrlo je nizak.

Provjere koje obavlja nadležno tijelo

Nadležna tijela provjerit će papire i dokumente, ali će obaviti i vlastita neovisna mjerenja. Na kraju će slobodno otpustiti područja ili zgrade, što znači da više neće biti dio kontroliranog područja. Slobodno otpuštanje službeni je akt.

5.1.4.8 Slobodno otpuštanje nenuklearnih zgrada

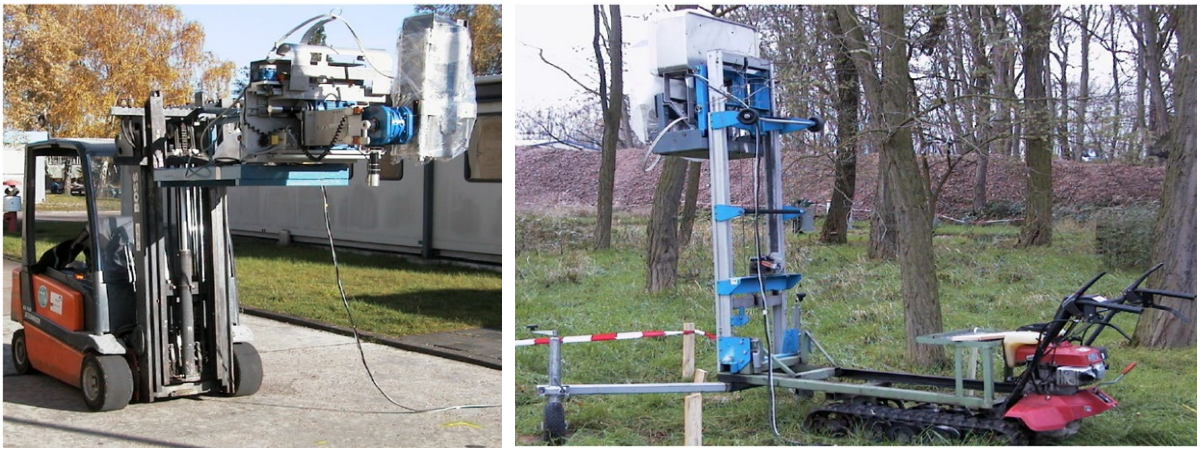
Nenuklearne zgrade mogu se razvrstati na:

- zgrade koje očito nikad nisu bile kontaminirane (npr. upravne zgrade)
- zgrade za koje se ne može sa sigurnošću tvrditi da nikad nisu bile kontaminirane (zgrade sa sustavima bez potencijalne kontaminacije)
- zgrade s nezanemarivim rizikom od kontaminacije (turbinske zgrade).

U okviru pripreme slobodnog otpuštanja nenuklearnih zgrada operator mora pripremiti izvještaj s obrazloženjem u kojem opisuje operativnu povijest zgrade i rizik od kontaminacije. Ako operator može dokazati da ne postoji opasnost od kontaminacije, zgrada se može odmah srušiti. Ako ne može, načelno vrijedi isti postupak slobodnog otpuštanja i radiološke granice kao za (potencijalno) kontaminirane zgrade u kontroliranom području (vidjeti poglavlje 5.1.4.7).

5.1.4.9 Slobodno otpuštanje vanjskih područja

Provest će se ispitivanja na licu mjesta kako bi se dokazalo da u okolini (ulice, sigurna područja) nema nuklearne kontaminacije. Tehnike koje će se primjenjivati i uzorci koje treba uzeti (mjesto, specifikacija i broj) bit će opisani u tehničkom izvještaju koje će biti dogovoreno s nadležnim tijelom.



Slika 5-27: Gama-spektrometrija popločanih (lijevo) i nepopločanih (desno) vanjskih površina

Zasad se pretpostavlja da izvan kontroliranog područja nema kontaminacije koja bi znatno utjecala na program razgradnje.

5.1.4.10 Otpuštanje jedinice iz nuklearnog nadzora

Kad se na jedinici obave svi spomenuti koraci, može se otpustiti iz nuklearnog nadzora. Priprema se izvještaj o aktualnom stanju jedinice. Nadležna tijela pregledavaju izvještaj i odobravaju otpuštanje iz nuklearnog nadzora. Područje i aktivnosti na njemu tad podliježu konvencionalnim propisima za industrijske lokacije u procesu rastavljanja.

5.1.5 Rastavljanje nenuklearne opreme i zgrada

U ovom se poglavlju opisuju postupci koje treba slijediti u nenuklearnim i nuklearnim zgradama nakon slobodnog otpuštanja. U ovom se poglavlju izraz „kontaminacija” odnosi na konvencionalno (nenuklearno) onečišćenje.

Konvencionalno rastavljanje obuhvaća:

- pripremu izvještaja o otrovnim tvarima
- pripremu za rastavljanje
- uklanjanje opasnih tvari kao što su azbest i druga mineralna vlakna

- uklanjanje otrovnih tvari povezanih s gradnjom
- uklanjanje opasnih[8] tvari nastalih radom kao što su proliveno ulje
- uklanjanje drvenih vrata premazanih lakom
- rastavljanje zgrada
- razdvajanje skupina materijala.

5.1.5.1 Priprema izvještaja o otrovnim tvarima

Cilj je istražiti opremu i građevinske konstrukcije kako bi se u zgradi ili okolini pronašle i utvrdile (potencijalno) prisutne otrovne i druge opasne tvari. Nalazi će se klasificirati na temelju rukovanja, obrade, kondicioniranja i odlaganja otpada te će se procijeniti mogući rizik za planirane radove na rastavljanju i gospodarenje otpadom.

Prikupljanje podataka radi skupljanja otrovnih i drugih opasnih tvari nastalih radom (npr. iz ulja u radionicama) ili tvari povezanih s gradnjom (npr. azbest, katran ili PCB) ovisit će o detaljnom programu obilaska i uzorkovanja. Uzorci će se uzimati sa sumnjivih i očiglednih mjesta s otrovnim/opasnim tvarima (u najgorem slučaju), ali i na rubnim mjestima kako bi se utvrdile granice tih područja.

Istraživanje eventualnih popratnih kontaminanata i analiza neuočljive temeljne konstrukcije zgrade odvijat će se u dvije faze. U prvoj će se fazi na pojedinačnim ispitnim sondama mjeriti parametri važni za odlagalište (pH-vrijednost, električna provodljivost, sadržaj klorida i sulfata). Kad rezultati postanu poznati, pripremit će se mješovite sonde za dodatne analize radi kategorizacije otpada (deklaracijske analize) i provjere bitnih parametara zakonskih propisa.

Uzorci će se uzimati dijamantnim bušilicama po cijeloj debljini mineralnih temeljnih konstrukcija zgrada (beton, opeka). Opeka se uklanja bušenjem ili klesanjem, a po potrebi se uzimaju pojedinačni uzorci iz materijala za injektiranje, tvari za koje se sumnja da sadržavaju azbest, izolacijskog materijala itd. (rezanjem, polugom, grebanjem i sl.). Uzorci se prikupljaju u odgovarajuće kutije i označavaju (oznaka i datum).

Uzorci će se pregledati odmah nakon uzimanja. Ispitivanja će se prema potrebi provesti na licu mjesta kako bi se stekao prvi dojam (npr. ispitivanja plamenom kao prvi pokazatelj, a ne kao zamjena za laboratorijska ispitivanja, ako se sumnja da građevinski materijal sadržava azbest).

5.1.5.2 Obavijesti o rastavljanju

U izvještaju o otrovnim/opasnim tvarima navest će se na kojim su mjestima pronađene otrovne ili kontaminirane tvari tijekom rastavljanja. Prije početka radova na rastavljanju izradit će se radni i sigurnosni plan. Vlasnik će imenovati odgovornu osobu za zdravlje i sigurnost, a radove će nadzirati geodetska služba. U planu rada težit će se visokoj stopi i kvaliteti recikliranja rastavljenog materijala. Različite skupine materijala bit će strogo odvojene, što će omogućiti pravilno gospodarenje otpadom.

5.1.5.3 Priprema za rastavljanje

Rastavljanje i uklanjanje komponenata i konstrukcija koje sadrže azbest

Rastavljanje i uklanjanje komponenata i konstrukcija koje sadržavaju azbest strogo je regulirano. Radove će izvoditi specijalizirana tvrtka koja ima potrebne dozvole u skladu s propisima.

[8] U originalnom dokumentu koristi se izraz toksične (otrovne) tvari, ali prema kontekstu, radi se o širem pojmu, odnosno ne samo o otrovnim, već i o drugim opasnim tvarima (opaska Fond).

Rastavljanje i uklanjanje konstrukcija koje sadrže mineralna vlakna

Materijalima od mineralnih vlakana često se izoliraju zgrade, ali i cijevi za grijanje. Postoje propisi za rastavljanje tih materijala. U tim su propisima utvrđeni postupci kojih se treba pridržavati i mjere za zaštitu zdravlja koje treba poduzeti.

Pražnjenje pojedinačnih zgrada

Nakon što se zgrade isprazne, ponovno ostaje samo ljuska. Radovi će se izvoditi u skladu s propisima o zaštiti prava radnika. Različite skupine materijala (drvo, staklo, metali itd.) pažljivo će se odvajati i što više reciklirati. Razmotrit će se posebna pravila za otpad koji treba poseban nadzor i kondicioniranje (kao što su fluorescentne svjetiljke, starteri, kondenzatori).

Uklanjanje krovnih membrana i bitumensko-katranskih krovnih ploča

Krovište i izolacija pažljivo će se odvojiti od betonske konstrukcije. Ako je krov pokriven kamenčićima, mogu se normalno reciklirati bez ikakvih problema. Kamenčići koji se zalijepe za bitumen odlažu se zajedno s bitumenom.

Uklanjanje kontaminiranih brtvi

Brtve koje sadržavaju katran ili PCB uklonit će se iz zgrada i njihove okoline posebnim tehnikama i alatima (kao što su glodalice). Otpad će se odvojeno uklanjati i odlagati.

Uklanjanje kontaminiranih područja (brtvila za tlo i površinu, pločnika)

Ako površine ili pločnici spadaju u drukčiju kategoriju (iz perspektive gospodarenja otpadom) nego beton ispod njih, odvojeno će se uklanjati i odlagati.

5.1.5.4 Konvencionalno rastavljanje građevinskih konstrukcija

Građevinske konstrukcije rastavljat će se konvencionalnim tehnikama i postupcima u skladu s odgovarajućim tehničkim pravilima i propisima. Različite kategorije otpada (beton, opeka itd.) odvajat će se koliko je god to moguće. Prepreke za vlagu odvojit će se od mineralnog materijala kako bi se mogao ponovno upotrijebiti.



Slika 5-28: Konvencionalno rastavljanje građevinskih konstrukcija

5.2 Planiranje aktivnosti razgradnje

U okviru postupka planiranja aktivnosti podrobno je opisana strategija razgradnje NE Krško. Prvo, prikazana je organizacija aktivnosti razgradnje u WBS-u. Drugo, opisan je sadržaj elemenata WBS-a. Dakle, trajanje koraka može se procijeniti na temelju sadržaja aktivnosti i primjenjivih tehnika. Konačni vremenski raspored uzima u obzir okvirne datume i sljedove iz poglavlja 3.3.

Načelno je slijed isti u osnovnim i dodatnim scenarijima. Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori uklonit će se već za nekoliko godina u skladu s trenutačnom ponudom. U osnovnom scenariju 0 i dodatnim scenarijima to je dio pripremnih radova nakon konačne obustave rada. Osim toga, scenariji se razlikuju po datumu konačnog prestanka rada i operativnim razdobljima SFDS-a i RU-a.

WBS i pripadajući zadaci razgradnje. Postoje razlike u opsegu zadataka koji se odnose na rad i razgradnju SFDS-a i RU-a.

5.2.1 Struktura razrade radova (WBS)

WBS je u upravljanju projektima hijerarhijska i postupna dekompozicija projekta na faze, rezultate i radne pakete (WP). U ovom PR-u WBS obuhvaća sve aktivnosti potrebne za projekt razgradnje NE Krško. To uključuje planiranje, ishođenje dozvole, pripremu, rastavljanje nuklearnih postrojenja, dekontaminaciju, otpuštanje iz nadzora, konvencionalno rastavljanje, obradu otpada, odlaganje, rad i administrativne zadatke. Svi su zadaci hijerarhijski organizirani i uneseni u NIS-ovu aplikaciju baze podataka CALCOM (**CAL**culation and **CO**st **M**anagement, odnosno izračun i upravljanje troškovima) tako da se izračuni dobivaju po načelu „odozdo prema gore”.

Zadani WBS počiva na odabranoj strukturi prošlih revizija kako bi se postigla neprekidnost i dosljednost. U skladu je s IAEA-inom „Međunarodnom strukturom za troškove razgradnje (ISDC) nuklearnih postrojenja” (vidjeti [19]) i odražava iskustva stečena na aktualnim projektima razgradnje. IAEA daje dodatne informacije o procjenama troškova razgradnje u drugim izvještajima [20], [21].

Tablica 5-1 daje pregled prve razine WBS-a. Svaki se od tih radnih paketa dalje raščlanjuje radi ispunjavanja zahtjeva za planiranje i izračun troškova. U sljedećem se poglavlju opisuje sadržaj radnih paketa.

1. razina WBS-a

Br.	Funkcija
01	Postupci prije razgradnje
02	Pripremni radovi
03*	Nuklearni materijal (pogonski otpad)
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja
05	Rastavljanje kontroliranog područja
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a
08	Rastavljanje RPV-a
09	Rastavljanje biološkog štita
10	Rastavljanje preostalih sustava
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije
14.01	*Rad i održavanje*
14.02	*Sigurnost*
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)
17	Lokalni poticaji
18	Jedinica za izvlačenje goriva (rad, razgradnja)

*Nije dio troškova razgradnje, dio priloga 2.

Tablica 5-1:1. razina WBS-a

5.2.2 Sadržaj radnih paketa (WP)

5.2.2.1 WP 01: Postupci prije razgradnje

WP 01 sadržava sve aktivnosti u svrhu razgradnje do konačne obustave rada NE Krško. Planirane aktivnosti:

- prikupljanje tehničkih podataka (tehničko i radiološko stanje elektrane)
- projektno planiranje i projektiranje (ažuriranje PDP-a, izračun kapaciteta za instalacije i opremu za razgradnju, ekvivalent radne snage i vremenski raspored)
- priprema dokumenata za ishođenje dozvole, posebno sigurnosne analize i analize utjecaja na okoliš; postupak ishođenja dozvola.

5.2.2.2 WP 02: Pripremni rad na projektu razgradnje

WP 02 sadržava pripremne aktivnosti za radove na razgradnji. Te su pripreme potrebne za naknadne radove na rastavljanju. Planirane aktivnosti:

- gašenje sustava koji više nisu potrebni
- izmjena opreme
  - sustav grijanja
  - sustav isparivača
  - opskrba stlačenim zrakom
  - područje s nadzorom pristupa
  - sanitarno područje
- dekontaminacija primarnog kruga

- uklanjanje mobilnih unutarnjih dijelova jezgre
- pripremni radovi u DB-u:
  - rastavljanje i pakiranje starih parogeneratora[9] na lokaciji u DB-u
  - rastavljanje i pakiranje poklopca starog RPV-a
  - preinačavanje i ugradnja potrebna za funkcionalni rad postrojenja za obradu otpada u DB-u
- pripremni radovi potrebni za rad postrojenja za obradu otpada u međuzgradi (IB)
- pripremni radovi potrebni za rad postrojenja za obradu otpada u FHB-u
- pripremni radovi potrebni za rad postrojenja za obradu otpada u WMB-u.

5.2.2.3 WP 03: Nuklearni materijal (pogonski otpad)

Upravljanje preostalim pogonskim ispustima, medijima i otpadom dio je WP 03. Nije dio ovog PR-a. Međutim, rezultati odlaganja pogonskog otpada navedeni su u Prilogu 2.

5.2.2.4 WP 04: Rastavljanje izvan kontroliranog područja

WP 04 obuhvaća aktivnosti rastavljanja izvan kontroliranog područja NE Krško, odnosno rashladne tornjeve, radionice i druge zgrade. Ti se objekti mogu ukloniti prije, tijekom ili nakon uklanjanja kontroliranog područja ovisno o potrebi i rasporedu. Radovi na rastavljanju instalacija i opreme razmatraju se u sljedećim zgradama po fazi razgradnje:

- Faza razgradnje „brownfield” (lokacija za industrijsku namjenu):
  - turbinska zgrada
  - zgrada s pomoćnim kotlom
  - zgrada za dekontaminaciju
  - međuzgrada
  - zgrada za hlađenje komponenata
  - kontrolna zgrada, skladište za radioaktivni otpad
  - zgrada za manipuliranje otpadom.
- Faza razgradnje „greenfield” (lokacija neograničene namjene):
  - suho skladište istrošenoga goriva
  - područje s rashladnim tornjevima
  - konstrukcija za dovod vode u optjecaju
  - područje brane
  - zgrada s dizelskim generatorima za hitne slučajeve
  - zgrada s bitnom opskrbnom vodom
  - postrojenje sa spremnicima za neutralizaciju, zgrada za predobradu vode, postrojenje s crpkama za pretakanje, prostor za skladištenje plina u elektrani
  - zgrada sa simulatorom, okolina NEK-a, pristupna točka radiološki područja nadziranog, područje s meteorološkim tornjem, nadzor prijama (VKT)
  - skladišta (AD1, AD2, AD3)
  - područje rasklopnog postrojenja
  - trafostanice, crpna stanica (CPD)

[9] Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori uklonit će se već za nekoliko godina. Umjesto toga su povezani troškovi prema trenutačnoj ponudi dio ovog radnog paketa za osnovni scenarij 1.

- ulazna zgrada, NEK i protupožarno područje
- utvrđena zgrada 1 i 2, centar za operativnu podršku.

5.2.2.5 WP 05: Rastavljanje kontroliranog područja

Ovaj radni paket obuhvaća rastavljanje sustava i komponenata koje više nisu potrebne za preostali rad u kontroliranom području. Odnosi se na sustave i komponente u sljedećim zgradama:

- pomoćnoj zgradi
- reaktorskoj zgradi
- zgradi za manipuliranje gorivom.

Sve ostale zgrade i neke vrste komponenata, npr. čelične grede, stepenice, vrata, rasvjeta, kabelski kanali, dio su WP 10 „Rastavljanje preostalih sustava". Komponente u WP 05 rastavljaju se sljedećim redoslijedom:

- radiološka karakterizacija i zoniranje radnih područja
- radiološka kategorizacija radioaktivnog inventara
- ponovna konfiguracija sustava, izolacija i osiguravanje konstrukcija
- uklanjanje i odlaganje azbesta
- uklanjanje građevinskih konstrukcija koje smetaju, raščišćavanje prijevoznih putova
- priprema radnog područja, dekontaminacija na licu mjesta za lakše rastavljanje
- rastavljanje komponenata
- raščišćavanje radilišta.

5.2.2.6 WP 06: Rastavljanje komponenata primarne petlje

Ovaj radni paket obuhvaća rastavljanje sljedećih glavnih komponenata primarnog kruga:

- parnogeneratora 1 i 2
- tlačnika
- odušnog spremnika tlačnika
- primarnih crpki i motora
- kruga.

5.2.2.7 WP 07: Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a

Unutarnji dijelovi RPV-a rastavljaju se nakon što se uklone komponente primarnog kruga. Radni paket obuhvaća rastavljanje, rezanje i pakiranje unutarnjih dijelova RPV-a, uključujući:

- projektiranje, nabavu i testiranje posebnog alata/opreme za daljinsko rastavljanje
- simulaciju složenog rada na modelima i osposobljavanje osoblja
- pripremne radove
- radove na obnovi i sanaciji na području reaktorskog bazena
- radove na pripremi i rekonstrukciji sustava u pogonu.

Unutarnji dijelovi RPV-a režu se i pakiraju izravno u reaktorskom bazenu. Planira se podvodna tehnika.

5.2.2.8 WP 08: Rastavljanje RPV-a

Ovaj WP obuhvaća rastavljanje, rezanje i pakiranje RPV-a u suhim uvjetima, uključujući:

- projektiranje, nabavu i testiranje posebnog alata/opreme za daljinsko rastavljanje
- simulaciju složenog rada na modelima i osposobljavanje osoblja
- pripremne radove
- radove na pripremi i rekonstrukciji sustava u pogonu.

RPV se reže i pakira u postavljenom položaju. Nije potrebna primjena podvodne tehnike.

5.2.2.9 WP 09: Rastavljanje biološkog štita

Biološki štit rastavlja se kad se završi WP 08 „Rastavljanje RPV-a". WP 09 obuhvaća:

- projektiranje, nabavu i testiranje alata/opreme za rad na rastavljanju
- pripremne radove
- rastavljanje, segmentaciju i pakiranje aktiviranog dijela biološkog štita
- rastavljanje neaktiviranog dijela.

5.2.2.10 WP 10: Rastavljanje preostalih sustava

Rastavljanje preostalih sustava u kontroliranom i nadziranom području obuhvaća sljedeće aktivnosti:

- radiološku karakterizaciju i zoniranje radnih područja
- radiološku kategorizaciju radioaktivnog inventara
- ponovnu konfiguraciju sustava, izolaciju i osiguravanje konstrukcija
- uklanjanje i odlaganje azbesta
- uklanjanje građevinskih konstrukcija koje smetaju, raščišćavanje prijevoznih putova
- pripremu radnog područja, dekontaminaciju opreme na licu mjesta za lakše rastavljanje
- rastavljanje komponenata
- raščišćavanje radilišta.

5.2.2.11 WP 11: Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora

WP 11 obuhvaća uklanjanje radioaktivnog inventara iz građevinskih konstrukcija tehnikama dekontaminacije i verifikacijskim mjerenjima radi dokazivanja usklađenosti s graničnim vrijednostima za otpuštanje. Obuhvaća sljedeće aktivnosti:

- dekontaminaciju zgrada
- mjerenje za otpuštanje unutar i izvan zgrada
- čišćenje okoliša
- konačno ispitivanje radioaktivnosti.

Provedbom WP 11 postiže se status *brownfield* lokacije.

5.2.2.12 WP 12: Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša

WP 12 obuhvaća neradiološki dio razgradnje elektrane. Sastoji se od rušenja zgrada i konačnog uređenja okoliša.

Provedbom WP 12 postiže se status *greenfield* lokacije.

5.2.2.13 WP 13: Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji

Ovaj radni paket obuhvaća funkcije i usluge koje se odnose na upravljanje projektima, inženjering i podršku potrebnu na lokaciji tijekom projekta razgradnje. To znači da treba uzeti u obzir sljedeća područja:

- upravu
- inženjerske usluge
- nabavu
- financije
- opću administraciju
- poslovni informacijski sustav
- hardver i softver.

S obzirom na trenutačne operativne zahtjeve broj zaposlenika NEK-a koji se bave tim poslovima smanjuje se u skladu s potrebama razgradnje. Da bi se popunila navedena radna mjesta, predviđa se sljedeći broj zaposlenika nakon konačne obustave rada:

- Uprava: 3 osobe
- Inženjerske usluge: 8 osoba

  Administracija (npr. pravna služba, ljudski potencijali, nabava, financije): 18 osoba
  (1 u pravnoj službi, 2 u ljudskim potencijalima, 5 u nabavi, 5 u financijama,
  5 u informatičkoj i drugim službama)

Ti se brojevi za vrijeme razgradnje smanjuju u skladu s napretkom projekta razgradnje. Kad zemljište postane *brownfield* lokacija, rashodi administrativnih zadaća pokrivaju se radom SFDS-a (vidjeti poglavlje 5.2.2.16) i RU-a (vidjeti poglavlje 5.2.2.18).

5.2.2.14 WP 14: Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije

Osim toga, WP 14 „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije" planira se tijekom cijelog razdoblja razgradnje. Dijeli se na WP 14.01 „Rad i održavanje" i WP 14.02 „Sigurnost" i sadržava mjere potrebne za siguran naknadni rad NE Krško.

Predviđeni su sljedeće funkcije i usluge za rad i održavanje:

- jedinica za tehničke operacije
- održavanje
- inženjerske usluge
- kemija
- radiološka zaštita
- industrijska sigurnost
- kontrola kvalitete i nuklearni nadzor
- osposobljavanje
- nadzor
- opskrba energijom, vodom, parom, uljem i plinom
- ostali operativni troškovi.

WP 14.02 obuhvaća sigurnosne usluge[10] za lokaciju.

[10] U originalu "*security services*", "*security*".

S obzirom na trenutačne operativne zahtjeve broj zaposlenika NEK-a koji se bave tim poslovima smanjuje se u skladu s potrebama razgradnje. Da bi se popunila navedena radna mjesta, predviđa se sljedeći broj zaposlenika nakon konačne obustave rada:

- rad i održavanje:
  - jedinica za tehničke operacije: 2 osobe
  - održavanje (mehaničko, električno, građevinski radovi itd.): 62 osobe
  - rad (npr. smjena): 42 osobe
  - kemija: 25 osoba
  - zaštita od zračenja: 12 osoba
  - industrijska sigurnost: 2 osobe
  - kontrola kvalitete i nuklearni nadzor: 2 osobe
    (optimalni broj članova osoblja)
- sigurnost[10]: 51 osoba.

Ti se brojevi za vrijeme razgradnje smanjuju u skladu s napretkom projekta razgradnje.

Usto se razmatra i prodaja uskladištenih zaliha NEK-a.

5.2.2.15 WP 15: Obrada otpada

WP 15 obuhvaća aktivnosti obrade i pakiranja rastavljenih komponenata, kao i obrade i pakiranja sekundarnog otpada. Posebno, obuhvaća:

- rezanje
- mehaničku i mokru dekontaminaciju
- superkompaktiranje
- rezanje kabela
- vanjsku obradu (taljenje, izgaranje)
- kondicioniranje otpada (bez cementiranja)
- otpuštanje materijala
- troškove spremnika (npr. bačvi, Holtecov HI-SAFE, N2d, RCC)
- odlagalište konvencionalnog otpada.

5.2.2.16 WP 16: SFDS (gorivo, rad, razgradnja)

Svi troškovi povezani s SFDS-om zasebno su navedeni u WP 16. Obuhvaćene aktivnosti:

- gospodarenje istrošenim gorivom (osnovni scenarij):
  - kupnja 30 dodatnih spremnika (Holtecov HI-STORM FW) za istrošeno gorivo (3. i 4. faza – za 1098 FA-ova)
  - pakiranje preostalih 1098 FA-ova (u 3. fazi 328 ING i u 4. fazi 770 ING elemenata) u Holtecov spremnik i prijevoz do SFDS-a
- rad SFDS-a:
  - rukovodeće/operativno osoblje (NEK): jedan upravitelj na lokaciji, dva tehničara
  - čuvarska služba (NEK): 365 dana, 24 sata na dan, dva čuvara po smjeni, pet smjena
  - troškovi koji se ne odnose na osoblje
- razgradnja SFDS-a:
  - rastavljanje opreme i komponenata

- rastavljanje i pakiranje betonske zaštite spremnika HI-STORM i HI-SAFE tvrtke Holtec [22]
- mjerenja za otpuštanje zgrade iz nuklearnog nadzora
- konvencionalno rušenje.

S obzirom na to da se u dodatnim scenarijima predviđa produljenje rada NE Krško za još dvadeset godina, prilagođeni su troškovi gospodarenja istrošenim gorivom.

- Gospodarenje istrošenim gorivom (dodatni scenariji):
  - kupnja 25 dodatnih spremnika (Holtecov HI-STORM FW) za 900 FA-ova
  - pakiranje preostalih 900 FA-ova u Holtecov spremnik i prijevoz do SFDS-a.

U dodatnim scenarijima predviđaju se isti godišnji operativni troškovi SFDS-a. Troškovi razgradnje uzimaju u obzir povećani SFDS i dodatne spremnike za međuskladištenje iskorištenoga nuklearnog goriva.

5.2.2.17 WP 17: Lokalni poticaji

WP 17 obuhvaća lokalne poticaje koji će se isplatiti za vrijeme razgradnje. Tijekom razgradnje sa operativnim bazenom za mokro skladištenje istrošenog goriva iznose 3.264.540 € godišnje, a tijekom razgradnje sa operativnim SFDS-om iznose 1.305.816 € godišnje.

5.2.2.18 WP 18: RU (rad, razgradnja)

Svi troškovi izravno povezani s RU-om zasebno su navedeni u WP 18. Obuhvaćene aktivnosti:

- rad RU-a:
  - rukovodeće/operativno osoblje (NEK): jedan upravitelj na lokaciji, jedan tehničar, dva čuvara
  - troškovi koji se ne odnose na osoblje
- razgradnja RU-a:
  - rastavljanje opreme i komponenata
  - mjerenja za otpuštanje zgrade iz nuklearnog nadzora
  - konvencionalno rušenje.

5.2.3 Vremenski raspored

Aktivnosti razgradnje, organizirane u WBS-u u skladu s prethodnim poglavljima, međusovno su povezane i ovisne. To se odnosi na aktivnosti na kritičnom putu koje su već opisane u poglavlju 3.3, ali i na druge zadatke u okviru razgradnje koji se planiraju izvoditi usporedno. Trajanje koraka određuje se prema sadržaju, kadrovskim zahtjevima i kapacitetima, kao i odabranim tehnikama s obzirom na stečena iskustva i trenutačne planove. Količina masa za razgradnju i pripadajuće radioaktivnosti utječu na planiranje, osobito kad je riječ o koracima rastavljanja.

Rasporedi prikazani na sljedećim slikama (Slika 5-29 i Slika 5-30) dobiveni su potvrdom glavnih aktivnosti na kritičnom putu i njihoo trajanje s obzirom na okvirne datume iz Tablice 3-2.

Osim toga, na slikama u nastavku (Slika 5-31, Slika 5-32, Slika 5-33 i Slika 5-34) prikazani su podrobniji vremenski planovi za osnovne i za dodatne scenarije. U dodatnim scenarijima predviđa se produljenje rada NE Krško i samim time konačna obustava rada dvadeset godina kasnije nego u osnovnom scenariju. Dodatni scenariji razlikuju se po razdoblju rada SFDS-a i RU-a.

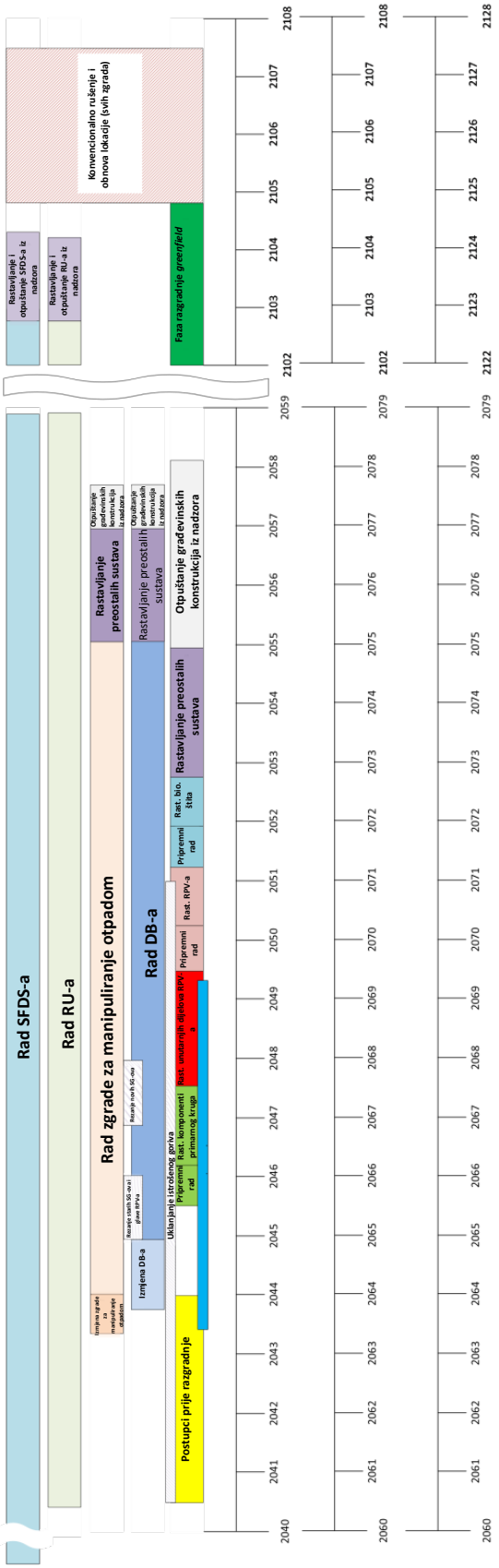
Zaključno, Tablica 5-2 sadržava glavne faze projekta razgradnje NE Krško.

Glavne faze projekta razgradnje NE Krško

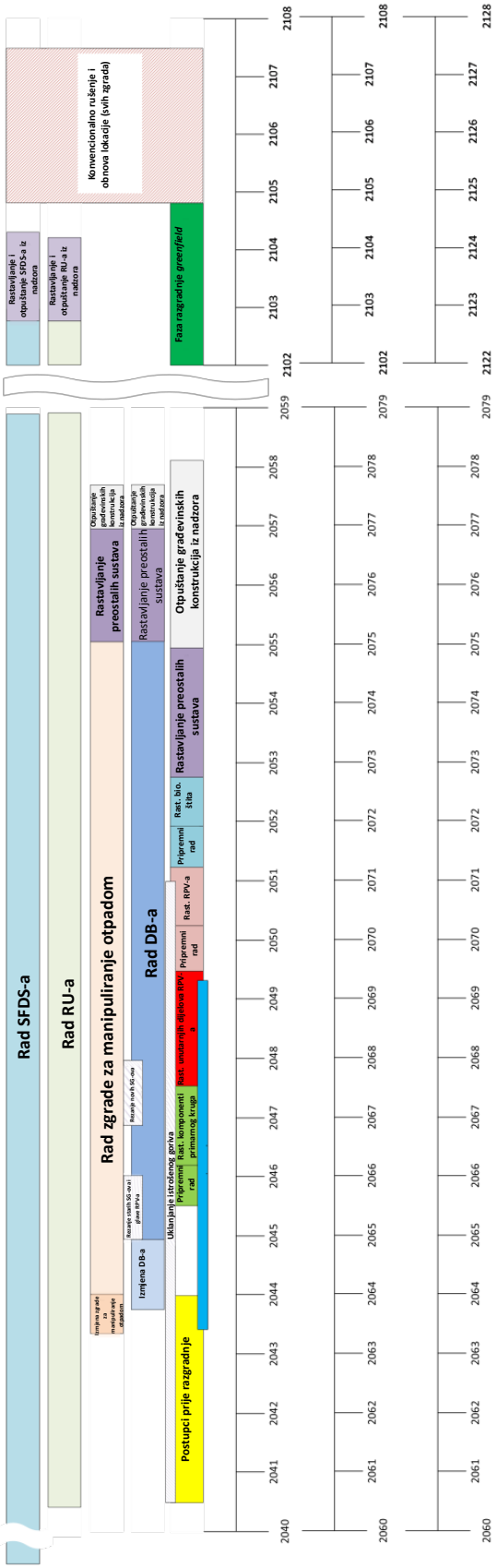
Faze	Mjesec/godina			
	Osnovni scenarij 0	**Osnovni scenarij 1**	**Dod. scenarij A**	**Dod. scenarij B**
Početak projekta (Postupci prije razgradnje)	7./2040.		7./2060.	
Konačna obustava rada / odobrenje D&D-a	12./2043.		12./2063.	
Poklopac starog RPV-a rastavljen i zapakiran	12./2045.	1./2045.	12./2065.	
Kraj razgradnje primarnog kruga	7./2047.	8./2046.	7./2067.	
Kraj razgradnje unutrašnjosti RPV-a	7./2049.	8./2048.	7./2069.	
Kraj razgradnje RPV-a	4./2051.	5./2050.	4./2071.	
Kraj razgradnje biološkog štita	10./2052.	11./2051.	10./2072.	
Uklonjene konstrukcije zgrada (*brownfield*)	2./2058.	4./2057.	2./2078.	
Završetak rada SFDS-a	1./2103.			1./2123.
Greenfield	7./2107.			7./2127.

Tablica 5-2:Glavne faze

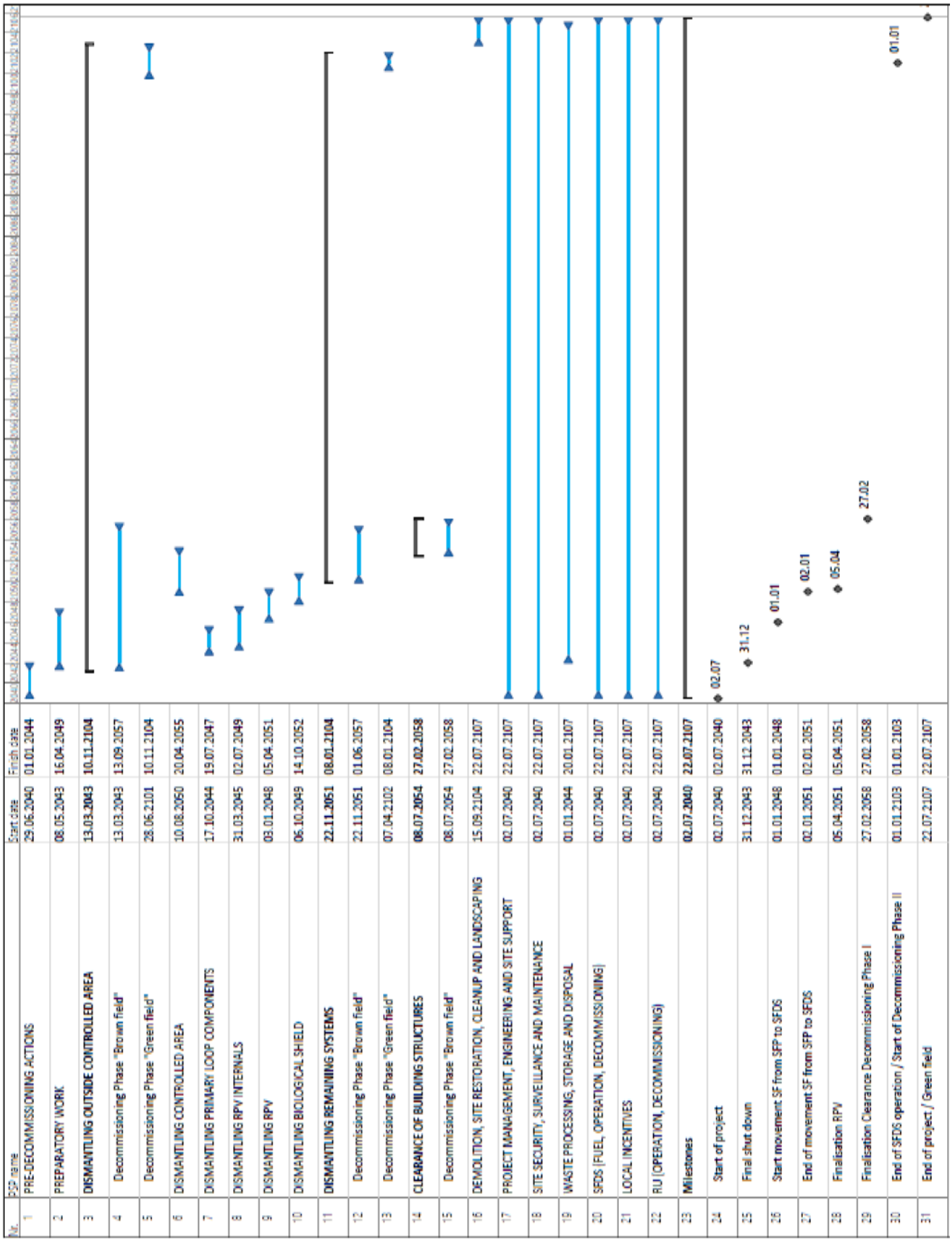
NAPOMENA: radioaktivni otpad iz posljednje kampanje razgradnje SFDS-a odložit će se u odlagalište VRAO-a jer se postrojenja za odlaganje NSRAO-a neće ponovno otvarati zato što se rastavlja SFDS. To znači da će se na kraju rada SFDS-a sav otpad nastao razgradnjom odložiti zajedno s VRAO-om u odlagalište VRAO-a.



Slika 5-29: Kritični put za osnovni scenarij 0 i dodatne scenarije A i B



Slika 5-30: Kritični put za osnovni scenarij 1



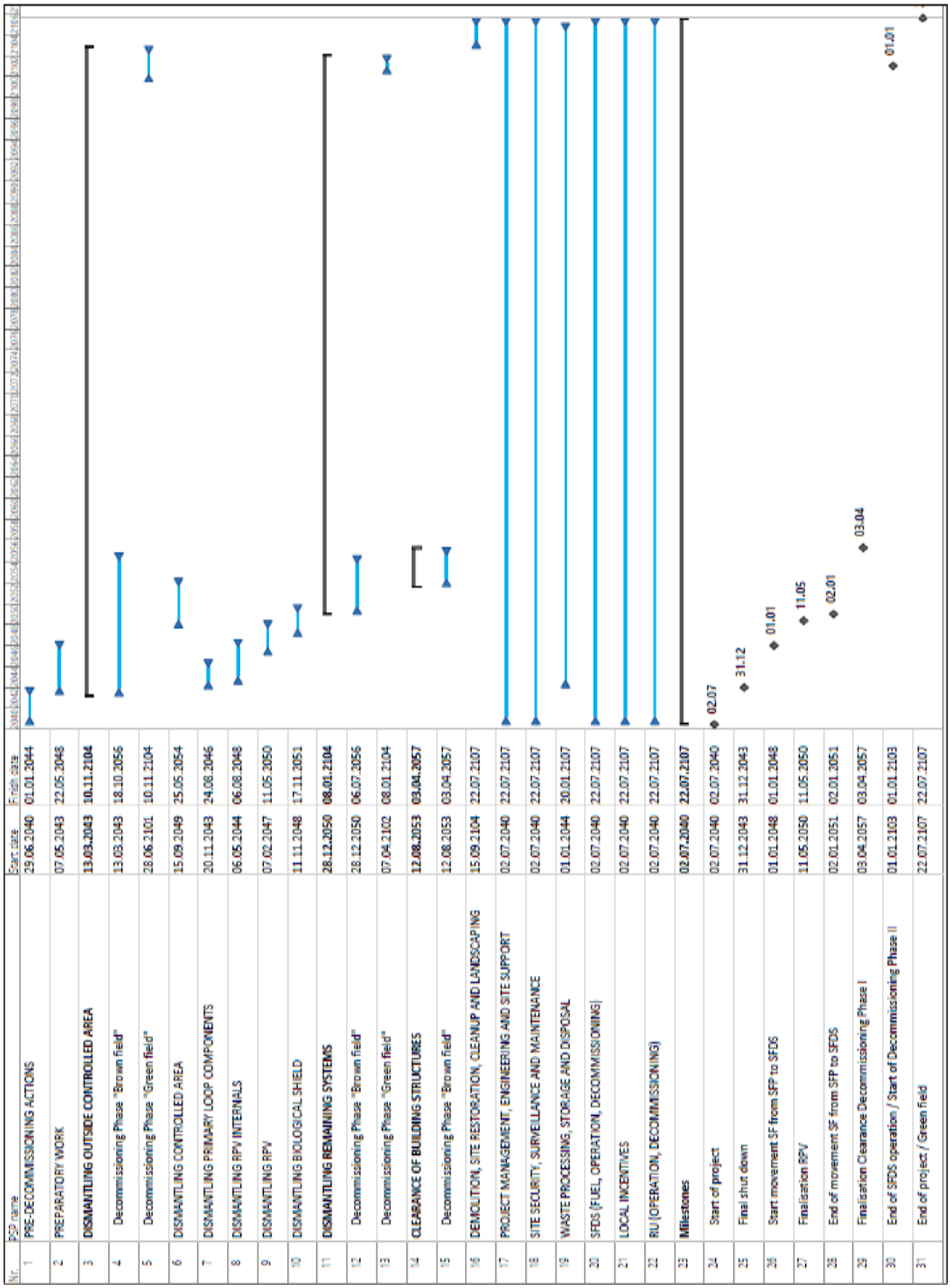
No.	ESP name	Start date	Finish date
1	PRE-DECOMMISSIONING ACTIONS	29.06.2040	01.01.2044
2	PREPARATORY WORK	08.05.2043	16.04.2049
3	**DISMANTLING OUTSIDE CONTROLLED AREA**	13.03.2043	10.11.2104
4	Decommissioning Phase "Brown field"	13.03.2043	13.09.2057
5	Decommissioning Phase "Green field"	28.06.2101	10.11.2104
6	DISMANTLING CONTROLLED AREA	10.08.2050	20.04.2055
7	DISMANTLING PRIMARY LOOP COMPONENTS	17.10.2044	19.07.2047
8	DISMANTLING RPV INTERNALS	31.03.2045	02.07.2049
9	DISMANTLING RPV	03.01.2048	05.04.2051
10	DISMANTLING BIOLOGICAL SHIELD	06.10.2049	14.10.2052
11	**DISMANTLING REMAINING SYSTEMS**	22.11.2051	08.01.2104
12	Decommissioning Phase "Brown field"	22.11.2051	01.06.2057
13	Decommissioning Phase "Green field"	07.04.2102	08.01.2104
14	**CLEARANCE OF BUILDING STRUCTURES**	08.07.2054	27.02.2058
15	Decommissioning Phase "Brown field"	08.07.2054	27.02.2058
16	DEMOLITION, SITE RESTORATION, CLEANUP AND LANDSCAPING	15.09.2104	22.07.2107
17	PROJECT MANAGEMENT, ENGINEERING AND SITE SUPPORT	02.07.2040	22.07.2107
18	SITE SECURITY, SURVEILLANCE AND MAINTENANCE	02.07.2040	22.07.2107
19	WASTE PROCESSING, STORAGE AND DISPOSAL	01.01.2044	20.01.2107
20	SFDS (FUEL OPERATION, DECOMMISSIONING)	02.07.2040	22.07.2107
21	LOCAL INCENTIVES	02.07.2040	22.07.2107
22	RU (OPERATION, DECOMMISSIONING)	02.07.2040	22.07.2107
23	**Milestones**	02.07.2040	22.07.2107
24	Start of project	02.07.2040	02.07.2040
25	Final shut down	31.12.2043	31.12.2043
26	Start movement SF from SFP to SFDS	01.01.2048	01.01.2048
27	End of movement SF from SFP to SFDS	02.01.2051	02.01.2051
28	Finalisation RPV	05.04.2051	05.04.2051
29	Finalisation Clearance Decommissioning Phase I	27.02.2058	27.02.2058
30	End of SFDS operation / Start of Decommissioning Phase II	01.01.2103	01.01.2103
31	End of project / Green field	22.07.2107	22.07.2107

Slika 5-31: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (osnovni scenarij 0)

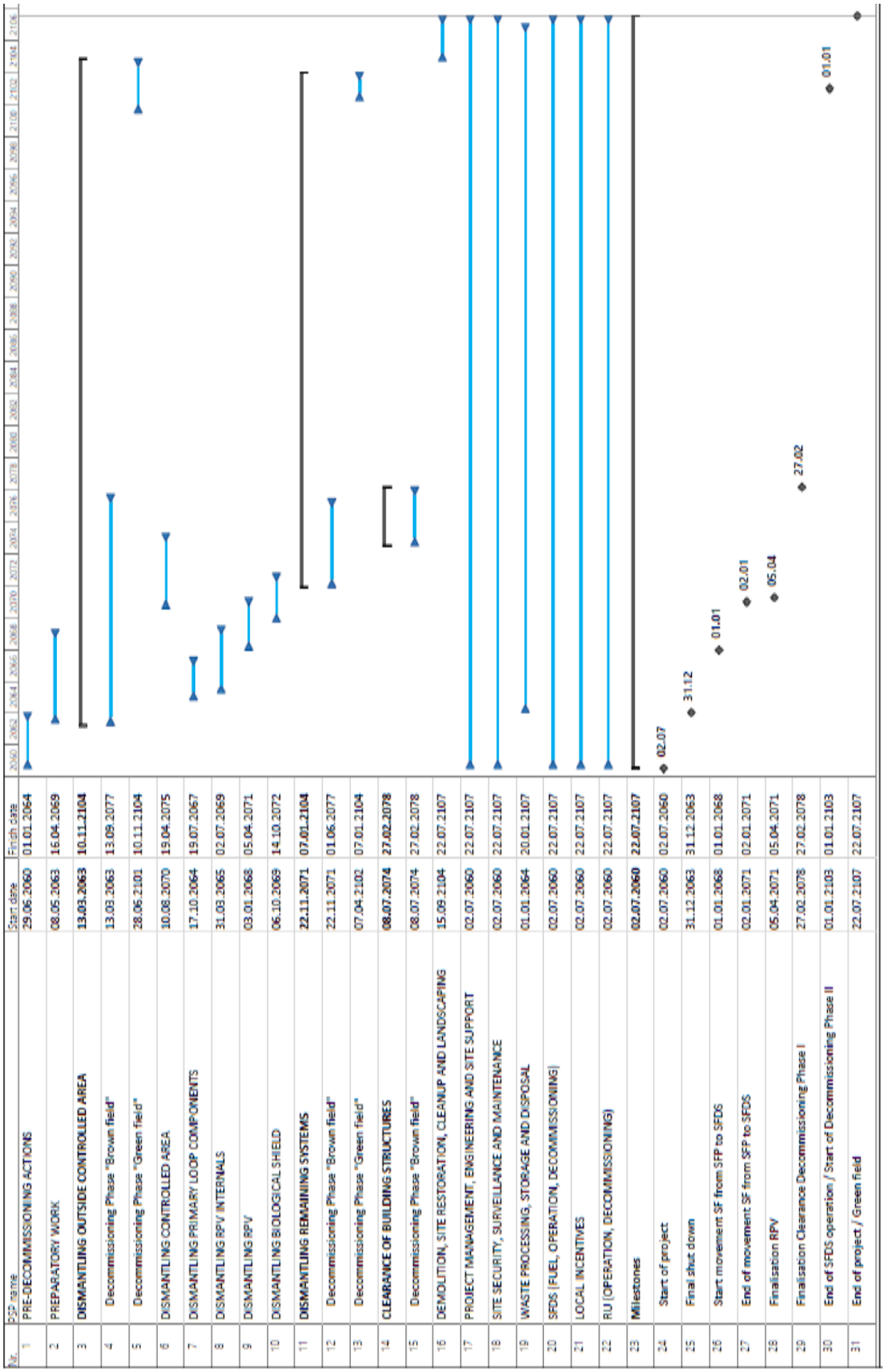
Br.	PSP name
1	PRE-DECOMMISSIONING ACTIONS
2	PREPARATORY WORK
3	**DISMANTLING OUTSIDE CONTROLLED AREA**
4	Decommissioning Phase "Brown field"
5	Decommissioning Phase "Green field"
6	DISMANTLING CONTROLLED AREA
7	DISMANTLING PRIMARY LOOP COMPONENTS
8	DISMANTLING RPV INTERNALS
9	DISMANTLING RPV
10	DISMANTLING BIOLOGICAL SHIELD
11	**DISMANTLING REMAINING SYSTEMS**
12	Decommissioning Phase "Brown field"
13	Decommissioning Phase "Green field"
14	**CLEARANCE OF BUILDING STRUCTURES**
15	Decommissioning Phase "Brown field"
16	DEMOLITION, SITE RESTORATION, CLEANUP AND LANDSCAPING
17	PROJECT MANAGEMENT, ENGINEERING AND SITE SUPPORT
18	SITE SECURITY, SURVEILLANCE AND MAINTENANCE
19	WASTE PROCESSING, STORAGE AND DISPOSAL
20	SFDS (FUEL, OPERATION, DECOMMISSIONING)
21	LOCAL INCENTIVES
22	RU (OPERATION, DECOMMISSIONING)
23	**Milestones**
24	Start of project
25	Final shut down
26	Start movement SF from SFP to SFDS
27	End of movement SF from SFP to SFDS
28	Finalisation RPV
29	Finalisation Clearance Decommissioning Phase I
30	End of SFDS operation / Start of Decommissioning Phase II
31	End of project / Green field

Br.	Naziv PSP-a
1	POSTUPCI PRIJE RAZGRADNJE
2	PRIPREMNI RADOVI
3	**RASTAVLJANJE IZVAN KONTROLIRANOG PODRUČJA**
4	Faza razgradnje „brownfield"
5	Faza razgradnje „greenfield"
6	RASTAVLJANJE KONTROLIRANOG PODRUČJA
7	RASTAVLJANJE KOMPONENATA PRIMARNE PETLJE
8	RASTAVLJANJE UNUTARNJIH DIJELOVA RPV-A
9	RASTAVLJANJE RPV-A
10	RASTAVLJANJE BIOLOŠKOG ŠTITA
11	**RASTAVLJANJE PREOSTALIH SUSTAVA**
12	Faza razgradnje „brownfield"
13	Faza razgradnje „greenfield"
14	**OTPUŠTANJE GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA IZ NADZORA**
15	Faza razgradnje „brownfield"
16	RUŠENJE, OBNOVA LOKACIJE, ČIŠĆENJE I UREĐENJE OKOLIŠA
17	UPRAVLJANJE PROJEKTIMA, INŽENJERING I PODRŠKA NA LOKACIJI
18	SIGURNOST, NADZOR I ODRŽAVANJE LOKACIJE
19	OBRADA, SKLADIŠTENJE I ODLAGANJE OTPADA
20	SFDS (GORIVO, RAD, RAZGRADNJA)
21	LOKALNI POTICAJI
22	RU (RAD, RAZGRADNJA)
23	**Faze**
24	Početak projekta
25	Konačna obustava rada
26	Početak kretanje SF-a od SFP-a do SFDS-a
27	Finaliziranje RPV-a
28	Kraj kretanja SF-a od SFP-a do SFDS-a
29	Finalizacija odobrenja za fazu I razgradnje
30	Kraj rada SFDS-a / početak faze II razgradnje
31	Kraj projekta / *greenfield*

Legenda za slike 5-31 - 5-34

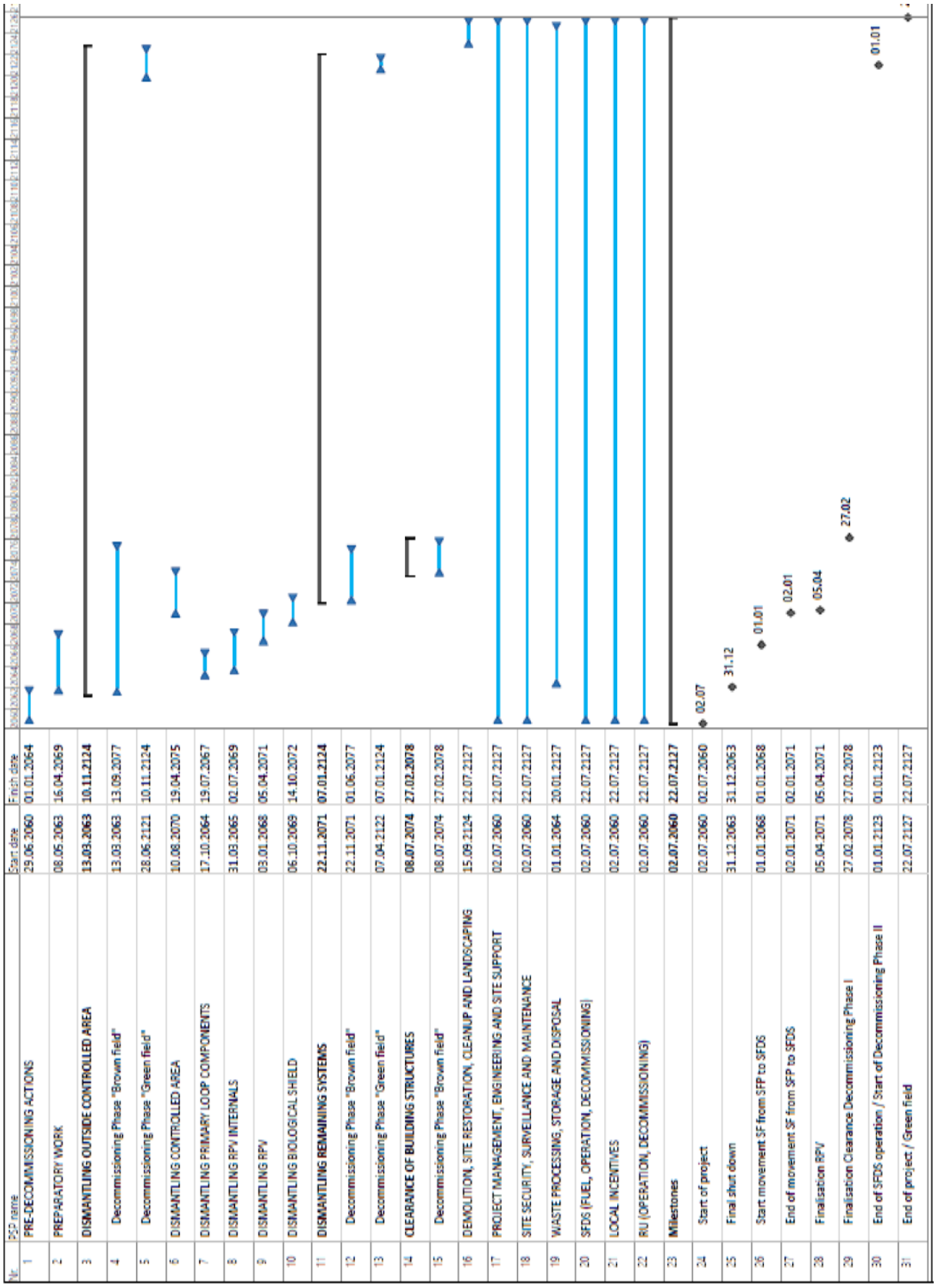


Slika 5-32: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (osnovni scenarij 1)



Nr.	DSP name	Start date	Finish date
1	PRE-DECOMMISSIONING ACTIONS	29.06.2060	01.01.2064
2	PREPARATORY WORK	08.05.2063	16.04.2069
3	DISMANTLING OUTSIDE CONTROLLED AREA	13.03.2063	10.11.2104
4	Decommissioning Phase "Brown field"	13.03.2063	13.09.2077
5	Decommissioning Phase "Green field"	28.06.2101	10.11.2104
6	DISMANTLING CONTROLLED AREA	10.08.2070	19.04.2075
7	DISMANTLING PRIMARY LOOP COMPONENTS	17.10.2064	19.07.2067
8	DISMANTLING RPV INTERNALS	31.03.2065	02.07.2069
9	DISMANTLING RPV	03.01.2068	05.04.2071
10	DISMANTLING BIOLOGICAL SHIELD	06.10.2069	14.10.2072
11	DISMANTLING REMAINING SYSTEMS	22.11.2071	07.01.2104
12	Decommissioning Phase "Brown field"	22.11.2071	01.06.2077
13	Decommissioning Phase "Green field"	07.04.2102	07.01.2104
14	CLEARANCE OF BUILDING STRUCTURES	08.07.2074	27.02.2078
15	Decommissioning Phase "Brown field"	08.07.2074	27.02.2078
16	DEMOLITION, SITE RESTORATION, CLEANUP AND LANDSCAPING	15.09.2104	22.07.2107
17	PROJECT MANAGEMENT, ENGINEERING AND SITE SUPPORT	02.07.2060	22.07.2107
18	SITE SECURITY, SURVEILLANCE AND MAINTENANCE	02.07.2060	22.07.2107
19	WASTE PROCESSING, STORAGE AND DISPOSAL	01.01.2064	20.01.2107
20	SFDS (FUEL, OPERATION, DECOMMISSIONING)	02.07.2060	22.07.2107
21	LOCAL INCENTIVES	02.07.2060	22.07.2107
22	RU (OPERATION, DECOMMISSIONING)	02.07.2060	22.07.2107
23	Milestones	02.07.2060	22.07.2107
24	Start of project	02.07.2060	02.07.2060
25	Final shut down	31.12.2063	31.12.2063
26	Start movement SF from SFP to SFDS	01.01.2068	01.01.2068
27	End of movement SF from SFP to SFDS	02.01.2071	02.01.2071
28	Finalisation RPV	05.04.2071	05.04.2071
29	Finalisation Clearance Decommissioning Phase I	27.02.2078	27.02.2078
30	End of SFDS operation / Start of Decommissioning Phase II	01.01.2103	01.01.2103
31	End of project / Green field	22.07.2107	22.07.2107

Slika 5-33: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (dodatni scenarij A)



Nr.	BSP name	Start date	Finish date
1	PRE-DECOMMISSIONING ACTIONS	29.06.2060	01.01.2064
2	PREPARATORY WORK	08.05.2063	16.04.2069
3	DISMANTLING OUTSIDE CONTROLLED AREA	13.03.2063	10.11.2124
4	Decommissioning Phase "Brown field"	13.03.2063	13.09.2077
5	Decommissioning Phase "Green field"	28.06.2121	10.11.2124
6	DISMANTLING CONTROLLED AREA	10.08.2070	19.04.2075
7	DISMANTLING PRIMARY LOOP COMPONENTS	17.10.2064	19.07.2067
8	DISMANTLING RPV INTERNALS	31.03.2065	02.07.2069
9	DISMANTLING RPV	03.01.2068	05.04.2071
10	DISMANTLING BIOLOGICAL SHIELD	06.10.2069	14.10.2072
11	DISMANTLING REMAINING SYSTEMS	22.11.2071	07.01.2124
12	Decommissioning Phase "Brown field"	22.11.2071	01.06.2077
13	Decommissioning Phase "Green field"	07.04.2122	07.01.2124
14	CLEARANCE OF BUILDING STRUCTURES	08.07.2074	27.02.2078
15	Decommissioning Phase "Brown field"	08.07.2074	27.02.2078
16	DEMOLITION, SITE RESTORATION, CLEANUP AND LANDSCAPING	15.09.2124	22.07.2127
17	PROJECT MANAGEMENT, ENGINEERING AND SITE SUPPORT	02.07.2060	22.07.2127
18	SITE SECURITY, SURVEILLANCE AND MAINTENANCE	02.07.2060	22.07.2127
19	WASTE PROCESSING, STORAGE AND DISPOSAL	01.01.2064	20.01.2127
20	SFDS (FUEL, OPERATION, DECOMMISSIONING)	02.07.2060	22.07.2127
21	LOCAL INCENTIVES	02.07.2060	22.07.2127
22	RU (OPERATION, DECOMMISSIONING)	02.07.2060	22.07.2127
23	Milestones	02.07.2060	22.07.2127
24	Start of project	02.07.2060	02.07.2060
25	Final shut down	31.12.2063	31.12.2063
26	Start movement SF from SFP to SFDS	01.01.2068	01.01.2068
27	End of movement SF from SFP to SFDS	02.01.2071	02.01.2071
28	Finalisation RPV	05.04.2071	05.04.2071
29	Finalisation Clearance Decommissioning Phase I	27.02.2078	27.02.2078
30	End of SFDS operation / Start of Decommissioning Phase II	01.01.2123	01.01.2123
31	End of project / Green field	22.07.2127	22.07.2127

Slika 5-34: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (dodatni scenarij B)

6 Inspekcije i održavanje

Inspekcija i (preventivno) održavanje trebaju uključivati prediktivne, redovne i planirane aktivnosti održavanja kako bi se oprema održala u radnom stanju u skladu s radnim zahtjevima.

Dogovoreni operativni propisi koji se odnose na planove inspekcije i održavanja ostaju na snazi na kraju radnog vijeka. Postojeći propisi utvrđeni su u tehničkim uputama za rad NEK-a „Program preventivnog održavanja TD-2C, 9. izmjena" [23] i drugim NEK-ovim programima i postupcima.

Prema planu razgradnje u redovnim se intervalima moraju donositi odluke o tome koji su testovi sigurnosnog sustava potrebni i koja se oprema može ukloniti ili se mora nastaviti nadzirati ili čak treba zamijeniti/nadograditi kako bi se očuvala funkcionalnost tamo gdje je to potrebno.

Preporučuje se prilagodba propisa potrebama razgradnje u dogovoru s nadležnim tijelima.

7 Gospodarenje otpadom

Tijekom razgradnje i rastavljanja NEK-a potrebno je obraditi, kondicionirati i zapakirati mnoge komponente, konstrukcije i druge ostatke s vrlo različitim fizičkim, kemijskim i radiološkim svojstvima. Sve te obrade imaju jedan od navedenih ciljeva:

- završno odlaganje radioaktivnog otpada
- otpuštanje radioaktivnog materijala za konvencionalno odlaganje ili recikliranje
- konvencionalno odlaganje ili recikliranje neradioaktivnog otpada.

Da bismo dali sveobuhvatan opis obrade materijala i gospodarenja otpadom, na početku sljedećeg poglavlja navodimo neke osnovne aspekte i definicije. U drugom se koraku prije opisa strategije gospodarenja otpadom, zbrinjavanja i obrade masa opisuju mase koje treba obraditi. Na kraju poglavlja nalaze se rezultati izračuna.

7.1 Osnovni aspekti i definicije

Primarne mase:

Komponente i konstrukcije koje čine NEK u trenutku konačne obustave rada nazivaju se primarnim masama. Većina njih rastavlja se i uklanja s lokacije tijekom projekta razgradnje. Samo se ograničeni broj konstrukcija ostavlja na mjestu, npr. temelji zgrada.

FA-ovi se ne smatraju primarnim masama. Međutim, prisutni su u jedinici nakon konačne obustave rada. U najmanju je ruku posljednja jezgra u RPV-u. Uklanjanje i povezani troškovi navedeni su u ovoj studiji. Pakiranje istrošenih gorivnih elemenata odnosi se na tehničku specifikaciju [12].

Preostali pogonski otpad nije dio PR-a prema tehničkoj specifikaciji [12]. Međutim, povezane rezultate možete pronaći u Prilogu 2.

Sekundarne mase:

Tijekom rastavljanja jedinica i obrade primarnih masa nastaju dodatne mase koje se također trebaju obraditi. Te se dodatne mase nazivaju sekundarne mase. Tipične sekundarne mase:

- plastične folije za sprječavanje širenja kontaminacije
- odjeća za kontrolirano područje
- filtri za zrak, trošni alati
- tekućine od dekontaminacije itd.

Posebne sekundarne mase:

- krhotine od obrade alatima (kao što je piljenje)
- materijal uklonjen s površine dekontaminacijom
- betonske ruševine od dekontaminacije zgrade.

Tercijarne mase:

Dodatni alati i oprema za rastavljanje nazivaju se tercijarne mase. U ovoj su studiji pridruženi primarnim masama jer se s njima slično postupa.

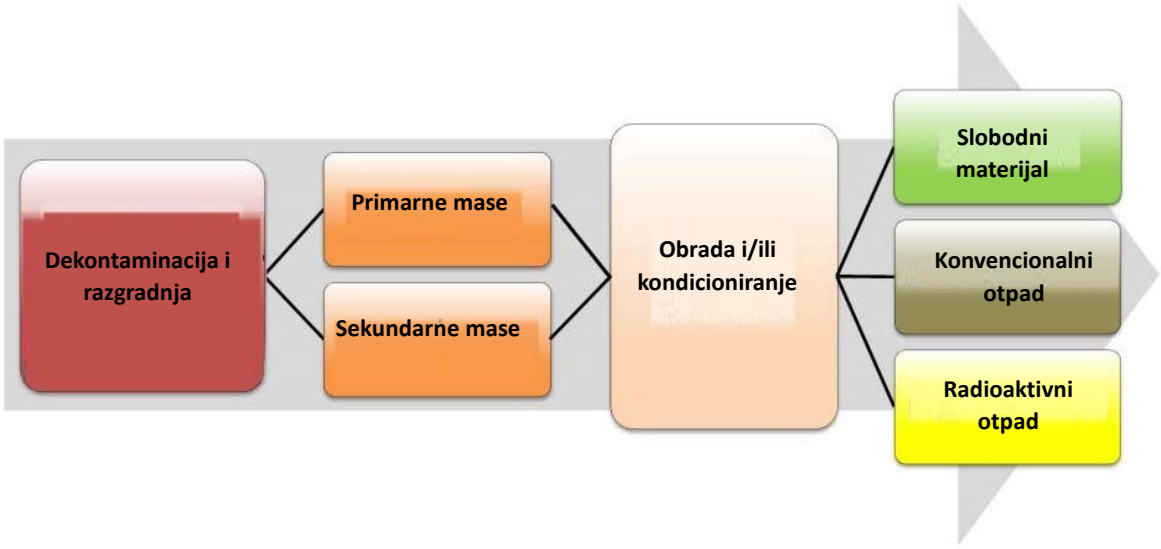
Sažetak:

- Primarne su mase komponente i konstrukcije NE Krško, kao i nova oprema potrebna za rastavljanje. Izravno su unesene u NIS-ovu baze podataka u aplikacijiCORA.
- Sekundarne mase nastaju tijekom rastavljanja i obrade primarnih masa. Izračunavaju se u aplikaciji.

Sve se te mase moraju obraditi i kondicionirati tehnikama spomenutima u poglavlju 5. Nakon obrade i/ili kondicioniranja nastaju:

- Slobodni materijal:
  Tu se ubraja materijal za koji se nikad nije sumnjalo da je radioaktivan ili koji je otpušten iz nuklearnog nadzora. Također je oslobođen konvencionalnih (nenuklearnih) obveza.
- Konvencionalni otpad:
  To je materijal koji je otpušten iz nuklearnog nadzora, ali se iz drugih (nenuklearnih) razloga mora tretirati kao otpad. Primjeri su rabljena maziva, azbest, premazi itd.
- Radioaktivni otpad:
  To je materijal koji se ne može otpustiti iz nuklearnog nadzora.

Na sljedećoj slici možete vidjeti dijagram tijeka procesa prethodno navedenih koraka:



Slika 7-1: Obrada i kondicioniranje između D&D-a i izlaznih tokova

7.2 Mase za obradu

Mase u NE-u Krško koje trebaju na obradu tijekom razgradnje sažete su u Tablici 7-1. Obuhvaćaju primarne mase prema specifikaciji inventara u poglavlju 2.2 i sekundarne mase nastale tijekom razgradnje.

Mase i FA za razgradnju NE Krško

Kategorija	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
Gorivni element			
Kampanja / godina	3 + 4 / 2048. – 50.		5 + 6 / 2068. – 70.
Broj	1098		900
Materijal iz razgradnje (dekomisijki materijal) (primarna masa) [Mg]	**466 654,4**	**466 010,4**	**480 094,2**
Komponente i strukture kontroliranog područja	164 206,5		
Komponente i strukture područja nadziranja	169 699,3	169 055,3	183 139,1
Komponente i strukture područja unutar ograde	132 748,6		
Materijal iz razgradnje (sekundarna masa) [Mg]	**4499,9**	**4255,2**	**4499,9**
Sekundarne mase nastale tijekom razgradnje	4499,9	4255,2	4499,9
Ukupna masa (bez FA-a) [Mg]	**471 154,3**	**470 265,6**	**484 594,1**

Tablica 7-1:Mase u NE Krško za obradu

U Tablici 7-2 prikazane su sekundarne mase predviđene za projekt razgradnje NE Krško. Količina se izračunava s obzirom na određene korelacijske faktore (kg/kg ili %) u odnosu na primarne mase. Ažuriranje prethodnog PR-a uključuje iskustva stečena u okviru trenutačnih projekata razgradnje i planiranja.

Na primjer, sekundarni otpad koji se očekuje tijekom rastavljanja metalnih komponenata u kontroliranom području izračunava se na temelju sljedećih čimbenika:

- 1,00 % zapaljivi materijal (npr. odjeća, obuća, rukavice)
- 0,13 % stlačivi materijal (npr. alati, guma, drugi potrošni materijali)
- 15,00 % otpadna voda.

Slični su čimbenici utvrđeni za druge radove i primjene i počivaju na iskustvima stečenima proteklih godina.

Sekundarne mase uključuju 1257,4 Mg betonskih ruševina nastalih dekontaminacijom zgrada.

Sekundarne mase

Vrsta	Masa [Mg]	
	Osnovni scenarij 0 Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 1
Zapaljivi materijal	179,9	166,9
Stlačivi materijal	24,5	22,7
Voda za ispiranje iz dekont.	80,5	
Šuta nastala skarifikacijom građevina	1257,4	
Troska i filtri od taljenja	17,6	14,3
Meh. dekont. krutina	75,3	60,2
Otpadna voda	2865,0	2653,1
Ukupno	**4499,9**	**4255,2**

Tablica 7-2: Sekundarne mase

7.3 Strategija zbrinjavanja otpadom

7.3.1 Zbrinjavanje otpada za D&D projekt

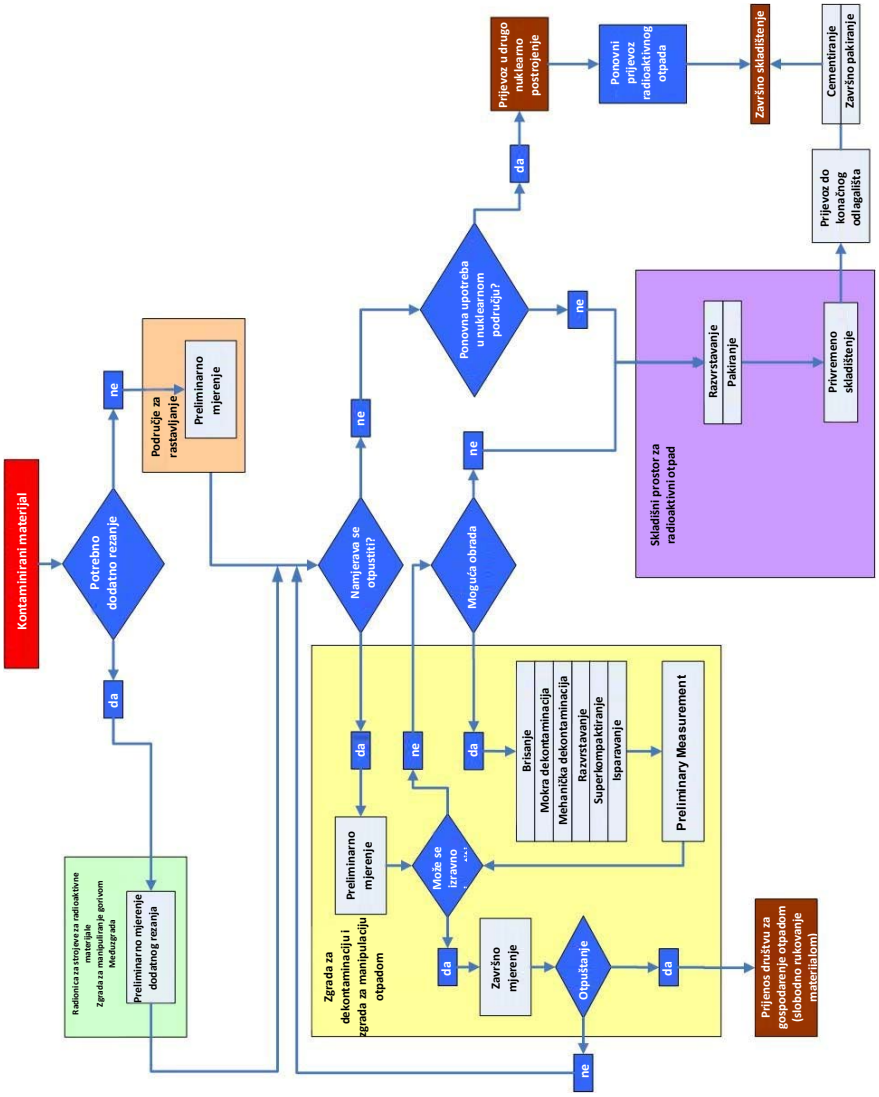
Opći postupci zbrinjavanja otpada prikazani su na sljeećoj slici (Slika 7-2). Očito je da je za sve obrade otpada potrebno nekoliko odluka o daljnjim koracima obrade. Svaka je odluka potkrijepljena radiološkim karakterizacijama ili mjerenjima.

Moguće tehnike za obradu, kondicioniranje i pakiranje masa nastalih nakon razgradnje mogu se sažeti na sljedeći način:

- Daljnje rezanje/rastavljanje:
  - Nemaju sve rastavljene komponente optimalne dimenzije za obradu i kondicioniranje. Možda dimenzije rastavljenih dijelova premašuju dopuštene dimenzije za pakiranje i prijevoz ili se možda do unutarnjih površina ne može doći mjernim alatima ili opremom za dekontaminaciju.
- Dekontaminacija komponenata i opreme:
  - Dekontaminacija komponenata i opreme provodi se radi smanjenja količine radioaktivnog otpada (u kg). Dijelovi s teško uklonjivom kontaminacijom obično se uopće neće dekontaminirati. Dijelovi s lakše uklonjivom kontaminacijom dekontaminirat će se i očekuje se da budu spremni za slobodno otpuštanje nakon dekontaminacije.
  - Većina kontaminacije zahvaća unutarnju površinu komponenata koje su bile u dodiru s radioaktivnim tekućinama. Kontaminacija se dijelom može pronaći na vanjskoj površini opreme u kontroliranom području. Takve se kontaminirane površine obrađuju tehnikama dekontaminacije kao što su:
    a) mehanička dekontaminacija: pjeskarenje (korund), sačmarenje čelikom, brušenje, četkanje
    b) mokra dekontaminacija: visokotlačno pranje.

  U nekim se slučajevima kontaminacija ne može ukloniti. Tad je cilj odvojiti kontaminirani dio od nekontaminiranog kako bi se količina radioaktivnog otpada svela na najmanju moguću mjeru.
- Taljenje:
  - Taljenje je posebna tehnika dekontaminacije. Odabrani radioaktivni materijal šalje se specijaliziranim tvrtkama kao što su Siempelkamp (Njemačka), Cyclife (Švedska) ili Energy Solutions (SAD) na taljenje. Gotovo sva kontaminacija koncentrira se u troski, koja je radioaktivni otpad. Preostali dio (čelik) može se slobodno otpustiti ili ponovno upotrijebiti u nuklearnoj industriji.
- Kompaktiranje primjenom dviju tehnika za smanjivanje obujma otpada:
  - Normalno kompaktiranje („pretprešanje”) služi, na primjer, za kompaktiranje bala sa zapaljivim otpadom prije otpremanja u spalionicu.
  - Superkompaktiranjem se smanjuje volumen radioaktivnog otpada (u m^3) kako bi se paketi otpada mogli više napuniti i time smanjiti broj potrebnih paketa.
- Spaljivanje:
  - Zapaljivi otpad poslat će se u spalionicu. Spaljivanjem se smanjuju masa i volumen otpada. Nakon spaljivanja radioaktivne čestice koncentrirat će se u pepelu i filtrima za zrak. Ispušni plinovi mjere se u svrhe nadzora prije ispuštanja u okoliš.
- Koncentracija:
  - Koncentracija (npr. isparavanje) primjenjuje se na tekućinama kako bi im se smanjio volumen i pripremilo ih se za solidifikaciju.

- Solidifikacija:
  - Solidifikacija (skrućivanje) se obavlja kako bi se koncentrati i mulj imobilizirali i stabilizirali cementom i aditivima.
- Cementiranje:
  - Neke vrste otpada i paketa zahtijevaju imobilizaciju otpada unutar paketa. To se postiže punjenjem paketa tekućim betonom tako da otpad s betonom postane monolitni blok.
- Pakiranje:
  - Radioaktivni otpad pakira se u odgovarajuće pakete za otpad. Paketi moraju ispunjavati kriterije prihvatljivosti otpada odredišnog postrojenja (vanjskog postrojenja za obradu ili privremenog skladišta i/ili odlagališta otpada), ali i zahtjeve za prijevoz javnim prometnicama.

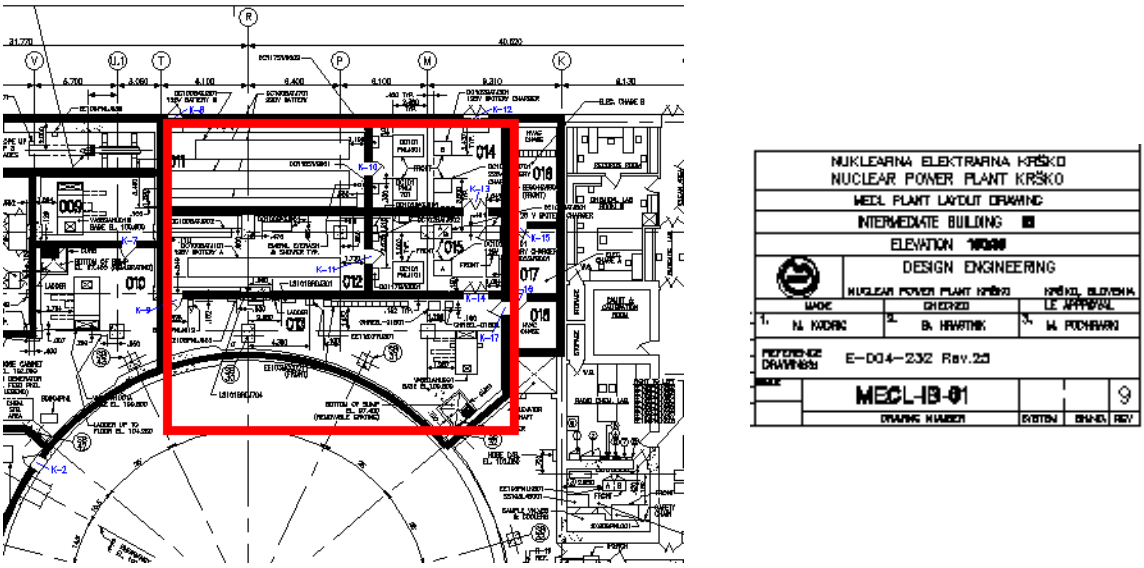


Slika 7-2: Opći postupak zbrinjavanja otpada

Na temelju količine masa koje treba zbrinuiti tijekom razgradnje odlučeno je da se postojeće zgrade i prostorije iskoriste za obradu, kondicioniranje i pakiranje. Na lokaciji NE Krško ima dovoljno prostora za obavljanje zadataka obrade otpada.

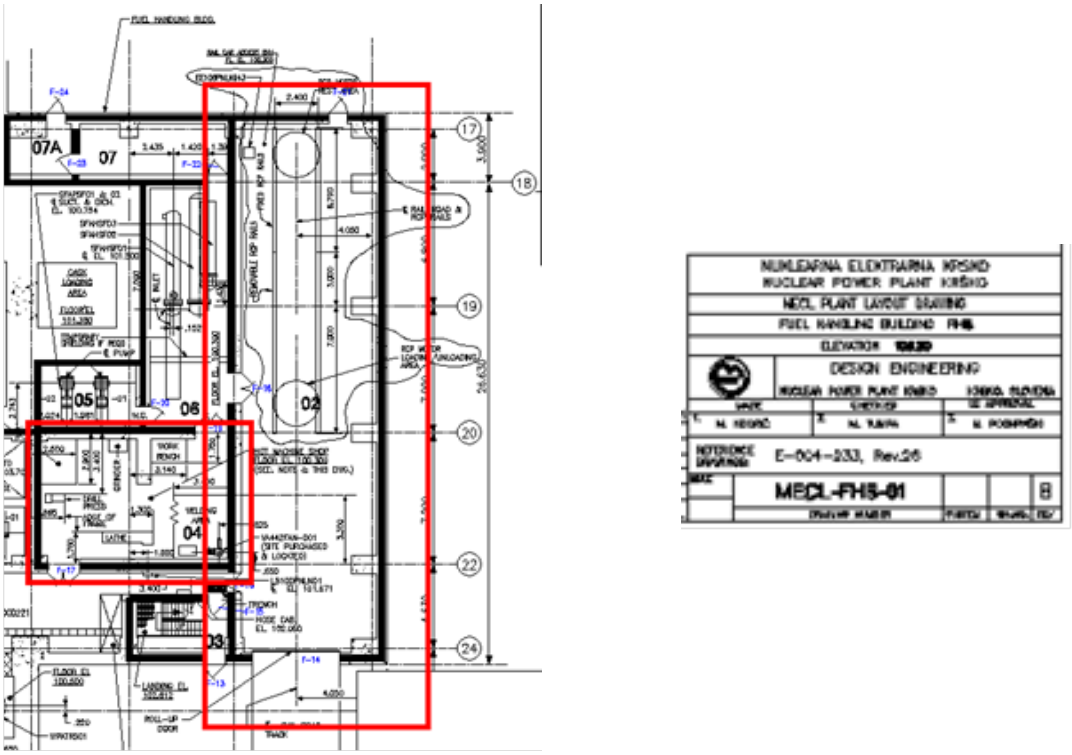
Prostorije i područja koja su odabrana kao prikladna za postrojenja za obradu materijala prikazana su na slikama od Slike 7-3 do Slike 7-6.

Prostorije 011 – 015 u međuzgradi služe za dodatno mehaničko rezanje rastavljenih dijelova. Te se prostorije mogu prenamijeniti u radionicu odmah nakon konačne obustave rada.



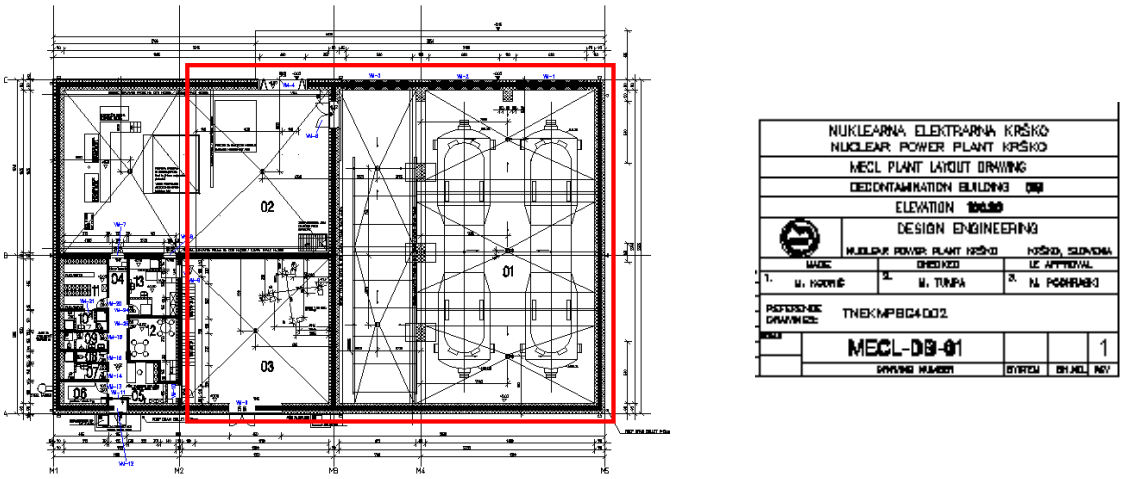
Slika 7-3: Radionica u međuzgradi

Postojeće radionice u prostorijama FHB-01, 02 i 04 FHB-a ostat će u pogonu na početku razdoblja rastavljanja. Tamo se planira dodatno rezanje rastavljenih komponenata i njihova priprema za odvoz s kontroliranog područja.



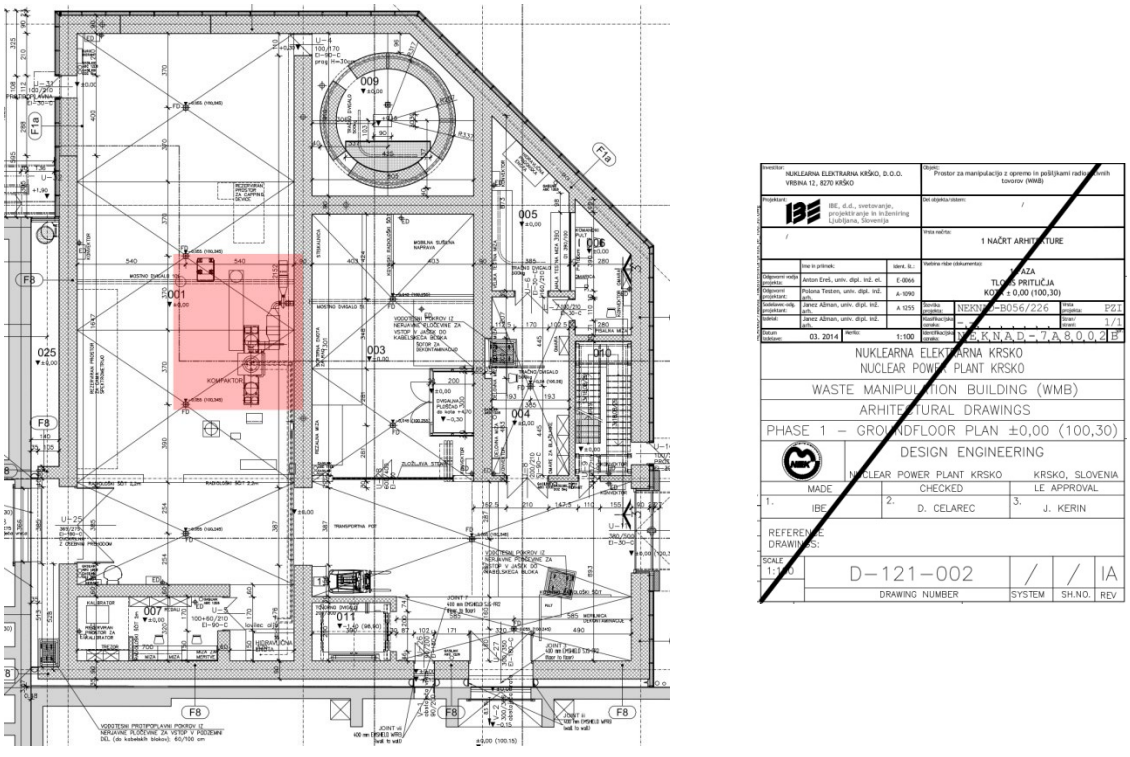
Slika 7-4: Radionica u zgradi za manipuliranje gorivom

Zgrada za dekontaminaciju služi kao postrojenje za gospodarenje otpadom. Prvo se rastavljaju, režu i pakiraju već uskladišteni parogeneratori. Potom se tamo obrađuju parogeneratori koji su trenutačno u funkciji. Zgrada se nakon toga priprema za obradu ostalog otpada iz razgradnje, odnosno dekontaminaciju i mjerenja za otpuštanje. U osnovnom scenariju 1 stari parogeneratori već su uklonjeni, stoga se ne predviđaju za obradu otpada tijekom razdoblja razgradnje.



Slika 7-5: Radionica u zgradi za dekontaminaciju

Osim u DB-u obrada otpada predviđa se i u zgradi za manipuliranje otpadom. Tamo se planira obavljanje dekontaminacije, superkompaktiranja, razvrstavanja i mjerenja za otpuštanje. Nadalje, tamo su dostupna privremena interna skladišta. Slika 7-6 prikazuje prizemlje zgrade za manipuliranje otpadom. Superkompaktor koji se trenutačno upotrebljava označen je crvenom bojom.



Slika 7-6: Zgrada za manipuliranje otpadom (prizemlje)

7.3.2 Obrada komponenata

Na temelju masa u NE-u Krško (Tablica 7-1) i strategije zbrinjavanja otpada (kako je utvrđena i opisana u poglavlju 7.3.1) treba odrediti obradu za svaku komponentu. To se radi u bazi podataka CORA, u kojoj su pohranjene potrebne definicije.

U prvom se koraku kvantificira masa za razgradnju. To znači da se za svaku vrstu komponente odlučuje koji će njezin dio biti radioaktivni otpad, neradioaktivni materijal ili dio koji se može dekontaminirati. Moraju se uzeti u obzir sljedeći kriteriji komponente:

- geometrija
- radioaktivnost
- materijal.

Donesene odluke opisane su u poglavljima u nastavku.

7.3.2.1 Komponente primarnog kruga

Cijeli će se primarni krug dekontaminirati FSD-om (vidjeti poglavlje 5.1.2.1) prije rastavljanja. Zatim se komponente uglavnom rastavljaju na komade i odvoze u zgradu za dekontaminaciju ili manipuliranje otpadom na daljnje rezanje i pakiranje. Tamo se komponente dijele na neradioaktivne i radioaktivne. Radioaktivni dijelovi, koji se nakon dekontaminacije ne mogu otpustiti, režu se na odgovarajuće komade i pakiraju za konačno odlaganje. Metode obrade koje se primjenjuju za rastavljanje komponenata opisane su u poglavlju 5.

7.3.2.1.1 RPV, poklopac i unutarnji dijelovi, mobilni unutarnji dijelovi RPV-a

Budući da je materijal za tu vrstu komponenata aktiviran, ne razmatraju se druge mjere. Materijal se pakira u odgovarajuće spremnike za konačno odlaganje.

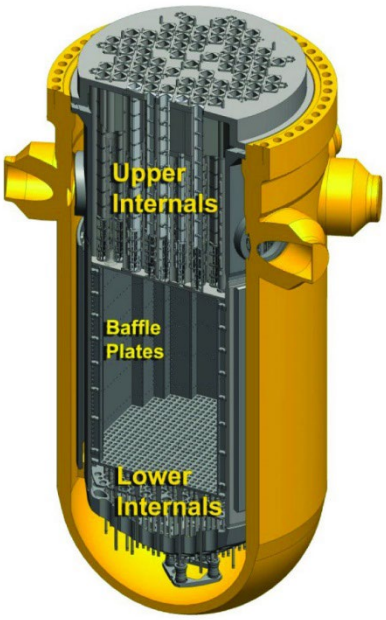
Mobilni unutarnji dijelovi RPV-a

Mobilni unutarnji dijelovi su komponente koje se mogu ponovno sastaviti tijekom normalnih operativnih postupaka, npr. kontrolni štapovi, izvori neutrona, instrumentacija u jezgri, kanali gorivnih elemenata. Ovisno o svojstvima otpada, mogućem pakiranju, kriterijima prihvatljivosti otpada i konceptu odlagališta te se komponente moraju pakirati u:

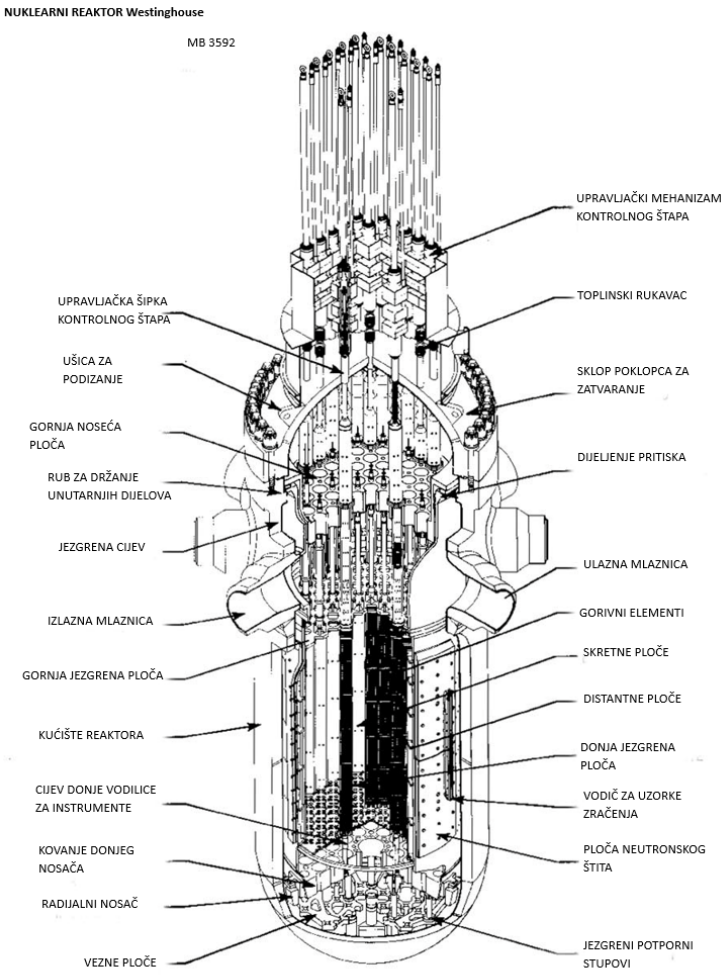
- Holtecov spremnik HI-SAFE uz minimalno rezanje i pohraniti u SFDS
- N2d i RCC spremnike nakon rezanja na odgovarajuću veličinu i pohraniti u skladište, odnosno odložiti u odlagalište NSRAO-a.

Unutarnji dijelovi RPV-a

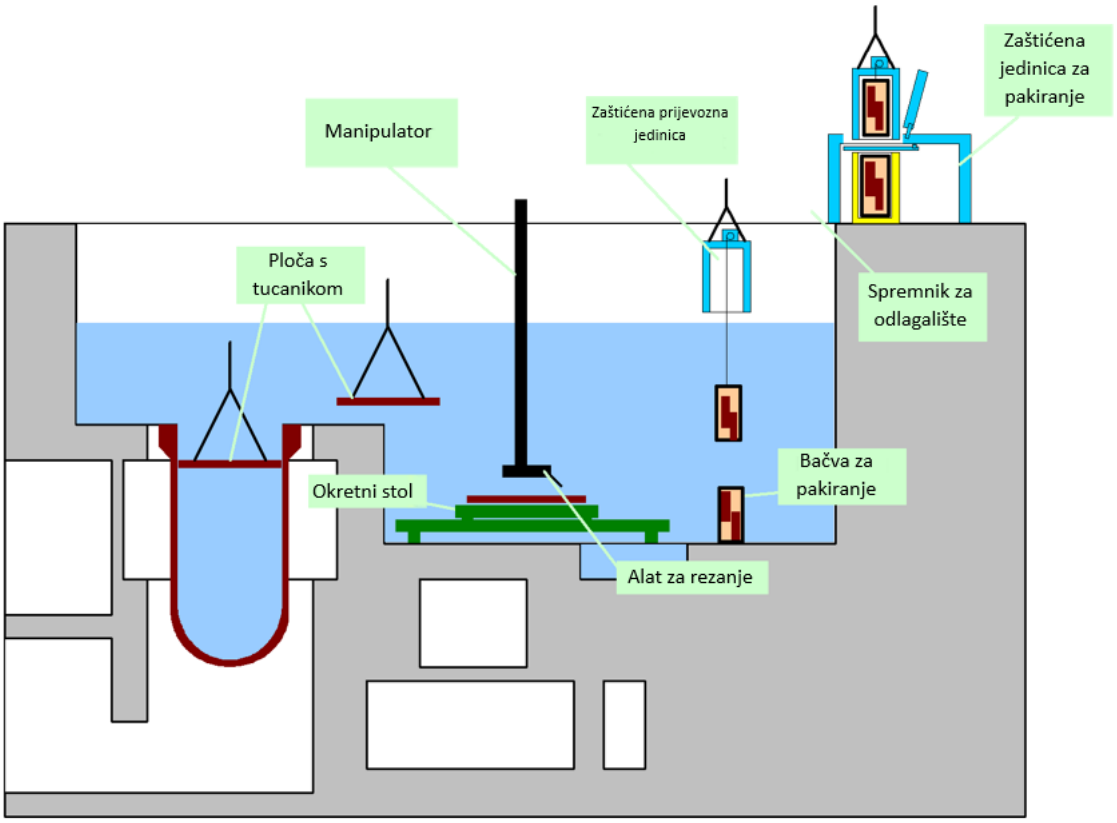
Unutarnji dijelovi RPV-a (rešetkaste ploče, plašt jezgre, konstrukcija jezgre itd.) ne mogu se ukloniti tijekom normalnih radnih postupaka. Ti se unutarnji dijelovi rastavljaju i pakiraju izravno u odgovarajuće spremnike za odlaganje bez ikakve daljnje obrade. Odgovarajuće vrste spremnika odabiru se s obzirom na izračune troškova i zaštite, kao i granične uvjete odlagališta NSRAO-a. Na sljedećoj se slici prikazuje primjer unutarnjih dijelova reaktora.



Legenda:
Upper Internals = Gornji unutarnji dijelovi
Baffle Plates = Skretne ploče
Lower Internals = Donji unutarnji dijelovi



Slika 7-7: Primjeri RPV-a, poklopca i unutarnjih dijelova



Slika 7-8: Rastavljanje i rezanje unutarnjih dijelova RPV-a

Koncept pakiranja uvelike utječe na postupke rastavljanja i slijed radova, ali ne ograničava izbor tehnika za rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a. Primjerene tehnike rastavljanja i rezanja:

- WAS tehnika
- paljenje acetilenom
- paljenje plazmom
- mehaničko rezanje, npr. pilama, glodalicama, brusilicama, sjekačima lima.

Gornji unutarnji dijelovi RPV-a rastavljaju se u najvećoj mogućoj mjeri, rezanjem vijaka za pričvršćivanje. Rastavljene komponente odvoze se iz RPV-a u šupljinu reaktora radi dodatnog rezanja na prikladnu veličinu za pakiranje. Režu se primjenom tehnike WAS i mehaničkog piljenja.

Pilom se prave okomiti i vodoravni rezovi kako bi se toplinski štit podijelio na nekoliko dijelova.

Na početku radova na rastavljanju potrebni su veliki montažni i pripremni radovi u radnom dijelu reaktorske zgrade i u jami reaktorske posude. Vrsta i trošak pripremnih radova ovisi o konceptu skladišnog spremnika. Općenito, glavni zadaci su:

- postavljanje opreme za daljinsko upravljanje i alata za rezanje s upravljačkim pločama
- postavljanje kamera
- poboljšanje stroja za dovod goriva
- postavljanje mobilnih filtara za vodu u šupljini reaktora
- podizanje zaštitnih elemenata (prema potrebi).

Zbog upotrebe Holtecova spremnika HI-SAFE potrebne su određene dodatne pripreme. Budući da se spremnicima ne može rukovati u reaktorskoj zgradi, izrezani komadi pakiraju se u transportnu jedinicu s unutarnjom zaštitom pa se dalje prenose u bazen goriva FHB-a. Unutarnji dijelovi RPV-a pakiraju se pod vodom u Holtecov spremnik HI-SAFE u bazenu za gorivo. Volumen unutar Holtecova spremnika HI-SAFE suši se vakuumski. Za pakiranje svih unutarnjih dijelova RPV-a i izrazito aktiviranih komponenata potrebno je sedam Holtecovih spremnika HI-SAFE.

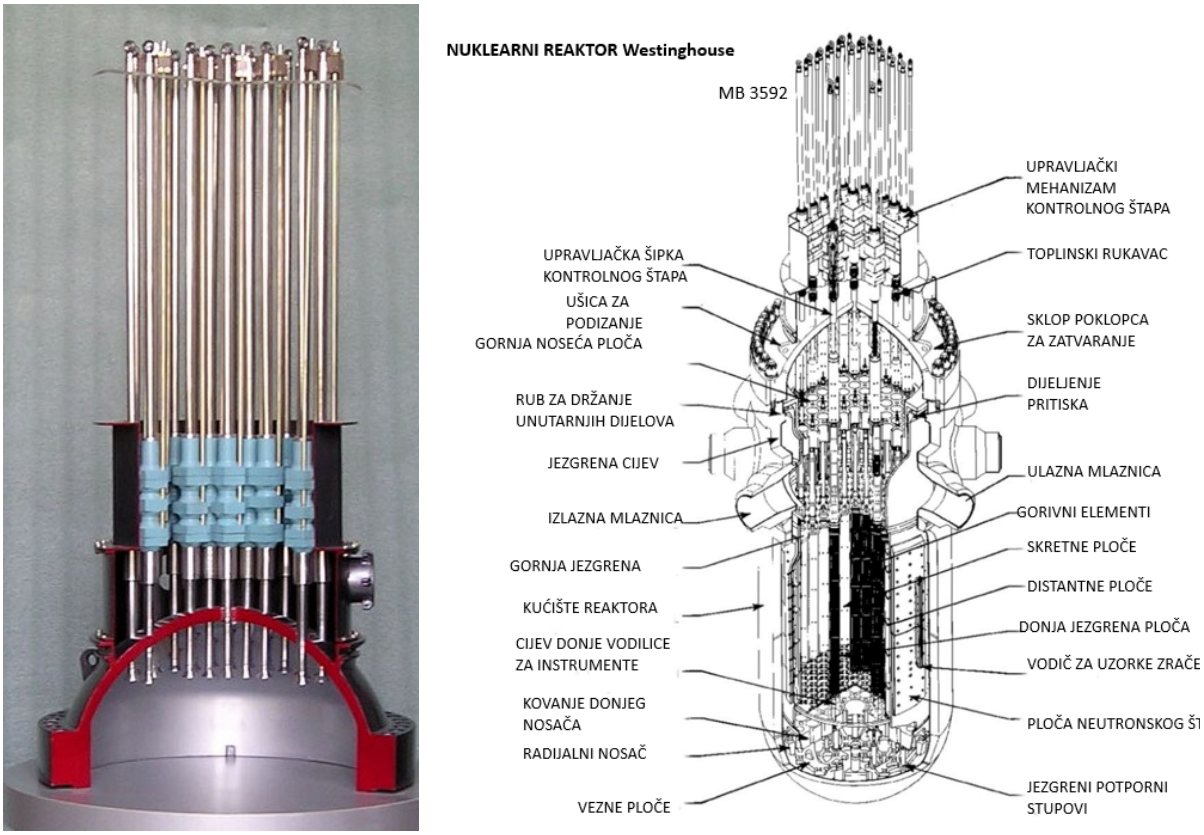
Poklopac RPV-a

Pri razgradnji NE Krško treba uzeti u obzir dva poklopca RPV-a. Osim poklopca RPV-a koji je trenutačno u pogonu u DB-u uskladišten je jedan stari poklopac.

Poklopac RPV-a koji je trenutačno u pogonu i pogonski mehanizam kontrolnog štapa rastavljaju se u šupljini reaktora. Pogon kontrolnog štapa rastavlja se ručno. Poklopac RPV-a reže se na dijelove koji stanu u unutrašnjost spremnika za odlaganje. Uređajem za rezanje acetilenom prave se rezovi izvana (osnovni materijal). Ne mogu se napraviti s obložene unutarnje strane.

Stari poklopac RPV-a reže se na isti način nakon rastavljanja starog parogeneratora u DB-u.

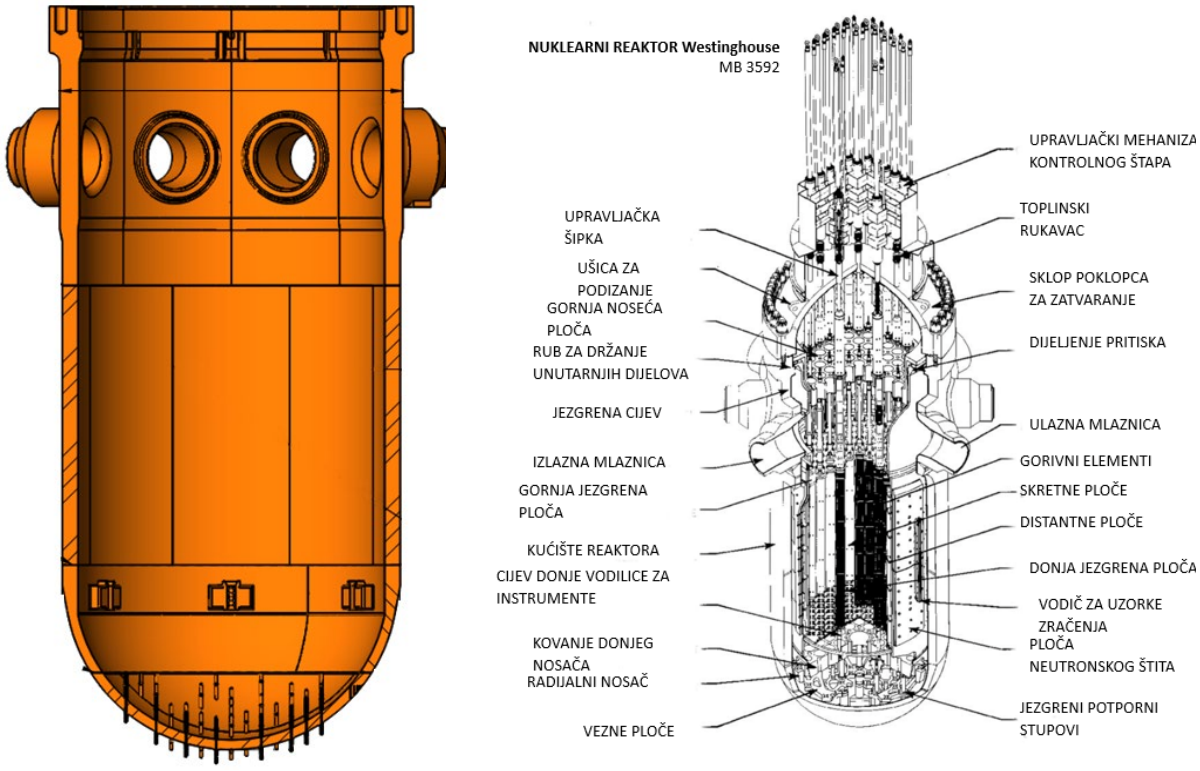
Izrezani komadi obaju poklopaca RPV-a pakiraju se u N2d i RCC spremnike.



Slika 7-9: Primjeri poklopca RPV-a

RPV

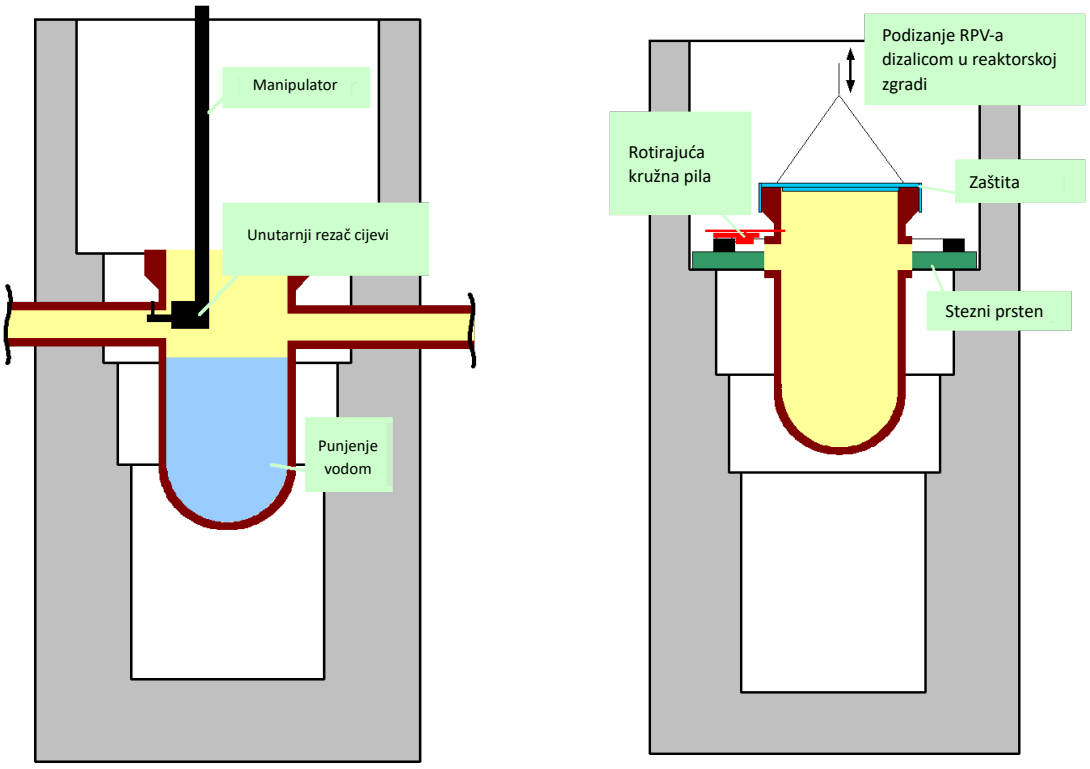
RPV se sastoji od kućišta i poklopca. Kućište ima okomit cilindričan plašt i poluokuglasto dno koje je zavareno na plašt. Kućište prekriva polukuglasti poklopac s prirubnicom. Shematski pregled sličnog RPV-a prikazan je u nastavku:



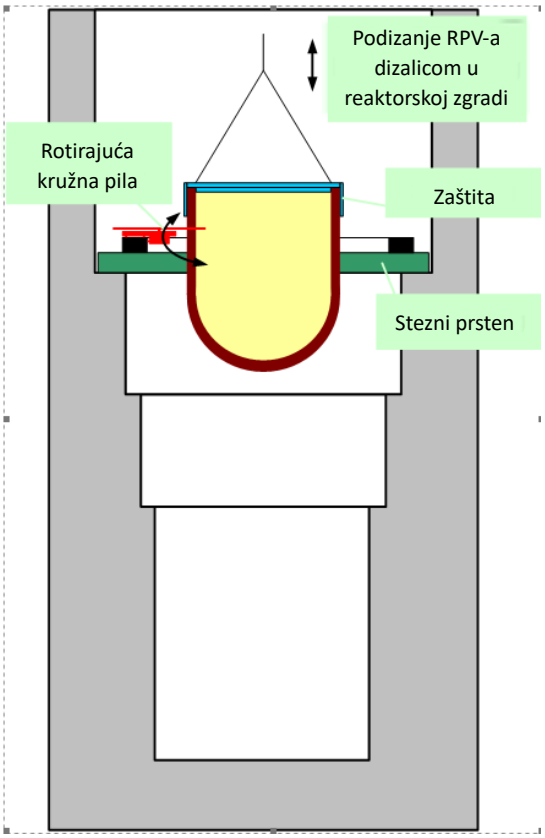
Slika 7-10: Primjeri RPV-a

RPV se rastavlja u koracima sljedećim redoslijedom:

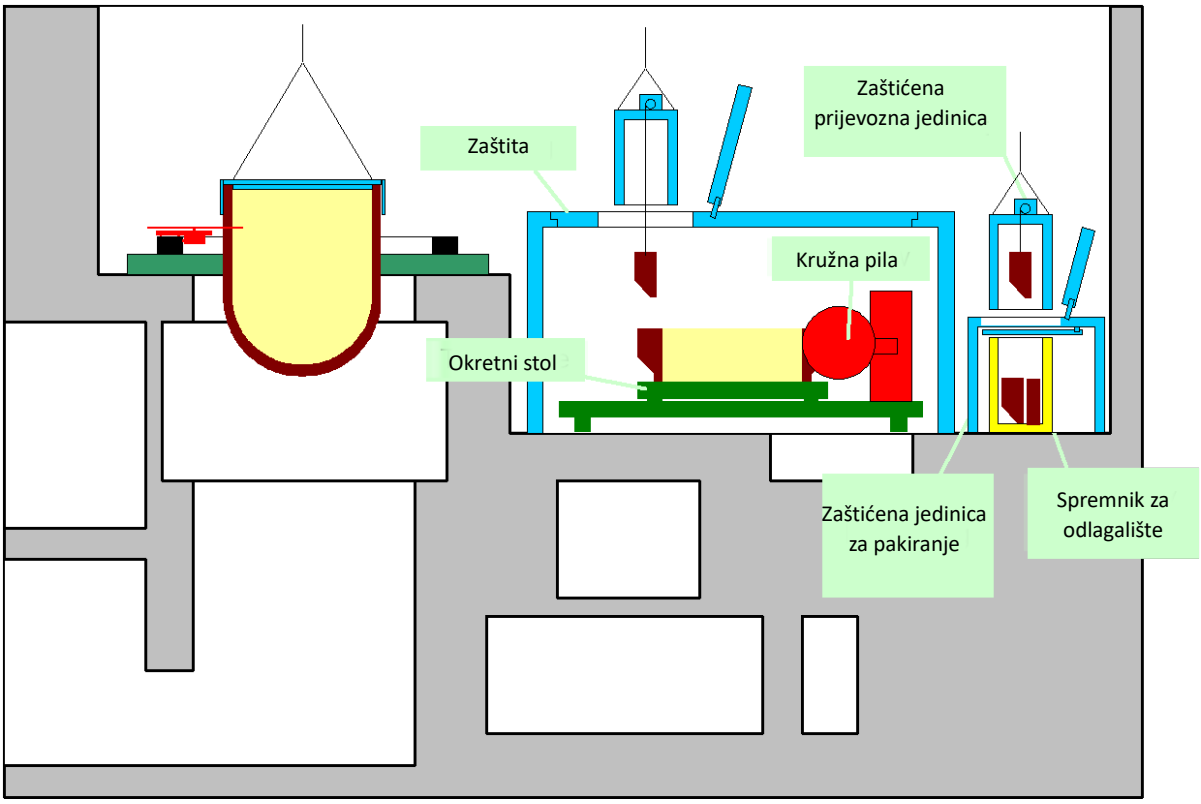
- rezanje cijevi petlje iznutra mehaničkim rezačem cijevi za rezanje iznutra (Slika 7-11)
- postavljanje opreme za pričvršćivanje u šupljinu reaktora iznad RPV-a
- postavljanje opreme za piljenje u šupljinu reaktora
- rastavljanje pričvršćivača RPV-a
- podizanje RPV-a za 1 m u šupljinu reaktora dizalicom reaktorske zgrade (Slika 7-11)
- pričvršćivanje RPV-a opremom za pričvršćivanje
- rezanje gornjeg dijela RPV-a
- podizanje izrezanog komada do pile u unutrašnjost reaktora
- rezanje gornjeg dijela na prikladne komade za pakiranje
- ponovno usporedno podizanje RPV-a za 1 m
- odgovarajuće rezanje sljedećih prstenova do dna RPV-a (Slika 7-12).



Slika 7-11: Rezanje cijevi primarne petlje i prvog dijela RPV-a



Slika 7-12: Rezanje ostalih dijelova RPV-a



Slika 7-13: Dodatno rezanje dijelova RPV-a i pakiranje u spremnik za odlaganje

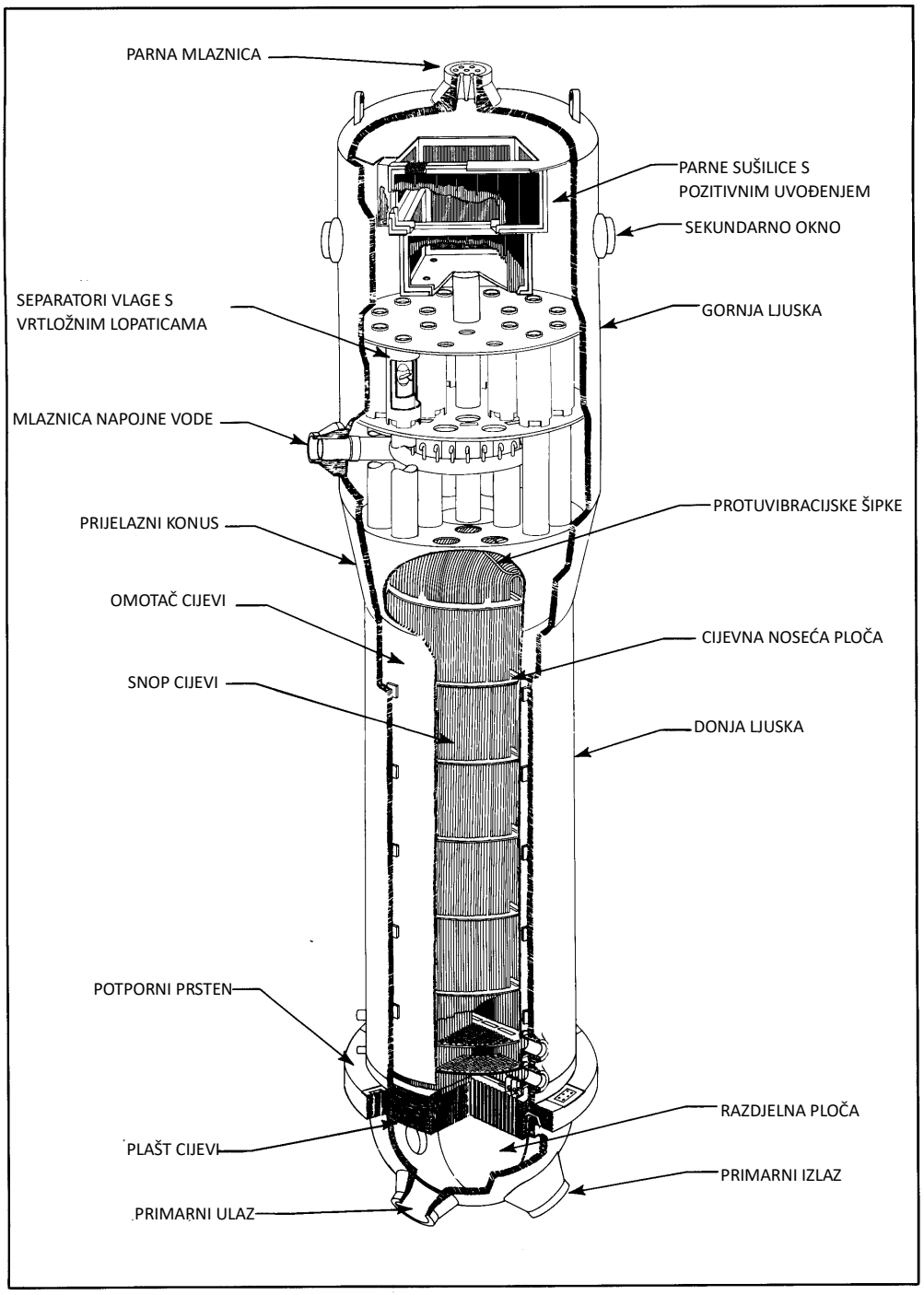
Izrezani komadi pakiraju se u betonske spremnike koji stoje u radnom dijelu reaktora. Dakle, potrebna je zaštićena oprema za prijevoz. Odrezani komadi i sadržaj zapakiranog spremnika mogu se osušiti vakuumski.

Pretpostavlja se da je izolacija RPV-a njegov dio i uklanja se u okviru tog radnog koraka.

7.3.2.1.2 Parogeneratori

Trenutačno se u zgradi za dekontaminaciju skladište dva stara parogeneratora. Kad je riječ o osnovnom scenariju 0 i dodatnim scenarijima, moraju se uzeti u obzir u okviru projekta razgradnje zajedno s novima koji su trenutačno u pogonu. Stari parogeneratori nisu dio osnovnog scenarija 1 jer će se otpremiti u SAD za nekoliko godina u skladu s trenutačnom ponudom.

Glavni je cilj ovog koraka rastavljanja otpustiti što više materijala iz sekundarnog dijela parogeneratora nakon dekontaminacije. Sekundarni dijelovi pokrivaju sva područja izvan primarnog kruga kao što su primarni ulaz i izlaz, cijevna stijena, cijevi i razdjelna ploča (Slika 7-14).



GENERATOR PARE Westinghouse
MB 3593

Slika 7-14: Primjer parogeneratora

S obzirom na situaciju na lokaciji NE Krško predviđa se sljedeći redoslijed:

- Zgrada za dekontaminaciju preinačava se odgovarajućom opremom prije konačne obustave rada.
- Stari se parogeneratori demontiraju, rastavljaju i režu na prikladne komade za dekontaminaciju i otpuštanje ili za pakiranje za završno odlaganje.
- Parogeneratori koji su trenutačno u pogonu rastavljaju se nakon FSD-a u jednom komadu i odvoze u DB.

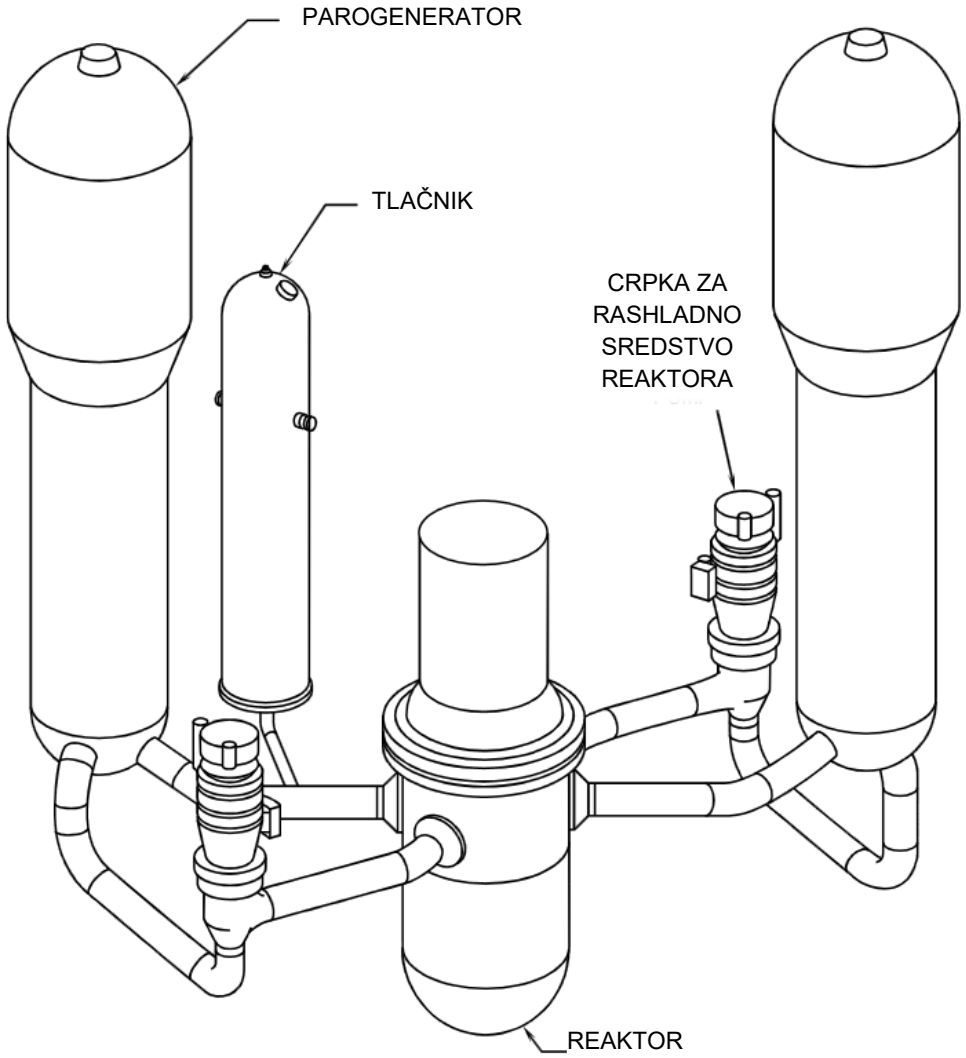
- Parogeneratori se demontiraju, rastavljaju i režu na prikladne komade za otpuštanje ili pakiranje. Dekontaminacija rastavljenih komada nije u planu.
- Tlačnik, odušni spremnik tlačnika, primarne crpke i cijevi petlje rastavljaju se, režu na komade koji se mogu prenositi i odvoze u DB na daljnju obradu.

U postupcima rezanja primjenjuju se različite tehnike. Parogeneratori se režu na prikladne dijelove žičanom pilom. Postavlja se zasebna idsisna oprema kako bi se izbjeglo širenje kontaminacije. Hidraulične škare rabe se na velikim komponentama poput cijevi izmjenjivača topline. U posebnim se slučajevima mogu upotrijebiti brusilice ili paljenje acetilenom.

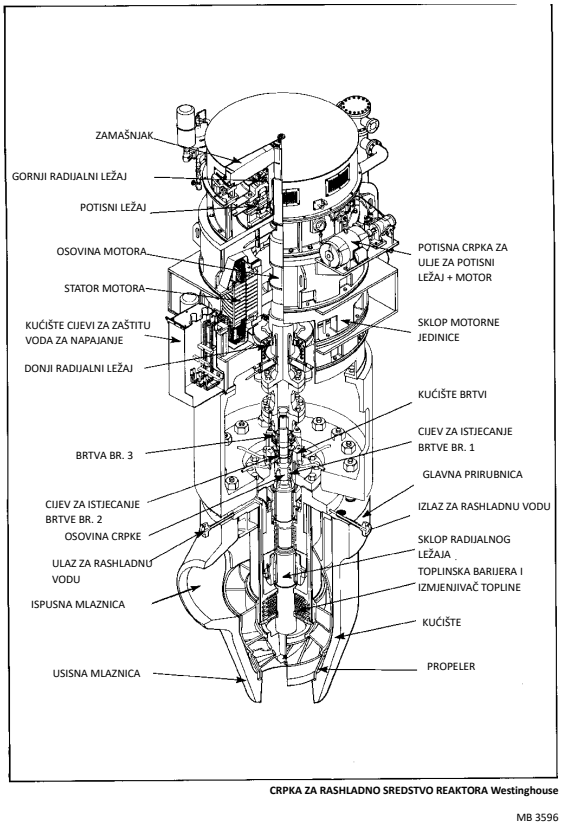
7.3.2.1.3 Tlačnik, crpke i cijevi primarnog kruga

Cijevi primarnog kruga, kao i tlačnik i kućište crpke primarnog kruga (bez motora) rastavljaju se nakon parogeneratora. Glavni su postupci rezanja isti. Iznimka su motori crpke primarnog kruga koji se vade iz kućišta i rastavljaju zasebno.

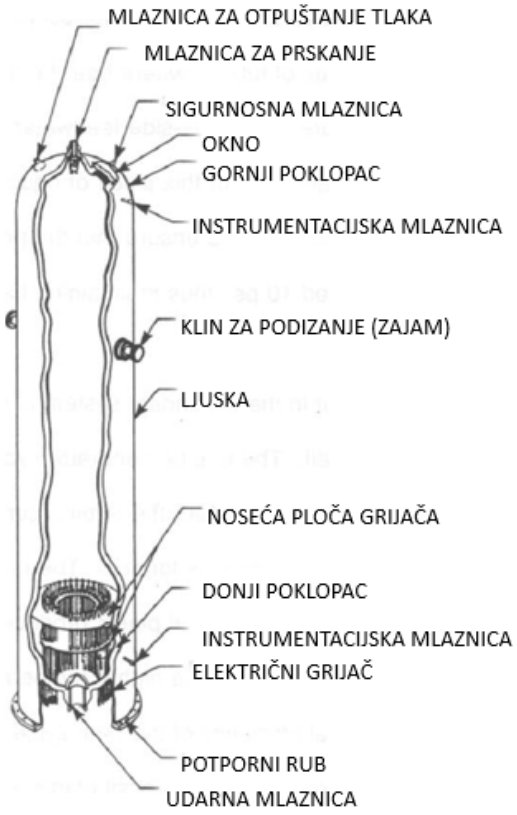
Na sljedećim slikama možete vidjeti pregled primarnog kruga i nekih komponenata.



Slika 7-15: Primjer komponenata primarnog kruga



Slika 7-16: Primjer crpke primarnog kruga



Slika 7-17: Primjer tlačnika

7.3.2.1.4 Biološki štit

Aktivirani dio biološkog štita reže se na lokaciji na odgovarajuće dimenzije za unutarnji prijevoz. Potom se opet reže i kondicionira u spremnik na mjestu za skladištenje radioaktivnog otpada.

Radioaktivni dio biološkog štita rastavlja se tako što se reže žičanom pilom. Pri toj se tehnici žica provlači kroz rupe izbušene u betonu. Učinak piljenja postiže zahvaljujući tvrdim metalnim pločama ili malim prirodnim dijamantima koji su pričvršćeni na žice. Žica se provlači kroz zatezne remenice do pogonske jedinice. Postoji mogućnost odvajanja velikih komada veličine kvadratnog metra koji se zatim mogu dalje obraditi u odgovarajućim alatima za rezanje.

7.3.2.2 Cijevi

U prvom se koraku cijevi odvajaju na cijevi kontaminirane i nekontaminirane iznutra. Zatim se cijevi kontaminirane iznutra razvrstavaju po promjeru na male (DN < 50 mm), srednje (50 mm < DN < 100 mm) i velike (DN > 100 mm) cijevi.

Male se cijevi radi učinkovitosti pakiraju izravno u spremnike za završno odlaganje. Dodatno rezanje ili dekontaminacija ne čine se razumnim rješenjem.

Velike cijevi režu se za odvoz. Potom se premještaju u radionice u DB-u radi daljnjeg rezanja, dekontaminacije i pripreme za radiološka mjerenja ako je to moguće. Inače se pakiraju u spremnike za završno odlaganje.

Vanjske površine cijevi koje nisu kontaminirane iznutra dekontaminiraju se (brisanjem, mehaničkom ili mokrom dekontaminacijom) i pripremaju za postupak otpuštanja.

7.3.2.3 Spremnici, filtri i izmjenjivači topline

Spremnici, filtri i izmjenjivači topline također se razdvajaju na komponente kontaminirane i nekontaminirane iznutra. Zatim se komponente kontaminirane iznutra razvrstavaju po veličini na male (< 100 kg), srednje (100 – 1000 kg) i velike (> 1000 kg) komponente.

Male se komponente radi učinkovitosti pakiraju izravno u spremnike za završno odlaganje. Dodatno rezanje ili dekontaminacija ne čine se razumnim rješenjem.

Veliki spremnici, filtri ili izmjenjivači topline rastavljaju se u jednom komadu i prema potrebi režu za odvoz. Potom se premještaju u radionice u DB-u radi daljnjeg rezanja, dekontaminacije i pripreme za radiološka mjerenja ako je to moguće. Inače se pakiraju u spremnike za završno odlaganje.

Vanjske površine spremnika, filtara ili izmjenjivača topline koji nisu kontaminirani iznutra dekontaminiraju se prema potrebi i pripremaju za postupak otpuštanja.

7.3.2.4 Crpke i ventili

Male (< 50 kg) crpke ili ventili pakiraju se radi učinkovitosti izravno u spremnike za završno odlaganje. Dodatno rezanje ili dekontaminacija ne čine se razumnim rješenjem.

Veće (> 50 kg) komponente kontaminirane iznutra rastavljaju se i režu za odvoz u radionice u DB-u. Tamo se dodatno obrađuju za otpuštanje. Inače se kondicioniraju u spremnike za završno odlaganje.

Vanjske površine crpaka ili ventila koji nisu kontaminirani iznutra dekontaminiraju se prema potrebi i pripremaju za postupak otpuštanja.

7.3.2.5 Kabeli i kabelski kanali

Kabeli se skupljaju u šarže i odvoze u rešetkastoj kutiji u zgradu za dekontaminaciju na daljnju obradu. Razumno je da se odvoji izolacija od vrijednog bakra. Bakar se mjeri i otpušta koliko je moguće. Usto se i izolacija mjeri radi otpuštanja. Preostali radioaktivni otpad od izolacije prikuplja se zasebno radi kompaktiranja.

Kabelski kanali rastavljaju se i režu za odvoz u DB. Tamo se po potrebi dekontaminiraju i pripremaju za mjerenje radi otpuštanja. Materijal koji se ne može otpustiti pakira se u odgovarajuće spremnike za završno odlaganje.

7.3.2.6 Električna oprema i motori

Električna oprema i motori uklanjaju se u jednom komadu ako je to izvedivo. Inače se režu za odvoz u DB. Električna oprema većinom se može otpustiti. Preostali radioaktivni dio kondicionira se u odgovarajuće spremnike za završno odlaganje.

7.3.2.7 Ventilacijski sustav

Ventilacijski kanali rastavljaju se i režu za odvoz u DB. Tamo se po potrebi dekontaminiraju i pripremaju za mjerenje radi otpuštanja. Materijal koji se ne može otpustiti pakira se u odgovarajuće spremnike za završno odlaganje.

7.3.2.8 Čelične konstrukcije i naprave za podizanje

Čelične konstrukcije i naprave za podizanje posljednje se uklanjaju iz zgrada jer su potrebni pri rastavljanju.

Čelične konstrukcije i naprave za podizanje uklanjaju se i režu za odvoz u DB. Tamo se po potrebi dekontaminiraju i pripremaju za mjerenje radi otpuštanja. Materijal koji se ne može otpustiti pakira se u odgovarajuće spremnike za završno odlaganje.

7.3.2.9 Opasni materijali

Opasni se materijali odvajaju od neopasnih. Ako dođe do kontaminacije, materijal se smatra radioaktivnim materijalom jer su za njega zahtjevi stroži i usklađeni s potrebnim normama. Pretpostavlja se da se s neradioaktivnim opasnim materijalom postupa u skladu sa slovenskim zakonskim zahtjevima i da se odvojeno odlaže, npr. na dostupno odlagalište. Predviđa se provedba zaštitnih mjera, npr. nošenje zaštitnih maski i odjeće.

7.3.2.10 Zapaljivi otpad

Zapaljivi otpad, npr. odjeća, papir ili krpe za čišćenje, spaljuju se kao i tijekom rada NE Krško.

7.3.2.11 Otpad koji se može kompaktirati

Otpad koji se može kompaktirati, npr. folije i filtarski materijal, skuplja se i odvozi u zgradu za manipuliranje otpadom na mjerenje i otpuštanje. Preostali radioaktivni otpad stavlja se u bačve za prešanje radi kompaktiranja. Peleti se potom kondicioniraju u N2d i RCC spremnike za završno odlaganje.

7.3.2.12 Tekući otpad

Tekućine se skupljaju, predobrađuju i neutraliziraju. Vode se do isparivača. Kondenzati se mjere u stanici za otpuštanje. Slobodne skupine prikupljaju se i ponovno mjere pa otpuštaju. Skupine kondenzata koje nisu slobodne vraćaju se u tok tekućeg otpada. Koncentrat se predobrađuje za solidifikaciju . Potom se stavlja u bačve od 200 l i učvršćuje suhim punilom. Napunjene bačve stavljaju se u spremnike. Poslije se spremnici prema potrebi pune materijalom za punjenje i stavljaju u međuskladište dok se ne odvezu na konačno odlagalište.

Na početku projekta razgradnje previđa se korištenje postojećom opremom. Poslije se sustav tekućeg otpada prilagođava očekivanoj manjoj količini tekućeg otpada.

7.3.2.13 Građevinska šuta

Površine građevinskih konstrukcija unutar kontejnmenta dekontaminiraju se skarifikacijom površinskog sloja. Zatim se građevinske konstrukcije rastavljaju u skladu s ograničenjima kontroliranog područja i prenose u DB na postupak otpuštanja.

Ostale površine građevinskih konstrukcija unutar kontroliranog područja također se dekontaminiraju tehnikom skarifikacije. Potom se građevinske konstrukcije na licu mjesta mjere radi otpuštanja. Nakon što se otpuste, građevinske se konstrukcije rastavljaju u konvencionalnim uvjetima.

Građevinska šuta skuplja se u bačve od 200 l i odvozi u DB na kondicioniranje u odgovarajuće spremnike za završno odlaganje.

7.3.2.14 Konvencionalni betonski otpad

Nakon što se zgrade otpuste iz nuklearnog nadzora, konstrukcije se konvencionalno uklanjaju. Radove obavlja tvrtka koja se bavi konvencionalnim rušenjem.

Prvo se opasni materijal uklanja i odlaže u skladu s primjenjivim propisima. Potom se ruše i drobe sve konstrukcije iznad razine od –1 m. Čelični dio armature odvaja se od betona radi recikliranja. Preostale se jame pune zdrobljenim betonom. Preostali se beton odvozi na odlagalište.

7.3.2.15 Konvencionalni materijal

Dijelovi metalnog materijala predviđeni su za recikliranje i zaradu. To se posebno odnosi na čelične dijelove armature.

Većina se konvencionalnih materijala sastoji od mješavine materijala. Da bi se opravdali troškovi daljnje obrade radi zarade, treba uzeti u obzir učinkovite aspekte. Međutim, dio se konvencionalnih materijala mora premjestiti na lokacije za odlaganje konvencionalnog ili čak opasnog otpada u skladu s propisima o zaštiti okoliša. To se, na primjer, odnosi na:

- slike na zidovima
- plastiku
- svjetiljke
- električni i elektronički materijal
- azbest
- građevinske konstrukcije ili tlo kontaminirano uljem.

7.3.3 Načelo pakiranja

Načelo pakiranja radioaktivnog otpada podliježe nacionalnim i međunarodnim zahtjevima, pravilima i zakonima. Posebno treba pripaziti na siguran odvoz radioaktivnog materijala i kriterije prihvatljivosti za skladištenje i odlaganje. U trenutačnom PR-u predviđaju se spremnici za završno skladištenje, kao i paketi za privremeno skladištenje.

7.3.3.1 Spremnik za završno odlaganje

U trenutačnom PR-u predviđene su sljedeće tri vrste spremnika:

- Holtecov spremnik HI-SAFE
- N2d
- RCC.

Holtecovi spremnici HI-SAFE predviđeni su za pakiranje aktiviranih i vrlo kontaminiranih dijelova RPV-a [24]. Ostale kontaminirane komponente ili oprema pakiraju se u N2d i RCC spremnike. Kao i u prethodnoj studiji predviđa se pakiranje 50 % mase radioaktivnog otpada u N2d spremnike, a ostalih 50 % u RCC spremnike. Pravila za punjenje N2d spremnika navedena su u tehničkom izvještaju [25], a za RCC u [26]. Glavni granični uvjeti:

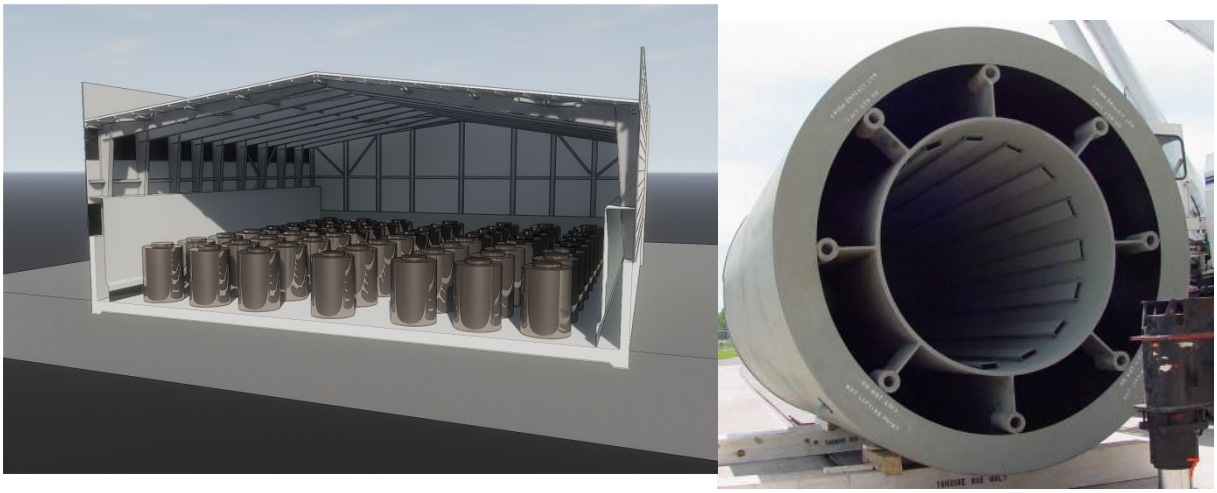
- Otpad će se kompaktirati i pakirati u spremnike na lokaciji.
- Prema potrebi se predviđa dodatna zaštita unutar spremnika. Olovo u spremnicima nije dopušteno za odlagalište NSRAO-a.
- Najveća je odobrena težina N2d spremnika 40 Mg, a RCC spremnika 15 Mg.

Na sljedećim slikama i tablicama možete vidjeti pregled predviđenih spremnika za završno odlaganje:

Spremnik HOLTEC HI-SAFE

Svojstva	Nazivna vrijednost
Unutarnji promjer	1,8 m
Reprezentativna unutarnja visina	5 m (varijabilno)
Reprezentativni unutarnji volumen	13 m^3 (varijabilno)
Debljina stijenke unutarnje i vanjske ljuske	25 mm
Debljina postolja	64 mm
Debljina gornje prstenaste ploče	25 mm
Varijabilna debljina betonskog zida	200 mm do 760 mm
Sredstva za podizanje	Mora zadovoljiti normu ANSI N14.6
Metodologija pričvršćivanja poklopca	Vijcima
Sredstva za podizanje poklopca	Rupe ili ušice za podizanje s navojem
Primjer vrijednosti Curie sadržaja	180 000 Ci
Izračunana brzina površinske doze (konzervativno) –180 000 Ci –760 mm betonska zaštita	0,06 mSv

Tablica 7-3:Reprezentativna obilježja Holtecova ovojnog paketa HI-SAFE [24]

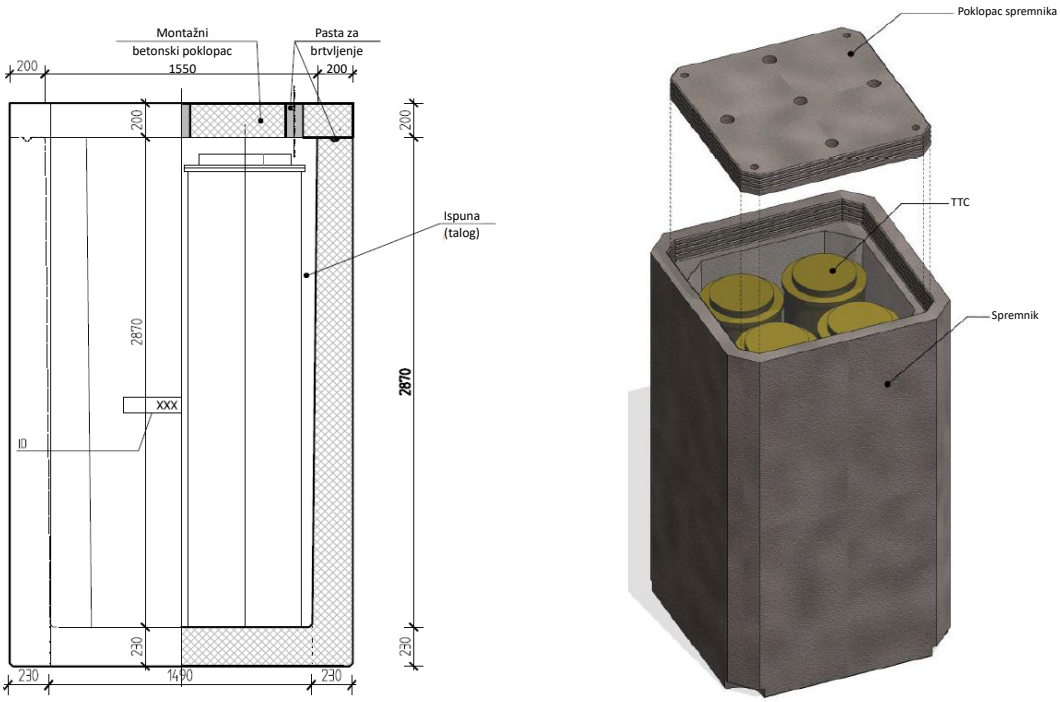


Slika 7-18: Primjeri Holtecovih spremnika HI-SAFE

Spremnik N2d

Svojstva	Nazivna vrijednost
Dimenzije	
Širina × dužina × visina izvana	1950 × 1950 × 3300 mm
Unutrašnjost: dolje/gore	1490/1490 × 1550/1550 mm
Visina prije/nakon postavljanja poklopca	3070/2870 mm
Debljina donje ploče	230 mm
Debljina stijenke (gornje/donje)	230/200 mm
Debljina poklopca	200 mm
Volumen	
Bruto volumen – vanjske dimenzije	12,28 m^3
Neto visina nakon postavljanja poklopca	6,31 m^3
Težina	
Prazni spremnik s poklopcem	14,92 Mg
Poklopac	1,36 Mg
Najveća dozvoljena težina spremnika	40 Mg

Tablica 7-4:Dimenzije i težina N2d spremnika [25]

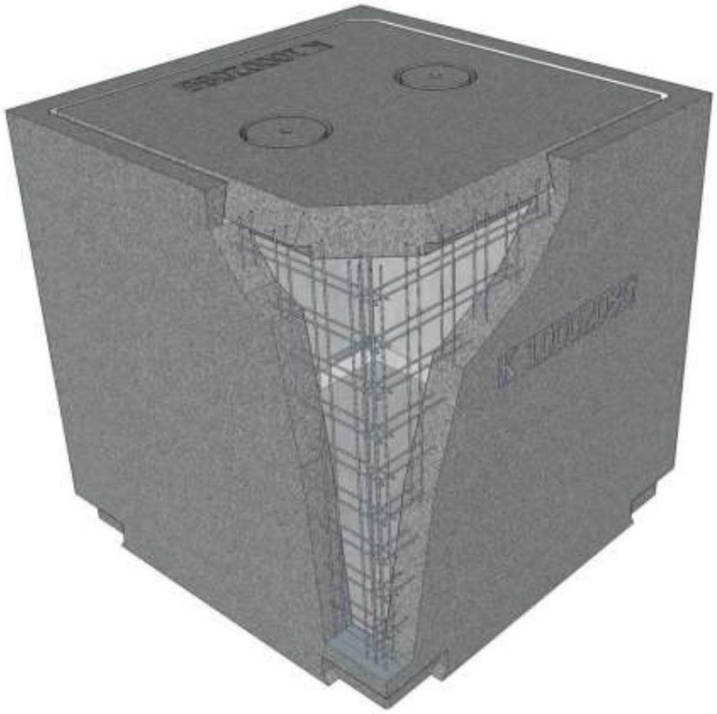


Slika 7-19: Shematski prikaz N2d spremnika

Spremnik RCC

Svojstva	Nazivna vrijednost
Dimenzija	
Vanjska visina	1700 mm
Vanjska širina	1700 mm
Vanjska duljina	1700 mm
Korisna visina	1430 mm
Korisna širina	1450 mm
Korisna duljina	1450 mm
Volumen	
Bruto volumen – vanjske dimenzije	4,91 m^3
Neto visina nakon postavljanja poklopca	2,85 m^3
Težina	
Prazni spremnik s poklopcem	Do 7,5 Mg
Puni spremnik s poklopcem	Do 15 Mg

Tablica 7-5:Dimenzije i težina RCC spremnika [26]

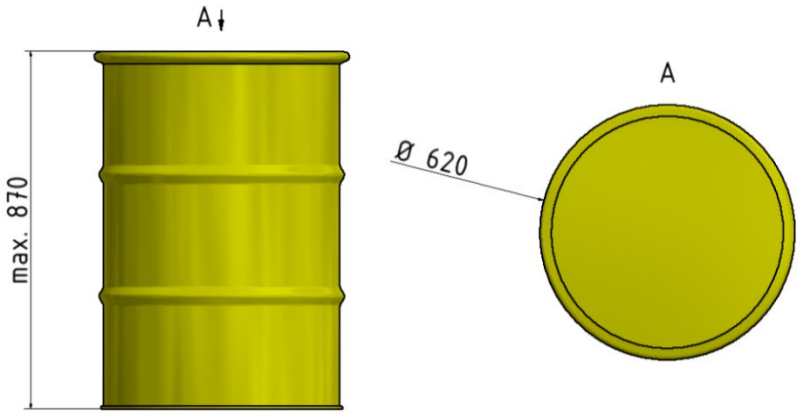


Slika 7-20: Prikaz RCC spremnika

7.3.3.2 Paketi za privremeno skladištenje

U trenutačnom PR-u predviđaju se dvije vrste paketa za privremeno skladištenje.

U mnogim se projektima razgradnje komponente i obrađene tekućine (koncentrati) pakiraju u bačve od 200 l jer se njima može učinkovito rukovati. Nadalje, zaštita unutar bačvi pomaže smanjiti brzinu doze i omogućuje da se izravno stave u veće spremnike za završno odlaganje. Na sljedećim se slikama prikazuju tipične bačve od 200 l.

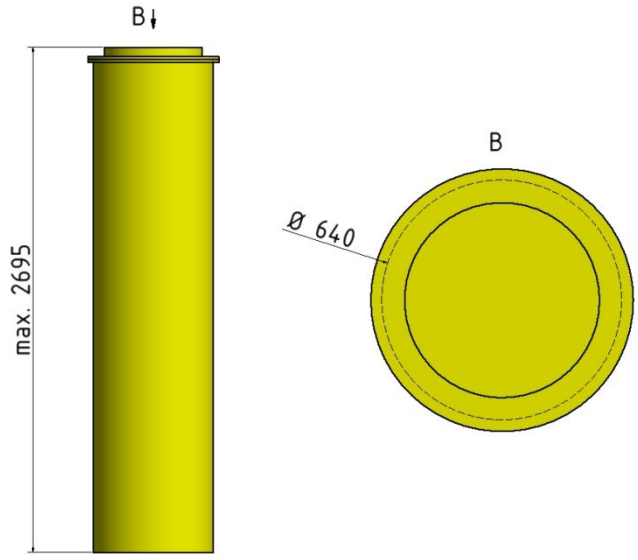


Slika 7-21: Shematski prikaz bačve od 200 l



Slika 7-22: Bačva od 200 l sa zaštitom

Trenutačno se na lokaciji NE Krško radioaktivni otpad privremeno skladišti u cjevaste spremnike (engl. *tube-type containers*, TTC). U prosjeku se u jedan TTC može staviti deset superkompaktiranih bačvi od 200 l ili tri napunjene bačve od 200 l. Na sljedećim slikama možete vidjeti tipični TTC.



Slika 7-23: Shematski prikaz TTC-a



Slika 7-24: Primjer TTC-a

7.3.3.3 Pakiranje radioaktivnog materijala

7.3.3.3.1 Pakiranje različitih otpadnih materijala

Preostali radioaktivni otpad nastao rastavljanjem nuklearne elektrane mora se upakirati u odgovarajući spremnik.

Budući da se rastavljene komponente režu na komade, komponenta više ne postoji. Međutim, njezin je materijal i dalje važan, stog ga treba uzeti u obzir pri kondicioniranju.

U sljedećim poglavljima nalazi se pregled planirane strategije pakiranja različitih skupina materijala. Na kraju procesa kondicioniranja otpad u spremnicima općenito se imobilizira. Kao i u prethodnom PR-u predviđa se da se na lokaciji NE Krško izgradi postrojenje za cementiranje namijenjeno imobilizaciji. Troškovi tog postrojenja i njegova rada nisu dodani u PR jer su uračunani u program odlaganja otpada [4].

7.3.3.3.2 Kontaminirani materijali

Nestlačivi materijal

Nestlačivi materijal sastoji se od:

- odrezanih dijelova komponenti debelih stijenki
- manjih komponenata koje se više ne režu, npr. motora, crpki, ventila
- čeličnih greda
- ostalih materijala.

Ti se materijali pakiraju u N2d i RCC spremnike.

Stlačivi materijal

Stlačivi materijal superkompaktira se kako bi mu se smanjio volumen. Materijal se prvo stavlja u bačve za prešanje od 200 l. Potom se superkompaktira. Očekuje se da se volumen smanji od

tri do pet puta ovisno o prešanom materijalu. Preostali se peleti stavljaju u TTC i konačno kondicioniraju u N2d spremnike za slovensko završno odlaganje. Peleti se stavljaju u bačve od 320 l i konačno kondicioniraju u RCC spremnik za hrvatsko završno odlaganje.

Izolacija

Izolacija se stavlja u bačvu za prešanje od 200 l. U prosjeku se puni do 50 kg. Nakon superkompaktiranja volumen tih bačava smanjuje se peterostruko. Kondicioniranje za završno odlaganje provodi se prema prethodno opisanom postupku za stlačivi materijal.

Betonske ruševine

Betonske ruševine izravno se pakiraju u N2d i RCC spremnike.

7.3.3.3.3 Aktivirani materijal

Pakiranje aktiviranog materijala znatno utječe na troškove razgradnje. Spremnike treba obložiti zaštitom, a materijalom se rukuje na daljinsko upravljanje. Opterećenje spremnika ograničeno je prema stupnju aktivacije. Za opterećenje spremnika uzimaju se u obzir informacije o aktivaciji i kontaminaciji iz baze podataka CORA. Kao i u prethodnoj studiji materijal s višom razinom aktivacije pakira se u Holtecove spremnike HI-SAFE. Materijal s nižom razinom aktivacije kondicionira se u N2d i RCC spremnike.

Radi optimalnog punjenja spremnika uzima se u obzir vanjska brzina doze od 0,1 mSv/h na udaljenosti od 2 m od površine spremnika prema propisima o prijevozu radioaktivnih materijala.

7.3.3.3.4 Aktivirani beton

Aktivirani beton iz biološkog štita reže se na licu mjesta na odgovarajuće dimenzije. Pakira se u N2d i RCC spremnike.

7.3.3.3.5 Sekundarni otpad

Krutine od mehaničke dekontaminacije

Krutine od mehaničke dekontaminacije skupljaju se u bačve od 200 l ili služe kao materijal za punjenje drugih spremnika. Bačve se pakiraju u N2d i RCC spremnike.

Koncentrati tekućina za dekontaminaciju

Koncentrati tekućina za dekontaminaciju isparavaju se. Koncentrati se skupljaju u bačve od 200 l i konačno kondicioniraju u N2d i RCC spremnike.

Troska i filtri od taljenja

Troska i filtri vraćeni iz talionice pakiraju se u bačve od 200 l i konačno kondicioniraju u N2d i RCC spremnike.

Spaljeni otpad

Spaljeni otpad vraćen iz spalionice superkompaktira se i pakira u bačve od 200 l. Bačve se naposljetku kondicioniraju u N2d i RCC spremnike.

7.4 Uvođenje u CORA-u

Uvođenje načela gospodarenja otpadom u CORA-u temelji se na dodjeli tzv. čimbenika distribucije registriranim komponentama. Čimbenik distribucije označava planiranu obradu komponente s obzirom na aspekte i cilj gospodarenja otpadom kao što je opisano u prethodnim poglavljima. Budući da je teško razmatrati svaku komponentu zasebno s obzirom na njezina posebna svojstva, skup čimbenika distribucije često se primjenjuje na više komponenata. Postoci distribucije prosječne su vrijednosti i ne moraju biti primjenjivi za svaku pojedinačnu komponentu, nego samo za skupinu.

Sljedeće obrade otpada i ciljevi za otpad uvedeni su i primijenjeni za čimbenike distribucije u CORA-i za projekt razgradnje NE Krško:

Obrada otpada:

- mehanička dekontaminacija
- mokra dekontaminacija
- superkompaktiranje
- spaljivanje
- taljenje
- isparavanje
- pakiranje za završno odlaganje.

Cilj za otpad:

- odlaganje VROA-a
- odlaganje NSRAO-a
- otpuštanje za odlagalište/recikliranje
- konvencionalni otpad za odlagalište/recikliranje.

Kao i u prethodnom PR-u 50 % radioaktivnog otpada odlaže se u slovensko završno odlagalište, a 50 % u hrvatsko.

Predviđeni spremnici i paketi, kao i njihova svojstva (vidjeti poglavlje 7.3.3), povezani su s čimbenikom distribucije u pogledu cilja za otpad. Broj potrebnih pakiranja proizlazi iz kapaciteta spremnika utvrđenih u CORA-i ovisno o otpadnom materijalu, posebno o njegovoj gustoći ili aktivnosti. U Tablici 7-6 nalaze se čimbenici pakiranja primjenjivog spremnika i paketa.

Čimbenici pakiranja

Vrsta otpada	Kapacitet [kg]
Bačva od 200 I	
Pepeo nastao izgaranjem	350
Koncentrati	75
Izolacijski otpad	50
Otpad od taljenja	450
Miješani otpad, lagani materijali	110
Krutine od mehaničke dekontaminacije	240
Prijevozni spremnik (Big bag)	
Zapaljivi otpad	300
Prijevozni spremnik (Spremnik od 20')	
Zapaljivi otpad (Big bag)	6000
Materijal za taljenje	17 270
TTC	
Izolacijski otpad	750
Miješani otpad, lagani materijali	1320
Spremnik N2d	
Pepeo nastao izgaranjem u bačvi od 200 I	4200
Koncentrati u bačvi od 200 I	900
Otpad od taljenja u bačvi od 200 l	5400
Krutine od mehaničke dekontaminacije u bačvi od 200 l	2880
Nestlačivi otpad, beton	7320

Nestlačivi otpad, metalni	9907
Izolacija RPV-a	2477
Izolacijski otpad u TTC-u	3000
Miješani otpad, lagani materijali u TTC-u	5280
RCC	
Pepeo nastao izgaranjem u bačvi od 200 I	1400
Koncentrati u bačvi od 200 I	300
Izolacijski otpad u bačvi od 200 I	200
Otpad od taljenja u bačvi od 200 l	1800
Miješani otpad, lagani materijali u bačvi od 200 I	440
Krutine od mehaničke dekontaminacije u bačvi od 200 l	960
Nestlačivi otpad, beton	3306
Nestlačivi otpad, metalni	4475
Izolacija RPV-a	1119
Spremnik Holtec HI-SAFE	
Unutarnji dijelovi RPV-a	20 078

Tablica 7-6:Čimbenici pakiranja

Nadalje, načelo gospodarenja otpadom uvedeno u CORA-u uključuje i sekundarne mase. U CORA-i je dodatni postotak povezan s komponentama ovisno o planiranim aktivnostima rastavljanja i obrade otpada.

NIS je razvio aplikaciju baze podataka CORA za registraciju, analizu i procjenu konkretnih podataka o elektrani za potrebe razgradnje. CORA obuhvaća utvrđivanje podataka tehničkog i radiološkog inventara, tj. podataka o prostoriji, radiološkog inventara, podataka o obradi otpada i podataka o pakiranju otpada. CORA se razvija na platformi Microsoft ACCESS.

7.5 Rezultati gospodarenja otpadom

Tablica 7-7 prikazuje količinu masa u različitim obradama otpada u okviru projekta razgradnje NE Krško.

Mase po obradi otpada

Kategorija	Masa osnovnog scenarija 0 [Mg]	Masa osnovnog scenarija 1 [Mg]	Masa dod. scenarija A i B [Mg]
Primarne mase	**5239,0**	**4820,4**	**5458,8**
Superkompaktiranje		28,4	
Mehanička dekontaminacija	964,9	771,7	964,9
Mokra dekontaminacija			1031,7
Taljenje	351,1	286,7	351,1
Pakiranje za završno odlaganje	2862,9	2701,9	3082,7
Sekundarne mase	**3663,7**	**3413,8**	**3663,7**
Superkompaktiranje	29,8	25,7	29,8
Isparavanje	2945,5	2733,6	2945,5
Spaljivanje	179,7	166,9	179,7
Pakiranje za završno odlaganje	508,6	487,6	508,6
Zbroj vrijednosti	**8902,7**	**8234,2**	**9122,5**
Superkompaktiranje	58,2	54,1	58,2
Mehanička dekontaminacija	964,9	771,7	964,9
Mokra dekontaminacija		1031,7	
Taljenje	351,1	286,7	351,1
Isparavanje	2945,5	2733,6	2945,5
Spaljivanje	179,7	166,9	179,7
Pakiranje za završno odlaganje	3371,6	3189,5	3591,4

Tablica 7-7:Mase obrade otpada

Većina masa može se poslati u postrojenja za odlaganje konvencionalnog otpada radi provedbe daljnjih postupaka za ponovnu upotrebu materijala ili na konvencionalno odlagalište. Preostali radioaktivni otpad pakira se za završno odlaganje. Tablica 7-8 daje pregled masa otpada od razgradnje po cilju. Tablica 7-9 prikazuje očekivane neto količine otpada.

Mase po cilju otpada

Kategorija	Masa osnovnog scenarija 0 [Mg]	Masa osnovnog scenarija 1 [Mg]	Masa dod. scenarija A i B [Mg]
Primarne mase	**466 654,4**	**466 010,4**	**480 094,2**
Odlaganje VRAO-a	140,0		
Zbrinjavanje VRAO za NSRAO iz SFDS-a/RU-a		549,5	769,3
Odlaganje NSRAO-a	2173,4	2012,4	2173,4
Otpuštanje za odlagalište/recikliranje	15 570,0	15 087,0	15 570,0
Konvencionalni otpad za odlagalište/recikliranje		448 221,5	461 441,5
Sekundarne mase	**4499,9**	**4255,2**	**4499,9**
Odlaganje NSRAO-a	508,6	487,6	508,6
Otpuštanje za odlagalište/recikliranje	3551,2	3327,5	3551,2
Konvencionalni otpad za odlagalište/recikliranje	440,1		
Masa za odlaganje (bez FA-a)	**471 154,3**	**470 265,6**	**484 5944,1**
Odlaganje VRAO-a	140,0		
Odlaganje VRAO-a za ULW iz SFDS-a/RU-a		549,5	769,3
Odlaganje NSRAO-a	2682,1	2500,0	2682,1
Otpuštanje za odlagalište/recikliranje	19 121,2	18 414,5	19 121,2
Konvencionalni otpad za odlagalište/recikliranje		448 661,6	461 881,6

Tablica 7-8:Ciljne mase otpada

Volumen otpada po cilju otpada

Cilj	Osnovni scenarij 0 Volumen [m^3]	Osnovni scenarij 1 Volumen [m^3]	Dod. scenarij A i B Volumen [m^3]
Odlaganje VRAO-a	17,7		
Zbrinjavanje VRAO za NSRAO iz SFDS-a/RU-a	70,0		98,0
Odlaganje NSRAO-a	1472,9	1455,6	1472,9
Otpuštanje za odlagalište/recikliranje	16 454,1	15 235,6	16 454,1
Konvencionalni otpad za odlagalište/recikliranje	343 511,0		360 697,0
Ukupna masa za odlaganje (bez FA-a)	**361 525,7**	**360 290,0**	**378 739,7**

Tablica 7-9:Neto obujmi otpada po cilju

Tablica 7-10 prikazuje broj potrebnih paketa i posljedični volumen odlagališta. Osim toga, prema osnovnom scenariju 0 i dodatnim scenarijima očekuje se 1695 bačvi od 200 l i 47 TTC-ova za privremeno skladištenje. Prema osnovnom scenariju 1 očekuje se 1611 bačvi od 200 l i 46 TTC-ova. Očekivani godišnji broj spremnika tijekom projekata razgradnje naveden je u Tablici 7-11.

Razgradnja spremnika iz odlagališta rezultata pakiranja NE Krško

Vrsta spremnika	Zapakirana masa [t]			Broj pakiranja			Volumen odlagališta [m^3]		
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
Primarni otpad									
Spremnik Holtec HI-SAFE	140			7			237		
Spremnik N2d	1087	1006	1087	130	122	130	1592	1493	1592
RCC	1087	1006	1087	408	390	408	2004	1916	2004
Spremnik za odlaganje VROA-a N2d*	275		385	28		39	341		478
RCC za odlaganje VRAO-a*	275		385	62		86	304		425
Sekundarni otpad									
Spremnik N2d	254	244	254	47	43	47	573	532	573
RCC	254	244	254	141	129	141	691	635	691
Zbroj vrijednosti									
Spremnik Holtec HI-SAFE	140			7			237		
Spremnik N2d	1341	1250	1341	176	165	176	2166	2025	2166
RCC	1341	1250	1341	549	519	549	2696	2551	2696
Spremnik za odlaganje VRAO-a N2d*	275		385	28		39	341		478
RCC za odlaganje VRAO-a*	275		385	62		86	304		425
Ukupno	**3372**	**3190**	**3591**	**822**	**781**	**857**	**5744**	**5458**	**6002**

*Otpad od razgradnje na kraju rada SFDS-a koji će se zajedno s VRAO-om odlagati na odlagalište VRAO-a, tip spremnika trenutačno nepoznat.

Tablica 7-10: Otpad i paketi za završno odlaganje

Godišnji broj spremnika za konačno zbrinjavanje – osnovni scenarij 0

Vrsta spremnika	Sin	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	....	2103.*	2104.*	2105.*	2106.*
Spremnik Holtec HI-SAFE	7		0,4	0,8		2,4	2,4	0,0	1,0												
Spremnik N2d	204	0,0	4,7	9,4	16,2	4,2	0,9	1,0	10,8	37,9	5,2	19,3	5,1	37,3	11,6	12,8		11,2	16,6		0,1
RCC	611	0,0	12,2	23,5	41,9	11,0	2,6	2,2	24,8	117,5	13,5	137,1	16,3	87,6	28,3	30,0		24,8	36,7		0,4
Ukupno	**822**	**0,0**	**17,3**	**33,6**	**58,1**	**17,6**	**5,8**	**3,2**	**36,6**	**155,4**	**18,7**	**156,4**	**21,4**	**125,0**	**40,0**	**42,8**		**35,9**	**53,2**		**0,5**

Godišnji broj spremnika za konačno zbrinjavanje – osnovni scenarij 1

Vrsta spremnika	Sin	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	....	2103.*	2104.*	2105.*	2106.*
Spremnik Holtec HI-SAFE	7		0,4	0,8	20	2,7		1,0													
Spremnik N2d	193	0,0	1,7	14,7	6,6	0,6	0,9	11,2	29,1	13,8	18,2	5,7	35,8	13,3	13,3			11,2	16,6		0,1
RCC	581	0,0	4,1	38,0	16,9	2,9	1,2	25,6	97,4	32,9	134,2	18,1	84,2	32,2	324			24,8	36,7		0,4
Ukupno	**781**	**0,0**	**6,3**	**53,4**	**25,6**	**5,2**	**3,0**	**37,9**	**126,5**	**46,7**	**152,4**	**23,8**	**120,0**	**45,5**	**44,7**			**35,9**	**53,2**		**0,5**

Godišnji broj spremnika za konačno zbrinjavanje – dod. scenarij A

Vrsta spremnika	ZBROJ VRIJEDNOSTI	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	....	2123.*	2104.*	2105.*	2106.*
Spremnik Holtec HI-SAFE	7		0,4	0,8		2,4	2,4	0,0	0,0												
Spremnik N2d	215	0,0	4,8	9,3	16,3	4,1	0,9	1,0	10,8	37,9	5,2	19,3	5,1	37,4	11,6	12,8		15,7	23,2		0,1
RCC	635	0,0	12,4	23,3	42,1	10,8	2,6	2,2	247	117,6	13,5	137,1	16,3	87,7	28,3	30,0		34,7	51,3		0,4
Ukupno	**857**	**0,0**	**17,6**	**33,4**	**58,5**	**17,2**	**5,9**	**3,3**	**36,5**	**155,6**	**18,6**	**156,4**	**21,4**	**125,0**	**39,9**	**42,8**		**50,3**	**74,5**		**0,5**

Godišnji broj spremnika za konačno zbrinjavanje – dod. scenarij B

Vrsta spremnika	Zbroj vrijednosti	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	....	2123.*	2124.*	2125.*	2126.*
Spremnik Holtec HI-SAFE	7		0,4	0,8		2,4	2,4	0,0	0,0												
Spremnik N2d	215	0,0	4,8	9,3	16,3	4,1	0,9	1,0	10,8	37,9	5,2	19,3	5,1	37,4	11,6	12,8		15,7	23,2		0,1
RCC	635	0,0	12,4	23,3	42,1	10,8	2,6	2,2	247	117,6	13,5	137,1	16,3	87,7	28,3	30,0		34,7	51,3		0,4
Ukupno	**857**	**0,0**	**17,6**	**33,4**	**58,5**	**17,2**	**5,9**	**3,3**	**36,5**	**155,6**	**18,6**	**156,4**	**21,4**	**125,0**	**39,9**	**42,8**		**50,3**		**74,5**	**0,5**

* Otpad iz razgradnje na kraju rada SFDS-a koji će se zajedno s VRAO-om odlagati na odlagalište VRAO-a, tip spremnika trenutačno nepoznat Za potrebe ispitivanja smatra se da se upotrebljavaju i spremnik N2d i RCC.

Tablica 7-11: Godišnji broj spremnika za završno odlaganje

8 Procjena troškova

8.1 Uvod

NIS se već gotovo 40 godina bavi projektima nuklearne razgradnje i analizira ih s tehničkog i ekonomskog gledišta. Sva se stečena iskustva stalno dodaju u NIS-ove izračune troškova razgradnje kako bi se zajamčila usklađenost sa suvremenim tehnikama.

NIS danas priprema godišnje izračune troškova razgradnje za njemačke nuklearne elektrane koje su u procesu razgradnje ili su nedavno ugašene. Te se godišnje stručne procjene uglavnom pripremaju radi ispunjavanja obveza operatora u pogledu godišnjeg financijskog računovodstva. Osim toga, često se uzimaju u obzir pri planiranju i upravljanju projektima.

Zahvaljujući tom iskustvu od devedesetih godina prošlog stoljeća uspjeli su ugovoriti nekoliko poslova u drugim europskim zemljama.

NIS svake tri godine priprema izračune troškova razgradnje i PDP za belgijsku nuklearnu elektranu. Usto svakih pet godina redovito ažurira studije o razgradnji i izračune troškova na nuklearne elektrane u Švicarskoj i Nizozemskoj. Izračune troškova i planove razgradnje priprema i za nuklearne elektrane u Sloveniji, Slovačkoj, Litvi i Francuskoj.

Osim toga, NIS priprema izračune troškova razgradnje i planove za nekoliko njemačkih ustanova za nuklearno istraživanje.

Sljedeći projekti razgradnje vrlo su važne referencije za realizaciju:

- prototip nuklearne elektrane KKN (Niederaichbach) (100 MWe, CO_2 kao rashladno sredstvo i D_2O kao usporivač) s NIS-om kao članom konzorcija za radove na razgradnji
- VAK (Kahl) prva nuklearna elektrana u Njemačkoj koju je Nukem/NIS razgradio
- rastavljanje RPV-a u NE-u Stade (2009.)
- rastavljanje RPV-a i unutarnjih dijelova RPV-a dviju jedinica NE Zion (2014.) i danas dviju jedinica u NE-u Songs (obje se elektrane nalaze se SAD-u).

Zaključno, NIS ne samo da procjenjuje troškove budućih radova na razgradnji nego i izravno sudjeluje u upravljanju projektima za prethodne i tekuće projekte razgradnje. NIS-ovi stručnjaci integrirani su u timove za planiranje troškova na lokaciji i dobivaju temeljit uvid u projekte razgradnje.

8.2 Revizije

8.2.1 Osiguranje kvalitete – redovite revizije

NIS-ov sustav za QA opisan je priručniku za QA. NIS-ov sustav za QA certificiran je u skladu s normom EN ISO 9001.

Primjena pravila za QA provjerava se redovitim unutarnjim i vanjskim revizijama.

8.2.2 Revizije vanjskih organizacija

NIS-ovu procjenu troškova i metode svake godine provjeravaju računovodstvene tvrtke u ime njemačkog operatora nuklearne elektrane. Dodatne informacije o opsežnim revizijama koje su provele vanjske organizacije i tvrtke dostupan je u sljedećim izvorima:

- studeni 1997.: revizija njemačkog saveznog poreznog tijela Bundesamt für Finanzen
- prosinac 1997.: revizija nizozemskog Sveučilišta u Delftu (u okviru procjene troškova razgradnje za NE Dodewaard)

- studeni 1998.: istorazinska ocjena IAEA-e (u okviru procjene troškova D&D-a za NE Krško)
- veljača 2002.: HSK-ova (švicarsko tijelo) revizija procjena troškova za švicarsku nuklearnu elektranu
- od siječnja do rujna 2007.: opsežna revizija tvrtke PricewaterhouseCoopers (u okviru PwC-ove revizije na kraju godine dvaju njemačkih komunalnih poduzeća)
- kolovoz 2010.: IAEA-ina skupina stručnjaka u vezi s procjenom troškova razgradnje NE Krško
- kolovoz 2011.: GRS-ova (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit) revizija procjene troškova za dva WAK-ova postrojenja (višenamjenski i kompaktni nuklearni reaktor hlađen natrijem)
- prosinac 2013. i 2014.: opsežne revizije vanjske njemačke revizorske i računovodstvene tvrtke u vezi s procjenom troškova nuklearnih elektrana tvrtka RWE, E.ON i VENE
- 2017. i 2022.: opsežne revizije vanjske američke i nizozemske revizorske i računovodstvene tvrtke u vezi s procjenom troškova švicarske nuklearne elektrane.

8.3 Softverski alati i modeli procjenjivanja

Svrha je sljedećeg kratkog pregleda omogućiti osnovno razumijevanje softverskih načela CORA-e i CALCOM-a.

CORA i CALCOM aplikacije su baze podataka koje je NIS posebno razvio za procjenu troškova projekata razgradnje nuklearnih postrojenja. Temelje se na aplikacijama MS ACCESS ili ORACLE:

- CORA služi za obradu podataka o elektrani: fizički inventar, podaci o prostoriji, radiološki inventar, podaci o obradi otpada, podaci o paketima otpada.
- CALCOM služi za planiranje projekata razgradnje i procjenu troškova.

8.3.1 CORA: alat za inventar

NIS-ova aplikacija baze podataka CORA služi za obradu podataka elektrane za potrebe razgradnje, posebice za određivanje fizičkog inventara, podataka o prostoriji, radiološkog inventara, podataka o obradi otpada, podataka o paketima otpada. CORA se razvija na platformi Microsoftova proizvoda MS-ACCESS.

Za NE Krško izrađen je popis s više od 30 000 stavki koje odgovaraju raznim komponentama. Registriranim komponentama pridružuju se sljedeće informacije:

- lokacija (zgrada i prostorija za komponente u kontroliranom području)
- vrsta komponente
- vrsta materijala
- radiološka procjena (radiološka kategorija, očekivana obrada otpada, uključujući predložene spremnike za privremeno i završno skladištenje, količina sekundarnog otpada nastalog rastavljanjem i obradom komponente).

Na temelju tih tehničkih i radioloških podataka CORA daje sljedeće važne rezultate za procjenu gospodarenja otpadom u trenutačnom PDP-u:

- distribuciju mase u postupcima obrade otpada
- količinu sekundarnog otpada
- broj potrebnih spremnika za otpad

- volumen odlagališta.

8.3.2 CALCOM: alat za procjenu troškova i planiranje projekata

CALCOM uglavnom omogućuje sljedeće zadatke:

- planiranje projekata
- uspostavu i održavanje strukture upravljanja projektima
- upravljanje rasporedom projekata
- upravljanje resursima
- procjene troškova
- razmjenu podataka sa softverom MS PROJECT.

Svi rezultati iz ove studije za vremenski raspored, troškove i potrebno osoblje dobiveni su u CALCOM-u.

U CALCOM se prvo unose WBS i vremenski raspored projekta razgradnje (vidjeti poglavlje 5.2). Čimbenici troškova (npr. plaće po traženoj kvalifikaciji, troškovi opreme za rastavljanje, troškovi potrošnog materijala, troškovi spremnika itd.) dodijeljeni su pojedinačnim koracima. Uzimaju se u obzir sljedeće vrste troškova:

- kadrovski troškovi za unutarnje i vanjsko osoblje
- troškovi ulaganja
- troškovi potrošnog materijala
- ostali troškovi (npr. taljenje, privremeno skladište, odlagalište).

Nadalje, dostupno je niz modela izračuna za procjenu svakog zadatka:

- slobodni izračun:
  - slobodna procjena napora (radni sati) / rashod (€)
  - veza s odgovarajućim resursom (kvalifikacija, broj, odgovarajuća satnica (€ / radni sati))
- izračun na temelju parametara:
  - veza između parametra, npr. mase komponente (kg), dekontaminacijske površine (m^2), i zadatka
  - određivanje odgovarajućeg čimbenika rada, npr. radni sat / kg, radni sat / m^2
  - veza s odgovarajućim resursom (kvalifikacija, broj, odgovarajuća satnica (€ / radni sati))
- vremenski izračun:
  - određivanje početka i završetka zadatka, npr. u skladu s odgovarajućim glavnim fazama
  - određivanje periodičnog napora ili troškova, npr. godišnje
  - veza s odgovarajućim resursom (kvalifikacija, broj, odgovarajuća satnica (€ / radni sati))
- izračun povezan s radnom snagom:
  - dodjeljivanje radnih koraka za razmatranje
  - određivanje odgovarajućeg čimbenika doplate (%)
  - veza s odgovarajućim resursom (kvalifikacija, broj, odgovarajuća satnica (€ / radni sati)).

Prema WBS-u se troškovi i radna snaga računa odozdo prema gore. Rezultati su dostupni za sve razine WBS-a.

8.4 Osnovne pretpostavke za izračun troškova razgradnje

Procjena troškova izrađena za PR NE Krško predviđena je kao potpora za buduće radove razgradnje. U tu je svrhu potrebno odrediti neke granične uvjete za proračun. Odgovarajuće definicije za taj izračun troškova nalaze se u nastavku.

8.4.1 Pretpostavke nepovezane s troškovima

U ovoj studiji sljedeće iznesene pretpostavke nisu izravno povezane s troškovima:

- Prvi cilj aktivnosti dekontaminacije i rastavljanja stvaranje je *brownfield* lokacije. To znači otpuštanje svih zgrada u kontroliranom i nadziranom području iz nuklearnog nadzora. Samo SFDS i RU ostaju u pogonu. Drugi je cilj stvaranje *greenfield* lokacije kad SFDS i RU završe s radom. To znači uklanjanje svih zgrada navedenih u Tablici 2-1. Radioaktivni otpad iz posljednje kampanje razgradnje SFDS-a odložit će se u odlagalište VRAO-a jer se postrojenja za odlaganje NSRAO-a neće ponovno otvarati zbog rastavljanja SFDS. Na kraju rada SFDS-a sav otpad nastao razgradnjom odložiti zajedno s VRAO-om u odlagalište VRAO-a.
- Suho skladište istrošenog goriva izgrađeno je na lokaciji NE Krško, na kojoj je u funkciji najmanje 60 godina u osnovnim scenarijima i dodatnom scenariju B, odnosno 40 godina u dodatnom scenariju A nakon konačne obustave rada. Prva i druga faza projekta suhog skladišta provode se na lokaciji NE Krško 2023. (1. faza – 592 FA-a u 16 spremnika) i 2028. (2. faza – 592 FA-a u 16 spremnika) i financiraju se iz operativnih troškova (cijena po kWh). Ostatak goriva (1098 FA-ova) premjestit će se iz bazena istrošenog goriva u SFDS 2048. (3. i 4. faza) u osnovnim scenarijima i još 2068. u dodatnim scenarijima A i B. U dodatnim scenarijima A i B treća i četvrta faza platit će se iz operativnih troškova, dok će se 5. faza (900 FA-ova) podmiriti troškovima razgradnje.
- Plan rastavljanja odnosi se na mase komponenata, opreme i zgrada navedenih u Tablici 2-1, Tablici 2-2 i Tablici 2-3.
- Prema tehničkoj specifikaciji [12] rastavljanje nuklearne elektrane počinje odmah nakon konačne obustave rada. Odgođeno rastavljanje nakon razdoblja zatvaranja ne dolazi u obzir. Prednost su toga što će s jedne strane operativno osoblje upoznato s poviješću rada i dalje biti dostupno, infrastruktura i sustavi u pogonu i dalje će se moći upotrebljavati, a lokacija će se moći ranije ponovno staviti u upotrebu. S druge strane, mogla bi nastati veća količina otpada zbog radiološkog raspada, a rastavljanje bi moglo biti teže zbog potrebe da se smanji izlaganje zračenju.
- Konačna obustava rada predviđena je za 31. prosinca 2043. u osnovnim scenarijima i dvadeset godina kasnije u dodatnim scenarijima.
- Elektrana će se razgraditi nakon normalnog radnog vijeka ako ne bude nesreća. Razgradnja je planirana i dobro pripremljena. Nije bilo incidenata koji su imali utjecaja na elektranu u razdoblju između prošle i ove studije.
- Projektom razgradnje obuhvaćene su sve potrebne mjere nakon konačne obustave rada i mjere prije obustave rada ako se odnose na pripremu projekta razgradnje.
- Svi su sustavi i instalacije na lokaciji na početku aktivnosti razgradnje potpuno funkcionalni. Oprema i postrojenja za radove na razgradnji u skladu su s najnovijim tehničkim dostignućima.
- Pretpostavlja se da su za vanjsku obradu radioaktivnog otpada (npr. taljenje) dostupna postrojenja i uspostavljeni kriteriji prihvatljivosti.
- Svi su dijelovi i materijali koji su bili izloženi neutronskom zračenju tijekom rada aktivirani i/ili kontaminirani.

- Dijelovi i materijali koji su bili izloženi neutronskom zračenju tijekom rada aktivirani su i kontaminirani. Svi ostali neaktivirani dijelovi i materijali iz kontroliranog područja trebali bi biti kontaminirani osim ako se mjerenjima ne dokaže usklađenost s granicama za otpuštanje iz nadzora. Konkretne razine za otpuštanje iz nadzora utvrđene su u slovenskim propisima [18].
- Program mjerenja provodi se za sve zgrade i područja na lokaciji izvan kontroliranog i nadziranog područja. Pretpostavlja se da tamo nema kontaminacije.
- Pazi se da je izlaganje zračenju najniže razumno ostvarivo (ALARA princip). U svakom slučaju, dopušteno profesionalno izlaganje osoblja zračenju ograničeno je na 15 mSv / 12 mjeseci.
- Sve se zgrade na lokaciji ruše. Neradioaktivne betonske ruševine iskorištavaju se u najvećoj mogućoj mjeri, npr. za punjenje jama. Preostali materijal sprema se na konvencionalno odlagalište.
- Zgrade se rastavljanju zajedno s podrumima do dubine od jednog metra ispod površine zemlje. Kad je riječ o reaktorskim zgradama, njihove se unutarnje konstrukcije potpuno ruše do metalnog kontejnmenta kako bi se potvrdilo da nema nikakve kontaminacije na preostalim dijelovima zgrade.
- Radove će izvoditi osoblje na lokaciji i vanjske tvrtke. Vanjske se tvrtke angažiraju ako su potrebne za određene aktivnosti razgradnje ili ako nema dovoljno osoblja na lokaciji.
- Upotrebljavaju se spremnici predstavljeni u poglavlju 7.3.3 i odgovarajući čimbenici pakiranja utvrđeni u Tablici 7-6. Polovica otpada iz razgradnje pohranjuje se u N2d spremnik za slovensko završno odlaganje, a druga polovica u RCC spremnik za hrvatsko.
- Imobilizacija se provodi cementiranjem u novom postrojenju koje će se izgraditi na lokaciji NE Krško. Odgovarajući troškovi nisu uzeti u obzir u ovom PR-u jer su dio programa odlaganja otpada [4].
- Procjena radnog napora temelji se na čimbenicima rada iz Tablice 8-1. Vrijednosti se pregledavaju i po potrebi ažuriraju s obzirom na iskustva stečena od prethodne studije. Da bi se poštovale lokalne okolnosti koje se odnose na veličinu komponente, pristupačnost i potrebu za zaštitnim mjerama, prema potrebi se prilagođavaju naprave za dizanje i skele.

Čimbenici rada

Faktor	Vrijednost
Zgrade za rušenje	1000,0 kg / radni sat
Rastavljanje biološkog štita	66,7 kg / radni sat
Rastavljanje betonskog kontroliranog područja	75,0 kg / radni sat
Rastavljanje kontroliranog područja	45,0 kg / radni sat
Rastavljanje područja nadziranja	90,9 kg / radni sat
Rastavljanje primarnog kruga	90,9 kg / radni sat
Rastavljanje RPV-a	20,0 kg / radni sat
Rastavljanje izolacije RPV-a	2,0 kg / radni sat
Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	2,0 kg / radni sat
Obrada kabela, gospodarenje otpadom	75,0 kg / radni sat
Kondicioniranje, gospodarenje otpadom	246,9 kg / radni sat
Rezanje, gospodarenja otpadom	58,8 kg / radni sat
Rezanje betona, gospodarenje otpadom	235,3 kg / radni sat
Dekont. suho pjeskarenje, gospodarenje otpadom	166,7 kg / radni sat
Komponente za otpuštanje, gospodarenja otpadom	250,0 kg / radni sat
Beton za otpuštanje, gospodarenje otpadom	1000,0 kg / radni sat
Superkompaktiranje, gospodarenja otpadom	60,0 kg / radni sat
Mokri snažni mlaz, gospodarenje otpadom	200,0 kg / radni sat
Površinska abrazija radi dekont.	1,1 m^2 / radni sat

Preliminarno istraživanje	21,7 m^2 / radni sat
Mjere otpuštanja unutar zgrade	3,6 m^2 / radni sat
Mjere otpuštanja izvan zgrade	13,3 m^2 / radni sat
Popr. dekontaminacija	15 % rastavljanja
Detaljno planiranje	25 % rastavljanja
Projektiranje	20 % rastavljanja
Unutarnji prijevoz	5 % rastavljanja
Radiološka zaštita na licu mjesta	15 % rastavljanja
Upravljanje projektima	20 % rastavljanja
Nadzor	15 % rastavljanja

Tablica 8-1:Čimbenici rada

8.4.2 Pretpostavke troškova

U ovoj su studiji iznesene sljedeće pretpostavke o troškovima:

- Procjena troškova temelji se na cijenama iz 2023.
- Za neto sadašnju vrijednost (NPV) procijenjenih troškova godišnja je realna diskontna stopa i_r = 1,14 %. Realna diskontna stopa uključuje parametar godišnjeg rasta troškova π_e = 2,04 % i godišnju nominalnu diskontnu stopu i_n = 3,22 % [27].
- Kad su troškovi prikazani s PDV-om, u skladu su sa slovenskim propisima o PDV-u.
- Troškovi osoblja izračunani su s obzirom na stope izvedene iz Tablice 8-2.
- Troškovi ulaganja prikazani su u Tablici 8-3. Troškovi za prazne bačve i spremnike navedeni su u Tablici 8-4. Konkretni čimbenici troškova za izračun potrošnog materijala i drugih troškova koji nisu povezani s osobljem navedeni su u Tablici 8-5.
- Lokalni poticaji predviđaju se do završetka razgradnje nuklearne elektrane (dok ne postane *brownfield* lokacija). Tijekom razgradnje uz pomoć bazena za mokro skladištenje istrošenog goriva iznose 3 264 540 € godišnje. Tijekom razgradnje uz pomoć SFDS-a iznose 1 305 816 € godišnje.
- Razmatra se i prodaja skladišnih zaliha NEK-a. Očekuje se zarada u iznosu trenutačne vrijednosti zaliha od 25 977 000 € kojom će se smanjiti ukupni troškovi razgradnje.
- Za osnovni scenarij 1 uklanjanje starog parogeneratora obračunava se na 50 milijuna € s obzirom na trenutačnu ponudu koja predviđa vanjsku obradu u SAD-u.
- Izračun se temelji na strategiji najbolje procjene. Rizici i nepredvidive situacije dio su zasebnog izvještaja [28].

Kvalifikacije osoblja i plaće

Kvalifikacija	**Satnica [EUR/MH]**		
	NEK	**Vanjski, Slovenija**	**Vanjski, strani**
Voditelj projekta	32,56	50,07	295,25
Inženjer medicine radioaktivnog zračenja	20,84	40,99	218,48
Projektni inženjer	23,96	40,99	218,48
Voditelj na lokaciji	35,80	40,99	218,48
Tehničar medicine radioaktivnog zračenja	19,91	24,27	147,62
Tehničar	19,91	24,27	147,62
Nadzornik	19,00	24,27	147,62
Računovođa	16,58		
Tehnička projektant	17,94		
Liječnik za medicinu radioaktivnog zračenja	17,02		
Obrtnik	14,63	15,53	75,01
Radnik	15,47	15,53	75,01
Čuvar	15,80	15,53	75,01

Tablica 8-2:Kvalifikacije i plaće osoblja

Pregled ulaganja

Alati i oprema	Trošak [milijun EUR]			Vremenski okvir			
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A	Dod. scenarij B
Sustav grijanja, posuda za grijanje		0,2		2044.		2064.	
Sustav isparivača, isparivač		1,3		2044.		2064.	
Dovod zraka		0,5		2044.		2064.	
Područje s nadzorom pristupa		0,2		2044.		2064.	
Sanitarno područje		0,2		2044.		2064.	
Oprema za rezanje i pakiranje za stari SG* i poklopac starog RPV-a	2,0	0,5	2,0	2044.		2064.	
Oprema za rezanje i pakiranje za novi SG		0,5		2046.	2045.	2066.	
Rekonstrukcija u zgradi za dekontaminaciju		0,3		2047. – 48.	2046. – 47.	2067. – 68.	
Oprema za obradu otpada u zgradi za dekontaminaciju		1,0		2048.	2047.	2068.	
Postrojenja za mjerenje radi otpuštanja iz nadzora u zgradi za dekontaminaciju		1,0		2048.. – 49.	2047. – 48.	2068. – 69.	
Oprema za obradu otpada u međuzgradi		1,8		2046.		2066.	
Oprema za pakiranje aktivnih komponenti u zgradi za manipuliranje gorivom		5,2		2045. – 46.	2044. – 45.	2065. – 66.	
Oprema za obradu otpada u zgradi za manipuliranje otpadom		0,1		2044.		2064.	
Oprema za mjerenje radi otpuštanja iz nadzora za lokaciju *brownfield*		0,8		2056. – 58.	2055. – 57.	2076. – 78.	
Oprema za mjerenje radi otpuštanja iz nadzora za lokaciju *greenfield*		0,4		2104.		2124.	
Ukupno	**15,4**	**13,9**	**15,4**				

Tablica 8-3:Troškovi ulaganja

Troškovi praznih paketa

Paket	Troškovi
Bačva od 200 I	120 EUR/ bačva
TTC	2700 EUR / spremnik
Spremnik N2d	10 000 EUR / spremnik
RCC	7200 EUR / spremnik
Spremnik Holtec HI-SAFE	1 850 000 EUR / spremnik

Tablica 8-4:Troškovi praznih paketa

Specifični čimbenici za potrošni materijal i druge troškove isključujući troškove osoblja

Faktor	Vrijednost
Jamstvo	497 000 EUR/god
Parkiralište	39 878 EUR/god
Kemijski laboratorij	89 844 EUR/god
Civilna radionica za potrošnu opremu	8385 EUR/god
Radionica za elektroniku za potrošnu opremu	181 756 EUR/god
Radionica za mehaniku za potrošnu opremu	220 847 EUR/god
Obrazovanje	83 063 EUR/god
Postrojba za zaštitu od požara	246 061 EUR/god
Međunarodni stručnjaci	202 719 EUR/god
Informatički hardver	44 130 EUR/god
Održavanje informatičkog hardvera	120 305 EUR/god
Informatička programska oprema	706 238 EUR/god
Pošta, komunikacija	81 253 EUR/god
Medicinske usluge	34 958 EUR/god
Uredski materijal	75 899 EUR/god
Rad SFDS-a	59 050 EUR/god
Opskrba energijom	289 680 EUR/god
Opskrba parom, uljem, grijanjem	719 465 EUR/god
Opskrba vodom	56 600 EUR/god

Ponavljajuće sigurnosne provjere	500 000 EUR/god
Lokalni poticaji tijekom razgradnje s mokrim bazenom istrošenog goriva (2044-2050 za BCO i BCI, 2064-2070 za SCA i SCB)	3 264 540 EUR/god
Lokalni poticaji tijekom razgradnje s SFDS-om (2051-2058 za BCO i BCI, 2071-2078 za SCA i SCB)	1 305 816 EUR/god
Troškovi potrošnog materijala/materijala rušenje	4,00 EUR/Mg
Analiza troškova potrošnog/materijala, otpuštanje – unutar [EUR/m^2]	16,49 EUR/m2
Analiza troškova potrošnog/materijala, otpuštanje – van [EUR/m^2]	6,60 EUR/m2
Analiza troškova potrošnog/materijala, otpuštanje – pregled [EUR/m^2]	3,28 EUR/m2
Troškovi potrošnog materijala/materijala dekon./površinske abrazije [EUR/m^2]	28,68 EUR/m2
Troškovi potrošnog/materijala rušenje u kontr. području [EUR/kg]	0,36 EUR/kg
Troškovi potrošnog/materijala rast. biološkog štita [EUR/kg]	0,99 EUR/kg
Troškovi potrošnog/materijala rast. kontr. područja [EUR/kg]	0,88 EUR/kg
Troškovi potrošnog/materijala rast. kontr. područja [EUR/Mh]	39,00 EUR/Mh
Troškovi potrošnog/materijala rast. područja nadz. [EUR/kg]	0,20 EUR/kg
Troškovi potrošnog/materijala rast. područja nadz. [EUR/Mh]	18,01 EUR/Mh
Troškovi potrošnog/materijala rast. primarnog kruga [EUR/kg]	0,57 EUR/kg
Troškovi potrošnog/materijala rast. primarnog kruga [EUR/Mh]	50,64 EUR/Mh
Troškovi potrošnog/materijala rast. RPV-a [EUR/kg]	5,84 EUR/kg
Troškovi potrošnog/materijala rast. RPV-a [EUR/Mh]	115,09 EUR/Mh
Troškovi potrošnog/materijala rast. unutarnjih dijelova RPV-a [EUR/kg]	29,54 EUR/kg
Troškovi potrošnog/materijala rast. unutarnjih dijelova RPV-a [EUR/Mh]	58,22 EUR/Mh
Troškovi potrošnog materijala/materijala kondicioniranja WM-a	0,11 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala rezanja WM-a	0,75 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala rezanje betona WM-a	0,19 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala dekont. obrada kabela WM-a	0,60 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala dekont. suhog pjeskarenja WM-a	1,07 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala dekont. mokrog snažnog mlaza WM-a	0,50 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala isparavanja WM-a	0,45 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala spaljivanja WM-a	16,30 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala odlagališta WM-a	5,00 EUR/Mg
Troškovi potrošnog materijala/materijala taljenja WM-a	4,22 EUR/kg
Troškovi potrošnog materijala/materijala superkompaktiranja WM-a	0,67 EUR/kg

Tablica 8-5:Čimbenici troškova za troškove koji nisu povezani s osobljem

8.5 Nalazi

U ovom se poglavlju predstavljaju nalazi studije. Sadržava troškove i potrebno osoblje za osnovni i dodatni scenarij. Važne glavne faze i rasporedi navedeni su u poglavlju 5.2.

8.5.1 Ukupni troškovi

Ukupni trošak bez PDV-a za osnovni scenarij 0 projekta razgradnje NE Krško iznosi **469,7 milijuna €**. Obračunava se PDV od dodatnih 61,7 milijuna €.

Ukupni trošak bez PDV-a za osnovni scenarij 1 iznosi **505,5 milijuna €**. Obračunava se PDV od dodatnog 71 milijuna €.

Ukupni trošak bez PDV-a za dodatni scenarij A iznosi **443,6 milijuna €**. Obračunava se PDV od dodatnih 59,6 milijuna €.

Ukupni trošak bez PDV-a za dodatni scenarij B iznosi **463,9 milijuna €**. Obračunava se PDV od dodatna 60,4 milijuna €.

Podrobni rezultati procjene troškova razgradnje navedeni su u tablicama i slikama u nastavku.

Tablica 8-6 sadržava ukupne troškove po radnom paketu za osnovne i dodatne scenarije.

Kao prvo, postoje razlike u radnim paketima „SFDS (gorivo, rad, razgradnja)” i „RU (rad, razgradnja)”. Ukupni operativni troškovi SFDS-a i RU-a niži su u dodatnom scenariju A jer je razdoblje dvadeset godina kraće. Troškovi gospodarenja istrošenim gorivom niži su u obama dodatnim scenarijima zato što ne obuhvaćaju 3. i 4. fazu s 1098 FA-ova. Umjesto toga 900 FA-ova uključeno je u 5. fazu. S druge strane, troškovi razgradnje SFDS-a veći su u obama dodatnim scenarijima jer se razmatra proširenje radi skladištenja dodatnih 900 FA-ova u odgovarajuće bačve.

Kao drugo, radni paket „Pripremni radovi” obuhvaća vanjsku obradu starog generatora pare u SAD-u prema osnovnom scenariju 1 umjesto rezanja i pakiranja na lokaciji u DB kao u ostalim scenarijima. S jedne strane, to povećava troškove u radnog paketa „Pripremni radovi”. S druge strane, dolazi do određene uštede troškova u radnim paketima „Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji”, „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije” i „Lokalni poticaji” zbog kraćeg razdoblja za stvaranje *brownfield* lokacije, kao i u radnom paketu „Obrada, skladištenje i odlaganje otpada” zato što nisu primjenjivi na stari parogenerator u osnovnom scenariju 1.

Isti se učinak vidi u Tablici 8-7 s troškovima razvrstanima po kategoriji.

Troškovi po radnom paketu

Br.	Funkcija	Troškovi [milijun EUR]								PDV *)
		Osnovni scenarij 0		Osnov. scenarij 1		Dodatni scenarij A		Dodatni scenarij B		
		bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	
01	Postupci prije razgradnje	3,8	4,3	3,8	43	3,8	4,3	3,8	4,3	0 % / 22 %
02	Pripremni radovi	35,4	42,0	82,6	99,7	35,4	42,0	35,4	42,0	0 % / 22 %
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5	14,4	12,5	14,4	12,5	14,4	12,5	14,4	0 % / 22 %
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0	14,9	13,0	14,9	13,0	14,9	13,0	14,9	0 % / 22 %
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9	4,6	3,9	4,6	3,9	4,6	3,9	4,6	0 % / 22 %
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,4	40,2	33,4	40,2	33,4	40,2	33,4	40,2	0 % / 22 %
08	Rastavljanje RPV-a	20,5	24,6	20,5	24,6	20,5	24,6	20,5	24,6	0 % / 22 %
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1	7,1	6,1	7,1	6,1	7,1	6,1	7,1	0 % / 22 %
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1	10,6	9,1	10,6	9,1	10,6	9,1	10,6	0 % / 22 %
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6	19,8	16,6	19,8	16,6	19,8	16,6	19,8	0 % / 22 %
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8	20,0	16,8	20,0	16,8	20,0	16,8	20,0	0 % / 22 %
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,1	24,9	21,5	23,2	23,1	24,9	23,1	24,9	0 % / 22 %
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	101,7	105,1	94,4	97,2	96,2	99,3	101,7	105,1	0 % / 22 %
14.01	*Rad i održavanje*	80,1	83,5	738	76,6	76,2	79,3	80,1	83,3	*0 % / 22 %*
14.02	*Sigurnost*	21,6	21,6	20,5	20,5	20,0	20,0	21,6	21,6	0 %
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4	49,3	38,5	46,9	40,4	49,3	40,4	49,3	0 % / 22 %
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	89,1	104,2	89,5	104,6	73,0	86,5	83,3	97,1	0 % / 22 %
17	Lokalni poticaji	32,2	32,2	31,0	31,0	32,2	32,2	32,2	32,2	0 %
18	RU (rad, razgradnja)	12,2	13,1	12,3	13,3	7,7	8,5	12,2	13,1	0 % / 22 %
Ukupno		**469,7**	**531,4**	**505,5**	**576,5**	**443,6**	**503,3**	**463,9**	**524,3**	

Tablica 8-6:Troškovi po radnom paketu

Troškovi po kategoriji troškova [milijun EUR]

Kategorija	Troškovi [milijun EUR]								PDV
	Osnovni scenarij 0		Osnovni scenarij 1		Dodatni scenarij A		Dodatni scenarij B		
	bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	
Osoblje NEK-a	157,1	157,1	152,0	152,0	140,4	140,4	157,2	157,2	0 %
Vanjsko osoblje	83,6	102,0	82,5	100,6	84,0	102,4	84,0	102,4	22 %
Ulaganja	15,4	18,8	13,9	16,9	15,4	18,8	15,4	18,8	22 %
Potrošni dijelovi	105,1	128,3	100,5	122,6	104,4	127,4	107,9	131,7	22 %
Ostalo (spremnici, vanjska obrada...)	76,2	93,0	125,7	153,3	67,2	82,0	67,2	82,0	22 %
Lokalni poticaji	32,2	32,2	31,0	31,0	32,2	32,2	32,2	32,2	0 %
Ukupno	**469,7**	**531,4**	**505,5**	**576,5**	**443,6**	**503,3**	**463,9**	**524,3**	

Tablica 8-7:Troškovi po kategoriji

Tablica 8-8, Tablica 8-9, Tablica 8-10 i Tablica 8-11 prikazuju godišnje troškove po radnom paketu bez PDV-a za osnovne scenarije 0 i 1, kao i za dodatne scenarije A i B, slijedom.

Tablica 8-12, Tablica 8-13, Tablica 8-14 i Tablica 8-15 prikazuju godišnje troškove po radnom paketu s PDV-om za osnovne scenarije 0 i 1, kao i za dodatne scenarije A i B, slijedom.

Slika 8-1, Slika 8-2, Slika 8-3 i Slika 8-4 prikazuju ukupne godišnje troškove bez PDV-a, a Slika 8-5, Slika 8-6, Slika 8-7 i Slika 8-8 s PDV-om.

Godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 0 – bez VAT-a [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	2060.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
01	Postupci prije zagradnje	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																										
02	Pripremni radovi	35,4				0,4	11,8	8,0	10,1	2,2	2,6	0,3																				
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5				0,4	2,7	2,2	0,7								0,1	0,3	0,6	1,3						0,1	1,0	2,5	0,7			
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	3,1	3,8	3,0	2,4	0,5														
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9					0,1	0,6	2,4	0,9																						
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,04						0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																				
08	Rastavljanje RPV-a	20,5									0,3	7,3	11,2	1,6																		
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1										0,1	0,4	2,1	3,5																	
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1												0,0	0,6	1,3	2,1	1,9	1,3	0,4							0,3	1,2	0,0			
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6															0,2	4,4	6,7	4,5	0,8											
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																												0,4	7,2	6,3	2,9
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,1					2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2									0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	101,7					8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,6	5,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	0,7	0,3	0,3	–	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	80,1					6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	5,3	4,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	21,6					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1					
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4					0,1	2,6	2,7	2,2	4,6	4,5	0,2	2,2	2,9	2,7	3,9	3,3	3,5	2,4	0,6							0,0	0,0	1,2	0,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	89,1					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	27,5	27,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,6	0,7	1,6	0,9		
17	Lokalni potrošači	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2	0,2												
18	RU (rad, razgradnja)	12,2					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	...	0,2	0,2	0,3	0,6	0,7	0,1		
Ukupno		489,7	0,6	1,3	1,3	1,4	28,6	28,0	33,9	33,3	31,1	58,7	53,8	18,7	18,9	12,8	14,5	16,0	17,9	14,4	3,1	1,0	1,0	–	1,0	1,2	2,4	11,5	3,8	9,7	7,3	3,1

Tablica 8-8:Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 bez PDV-a

Godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 1 – bez VAT-a [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2026	2027	–	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	–	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107
01	Postupci prije razgradnje	3,8				0,6	1,3	1,3	0,6																										
02	Pripremni radovi	82,6	25,0	25,0					0,4	10,9	13,6	4,7	2,3	0,7																				
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5							0,4	2,7	2,2	0,7							0,0	0,3	0,5	1,4							0,1	1,0	2,5	0,7			
03	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0													0,2	2,8	4,1	2,8	2,5	0,6															
04	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9								0,6	2,3	1,1																							
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,4								0,6	2,0	15,4	9,6	5,7																					
07	Rastavljanje RPV-a	20,5											0,3	4,5	13,0	2,6																			
08	Rastavljanje biološkog štita	6,1												0,1	0,4	1,9	3,8																		
09	Rastavljanje preostalih sustava	9,1														0,0	0,5	1,3	2,1	2,0	1,3	0,5								0,3	1,2	0,0			
10	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6																	0,1	3,8	7,1	4,5	1,1												
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																														0,4	7,2	6,3	2,9
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	21,5								2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	94,4								8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	5,4	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	1,0	0,3	0,3	0,3		0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	7,8								6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	4,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	0,8	0,2	0,2	0,2		0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	20,5								1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1					
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	38,5								0,1	1,7	3,8	4,1	5,1	0,1	2,3	2,5	2,7	4,1	3,1	3,6	2,5	0,8								0,0	0,0	1,2	0,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	89,5								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	27,8	27,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,6	7,0	1,6	0,9		
17	Lokalni poticaji	31,0								3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,3												
18	RU (rad, razgradnja)	12,3								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2		0,2	0,2	0,3	0,6				
Ukupno		505,5	25,0	25,0		0,6	1,3	1,3	1,5	28,6	35,6	39,5	30,1	29,9	55,2	51,1	19,2	12,5	14,5	15,4	18,2	14,6	4,1	1,0	1,0	1,0		1,0	1,2	2,4	11,5	3,8	9,7	7,3	3,1

Tablica 8-9:Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 bez PDV-a

Godišnji troškovi po radnom dod. slučaja A – bez VAT-a (milijun EUR)

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	…	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
01	Postupci prije razgradnje	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																										
02	Pripremni radovi	35,4				0,4	11,8	8,1	10,1	2,1	2,6	0,3																				
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5				0,4	2,7	2,2	0,7								0,1	0,3	0,6	1,3						0,1	1,0	2,5	0,7			
03	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	3,1	3,8	3,0	2,4	0,5														
04	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9					0,1	0,6	2,4	0,8																						
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,4						0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																				
07	Rastavljanje RPV-a	20,5									0,3	7,5	11,2	1,5																		
08	Rastavljanje biološkog štita	6,1										0,1	0,4	2,2	3,5												0,3	1,2	0,0			
09	Rastavljanje preostalih sustava	9,1												0,0	0,6	1,3	2,1	1,9	1,3	0,4												
10	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6															0,2	4,4	6,7	4,5	0,8											
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																											0,4	7,2	6,3	2,9
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,1					2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	96,2					8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,6	5,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	0,7	0,3	0,3	…	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	75,2					6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	5,3	4,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	20,0					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1					
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4					0,1	2,6	2,8	2,2	4,6	4,5	0,2	2,1	2,9	2,7	3,9	3,3	3,5	2,4	0,5							0,0	0,0	1,2	0,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	73,0					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	23,1	23,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	…	0,5	0,5	0,6	9,7	2,0	1,3		
17	Lokalni policajt	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2	0,2											
18	RU (rad, razgradnja)	7,7					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	…	0,2	0,2	0,3	0,6	0,7	0,1		
	Ukupno	443,6	0,6	1,3	1,3	1,4	28,6	28,0	34,0	33,3	31,1	54,2	49,0	18,9	18,8	12,8	14,5	16,1	17,9	14,4	3,0	1,0	1,0	–	1,0	1,2	2,4	14,2	4,2	10,0	7,3	3,1

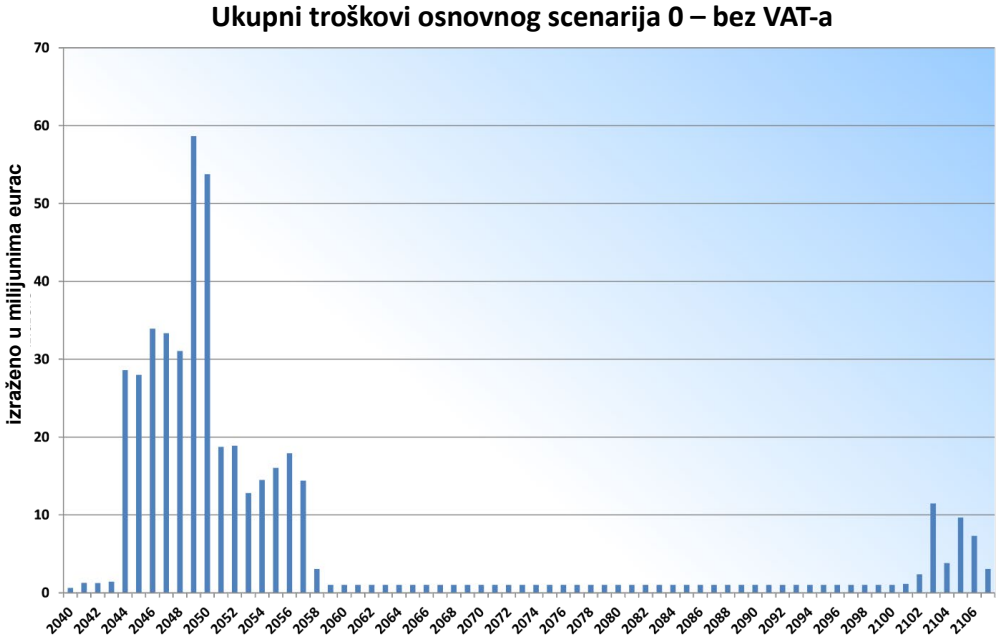
Tablica 8-10: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A bez PDV-a

Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju B – bez VAT-a [milijun EUR]

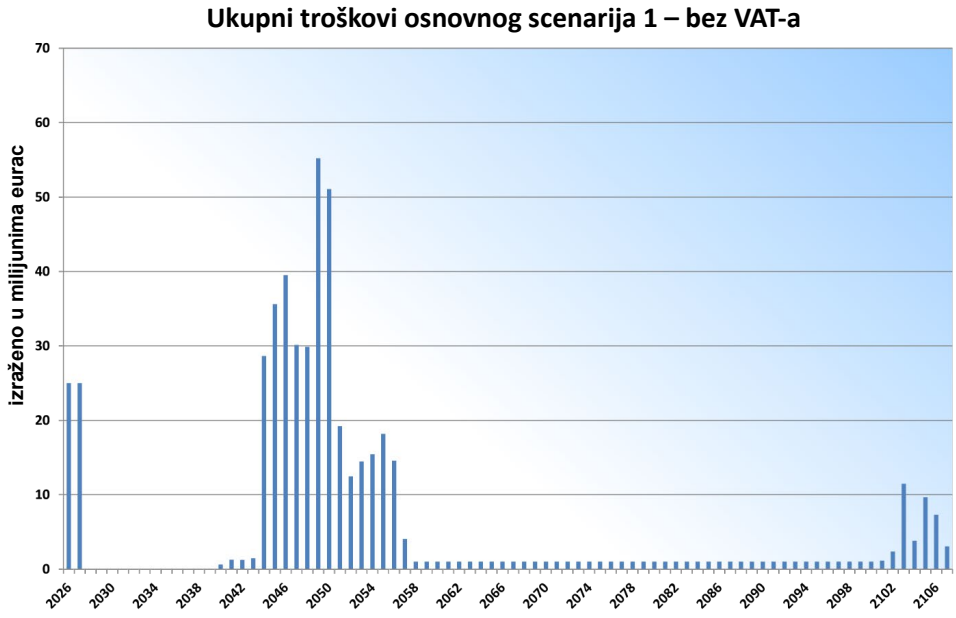
Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	–	2120.	2121.	2122.	2123.	2124.	2125.	2126.	2127.
01	Postupci prije razgradnje	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																										
02	Pripremni radovi	35,4				0,4	11,8	8,1	10,1	2,1	2,6	0,3																				
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5				0,4	2,7	2,2	0,7								0,1	0,3	0,6	1,3						0,1	1,0	2,5	0,7			
03	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	3,1	3,8	3,0	2,4	0,5														
04	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9					0,1	0,6	2,4	0,8																						
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,4						0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																				
07	Rastavljanje RPV-a	20,5								0,3	4,5	7,5	11,1	1,5																		
08	Rastavljanje biološkog štita	6,1									0,1	0,1	0,4	2,2	3,5																	
09	Rastavljanje preostalih sustava	9,1												0,0	0,6	1,3	2,1	1,9	1,3	0,4							0,3	1,2	0,0				
10	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6															0,2	4,4	6,7	4,5	0,7									0,4	7,1	6,3	2,9
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																												0,1	0,1	0,1	0,1
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,1					2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2				–	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	*Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije*	101,7					8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,6	5,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	0,7	0,3	0,3	–	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	80,1					6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	5,3	4,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,2	0,2	–	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	21,6					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1					
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4					0,1	2,5	2,8	2,2	4,6	4,5	0,2	2,1	2,9	2,7	3,9	3,3	3,5	2,4	0,5							0,0	0,0	1,2	0,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	83,3					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	23,1	23,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	–	0,5	0,5	0,6	9,7	2,0	1,3	0,0	
17	Lokalni poticaji	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2											
18	RU (rad, razgradnja)	12,2					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,3	0,6				
	Ukupno	463,9	0,6	1,3	1,3	1,4	28,6	28,0	34,0	33,3	31,0	54,2	49,0	18,9	18,8	12,8	14,5	16,1	17,9	14,4	3,0	1,0	1,0	–	1,0	1,1	2,4	14,2	4,2	10,0	7,3	3,1

Tablica 8-11: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B bez PDV-a

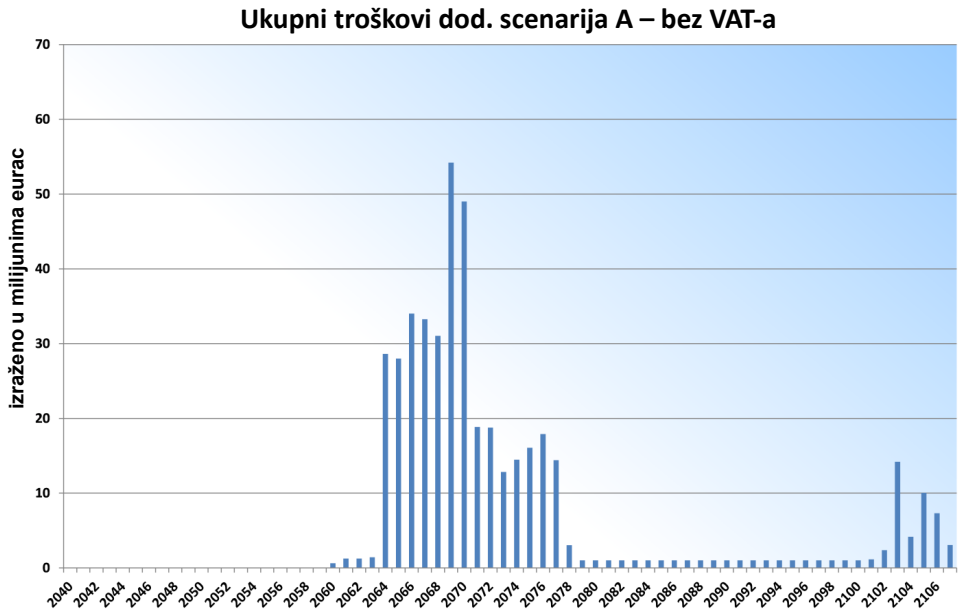
....



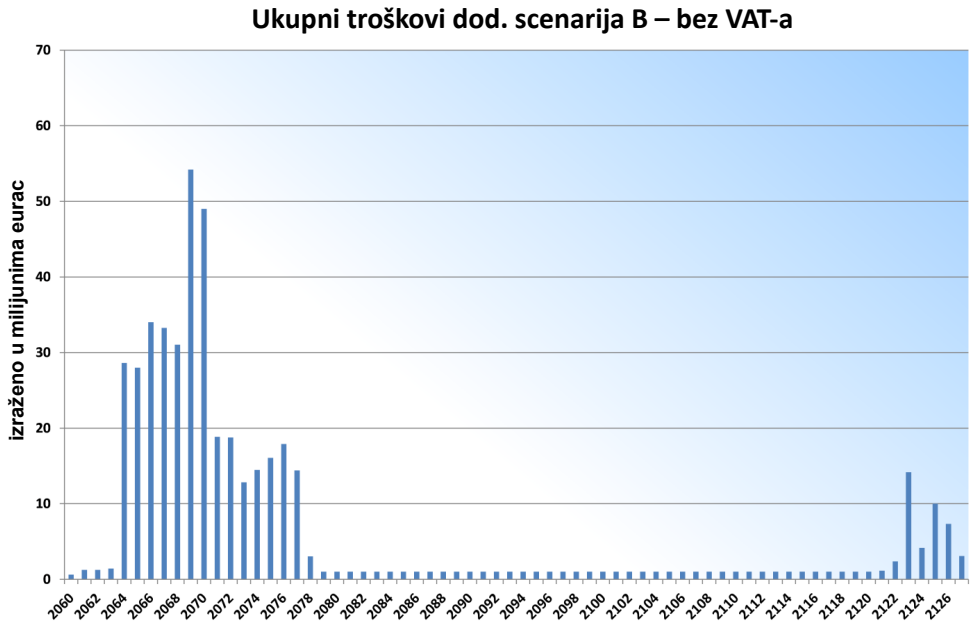
Slika 8-1: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 bez PDV-a



Slika 8-2: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 bez PDV-a



Slika 8-3: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A bez PDV-a



Slika 8-4: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B bez PDV-a

Godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 0 – uklj. VAT [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	2060.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
01	Postupci prije razgradnje	4,3	0,7	1,5	1,4	0,7																										
02	Pripremni radovi	42,0				0,4	14,1	9,6	12,1	2,5	3,1	0,4																				
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4				0,4	3,2	2,6	0,8								0,1	0,3	0,7	1,5					0,1	1,0	2,9	0,8				
03	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	4,3	3,5	2,8	0,5														
04	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6					0,1	0,7	2,9	1,0																						
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2						0,8	4,8	17,2	11,6	5,8																				
07	Rastavljanje RPV-a	24,6									0,3	8,8	13,6	1,9																		
08	Rastavljanje biološkog štita	7,1										0,1	0,4	2,5	4,2																
09	Rastavljanje preostalih sustava	10,6												0,0	0,7	1,6	2,5	2,2	1,5	0,5							0,3	1,3	0,0			
10	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	5,2	8,1	5,4	0,9											
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																											0,5	8,6	7,5	3,5
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	24,9					2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,9	1,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	105,1					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	6,8	5,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	0,8	0,3	0,3	–	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	83,5					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	5,5	4,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	21,6					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1					
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	49,3					0,2	3,1	3,3	2,7	5,6	5,5	0,2	2,6	3,5	3,3	4,8	4,0	4,3	3,0	0,7							0,0	0,0	1,5	1,0	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	104,2					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	33,9	33,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	–	0,5	0,5	0,6	8,5	2,0	1,1		
17	Lokalni policajt	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2											
18	RU (rad, razgradnja)	13,1					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,3	0,7	0,9	0,1		
Ukupno		531,4	0,7	1,5	1,4	1,5	31,9	31,2	38,4	37,8	35,1	68,8	62,8	20,6	21,1	14,2	16,2	18,1	20,4	16,2	3,4	1,1	1,1	–	1,1	1,2	2,4	13,7	4,5	11,6	8,7	3,6

Tablica 8-12: Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 s PDV-om

Godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 1 – ukj. VAT [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2026.	2027.	–	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	2060.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
01	Postupci prije razgradnje	4,3				0,7	1,5	1,4	0,7																										
02	Pripremni radovi	99,7	30,5	30,5					0,4	12,9	16,3	5,5	2,8	0,8																					
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4							0,4	3,2	2,6	0,8							0,0	0,3	0,5	1,7							0,1	1,0	2,9	0,8			
03	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9													0,2	3,0	4,6	3,3	3,0	0,7															
04	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6							0,0	0,6	2,7	1,3																							
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2								0,7	2,3	18,7	11,6	6,9																					
07	Rastavljanje RPV-a	24,6											0,3	5,4	8,8	13,6	1,9																		
08	Rastavljanje biološkog štita	7,1												0,1	0,4	2,1	4,5																		
09	Rastavljanje preostalih sustava	10,6														0,0	0,5	1,5	2,4	2,3	1,5	0,6								0,3	1,3	0,0			
10	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8																	0,1	4,5	8,6	5,4	1,3												
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																														0,5	8,6	7,5	3,5
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,2								2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,3								0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	97,2								8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	5,5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	1,0	03	0,3	0,3	–	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	76,6								7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	4,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	0,8	0,2	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	20,5								1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,1	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1					
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	46,9								0,1	2,1	4,6	5,0	6,2	0,1	2,8	3,1	3,3	5,0	3,8	4,4	3,0	0,9								0,0	0,0	1,5	1,0	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	104,6								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	33,9	33,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5	–	0,5	0,5	0,6	8,5	2,0	1,1		
17	Lokalni potkrajl	31,0								3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,3												
18	RU (rad, razgradnja)	13,3								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,3	0,7	0,9	0,1		
Ukupno		576,5	30,5	30,5		0,7	1,5	1,4	1,6	31,8	40,3	45,2	34,0	33,7	64,6	59,3	21,4	13,8	16,2	17,4	20,7	16,4	4,5	1,1	1,1	1,1	–	1,1	1,2	2,4	13,7	4,5	11,6	8,7	3,6

Tablica 8-13: Godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 s PDV-om

Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju A – uklj. VAT [milijun EUR]

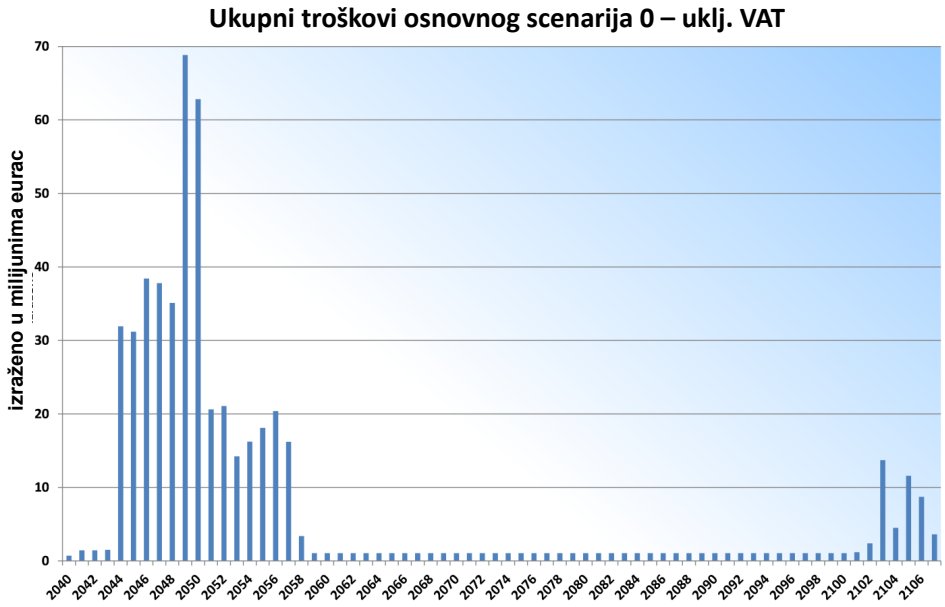
Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
01	Postupci prije razgradnje	4,3	0,7	1,5	1,4	0,7																										
02	Pripremni radovi	42,0				0,4	14,1	9,6	12,1	2,5	3,1	0,4																				
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4				0,4	3,2	2,6	0,8								0,1	0,3	0,7	1,5						0,1	1,0	2,9	0,8			
03	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	4,3	3,5	2,8	0,5														
04	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6					0,1	0,7	2,9	1,0																						
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2						0,8	4,8	17,1	11,6	5,8																				
07	Rastavljanje RPV-a	24,6									0,3	9,1	13,4	1,8																		
08	Rastavljanje biološkog štita	7,1										0,1	0,4	2,5	4,1																	
09	Rastavljanje preostalih sustava	10,6												0,0	0,7	1,6	2,5	2,2	1,5	0,5							0,3	1,3	0,0			
10	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	5,3	8,1	5,4	0,9											
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																											0,5	8,6	7,5	3,5
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	24,9					2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,9	1,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	99,3					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	6,6	5,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	0,8	0,3	0,3	–	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	79,3					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	5,6	4,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	20,0					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1	0,1				
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	49,3					0,2	3,1	3,4	2,6	5,6	5,5	0,2	2,6	3,5	3,3	4,8	4,0	4,3	3,0	0,7							0,0	0,0	1,5	1,0	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	86,5					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	28,2	28,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	–	0,5	0,5	0,6	11,8	2,4	1,6	0,0	
17	Lokalni poticaji	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2											
18	RU (rad, razgradnja)	8,5					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,3	0,7	0,9	0,1		
Ukupno		503,3	0,7	1,5	1,4	1,5	31,9	31,2	38,5	37,7	35,1	63,4	57,0	20,8	20,9	14,3	16,2	18,2	20,4	16,2	3,3	1,1	1,1	–	1,1	1,2	2,4	17,0	4,9	12,0	8,7	3,6

Tablica 8-14: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A s PDV-om

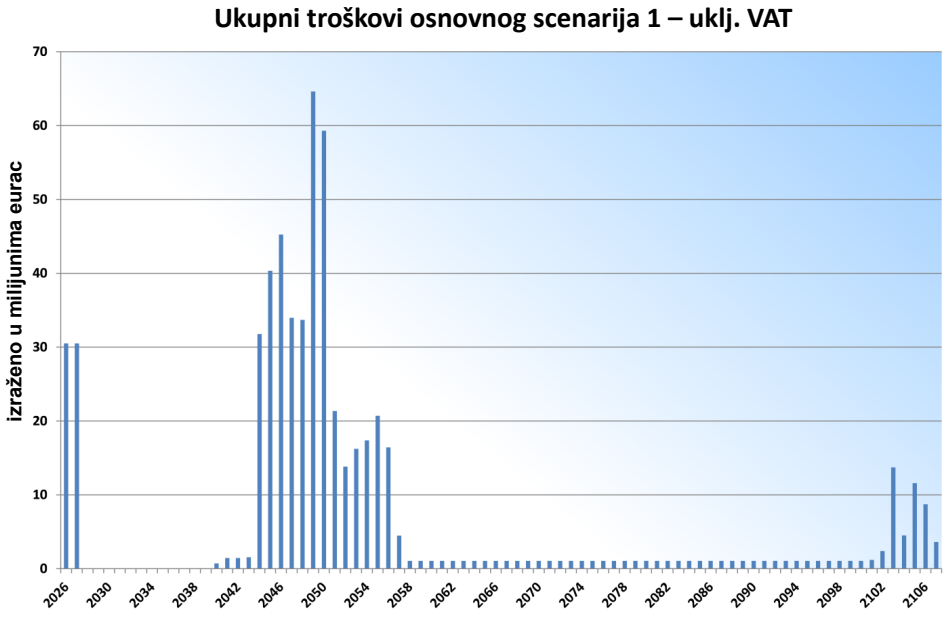
Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju B – uklj. VAT [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	–	2120.	2121.	2122.	2123.	2124.	2125.	2126.	2127.
01	Postupci prije razgradnje	4,3	0,7	1,5	1,4	0,7																										
02	Pripremni radovi	42,0				0,4	14,1	9,6	12,1			0,4																				
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4				0,4	3,2	2,6	0,8								0,1	0,3	0,7	1,5						0,1	1,0	2,9	0,8			
03	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	4,3	3,5	2,8	0,5														
04	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6					0,1	0,7	2,9	1,0																						
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2						0,8	4,9	17,1	11,6	5,8																				
07	Rastavljanje RPV-a	24,6									0,3	9,1	13,4	1,8																		
08	Rastavljanje biološkog štita	7,1										0,1	0,4	2,5	4,1																	
09	Rastavljanje preostalih sustava	10,6												0,0	0,7	1,6	2,5	2,2	1,5	0,5							0,3	1,3	0,0			
10	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	5,3	8,1	5,4	0,9											
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																											0,5	8,6	7,5	3,5
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	24,9					2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,9	1,5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	105,1					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	6,9	5,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	0,8	0,3	0,3	–	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	83,5					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	5,6	4,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	21,6					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1					
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	49,3					0,2	3,1	3,4	2,6	5,6	5,5	0,2	2,6	3,5	3,3	4,8	4,0	4,3	3,0	0,7							0,0	0,0	1,5	1,0	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	97,1					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	28,2	28,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	–	0,5	0,5	0,6	11,8	2,4	1,6		
17	Lokalni poticaji	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2											
18	RU (rad, razgradnja)	13,1					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,3	0,7	0,9	0,1		
Ukupno		524,3	0,7	1,5	1,4	1,5	31,9	31,2	38,5	37,7	35,1	63,4	57,0	20,8	20,9	14,3	16,2	18,2	20,4	16,2	3,4	1,1	1,1	–	1,1	1,2	2,4	17,0	4,9	12,0	8,7	3,6

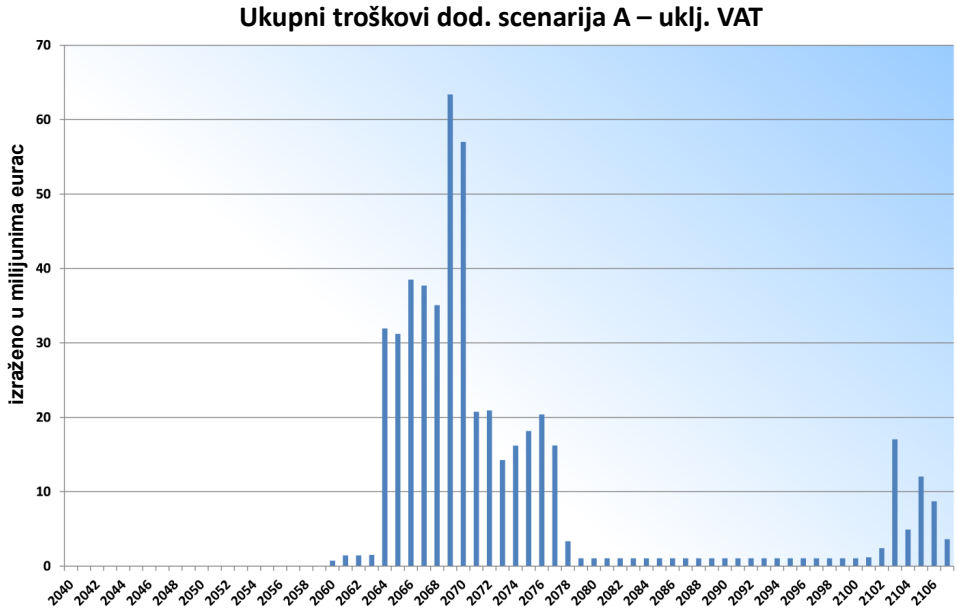
Tablica 8-15: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B s PDV-om



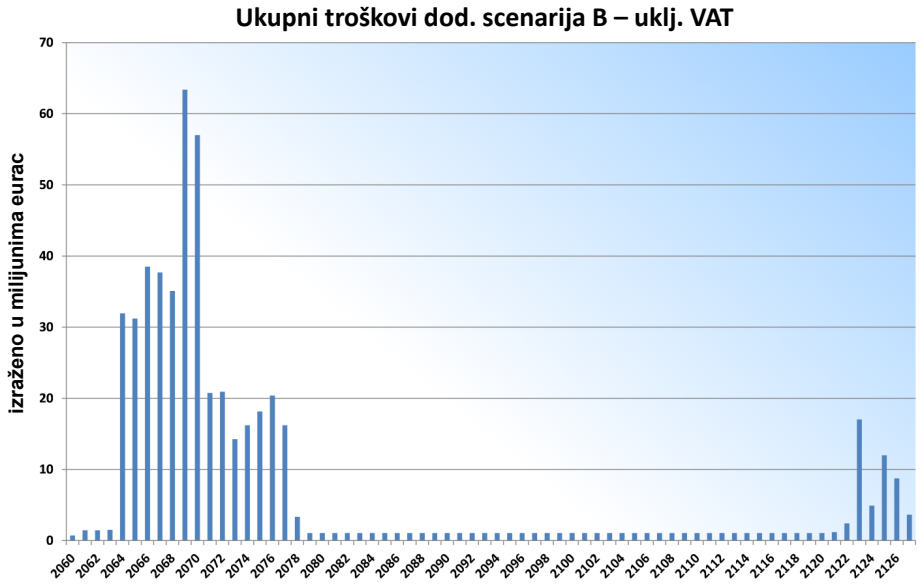
Slika 8-5: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 s PDV-om



Slika 8-6: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 s PDV-om



Slika 8-7: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A s PDV-om



Slika 8-8: Ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B s PDV-om

Svi izračunani troškovi temelje se na trenutačnoj razini cijena u eurima u 2023. Međutim, plaćanja su zakazana za mnogo kasnije datume. S obzirom na pretpostavke i postavke u [27] sljedeći NPV izračunan je za realnu diskontnu stopu i_r = 1,14 % godišnje:

- osnovni scenarij 0: 326 milijuna € (369 milijuna € s PDV-om)
- osnovni scenarij 1: 365 milijuna € (418 milijuna € s PDV-om)
- dodatni scenarij A: 252 milijuna € (285 milijuna € s PDV-om)
- dodatni scenarij B: 256 milijuna € (289 milijuna € s PDV-om).

Učinak zarade od kamata povećava razliku između osnovnih i dodatnih scenarija zbog konačne obustave rada NE Krško dvadeset godina kasnije.

8.5.2 Potreba za radnom snagom i ljudski kapaciteti

Prema Tablici 8-7 vidi se da su kadrovski troškovi glavni uzrok troškova. Na njih otpada otprilike 50 % ukupnih troškova. Izračunana ukupna radna snaga za projekt razgradnje NE Krško iznosi 5524 čovjek-godine za osnovni scenarij 0, 5354 čovjek-godine za osnovni scenarij 1, 5069 čovjek-godina za dodatni scenarij A i 5534 čovjek-godine za dodatni scenarij B. Tablica 8-16 daje pregled potrebne radne snage po radnom paketu.

Potreba radna snaga po radnom paketu

Br.	Funkcija	Radne godine			
		Osnovni scenarij 0	**Osnovni scenarij 1**	**Dod. scenarij A**	**Dod. scenarij B**
01	Postupci prije razgradnje	36,0	36,0	36,0	36,0
02	Pripremni radovi	268,7	248,8	268,7	268,7
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	214,2	214,2	214,2	214,2
05	Rastavljanje kontroliranog područja	253,5	253,5	253,5	253,5
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	49,2	49,2	49,2	49,2
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	156,8	156,8	156,8	156,8
08	Rastavljanje RPV-a	70,2	70,2	70,2	70,2
09	Rastavljanje biološkog štita	87,7	87,7	87,7	87,7
10	Rastavljanje preostalih sustava	133,4	133,4	133,4	133,4
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	228,9	228,9	228,9	228,9
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	277,1	277,1	277,1	277,1
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	333,9	313,0	334,0	334,0
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	2478,9	2341,4	2354,3	2479,2
14.01	*Rad i održavanje*	1801,4	1698,5	1727,7	1801,6
14.02	*Sigurnost*	677,5	642,9	626,6	677,6
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	109,9	102,5	109,9	109,9
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	622,2	634,0	371,3	6323
17	Lokalni poticaji				
18	RU (rad, razgradnja)	203,6	207,2	123,7	203,6
Ukupno		**5524,2**	**5353,8**	**5068,8**	**5333,7**

Tablica 8-16: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama) po radnom paketu

Godišnji ekvivalent radne snage navedeni su u Tablici 8-17, Tablici 8-18, Tablici 8-19 i Tablici 8-20. Ljudski kapaciteti podijeljeni su na:

- NEK (rad/administracija)
- NEK (razgradnja)
- slovenske tvrtke
- strane tvrtke.

Slika 8-9, Slika 8-10, Slika 8-11 i Slika 8-12 vizualni su prikazi spomenutih tablica.

Godišnje radne godine osnovnog scenarija 0

Osobje	Zbroj vrijednosti	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
NEK (rad/admin.)	2812,8					227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	226,0	226,0	180,9	152,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	22,8	6,2	...	6,2	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7	3,2
NEK (razgradnja)	1429,2	5,0	10,0	10,0	23,1	46,7	47,0	50,1	39,0	30,4	24,0	28,0	57,3	56,2	23,6	28,7	30,5	31,4	19,7	15,5	17,0	...	17,0	20,2	47,3	22,8	10,7	15,0	15,0	8,4
Vanjski, Slovenija	1154,7					50,4	74,1	68,0	51,6	23,1	10,7	2,4	48,2	79,7	56,0	64,0	93,8	102,6	85,6	8,0										6,2
Vanjski, strani	127,6	1,0	2,0	2,0	1,0	5,9	10,7	8,5	23,8	24,3	20,2	20,1	2,8	0,4	0,5	0,9	1,0	1,1	1,0	0,4										
Ukupno	5524,2	6,0	12,0	12,0	24,1	330,0	358,7	353,5	341,4	304,8	281,5	277,1	289,1	288,8	193,6	207,1	238,8	248,7	219,8	46,7	23,2	–	23,2	26,4	53,5	79,7	53,9	179,1	104,1	17,8

Tablica 8-17: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za osnovni scenarij 0

Godišnje radne godine osnovnog scenarija 1

Osobje	Zbroj vrijednosti	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	…	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
NEK (rad/admin.)	26 544					227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	226,0	226,0	158,0	113,4	113,4	113,4	113,4	113,4	33,7	6,2	…	6,2	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7	3,2
NEK (razgradnja)	1445,5	5,0	10,0	10,0	24,1	67,6	627	49,4	29,7	248	25,8	55,6	60,0	23,4	27,1	31,4	32,5	20,9	14,7	17,0	…	17,0	20,2	47,3	22,8	10,7	15,0	15,0	8,4
Vanjski, Slovenija	1127,7					56,2	86,0	723	23,8	12,4	2,4	40,6	83,4	53,7	62,7	90,6	105,6	88,5	13,0						51,1	37,5	158,4	83,4	6,2
Vanjski, strani	127,3	1,0	2,00	2,0	2,0	6,7	14,0	25,8	23,7	21,1	20,2	46	0,3	0,5	1,0	0,9	1,2	1,0	0,5										
Ukupno	5353,8	6 – 0	12 – 0	12 – 0	25,1	357,5	389,6	374,4	304,2	285,3	274,9	327,3	302,1	191,0	204,2	236,4	252,6	223,7	61,9	23,2	–	23,2	26,4	53,5	79,7	53,9	179,1	104,1	17,8

Tablica 8-18: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za osnovni scenarij 1

Godišnje radne godine dod. scenarija A

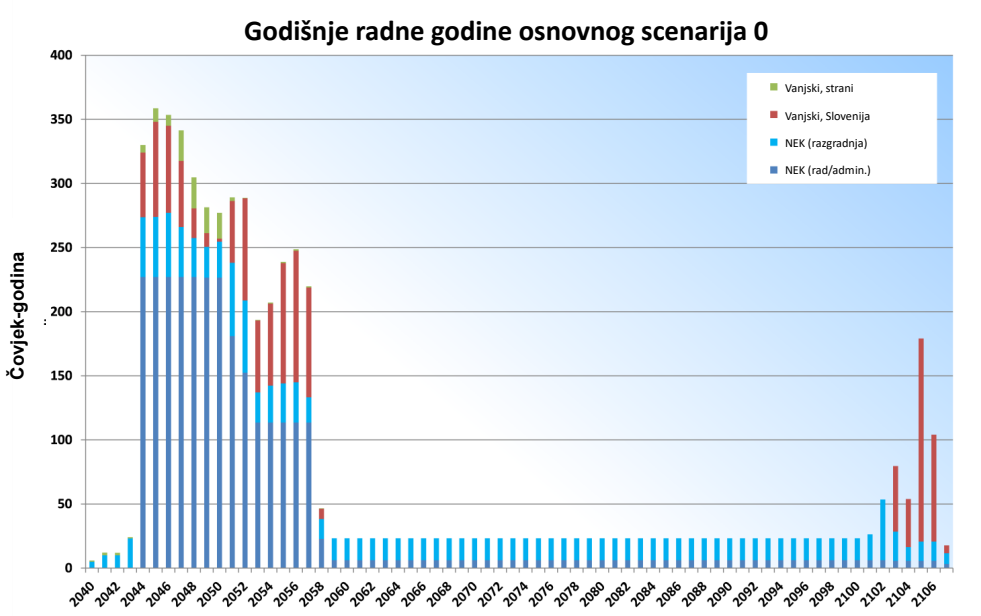
Osobje	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.
NEK (rad/admin.)	2688,2					227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	181,8	151,1	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	22,8	6,2	...	6,2	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7	3,2
NEK (razgradnja)	1099,8	5,0	10,0	10,0	23,1	46,8	47,0	50,1	38,9	30,4	24,1	28,1	57,4	56,0	23,5	28,7	30,4	31,4	19,6	15,5	17,0	...	17,0	20,2	47,3	22,8	11,0	15,0	15,0	8,4
Vanjski, Slovenija	1163,2					50,7	74,2	68,3	51,0	23,1	10,6	2,4	48,8	79,2	56,1	63,8	94,2	102,5	85,6	7,7						51,1	39,2	165,1	83,4	6,2
Vanjski, strani	127,6	1,0	2,0	2,0	1,0	5,9	10,6	8,5	23,8	24,3	20,0	20,0	2,7	0,4	0,5	0,9	1,0	1,1	1,0	0,4										
Ukupno	5068,8	6 – 0	12,0	12,0	24,1	330,4	358,9	353,9	340,6	304,8	277,9	277,5	290,7	286,7	193,7	207,0	239,1	248,6	219,7	46,4	23,2	–	23,2	26,4	53,5	79,7	55,9	185,8	104,1	17,8

Tablica 8-19: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za dodatni scenarij A

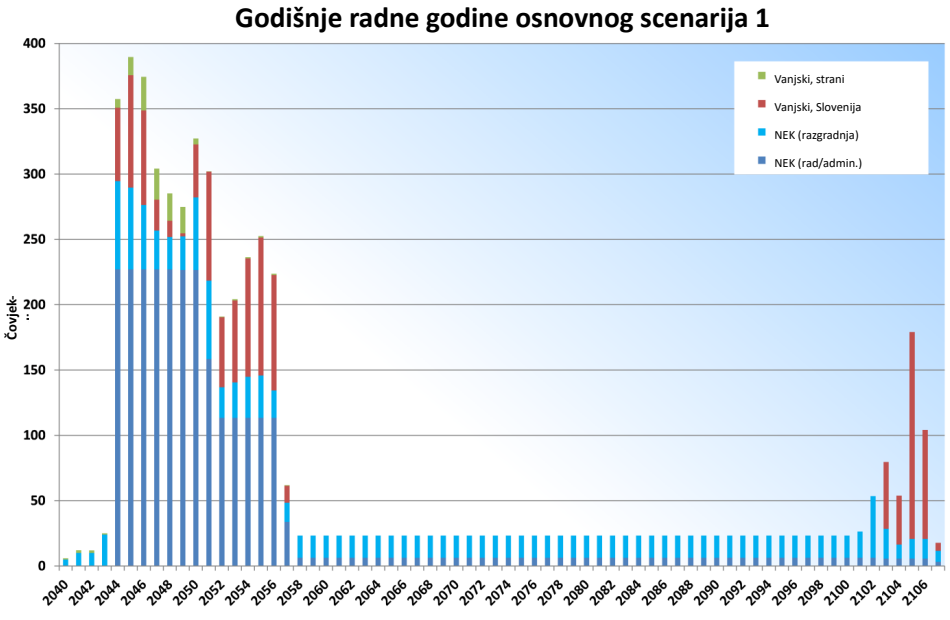
Godišnje radne godine dod. scenarija B

Osoblje	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	–	2120.	2121.	2122.	2123.	2124.	2125.	2126.	2127.
NEK (rad/admin.)	2813,2					227,9	227,0	227,0	226,1	227,0	227,0	227,0	181,8	151,6	113,1	113,5	113,5	113,9	113,5	22,5	6,2	...	6,3	6,3	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7	3,2
NEK (razgradnja)	1429,7	5,1	10,0	10,0	23,1	46,8	47,1	50,1	38,7	30,4	24,0	28,1	57,4	55,9	23,5	28,7	30,4	31,5	19,6	15,6	16,9	...	17,1	20,2	47,3	22,9	10,9	15,0	15,0	8,5
Vanjski, Slovenija	1163,2					50,8	74,3	68,1	51,0	23,1	10,6	2,4	48,9	79,2	56,1	63,8	94,2	102,8	85,4	7,6						51,2	39,0	164,8	83,4	6,2
Vanjski, strani	127,6	1,0	2,0	2,0	1,0	5,9	10,6	8,7	23,7	24,3	20,2	20,1	2,7	0,4	0,5	0,9	1,0	1,1	1,0	0,4										
Ukupno	5533,7	6,1	12,0	12,0	24,1	331,4	359,1	354,0	339,5	304,8	281,8	277,6	291,0	287,0	193,1	207,0	239,0	249,3	219,5	46,1	23,2	–	23,3	26,4	53,5	79,8	55,6	185,6	104,1	17,9

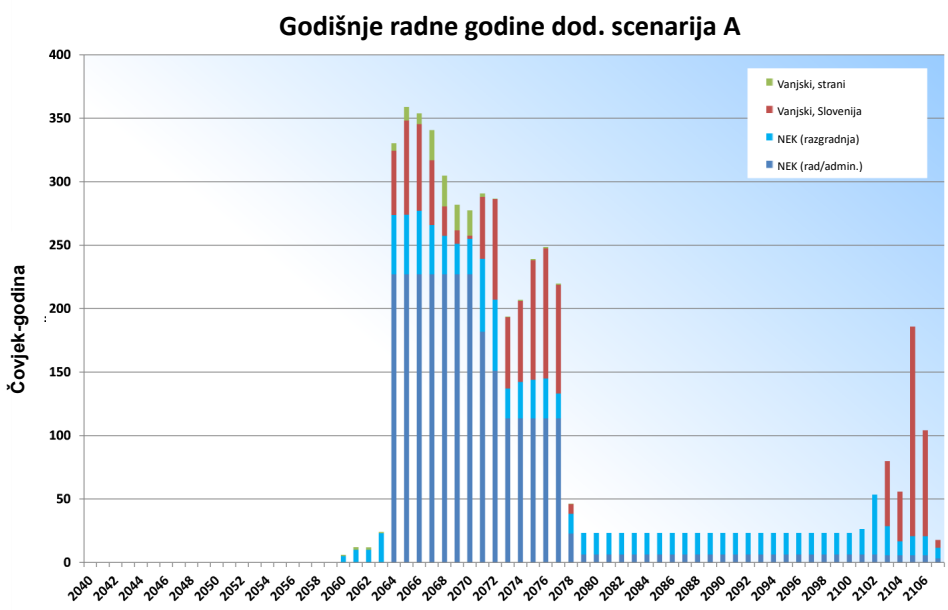
Tablica 8-20: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama)za dodatni scenarij B



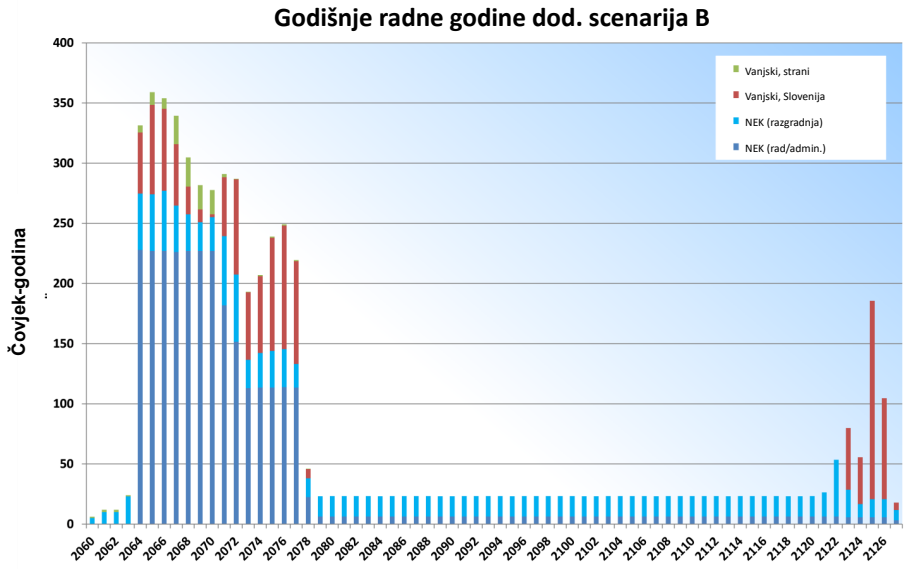
Slika 8-9: Godišnji ekvivalent radne snage za osnovni scenarij 0



Slika 8-10: Godišnji ekvivalent radne snage za osnovni scenarij 1



Slika 8-11: Godišnji ekvivalent radne snage za dodatni scenarij A



Slika 8-12: Godišnji ekvivalent radne snage za dodatni scenarij B

8.6 Usporedba rezultata PR-a za osnovni scenarij iz 2019. i osnovni scenarij 0 iz 2023.

Prema prethodnom PR-u [9] procjenjivalo se da će osnovni scenarij projekta razgradnje NE Krško ukupno stajati 418 milijuna € na temelju razine cijena iz 2018. Ti su se troškovi u međuvremenu povećali za oko 52 milijuna €, što dovodi do ukupnog iznosa od 470 milijuna € s obzirom na razinu cijena iz 2023. za ažurirani osnovni scenarij 0. Riječ je o otprilike 12-postotnom povećanju u posljednjih pet godina. To je znatno niže od stope inflacije navedene pri odabiru i opravdanju diskontnih parametara [27] za Sloveniju u tom razdoblju. Tablica 8-21 daje pregled razlika po radnom paketu.

Trošak po radnom paketu u usporedbi

Br.	Funkcija	Osnovni scenarij PDP 2019 [milijun EUR 2019.]	Osnovni scenarij 0 PDP 2023 [milijun EUR 2023.]
01	Postupci prije razgradnje	3,2	3,8
02	Pripremni radovi	31,1	35,4
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	10,8	12,5
05	Rastavljanje kontroliranog područja	11,2	13,0
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,4	3,9
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	28,6	33,4
08	Rastavljanje RPV-a	17,6	20,5
09	Rastavljanje biološkog štita	5,3	6,1
10	Rastavljanje preostalih sustava	7,9	9,1
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	14,5	16,6
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	146	16,8
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	28,9	23,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	112,0	101,7
14.01	*Rad i održavanje*	97,3	80,1
14.02	*Sigurnost*	*14,7*	216
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	36,2	40,4
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	75,6	89,1
17	Lokalni poticaji	16,6	32,2
18	RU (rad, razgradnja)		12,2
	Ukupno	**417,6**	**469,7**

Tablica 8-21: Usporedba rezultata troškova PR-a 2019./2023.

Budući da je novi PR u skladu s ažuriranom specifikacijom, ažuriralo se nekoliko graničnih uvjeta za izračun troškova. Osim toga, pridodana su iskustva stečena na trenutačnim projektima razgradnje i planovi iz proteklih godinama. U nastavku je sažet utjecaj tih ažuriranja na troškove.

Ažuriranje cijena praznih paketa (11 milijuna € više)

Cijene spremnika ažuriraju se prema Tablici 8-4. Time se troškovi povećavaju za otprilike 11 milijuna €. Riječ je o WP 15 „Obrada, skladištenje i odlaganje otpada" i WP 16 „SFDS", koji obuhvaćaju gospodarenje istrošenim gorivom.

Plaće i satnice osoblja koje se predviđaju za ovaj PR ažuriraju se prema Tablici 8-2. Time se troškovi povećavaju za otprilike 31 milijun €. Osim WP 17 „Lokalni poticaji" svi su ostali radni paketi pogođeni jer obuhvaćaju troškove osoblja.

Ažuriranje plaća/satnica (31 milijun € više)

Ažuriranje troškova koji nisu povezani s osobljem za administraciju, rad i lokalne poticaje (23 milijuna € više)

Godišnji troškovi koji nisu povezani s osobljem ažuriraju se prema odgovarajućim čimbenicima troškova iz Tablice 8-5 s obzirom na proteklu operativnu godinu NE Krško. Time se ukupni troškovi povećavaju za otprilike 23 milijuna € kad je riječ o administrativnim i operativnim zadacima, kao i lokalnim poticajima. Dakle, riječ je o WP 13 „Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji", WP 14 „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije" i WP 17 „Lokalni poticaji".

Ažuriranje čimbenika troškova za opremu i potrošni materijal za razgradnju (15 milijuna € više)

Troškovi opreme i potrošnog materijala za zadatke rastavljanja, dekontaminacije, otpuštanja i obrade otpada revidirani su i ažurirani s obzirom na prošla iskustva. Troškovi potrebnih ulaganja ažuriraju se prema Tablici 8-3, a potrošnog materijala u skladu s određenim čimbenicima troškova u Tablici 8-5. Time ukupni troškovi rastu za otprilike 15 milijuna €. Zahvaćeni su svi radni paketi osim WP 01 „Postupci prije razgradnje", WP 13 „Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji", WP 14 „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije" i WP 17 „Lokalni poticaji".

Procjena skladišnih zaliha NEK-a (26 milijuna € manje)

Procjenom i prodajom skladišnih zaliha NEK-a smanjuju se troškovi u WP 14 „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije" i samim time ukupni troškovi razgradnje za oko 26 milijuna €.

Ažuriranje troškova administrativnog i operativnog osoblja (30 milijuna € manje)

Broj osoblja potrebnog za administraciju i siguran rad nakon konačne obustave rada elektrane revidiran je i ažuriran, što utječe na smanjenje potrebne radne snage i dovodi do smanjenja od 30 milijuna €. To se odnosi na WP 13 „Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji" i WP 14 „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije".

Procjena RU-a (25 milijuna € više)

Rad i razgradnja RU-a dodani su u trenutačni PDP zajedno s pripadajućim troškovima razgradnje. Pri čemu je 12 milijuna € izravno povezano s WP 18 „RU". Daljnji dodatni troškovi od 13 milijuna € dio su administrativnih i operativnih zadataka u WP 13 „Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji" i WP 14 „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije".

9 Sigurnosna procjena

Na kraju radnog vijeka sve se upute i politike koje su dotad vrijedile moraju pregledati i prema potrebi prilagoditi.

Mora se provjeriti u kojoj se mjeri te upute i politike zajedno s planiranjem i zahtjevom za izdavanje dozvole za razgradnju primjenjuju na odredbe i uvjete razgradnje elektrane. Planiranje razgradnje mora biti potkrijepljeno odgovarajućom sigurnosnom procjenom koja obuhvaća planirane aktivnosti i izvanredne događaje do kojih može doći tijekom razgradnje. Procjena obuhvaća profesionalno izlaganje zračenju i potencijalno ispuštanje radioaktivnih tvari koje bi moglo dovesti do izlaganja javnosti. Sigurnosna procjena počivat će na sustavnoj metodologiji za dokazivanje usklađenosti sa sigurnosnim zahtjevima i kriterijima za razgradnju tijekom cijelog procesa razgradnje, uključujući otpuštanje materijala, zgrada i lokacija iz regulatornog nadzora. Osim toga, provedbom sigurnosne procjene ulit će se povjerenje zainteresiranim stranama u sigurnost razgradnje.

Nakon što je operator izradi, konačnu sigurnosnu procjenu za razgradnju NEK-a pregledat će regulatorno tijelo kako bi se zajamčila usklađenost sa sigurnosnim zahtjevima i kriterijima.

Tijekom razgradnje dokumenti se moraju redovito pregledavati radi mogućih prilagodbi.

Referentne razine sigurnosti razgradnje utvrđene su u izvještaju Udruga zapadnoeuropskih nuklearnih regulatora (WENRA) u okviru Radne skupine za otpad i razgradnju (WGWD) [29]. Cilj je tog izvještaja pružiti sigurnosne referentne razine za aktivnosti razgradnje koje se temelje na odgovarajućim dokumentima (zahtjevima, smjernicama itd.) Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA).

9.1 Sigurnosne kategorije (sigurnosni dokument)

Područja koja se odnose na sigurnost i zaštitu mogu se kategorizirati na sljedeći način:

- sigurnosna procjena – opći sigurnosni propisi i upute za postupanje u elektrani (9. poglavlje)
- procjena utjecaja na okoliš – zaštita zraka, vode i oborina (10. poglavlje)
- sigurnost na radu – zaštita zaposlenika i sigurnost na radnom mjestu (11. poglavlje)
- plan u slučaju opasnosti – postupci za postupanje u iznenadnim ili neočekivanim situacijama (13. poglavlje)
- fizička sigurnost i zaštita za nuklearne i radioaktivne tvari (14. poglavlje).

9.2 Moguće preinake

Kad započnu radovi na razgradnji, neki će se aspekti koji mogu utjecati na primjenjive propise i radne standarde morati početi temeljitije primjenjivati u redovitim intervalima i prema potrebi prilagođavati. To može biti:

- promjena odgovornosti – tko je nadležan / koga treba informirati (odgovornost/radnja/informacija)
- promjena opsega – koje područje treba otpustiti, koje treba motriti
- postupak primopredaje između koraka.

10 Procjena utjecaja na okoliš

Osim gospodarenja komunalnim i radioaktivnim otpadom upravljanje okolišem obuhvaća zaštitu okoliša i klime.

Nisko i srednje radioaktivni otpad koji nastaje tijekom proizvodnje električne energije sigurno se skladišti izravno u NEK-u. Poduzimanjem niza tehničkih mjera kao što su razvrstavanje, kompaktiranje, taljenje i spaljivanje uvelike se smanjuje količina otpada. Ti se procesi provode izravno u NEK-u, ali i u inozemstvu.

Kad je riječ o zaštiti klime, može se reći da radom nuklearnih elektrana ne nastaju nikakve emisije CO_2, čime se ugljični otisak smanjuje na lokalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini.

Ostali utjecaji proizvodnje nuklearne energije na okoliš također su mali u usporedbi s drugim izvorima energije ili drugim proizvodnim tehnologijama.

U okviru politike zaštite okoliša NEK je 2008. uveo sustav upravljanja okolišem i uskladio se s normom ISO 14001:2004.

Ekološka certifikacija potvrda je NEK-ova ekološki osviještenog poslovanja i predanosti budućnosti. Sustav upravljanja okolišem redovito se prati i ažurira.

NEK se svojom politikom zaštite okoliša usmjerenom na ciljeve obvezuje na poštovanje svih primjenjivih zakona, propisa i standarda koji se odnose na zaštitu okoliša. Postojeći propisi utvrđeni su u Priručniku kvalitete QD-10 „Sustav upravljanja okolišem i sigurnošću i zdravljem na radu” [30].

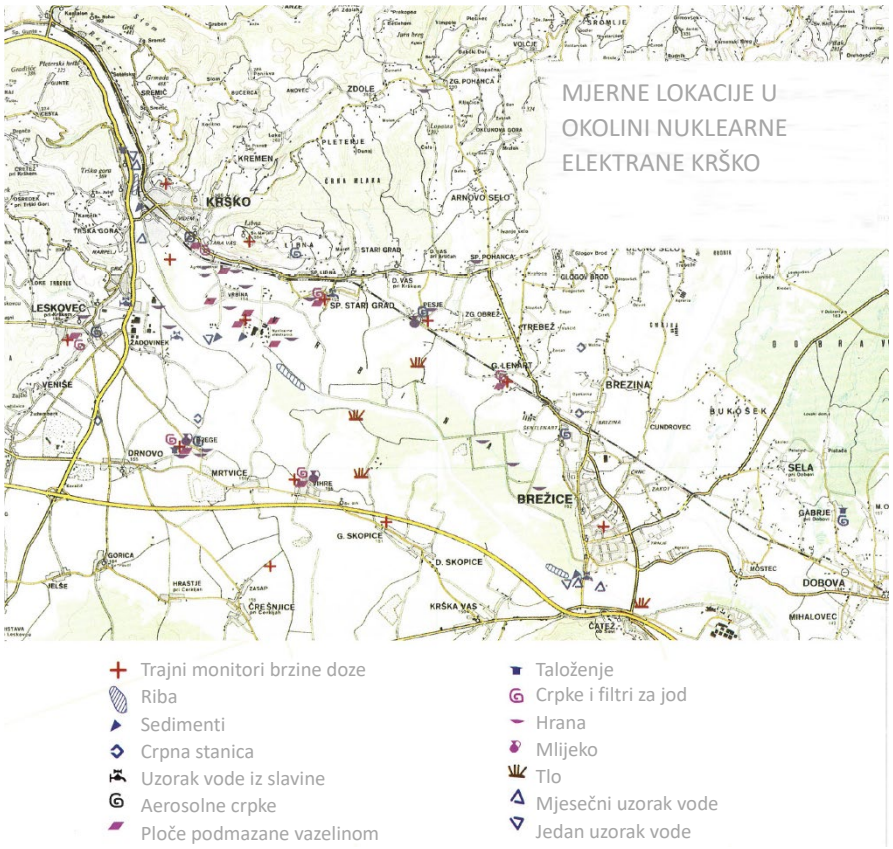
Ministarstvo okoliša i prostornog planiranja (MOP) izdalo je 13. siječnja 2023. okolišnu dozvolu (OVS) za produljenje radnog vijeka nuklearne elektrane s 40 na 60 godina do 2043.

Okolišna dozvola sadržava 20 uvjeta (dodatno ograničenje za rad, dodatno praćenje i dodatno izvještavanje). Jedan je od uvjeta da se najkasnije tri godine prije završetka rada pripremi konačni program razgradnje nuklearne elektrane i izradi izvještaj o utjecaju razgradnje na okoliš za početak procjene utjecaja na okoliš (prijava upravnom tijelu).

Radiološko praćenje drugih mjesta provodi se već od 1974. i obuhvaća nadzor pedesetak mjesta u lokalnoj kopnenoj okolini. Sljedeći se mediji redovito prate:

- zrak
- voda (radioaktivnost i zagrijavanje rijeke Save)
- oborine
- lebdeće čestice
- talog
- biota rijeke Save
- podzemne vode.

Izračuni doza uspoređuju se s prirodnom vanjskom brzinom doze i atmosferskim talogom u okviru praćenja prije početka rada. Sva se mjerenja provode tijekom rada elektrane, kao i tijekom kasnije razgradnje.



Slika 10-1: Mjerna mjesta u blizini NE Krško

Osim gospodarenja otpadom u okolišu i njegova praćenja NEK je posvećen i osposobljavanju zaposlenika i izvođača te korištenju sigurnosnim sustavima.

Provedena je procjena utjecaja na okoliš i dobiveno rješenje nadležnog državnog tijela za produljenje životnog vijeka NE Krško i SFDS-a.

Dogovoreni operativni propisi koji se odnose na procjene utjecaja na okoliš ostaju na snazi na kraju radnog vijeka. Provjerit će se u kojoj se mjeri ti propisi zajedno s planiranjem i zahtjevom za izdavanje dozvole za razgradnju primjenjuju na odredbe i uvjete razgradnje elektrane. U Sloveniji se prije razgradnje NEK-a, ali i za SFDS, mora provesti postupak procjene utjecaja na okoliš.

Preporučuje se prilagodba propisa potrebama razgradnje u dogovoru s nadležnim tijelima.

11 Sigurnost na radu

Sigurnost i zdravlje na radu i protupožarna zaštita jamstvo su za sigurno i zdravo okružje za NEK-ove zaposlenike, vanjske izvođače i dobavljače. To obuhvaća zaštitne mjere i osposobljavanje zaposlenika radi sprječavanja ozljeda i bolesti na radu. Radni uvjeti redovito se poboljšavaju u skladu sa suvremenim radnim standardima i iskustvom.

Dogovoreni operativni propisi koji se odnose na sigurnost na radu ostaju na snazi na kraju radnog vijeka. Postojeći sustav upravljanja zdravljem i sigurnošću i protupožarne zaštite usklađen je sa zahtjevima norme ISO 45001:2018.

Iscrpni propisi o sigurnosti na radu utvrđeni su u NEK-ovu priručniku kvalitete QD-10, rev. 5 „Sustavi upravljanja okolišem i sigurnosti i zdravljem na radu" [30], kao i u postupku ADP-1.1.033 rev. 6 „Zdravlje i sigurnost na radu u Nuklearnoj elektrani Krško" [31].

Provjerit će se u kojoj se mjeri ti propisi zajedno s planiranjem i zahtjevom za izdavanje dozvole za razgradnju primjenjuju na odredbe i uvjete razgradnje elektrane.

Preporučuje se prilagodba propisa potrebama razgradnje u dogovoru s nadležnim tijelima.

12 Osiguranje kvalitete

Dogovoreni operativni propisi koji se odnose na osiguranje kvalitete ostaju na snazi na kraju radnog vijeka. Trenutačni sustav osiguranja kvalitete usklađen je s američkim zakonodavstvom, tj. glavom 10., dijelom 50., dodatkom B NCR-ove Uredbe „Kriteriji osiguranja kvalitete za nuklearne elektrane i postrojenja za preradu goriva" [32] i s vol. 1, 2 i 3 Konsolidiranih smjernica za razgradnju (NUREG-1757).

Istražit će se u kojoj se mjeri ti propisi zajedno s planiranjem i zahtjevom za izdavanje dozvole za razgradnju primjenjuju na odredbe i uvjete razgradnje elektrane. Kad se obustavi rad, mora se izraditi novi „Program za QA razgradnje" (engl. *Decommissioning Quality Assurance Program*, DQAP) radi usklađivanja s promjenama u radnom okružju. Preporučuje se da se propisi prilagode zahtjevima za razgradnju u dogovoru s nadležnim tijelima.

DQAP bi trebao odražavati aktivnosti povezane s kvalitetom koje se odnose na nuklearnu lokaciju koja se razgrađuje kroz usklađenost s utvrđenim regulatornim zahtjevima nadležnih tijela. DQAP bi ujedno trebao omogućiti zaštitu javnog zdravlja i sigurnosti provedbom procjena na temelju učinku i revizija na temelju usklađenosti u skladu s provedbenim postupcima i uputama. U DQAP-u se opisuju obveze za uvođenje zahtjeva kvalitete, uspostavu i održavanje DQAP-a i ocjenjivanje provedbe aktivnosti koje su predmet DQAP-a. NEK-ov DQAP trebao bi se postupno provoditi s naglaskom na stavkama i aktivnostima važnima za sigurnost.

DQAP bi usto trebao sadržavati opis organizacijske strukture i funkcionalnih obveza uprave elektrane u vezi s provedbom aktivnosti važnih za sigurnost u NEK-u. U DQAP-u bi također trebalo navesti nadzorne uloge i obveze osoblja za osiguranje kvalitete (QA) te programska očekivanja za razne organizacije elektrane.

Trenutačni propisi utvrđeni su u poglavlju 17. „Osiguranje kvalitete" NEK-ova USAR-a Priručnika za upravljanje [33], što bi trebalo poslužiti kao osnova za DQAP.

13 Plan u slučaju opasnosti

Glavni je cilj planiranja i pripravnosti za opasnost zajamčiti zaštitu te očuvati zdravlje i sigurnost osoblja elektrane i javnosti, obuzdati ili ublažiti posljedice iznenadnih ili neočekivanih situacija ako do njih dođe i stvoriti uvjete za oporavak. To podrazumijeva preventivne mjere za izbjegavanje opasnosti, kao i mjere za sprječavanje ili ublažavanje posljedica te opasnosti.

Plan u slučaju opasnosti trebao bi uzeti u obzir sve moguće opasnosti. Odgovornosti moraju biti jasno određene, a planovi lokacije i evakuacije moraju biti postavljeni uz opisane pisane postupke.

Dogovoreni operativni propisi koji se odnose na planove u slučaju opasnosti ostaju na snazi na kraju radnog vijeka. Provjerit će se u kojoj se mjeri ti propisi zajedno s planiranjem i zahtjevom za izdavanje dozvole za razgradnju primjenjuju na odredbe i uvjete razgradnje elektrane.

Preporučuje se prilagodba propisa potrebama razgradnje u dogovoru s nadležnim tijelima.

Trenutačni propisi utvrđeni su u poglavlju 13.3 „Planiranje za hitne slučajeve” [34] NEK-ova USAR-a i u Priručniku za inženjersko upravljanje ED-6 „Upravljanje krizom / hitnim slučajevima i planiranje odgovora na hitne situacije” [35], što bi trebalo biti osnova za novi dokument potreban tijekom razgradnje.

14 Fizička sigurnost i zaštita za nuklearne i radioaktivne tvari

Dogovoreni operativni propisi koji se odnose na fizičku sigurnost i zaštitu za nuklearne i radioaktivne tvari ostaju na snazi na kraju radnog vijeka.

Načelno se mjere fizičke sigurnosti mogu se podijeliti u tri skupine:

1. Strukturne sigurnosne mjere:
    - ograde
    - čuvari, sigurnosna postaja
    - zidovi
    - (ulazna) vrata, zračne komore
    - provozna zaštita.
2. Sustavne sigurnosne mjere:
    - kontrola pristupa
    - sustav za otkrivanje
    - videonadzor
    - alarmni sustavi
    - sustav zaključavanja
    - komunikacijski sustavi
    - pomoćna rasvjeta
    - prostorije za čuvare.
3. Administrativne sigurnosne mjere:
    - službenik za sigurnost
    - struktura odgovornosti
    - plan uzbune
    - plan pristupa
    - plan ključeva
    - osposobljavanje sigurnosnog osoblja.

Ovisno o pojedinačnoj situaciji taj se opseg može izmijeniti i proširiti.

Osim toga, potrebno je uspostaviti zaštitu od zračenja koja uključuje:

- praćenje izlaganja zračenju na radnom mjestu
- sprječavanje širenja izvora zračenja
- mjerenja na radnom mjestu

- mjerenja izlaganja zračenju u zraku i otpadnim vodama
- mjerenja u blizini postrojenja.

Zakonski propisane granice profesionalnog izlaganja zračenju iznose 20 mSv godišnje. To se ograničenje odnosi i na zdravstvene radnike i na zaposlene u industriji. Granica od 20 mSv godišnje utvrđena je na temelju vjerojatnosti štetnih zdravstvenih učinaka.

Prosječna godišnja doza koju primi radnik u NE-u Krško iznosi približno 0,42 mSv. Najveća doza koju radnik primi za vrijeme isključenja iznosi oko 6,68 mSv, što je tri puta manje od zakonskih granica.

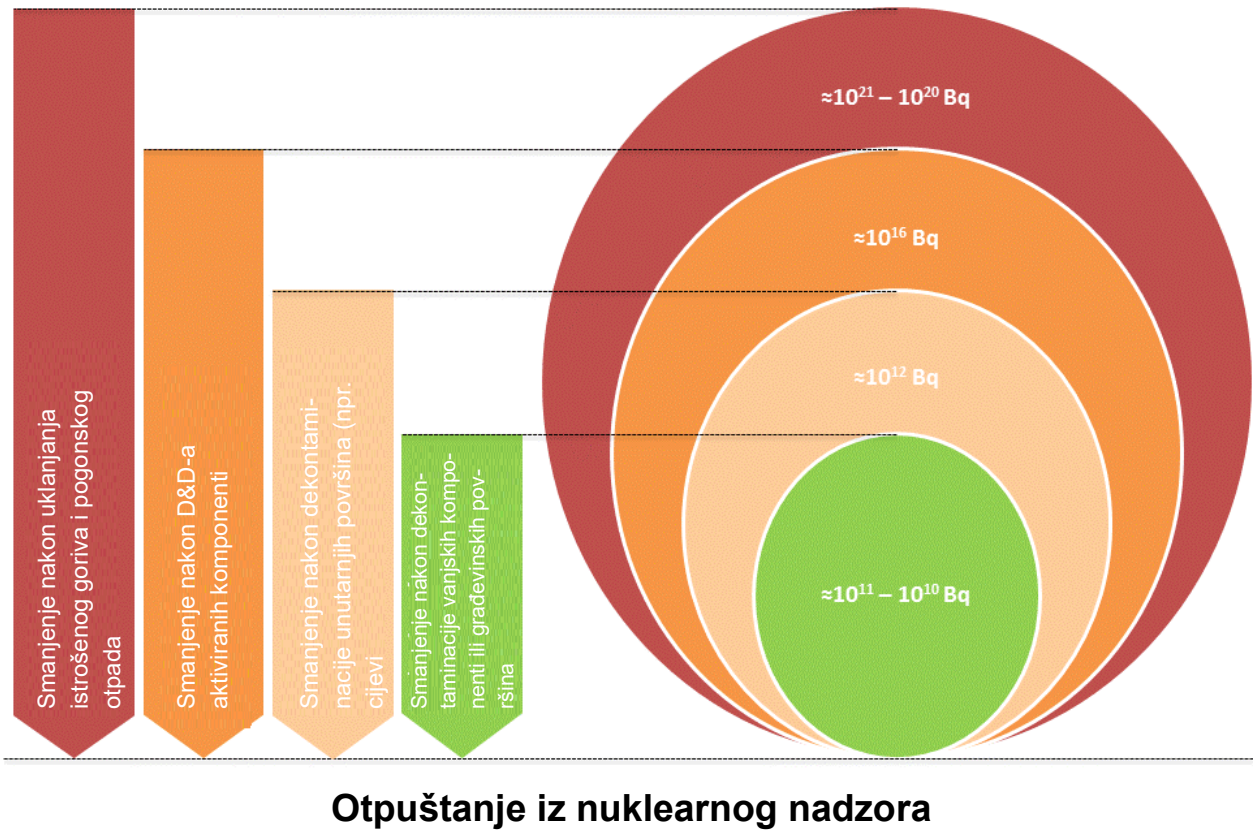
Provjerit će se u kojoj se mjeri ti propisi zajedno s planiranjem i zahtjevom za izdavanje dozvole za razgradnju primjenjuju na odredbe i uvjete razgradnje elektrane.

Preporučuje se prilagodba propisa potrebama razgradnje u dogovoru s nadležnim tijelima.

15 Konačni pregled radiološkog stanja

Radioaktivni inventar nuklearne elektrane može se razvrstati u tri skupine:

1. aktivirane komponente: unutarnji dijelovi RPV-a, RPV i biološki štit
2. komponente kontaminirane iznutra zbog doticaja s radioaktivnim medijima
3. komponente kontaminirane izvana i građevinske konstrukcije s kontaminiranim unutarnjim površinama zbog širenja kontaminacije ili lebdećih radioaktivnih čestica i prašine.



Slika 15-1: Radioaktivni inventar

Slika 15-1 daje pregled smanjenja ukupne aktivnosti nakon konačne obustave rada nuklearne elektrane tijekom razgradnje. Više od 99 % radioaktivnosti koncentrirano je unutar FA-a. Nakon razdoblja raspada na početku projekta razgradnje pakiraju se u odgovarajuće bačve i prenose u SFDS radi privremenog skladištenja. Preostala radioaktivnost gotovo se potpuno zadržava u aktiviranim dijelovima (unutarnjih dijelova) RPV-a.

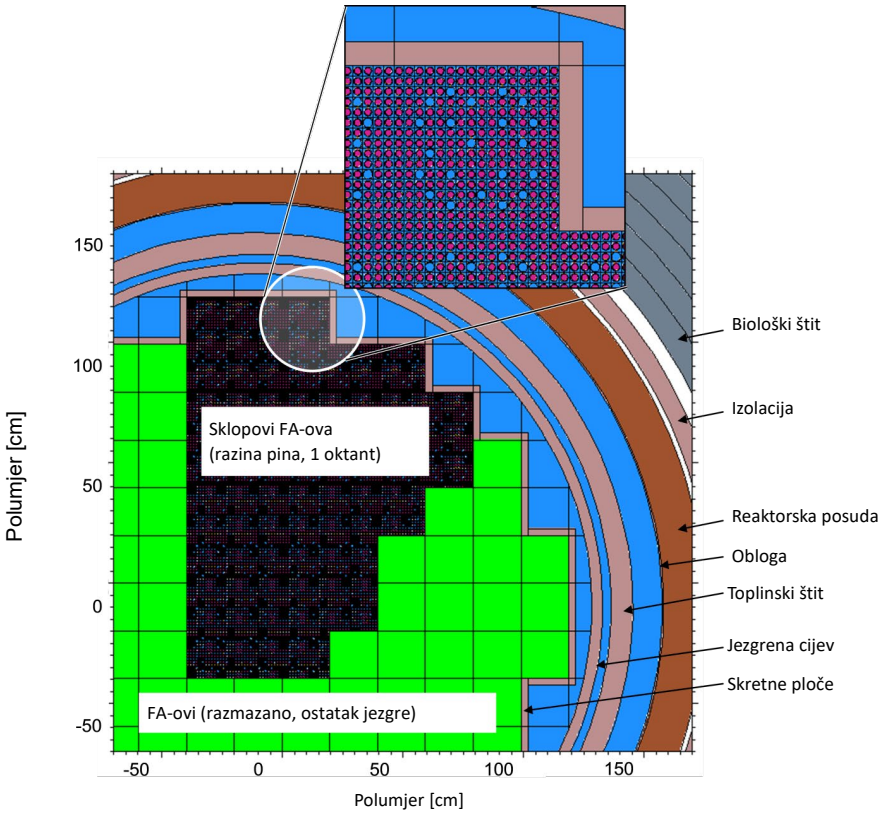
Nakon što se rastavi aktivirani materijal, očekuje se da u kontaminiranim komponentama i građevinskoj konstrukciji ostane radioaktivnost od oko 10^{12} Bq. Većina radioaktivnosti rasprostranjena je po unutarnjoj površini sustava. Samo se mali dio radioaktivnosti očekuje na vanjskoj površini komponenata, opreme i građevinskih konstrukcija.

15.1 Radioaktivnost aktiviranih komponenata

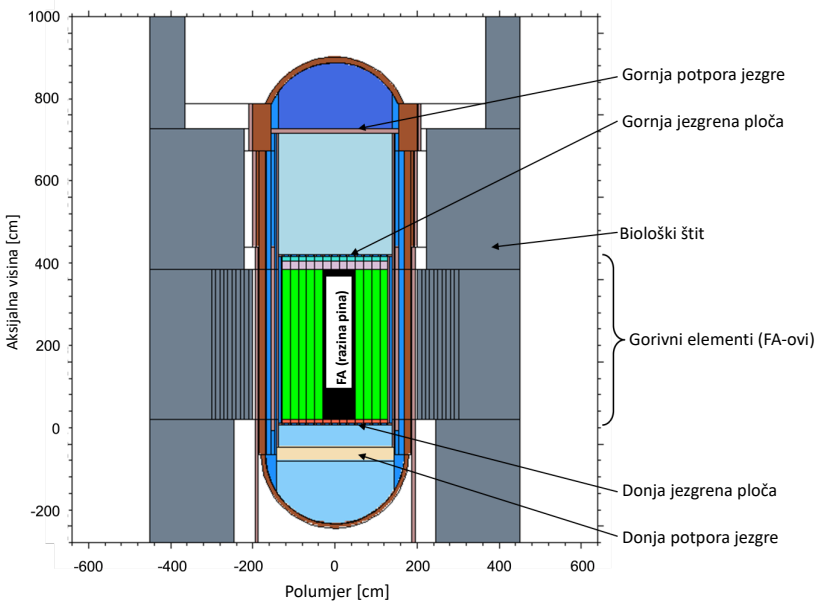
NIS je 2009. izračunao aktivaciju NE Krško [36]. Taj je izračun aktivacije provjeren 2018. [37] i još uvijek vrijedi.

Jezgra reaktora NE Krško i okolne komponente bitne za analizu aktivacije i razgradnje modelirale su se u 3D geometriji kodnim sustavom MCNP (Monte Carlo N-Particle Transport Code) na temelju dokumenata koje je dostavio NEK.

Na Slici 15-2 i Slici 15-3 vide se vodoravni i okomiti presjeci MCNP modela.



Slika 15-2: Vodoravni presjek MCNP modela



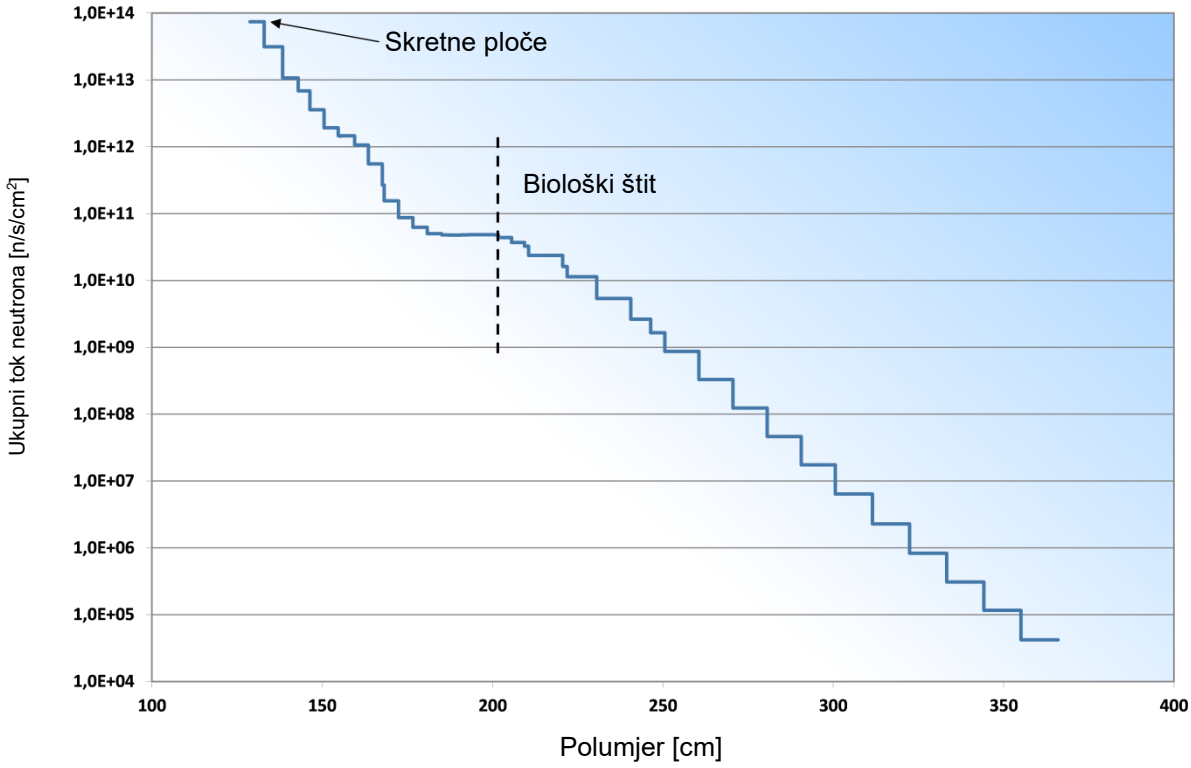
Slika 15-3: Okomiti presjek MCNP modela

Na temelju tog MCNP modela izračunan je transport neutrona radi određivanja ukupnog toka neutrona ovisnog o prostoru i udarnih presjeka jedinstvene skupine ovisnih o prostoru sljedećih nuklearnih reakcija: Li-6(n, α)H-3, Fe-54(n, γ)Fe-55, Fe-54(n, p)Mn-54, Fe-58(n, γ)Fe-59, Co-59(n, γ)Co-60, Ni-58(n, p)Co-58, Ni-58(n, γ)Ni-59, Ni-60(n, p)Co-60, Ni-62(n, γ)Ni-63, Cu-63(n, α)Co-60, Cs-133(n, γ)Cs-134, Eu-151(n, γ)Eu-152 i Eu-153(n, γ)Eu-154. Produkti reakcije su radionuklidi koji najviše doprinose aktivaciji komponenata reaktora i biološkog štita.

Ukupni tok neutrona i udarni presjeci jedinstvene skupine ulaze u izračune ozračivanja/aktivacije koji se izvode u softveru ORIGEN-2.1 (vidjeti dolje).

Za izračune transporta neutrona u MCNP-u bile su potrebne određene pretpostavke i pojednostavnjenja poput oktantne simetrije (engl. *octant symmetry*) razmještaja goriva u jezgri (engl. *core loading*), prosječne koncentracije bora od 500 ppm i karakteristične raspodjele snage po gorivnom štapu po uzoru na NE Biblis.

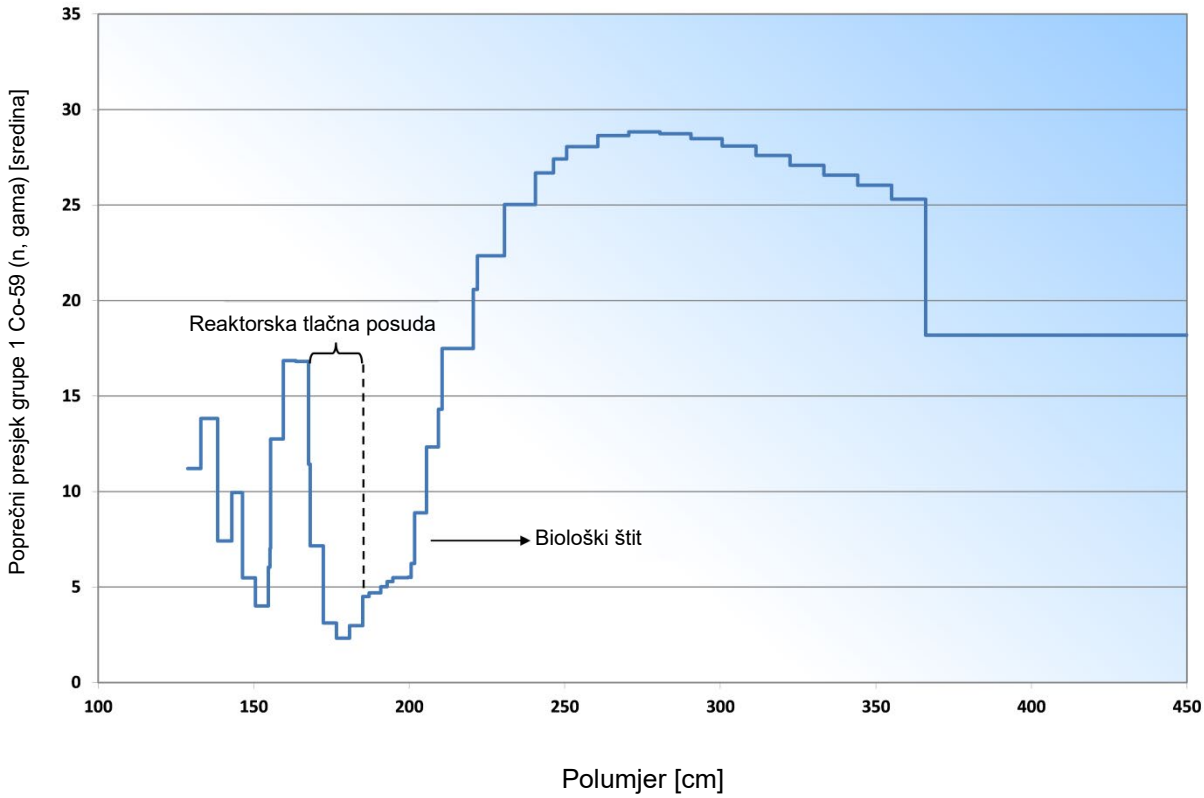
Rezultati dobiveni u MCNP-u pohranjeni su u zapise na mreži (engl. *mesh tallies*) (112 aksijalnih, 52 radijalna i 40 azimutnih intervala mreže) koji pokrivaju cijelu geometriju reaktora. Na Slici 15-4 prikazan je ukupni tok neutrona pri punoj snazi reaktora kao funkcija radijusa u središnjoj ravnini jezgre.



Slika 15-4: Ukupni tok neutrona pri punoj snazi reaktora kao funkcija radijusa (azimutni prosjek u središnjoj ravnini jezgre)

Od periferije jezgre reaktora do oko 2 m unutar biološkog štita tok se smanjuje za oko deset redova veličine.

Udarni presjek jedinstvene skupine Co-59(n,γ), koji se može vidjeti na Slici 15-5, varira više od jednog reda veličine. To otkriće pokazuje da su udarni presjeci jedinstvene skupine ovisni o materijalu potrebni za pouzdano određivanje aktivacija materijala.



Slika 15-5: Jednogrupni presjek za Co-59(n, γ) kao funkcija radijusa (središnja ravnina jezgre)

Na temelju ukupnog toka neutrona i rezultata udarnog presjeka jedinstvene skupine izračuni aktivacije u softveru ORIGEN-2.1 provedeni su za svaki pojedinačni interval mreže. Za nuklearne reakcije koje samo zanemarivo doprinose aktivaciji nisu generirani udarni presjeci jedinstvene skupine specifični za Krško, nego su upotrijebljeni podaci iz tipične knjižnice goriva za PWR.

Zbog učinka zasićenja (radioaktivni izotopi s vremenom poluraspada kraćim od deset godina važni su za razgradnju) gotovo nema razlike u tome hoće li reaktor raditi 40 ili 60 godina. Doduše, za ovu su studiju izračuni aktivacije obavljeni za 60 godina rada i temelje se na tipičnim 18-mjesečnim ciklusima (17 mjeseci punog rada reaktora + 1 mjesec isključenja).

U Tablici 15-1 i Tablici 15-2 navedeni su rezultati aktivacije za najvažnije radioaktivne izotope izraženi u Bq/g s azimutno uprosječenim aksijalnim/radijalnim maksimalnim vrijednostima različitih komponenata dobivenima nekoliko puta nakon konačne obustave rada reaktora.

Specifične aktivnosti najrelevantnijih izotopa i komponenti

Regija jezgre	Materijal	Vrijeme nakon obustave rada [god]	Specifična aktivnost [Bq/g]**) dominantnih izotopa (azimutski prosjek pri aksijalnom/radijalnom maksimumu; doprinosi < 1 Bq/g izbrisani)																			
			H-3 Br. i.	C-14 Br. i.	Ar-39 Br. i.	Ca-41 Br. i.	Ca-45 Br. i.	Mn-54	Fe-55 Br. i.	Co-58	Co-60	Ni-59 Br. i.	Ni-63	Zn-65 Br. i.	Ag-110m	Sn-119m	Sb-125	Cs-134	Bo-133	Sm-151	Bt-152 Br. i.	Bt-154	Ukupno
Skretne ploče	SS 304	2	1052 M	1144 M	1118 tisuća	236	1594 tisuće	128,3 M	4098 G	713,8 tisuća	2970 G	4876 M	813,3 M	1802 M	2469 tisuća	–	2100 tisuća	214,2 tisuće	95,72 tisuće	1,45	11	11,02 tisuće	8020 G
		5	889,3 tisuće	1144 M	1110 tisuća	236	15	11,29 M	1842 G	16	2001 G	4876 M	795,1 M	79,99 tisuća	118	–	991	78,12 tisuća	78,87 tisuća	1,42	10	8656 tisuća	4657 G
		10	671,7 tisuća	1143 M	1095 tisuća	236	–	196,6 tisuća	485,7 M	–	1037 G	4875 M	765,7 M	446	–	–	284	14,55 tisuća	57,11 tisuća	136	7	5785 tisuća	2295 G
		15	507,3 tisuće	1142 M	1081 tisuća	236	–	3422 tisuće	128,1 M	–	537,2 M	4875 M	737,4 M	2	–	–	81	2709 tisuća	41,36 tisuća	131	6	3866 tisuća	1409 G
Jezgrena cijev	SS 304	2	770,8 tisuća	165,1 tisuća	508	34	228	10,62 M	883,4 M	71,19 tisuća	780,6 M	1591 M	199,2 M	231,1 tisuća	7799 tisuća	–	55	96,85 tisuća	14,30 tisuća	377	756	32,38 tisuća	1877 G
		5	651,3 tisuća	165,0 tisuća	504	34	2	934,8 tisuća	397,0 M	2	526,1 M	1591 M	194,8 M	10,26 tisuća	373	–	26	35,53 tisuće	11,79 tisuća	369	649	25,42 tisuće	1121 G
		10	491,9 tisuća	164,9 tisuća	498	34	–	16,27 tisuća	104,7 M	–	272,5 M	1591 M	187,6 M	57	2	–	7	6579 tisuća	8535 tisuća	355	503	16,99 tisuća	567,1 G
		15	371,5 tisuća	164,8 tisuća	491	34	–	283	27,61 M	–	141,2 M	1591 M	180,7 M	–	–	–	2	1225 tisuća	6180 tisuća	341	390	11,35 tisuća	351,6 G
Toplinski štit	SS 304	2	228,7 tisuća	55,60 tisuća	209	11	77	2960 m	178,6 M	20,59 tisuća	205,4 M	333,5 tisuća	39,81 M	76,76 tisuća	3746 tisuća	–	6	36,08 tisuća	4836 tisuća	381	5178 tisuća	10,31 tisuća	427,6 G
		5	193,2 tisuće	55,58 tisuća	207	11	–	260,5 tisuća	80,28 M	–	138,4 M	333,5 tisuća	38,92 M	3408 tisuća	179	–	3	13,16 tisuća	3985 tisuća	372	4444 tisuće	8097 tisuća	258,5 G
		10	145,9 tisuća	55,55 tisuća	204	11	–	4535 tisuća	21,17 M	–	71,71 M	333,5 tisuća	37,49 M	19	1	–	–	2451 tisuća	2886 tisuća	358	3444 tisuće	5411 tisuća	130,9 M
		15	110,2 tisuće	55,52 tisuće	202	11	–	79	5582 M	–	37,15 M	333,4 tisuće	36,10 M	–	–	–	–	456	2090 tisuća	344	2670 tisuća	3616 tisuća	79,35 M
Obloga	SS 304	2	44,08 tisuća	4146 tisuća	17	–	6	162,0 tisuća	40,54 M	1109 tisuća	32,49 M	78,99 tisuća	9500 M	5686 tisuća	330	–	–	3261 tisuća	361	59	9060 tisuća	963	82,84 M
		5	37,25 tisuća	4145 tisuća	17	–	–	14,26 tisuća	18,22 M	–	21,89 M	78,98 tisuća	9288 M	253	16	–	–	1189 tisuća	298	58	7775 tisuća	756	49,55 M
		10	28,13 tisuća	4142 tisuće	17	–	–	248	4804 M	–	11,34 M	78,98 tisuća	8945 M	1	–	–	–	222	216	56	6026 tisuća	505	25,21 M
		15	21,25 tisuća	4140 tisuća	17	–	–	4	1267 M	–	5876 M	78,98 tisuća	8614 M	–	–	–	–	41	156	53	4671 tisuća	338	15,87 M
Kućište reaktora	Željezo A-533-B	2	31,61 tisuća	476	39	–	2	1513 tisuća	17,04 M	46	1080 M	1458 tisuća	173,8 tisuća	717	191	141	397	1125 tisuća	–	6	5701 tisuća	590	18,49 M
		5	26,71 tisuća	476	39	–	–	1351 tisuća	7659 M	–	728,0 tisuća	1458 tisuća	1695 tisuća	32	9	6	187	411	–	6	4893 tisuće	463	8605
		10	20,18 tisuća	476	38	–	–	232	2020 M	–	3773 tisuće	1458 tisuća	163,6 tisuća	–	–	–	54	76	–	6	3792 tisuće	310	2587
		15	1534 tisuće	475	38	–	–	4	532,5 tisuća	–	195,4 tisuće	1458 tisuća	157,6 tisuća	–	–	–	15	14	–	5	2539 tisuća	207	906,1 tisuća
Biološki štit 0 – 10 cm	Beton i armatura, regija Krško	2	474,9 tisuća	229	1344 tisuće	2487 tisuća	1652 tisuće	895	425,7 tisuća	–	4179 tisuća	8	1001 tisuća	172	17	7	20	2125 tisuća	121	132	3331 tisuća	2987 tisuća	1004 M
		5	4013 tisuća	229	1335 tisuća	2487 tisuća	354	79	1915 tisuća	–	28,17 tisuća	8	978	8	–	–	10	775	100	129	2850 tisuća	2345 tisuća	657,9 tisuća
		10	303,1 tisuća	229	1319 tisuća	2487 tisuća	–	1	50,45 tisuća	–	1459 tisuća	8	942	–	–	–	3	144	72	134	22,09 tisuća	1567 tisuća	397,1 tisuća
		15	228,9 tisuća	229	1303 tisuće	2487 tisuća	–	–	1350 tisuća	–	7559 tisuća	8	907	–	–	–	–	27	52	119	17,12 tisuća	1047 tisuća	273,0 tisuća
Biološki štit 90 – 100 cm	Beton i armatura, regija Krško	2	1316 tisuća	–	–	–	6	–	1052 tisuće	–	73		2	–	–	–	–	1	–	–	85	4	2442 tisuće
		5	1028 tisuća	–	–	–	–	–	473	–	49		2	–	–	–	–	–	–	–	73	3	1630 tisuća
		10	776	–	–	–	–	–	125	–	25		2	–	–	–	–	–	–	–	56	2	989 tisuća
		15	586	–	–	–	–	–	33	–	13		2	–	–	–	–	–	–	–	44	1	682 tisuće
Gornja jezgrena ploča	SS 304	2	337,3 tisuće	40,85 tisuća	158	8	56	4345 M	322,7 M	2838 tisuća	2605 M	6165 tisuća	74,85 M	5638 tisuća	2886 tisuća	–	3	2733 tisuće	3555 tisuća	354	5736 tisuća	9615 tisuća	663,8 M
		5	285,5 tisuća	40,83 tisuće	356	8	–	373,6 tisuća	145,0 M	–	175,8 M	6165 tisuća	73,17 M	2499 tisuća	138	–	2	9533 tisuće	2529 tisuća	346	4523 tisuće	7550 tisuća	395,4 M
		10	215,6 tisuća	40,81 tisuća	354	8	–	6503 tisuće	3834 M	–	9109 M	616,8 tisuća	70,47 M	14	–	–	–	1850 tisuća	2121tisuća	332	3815 tisuća	5046 tisuća	200,7 M
		15	162,9 tisuća	40,78 tisuća	152	8	–	113	10,08 M	–	47,19 M	616,8 tisuća	67,86 M	–	–	–	–	345	1536 tisuća	320	2557 tisuća	3572 tisuće	126,0 M
Donja jezgrena ploča	SS 304	2	982,4 tisuće	363,8 tisuća	815	75	502	27,08 M	35 336	1695 tisuća	2132 G	5543 M	731,3 M	5225 tisuća	9025 tisuća	–	255	168,0 tisuća	3150 tisuća	310	101	3533 tisuće	6232 G
		5	830,1 tisuća	363,7 tisuća	809	75	5	2583 M	1498 e	4	1437 G	5543 M	714,5 M	23,19 tisuća	432	–	130	6139 tisuća	25,79 tisuća	303	87	27,66 tisuća	3659 G
		10	627,0 tisuća	3635 tisuća	798	75	–	41,48 tisuća	395,0 M	–	744,4 M	5543 M	6885 M	129	3	–	34	11,41 tisuća	18,68 tisuća	291	67	18,49 tisuća	1835 G
		15	473,6 tisuća	3633 tisuće	788	75	–	722	1043 M	–	385,7 M	5542 M	663,0 M	–	–	–	10	2125 tisuća	1352 tisuće	280	52	1335 tisuća	1159 G
Donja potpora jezgre	SS 304	2	2114 tisuća	275	1	–	–	67,05 tisuća	1748 M	436	1526 M	3519 tisuća	397,8 tisuća	377	22	–	–	313	24	2	723	57	3747 M
		5	1786 tisuća	275	1	–	–	5501 tisuća	785,7 tisuća	–	1028 M	3519 tisuća	389,0 tisuća	17	1	–	–	114	20	2	620	45	2215 M
		10	1349 tisuća	275	1	–	–	103	2073 tisuće	–	532,8 tisuća	3518 tisuća	374,6 tisuća	–	–	–	–	21	14	2	481	30	1120 M
		15	1019 tisuća	274	1	–	–	2	54,64 tisuće	–	276,0 tisuća	3518 tisuća	360,7 tisuća	–	–	–	–	4	10	2	373	20	696,4 tisuće

*** Obustava rada nakon 60 godina rada**
[nečitko]
*****ukupno svih izotopa, uključujući izotope koji nisu prikazani u ovoj tablici**

Tablica 15-1: Specifične aktivnosti (u Bq/g) najvažnijih izotopa i komponenata kao funkcija vremena nakon obustave rada

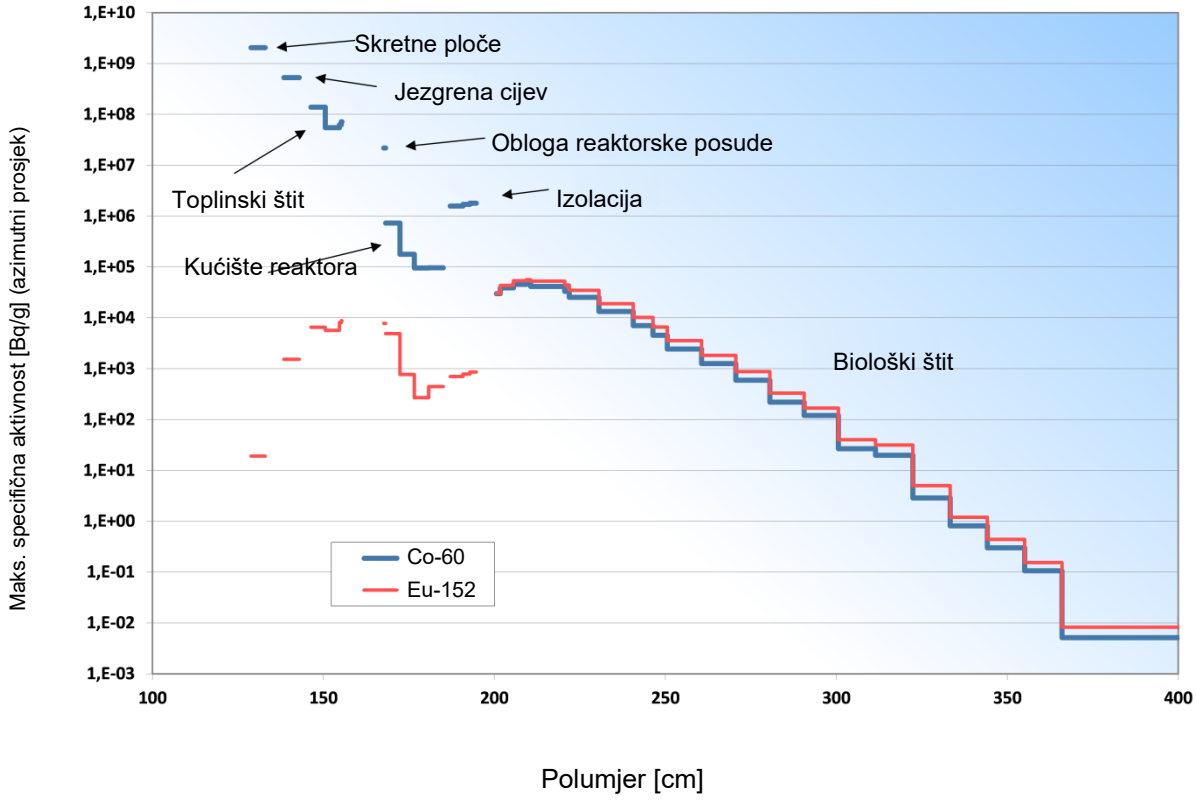
Dugoživući nuklidi za konačno odlagalište

Specifična aktivnost [Bq/g], 5 godina nakon obustave rada*)		Skretne ploče	Jezgrena cijev	Toplinski štit	Obloga RPV-a	Reaktorska tlačna posuda	Biološki štit		Gornja jezgrena ploča	Donja jezgrena ploča	Donja potpora jezgre
							0 – 10 cm	90 – 100 cm			
		SS 304	SS 304	SS 304	SS 304	A-533-B	Beton i armatura, regija Krško SS 304		SS 304	SS 304	SS 304
C-14	**Br. i.**	1,71E+06	2,47E+05	8,33E+04	6,21E+03	7,13E+02	3,43E+02	1,29E01	6,12E+E+	5,45E+05	4,12E+02
C1-36	**Br. i.**	2,68E+4	4,57E+03	1J57E+03	1,18E+02	3,89E+01	1,30E+01	4,89E-03	1,15E+03	9,73E+03	7,82E+00
Ar-39	**Br. i.**	1,62E+03	7,37E+02	3,03E+02	2,49E+01	5,70E+01	1,81E+03	6,80E-01	2,29E+02	3,18E+03	1,66E+00
Ca-41	**Br. i.**	3,53E+02	5,07E+01	1,71E+01	1,27E+00	5,40E-01	3,73E+03	1,40E+00	1,25E+01	1,12E+02	8,420-02
Ni-59	**Br. i.**	7,31E+06	2,39E+06	5,00E+05	1,18E+05	2,19E+03	1,77E+01	3,07E-02	9,25E+05	8,31E+06	4,98E+03
Ni-63	**Br. i.**	3,12E+09	2,74E+08	5,47E+07	1,31E+07	2,39E+05	1,37E+03	3,43E+00	1,03E+08	1,00E+09	5,47E+05
Se-79	**Br. i.**	9,60E+02	1,26E+02	4,24E+01	3,16E+00	3,640-02	1,40E-02	5,280-06	3,11E+01	2,82E+02	2,090-01
Kr-81	**(i)**	7,21E+01	1,88E+00	2,180-01	1,230-03	1,74E-04	4,37E-05	6,19E-12	1,180-01	8,71E+00	5,410-06
Zr-93	**Br. i.**	3,93E+00	5,200-01	1,660-01	1,180-02	6,88E-03	1,090-02	4,10E-06	1,20601	3,20E+00	7,810-E+
Mo-93	**Br. i.**	3,26E+E+	4,67E+03	1J57E+03	1,17E+02	1,51E+02	2,44E-01	9,18E-05	1,16E+03	1,03E+E+	7,77E+00
Nb-94		2,87E+E+	4,92E+03	1,69E+03	1,27E+02	1,57E+O1	1,04E+00	3,90E-E+	1,25E+03	1,05E+E+	8,44E+00
Tc-99	**(i)**	5,77E+03	1,21E+03	4,26E+02	3,24E+01	4,46E+01	7,40E-02	2,78E-05	3,15E+02	2,47E+03	2*30E+00
Pd-107	**Br. i.**	6,010-02	5,210-03	9,480-04	2,280-05	1,31E-6	3,79E-04	1,42E-07	5,80E-04	1*56602	3*21606
Ag-108m		3,38E+04	6,23E+03	2,16E+03	1,63E+02	9,41E+01	8,54E+00	3,21E-03	1,59E+03	1,31E+04+	1,08E+01
Sn-l21m		7,140-02	6,870-03	1,340-03	3,200-05	1,65E+00	8,46E-02	3,18E-05	8,236-04	1,91E-02	1,69E-06
Cs-135	**Br. i.**	1,25E+00	1,050-01	2,E+0-02	7,630-E+	4,83E-05	1,740-E+	6,45E-08	1,31E-02	3,33E-01	4,61E-05
La-137	**Br. i.**	2,97E+02	4,61E+01	1,7E+01	1,17E+00	1,82E-03	1,31E-02	4,92E-06	1,15E+01	1,00E+02	7,86E-02
Sm-146	**Br. i.**	6,95006	1,710-06	6,26007	4,870-08	5,62E-09	1,65E-07	6,20E-11	4,65E-07	3,27E-06	3,24E-09
Sm-151	**(i)**	2,84E+02	5,41E+02	5,31E+02	8,16E+01	8,32E+00	1,80E+02	5,19E-02	4,91E+02	4,65E+02	3,13E+00
Ho-166m		8,26E+03	1,55E+03	5,07E+02	3,59E+O1	1,64E+01	5,43E+00	2,04E-03	3,69E+02	3,31E+03	2,37E+00
Pb-205	**Br. i.**	2,43E-02	3,480-03	1,170-03	8,74E-05	6,17E-04	1,34E-05	5,050-09	8,62E-04	7,68E-03	5,80E-06
U-233	**(i)**	1,91E+01	1,35E+01	6,00E+00	5,13E-01	5,35E-02	3,15E-01	1,19E-E+	4,58E+00	1,92E+01	3,440-02
U-236	**(i)**	9,720-03	4,780-03	2,110-03	1,79E-04	1,04E-05	4,27E-05	1,61E-08	1,610-03	6,860-03	1,20E-05
Np-237		3,230-02	7,37003	2,010-03	1,24E-04	7,08E-06	2,88E-05	1,08E-08	1,40E-03	1,65E-02	8,07E-06
Pu-239	**(i)**	3,97E+01	2,97E+O1	1,82E+01	1,97E+00	1,22E-01	5,05E-01	1,91E-04	1,48E+01	3,62E+01	1,420-01

[1] Obustava rada nakon 60 godina rada reaktora

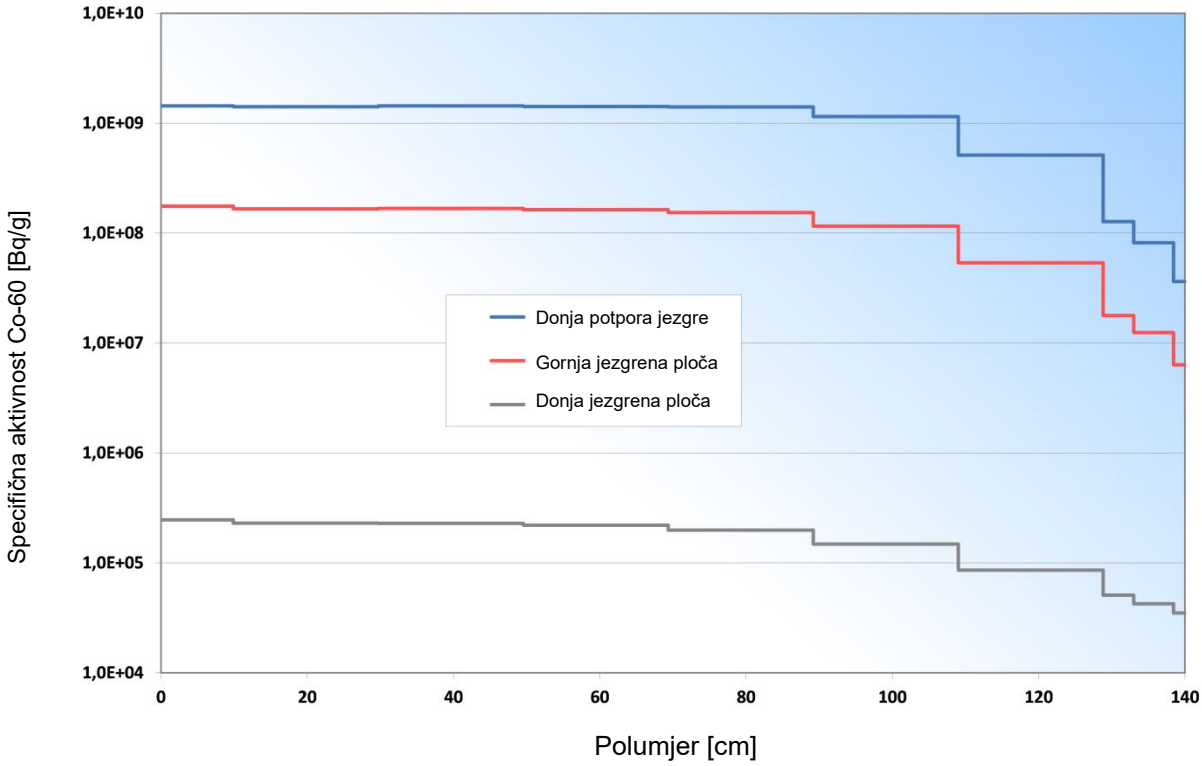
Tablica 15-2: Dugoživući nuklidi za završno odlaganje (pet godina nakon obustave rada)

Slika 15-6 prikazuje azimutno uprosječene maksimalne specifične aktivnosti Co-60 i Eu-152 kao funkciju radijusa pet godina nakon obustave rada. Co-60 je daleko najdominantniji izotop koji emitira gama-zračenje u čeličnim konstrukcijama. S druge strane, u biološkom štitu aktivnost Eu-152 nešto je veća od aktivnosti Co-60.



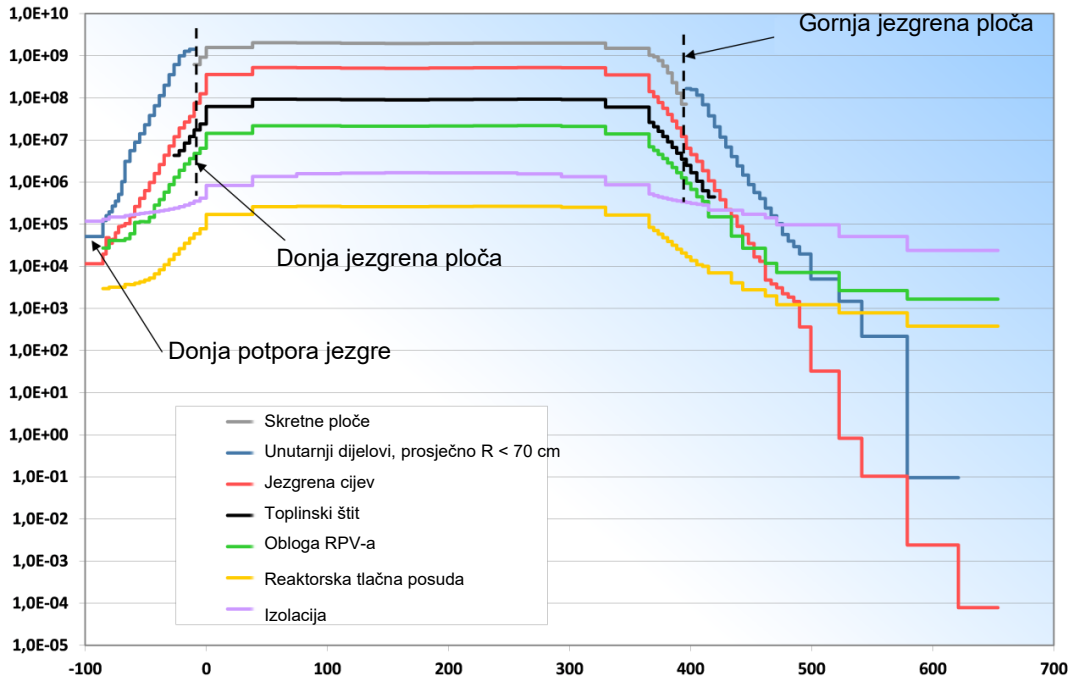
Slika 15-6: Azimutalno prosječna maksimalna specifična aktivnost Co-60 i Eu-152 (u Bq/g) kao funkcija radijusa (pet godina nakon obustave rada)

Slika 15-7 ilustrira radijalnu varijaciju aktivnosti Co-60 u gornjoj i donjoj ploči jezgre, kao i u donjem podupiraču jezgre.

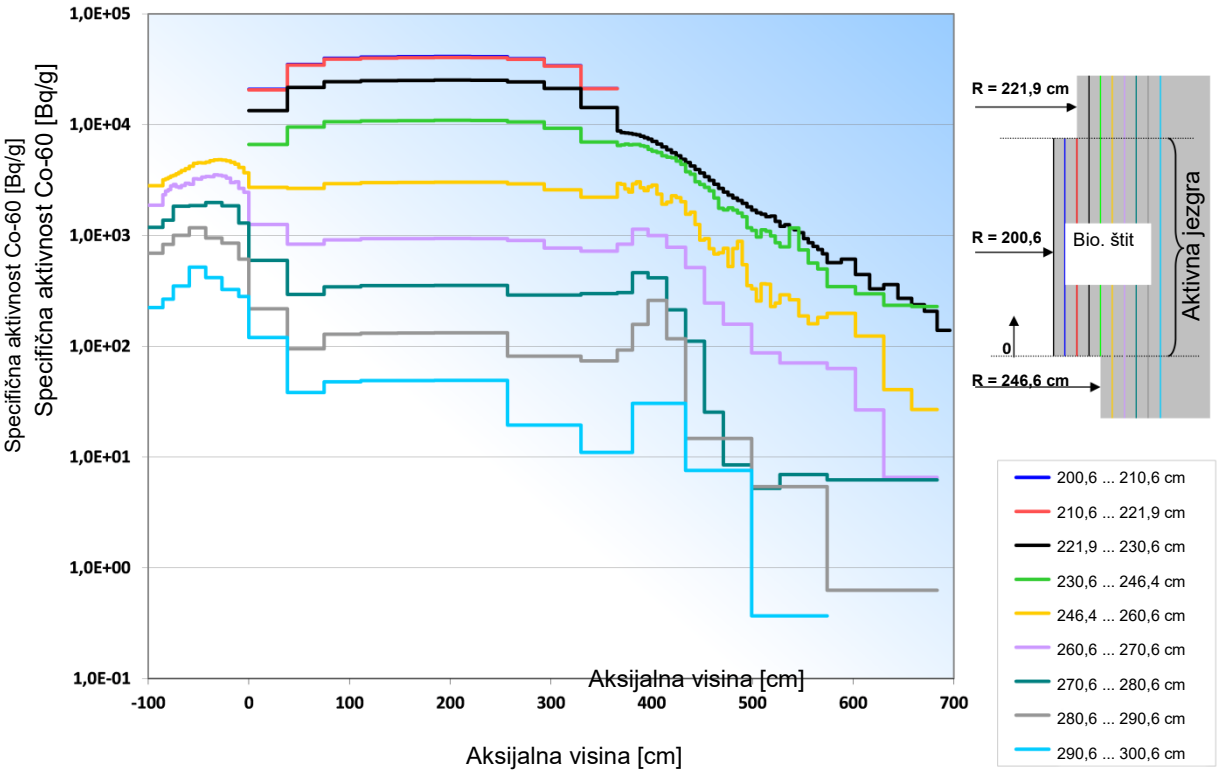


Slika 15-7: Azimutalno prosječna specifična aktivnost Co-60 (u Bq/g) u gornjoj i donjoj ploči i donjem podupiraču jezgre kao funkcija radijusa (pet godina nakon obustave rada)

Na Slici 15-8 (komponente reaktora) i Slici 15-9 (biološki štit) aksijalna varijacija aktivnosti Co-60 prikazana je kao funkcija aksijalne visine. Iznad i ispod gornje/donje ploče jezgre postoji naglo smanjenje razina aktivacije.



Slika 15-8: Azimutalno prosječna maksimalna specifična aktivnost Co-60 (u Bq/g, pet godina nakon obustave rada) kao funkcija aksijalne visine za reaktorske komponente



Slika 15-9: Azimutalno prosječna maksimalna specifična aktivnost Co-60 (u Bq/g, pet godina nakon obustave rada) kao funkcija aksijalne visine za biološki štit

Iz Slika 15-6 – Slika 15-9 mogu se izvući sljedeći zaključci:

- Budući da komponente od nehrđajućeg čelika (skretne ploče, plašt jezgre, toplinski štit, obloga RPV-a, izolacija, donja/gornja ploča jezgre, donji podupirač jezgre) imaju najveći sadržaj Co (11 puta veći nego za RPV) i budući da su mnogo bliže jezgri reaktora, očigledno imaju najviše razine aktivacije Co-60. U radijalnom smjeru (središnja ravnina jezgre) i u skladu s udaljenosti od jezgre specifična aktivnost Co-60 pada s nekih 10^{9} Bq/g na otprilike 10^{6} Bq/g (Slika 15-6). U aksijalnom smjeru (Slika 15-8) smanjuje se od odgovarajuće maksimalne vrijednosti u središnjoj ravnini jezgre za od tri do pet redova veličine na 100 cm iznad ili ispod gornje/donje ploče jezgre. Aksijalno izolacija odstupa od takvog ponašanja: zbog strujenja neutrona (između RPV-a i biološkog štita) aktivnost se smanjuje samo za jedan red veličine na istom aksijalnom opsegu.
- Kad je riječ o RPV-u, aktivacija Co-60 u središnjoj ravnini jezgre varira po njezinoj debljini gotovo deseterostruko, tj. u rasponu od 10^{6} Bq/g do 10^{5} Bq/g (Slika 15-6). Na 100 cm iznad i ispod gornje/donje ploče jezgre niža je dva reda veličine (Slika 15-8). Kad je riječ o aksijalnim regijama više od 100 cm iznad/ispod gornje/donje ploče jezgre, aktivnost se sporije smanjuje, što je slično kao i u slučaju izolacije.
- S obzirom na biološki štit duž prvih 100 cm radijalno na središnjoj ravnini jezgre (Slika 15-6) razina aktivacije dominantnih izotopa Co-60 i Eu-152 smanjuje se za oko tri reda veličine, tj. s nekih 10^{4} Bq/g na 10^{1} Bq/g. Aksijalno, iznad gornje ploče jezgre, aktivnosti se smanjuju znatno sporije, otprilike stostruko za prvih 300 cm (Slika 15-9). Iznad i ispod aktivne jezgre, gdje su betonske konstrukcije udubljene, postoje lokalni maksimumi aktivacije zbog procesa neutronskog raspršenja/strujenja.

Nesigurnosti izračuna aktivacije proizlaze iz metode Monte Carlo, koja je korištena za izračune transporta neutrona, te iz pojednostavnjenja i pretpostavki modela.

U središnjoj ravnini jezgre statističke nesigurnosti rezultata dobivenih metodom Monte Carlo (zapisi na mreži) obično su ≤ 1 % pri radijusima ≤ 300 cm i rastu do oko 5 % za radijuse > 400 cm. U aksijalnom smjeru nesigurnosti zapisa na mreži znatnije se povećavaju, stoga su rezultati susjednih intervala mreže spojeni kako bi se postiglo odgovarajuće uzorkovanje (vidjeti [37] za više pojedinosti).

Zbog složenosti problema bila su nužna određena pojednostavnjenja modela, među ostalim primjena jednog obrasca razmještaja gorivnih elemenata / aksijalnog profila snage / raspodjele snage na štapove i srednja koncentracija bora u rashladnom sredstvu. Štoviše, morale su se napraviti pretpostavke zbog nedostatka podataka o sastavu materijala poput nepoznatog kemijskog sastava konstrukcija od nehrđajućeg čelika i nepoznatih elemenata u tragovima i nečistoća većine ozračenih materijala. Poznavanje elemenata u tragovima i nečistoća ključno je zato što većina bitnih radionuklida potječe od neutronskog ozračivanja nuklida koji su prisutni samo u tragovima. Stoga su primijenjene tipične koncentracije elemenata iz literature.

U usporedbi s pojednostavnjenjima modela, na nesigurnosti u rezultatima aktivacije uvelike utječu nepoznate koncentracije elemenata u tragovima i nečistoća. U literaturi su zabilježeni takozvani čimbenici raspona (omjer najveće i najniže izmjerene koncentracije) za različite elemente. Tipični čimbenici raspona za sadržaj Co u unutarnjim dijelovima reaktora otprilike su 11, ali za beton i odabrane elemente ti čimbenici raspona mogu biti čak 353 za Ba, 81 za Sb, 28 za Co i 11 za Eu. Ti nalazi naglašavaju važnost izmjerenih koncentracija elemenata u tragovima / nečistoća. Nakon što konkretni mjerni podaci za Krško postanu dostupni, rezultati aktivacije prikazani gore mogu se prilagoditi na odgovarajući način.

15.2 Radioaktivnost kontaminiranih komponenata

Radioaktivnost u sustavima i komponentama nastaje tijekom operativnog razdoblja zbog doticaja s radioaktivnim medijima. Ne može se izračunati točna količina na kraju rada. Kao i u prošloj studiji radioaktivnost sustava i komponenata procjenjuje se u dva koraka opisana u nastavku.

1. korak:

Najprije se navode predmetni sustavi NE Krško i klasificiraju ovisno o očekivanoj razini kontaminacije. U Tablici 15-3 vidi se posljedična radiološka klasifikacija sustava.

Radiološka klasifikacija sustava

Opis sustava	Kontaminacija					Aktivirano
	Nema	Zračna	Niska razina	Srednja razina	Visoka razina	
POMOĆNI SUSTAV NAPOJNE VODE	X					
OPTOČNI SUSTAV ZA VODU	X					
SUSTAV ZA POLIRANJE KONDENZATA	X	X				
SUSTAV ZA KONDENZAT	X	X				
SUSTAV ZA UKLANJANJE ZRAKA IZ KONDENZATORA	X					
SUSTAV KONDENZATORA I PRIBORA	X					
SUSTAV RASHLADNOG TORNJA	X					
SUSTAV ZA EKSTRAKCIJU PARE	X					
SUSTAV ZA DODAVANJE KEMIKALIJA U NAPOJNU VODU	X					
SUSTAV NAPOJNE VODE	X					
DRENAŽNI SUSTAV GRIJAČA	X					
TOPLOVODNI SUSTAV	X					
GLAVNI GENERATOR I DODATNA OPREMA	X					
GLAVNI PARNI SUSTAV	X					
GLAVNA TURBINA I DODATNA OPREMA	X					
SUSTAV ZA UPRAVLJANJE IZBACIVANJEM PARE	X					
SUSTAV ZA PRAŽNJENJE PAROGENERATORA	X	X				
ZATVORENI CIKLUS RASHLADNE VODE ZA TURBINU	X					
DRENAŽA TURBINE	X	X				
BRTVENA PARA TURBINE	X					
SUSTAV ULJA ZA TURBINE	X					
SUSTAV UZORKOVANJA POSTROJENJA ZA TURBINE	X	X				
SUSTAV NADZORA VIBRACIJA	X					
ENERGETSKI TRANSFORMATORI – SAMO glavni transformator	X					
RAZNA SEKUNDARNA OPREMA	X	X				
DRENAŽA ZA PODOVE I OPREMU	X	X				
SUSTAV RIJEČNIH BRANA	X					
SUSTAV NADZORA OKOLIŠA	X					
TOPLOTNA POSTAJA ABH	X					
POMOĆNI SUSTAV PARNOG GRIJANJA	X					
POMOĆNI PARNI SUSTAV	X					
SUSTAV HLADNE VODE	X					
SUSTAV ZA SKLADIŠTENJE DIZELSKOG LOŽIVOG ULJA	X					
DIZELSKI GENERATORSKI SUSTAV	X					
SUSTAV LOŽIVOG ULJA	X					
SUSTAV PITKE VODE	X					
SANITARNI DRENAŽNI SUSTAV	X					
KANALIZACIJSKI SUSTAV	X					
SIMULACLISKO POSTROJENJE TO.VZ	X	X				
ČELIČNI SPREMNIK	X					
RASKLOPNI SUSTAV BOP	X					

Radiološka klasifikacija sustava

Opis sustava	Kontaminacija					Aktivirano
	Nema	Zračna	Niska razina	Srednja razina	Visoka razina	
SUSTAV VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE TURBINE	X					
TEHNIČKO OSIGURANJE	X					
PRETHODNA OBRADA VODE / SUSTAV PITKE VODE	X					
ENERGETSKI TRANSFORMATORI	X					
INSTRUMETANCIJSKI SUSTAV UNUTAR JEZGRE			X			X
NUKLEARNI INSTRUMETANCIJSKI SUSTAV			X			X
KRUG ZA UBLAŽAVANJE I POKRETANJE ATWS-A				X		
SUSTAV ZA TUŠIRANJE SPREMNIKA		X				
SUSTAV ZA ISPITIVANJE SPREMNIKA I TLAČENJA			X			
SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA ZA VODIKA			X			
SUSTAV ZAŠTITE REAKTORA			X			
SUSTAV KONTROLE I POZICIONIRANJA ŠTAPOVA				X		X
SUSTAV SIGURNOSNOG UBRIZGAVANJA				X		
SUSTAV RECIKLIRANJA BORA				X		
SUSTAV TERMIČKE REGENERACIJE BORA				X		
SUSTAV KONTROLE KEMIKALIJA I VOLUMENA				X		
SUSTAV UBRIZGAVANJA KEMIKALIJA	X					
SUSTAV OBRADE PLINOVITOG OTPADA			X			
SUSTAV ZA HLAĐENJE REAKTORA					X	X
SUSTAV ZA NADOKNADU VODE ZA REAKTOR		X				
SUSTAV ODVOĐENJA PREOSTALE TOPLINE				X	X	
SUSTAV NUKLEARNOG UZORKOVANJA				X	X	
SUSTAV ZA VAKUUMSKO PUNJENJE		X				
SUSTAV ZA ODLAGANJE OTPADA (KRUTOG)				X		
ZATVARANJE OTPADA					X	
SUSTAV ZA OBRADU OTPADA (TEKUĆEG)					X	
DRENAŽNI SUSTAV ZA PODOVE I OPREMU			X	X		
SUSTAV ZA OBRADU VODE	X					
SUSTAV HLAĐENJA KOMPONENATA		X				
SUSTAV DEMINERALIZIRANE VODE	X					
SUSTAV RUKOVANJA GORIVOM				X		
SUSTAV VODE ZA DOPUNU GORIVA				X		
SUSTAV HLAĐENJA ISTROŠENOG GORIVA				X		
SUSTAV NADZORA ZRAČENJA		X	X			
SUSTAV VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE			X			
SUSTAV ZA OTKRIVANJE SEIZMIČKE AKTIVNOSTI	X	X				
SUSTAV OPSKRBE POSTROJENJA PLINOM	X	X				
SUSTAV BITNE OPSKRBNE VODE	X	X				
SUSTAV STLAČENOG ZRAKA	X	X				
PROTUPOŽARNI SUSTAV	X	X				
ZRAČNI SUSTAV INSTRUMENTA	X	X				
SUSTAV ZA INSTRUMENTE I UPRAVLJANJE	X	X				
SUSTAV RUKOVANJA OPREMOM	X	X				
SUSTAV RASVJETE I ELEKTRIČNE ENERGIJE	X	X				
RAZNI ALATI I STROJEVI	X	X				
SUSTAV ZA PRAĆENJE TOPLINE U CIJEVIMA	X	X				
SUSTAV CIJEVI	X	X				
TELEFONSKI I KOMUNIKACIJSKI SUSTAV	X	X				
PROCESNA INSTRUMENTACIJA I UPRAVLJANJE	X	X				
SUSTAV ŽICA I VODOVA	X	X				

Tablica 15-3: Radiološka klasifikacija sustava

2. korak:

Za svaku klasu kontaminacije utvrđen je prosjek površinske i masene specifične aktivnosti na temelju planiranja i iskustva iz njemačkih, švicarskih i belgijskih projekata razgradnje.

Razina kontaminacije zrakom dosta je niska. U drugim je nuklearnim elektranama izmjerena kontaminacija od oko 10 Bq/cm². Samo na nekim posebnim mjestima, kao što su odvodne jame, kontaminacija može doseći više razine do 100 Bq/cm^2. Kao i u prijašnjoj studiji pretpostavlja se prosječna gustoća od 30 Bq/cm² za kontaminaciju zrakom.

Konkretna kontaminacija za unutarnju kontaminaciju sustava dijeli se na:

- nisku kontaminaciju
- srednju kontaminaciju
- visoku kontaminaciju.

Kontaminacija aktiviranih sustava zanemaruje se zbog njihovih vrijednosti aktivacije. Pregled možete pronaći u Tablici 15-4.

Specifična aktivnost povezana s klasama kontaminacije

Klasa kontaminacije	Spec. površinska kontaminacija [Bq/cm^2]	Spec. masa kontaminacije [Bq/g]
Bez kontaminacije	0,00E+00	0,00E+00
Kontaminacija iz zraka	3,00E+01	1,20E+01
Niska kontaminacija	5,00E+01	2,00E+01
Srednja kontaminacija	5,00E+02	2,00E+02
Visoka kontaminacija	3,70E+05	1,48E+05

* Deseterostruko smanjenje za sustave obrađene tijekom FSD-a

Tablica 15-4: Specifična aktivnost povezana s klasama kontaminacije

Kad je riječ o kontaminiranim sustavima i komponentama, sastav nuklida utvrđen u prethodnim studijama i dalje se primjenjuje na planiranje razgradnje i izračun troškova jer se oslanja na operativna iskustva. Sastav nuklida svake klase kontaminacije:

- Co-60 60 %
- Cs-137 30 %
- Cs-134 9 %
- Sb-125 1 %.

Za provjeru tog sastava potreban je opsežan mjerni program.

15.3 Nalazi o radioaktivnom inventaru

Da bi se utvrdio radioaktivni inventar, u CORA-u su unesene konkretne aktivnosti razrađene u prethodnim poglavljima i povezane sa svakom komponentom prema njihovoj radiološkoj klasifikaciji. Kad se uzmu u obzir mase, ukupna je radioaktivnost NE Krško oko 2,46 * 10^{16} Bq pet godina nakon konačne obustave rada. Tablica 15-5 sadržava raščlambu prema određenim klasifikacijama sustava. Zbog učinaka zasićenja razumno je da se te aktivnosti primjene za osnovne i dodatne scenarije.

Pregled ukupnih aktivnosti

Klasifikacije sustava	Ukupna aktivnost [Bq]			Masa [Mg]		
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A i B
Aktivirano		2,46E+16		1457,8		1677,6
Visoka kontaminacija	4,41E+12	4,12E+12	4,41E+12	2137,0	1493,0	2137,0
Srednja kontaminacija	1,38E+11			1290,6		
Niska kontaminacija	1,67E+11			9238,4		
Kontaminacija iz zraka	2,37E+10			4508,6		4548,6
Bez kontaminacije*	1,86E+10			448 022,0		461 202,0
Ukupno aktivirano	**2,46E+16**			**1457,8**	**1457,8**	**1677,6**
Ukupno kontaminirano	**4,76E+12**	**447E+12**	**476E+12**	**17 174,6**	**16 530,6**	**17 214,6**

*Kontaminacija građevinskih površina

Tablica 15-5: Ukupna aktivnost lokacije NE Krško

Količine aktivnosti primjenjive su za pripremu radiološkog inventara, kao i za planiranje pakiranja i završnog odlaganja. Osim toga, količina masa povezanih s različitim radiološkim kategorijama utječe na planiranje razgradnje i izračun troškova NE Krško.

16 Zaključak i preporuke

Na temelju dugogodišnjeg bogatog iskustva s nuklearnom razgradnjom i pripadajućim izračunom troškova NIS iznosi sljedeće zaključke i preporuke.

NIS je uvjeren da je opće planiranje u skladu s najnovijim standardima i da je riječ o čvrstim temeljima za buduću razgradnju NE Krško. Drži se svjetske prakse razgradnje i rastavljanja nuklearnih postrojenja. Za vrijeme pripreme ove studije nisu ustanovljeni nikakvi kritični tehnički problemi niti se očekuje da će se pojaviti u budućnosti na temelju trenutačno dostupnih informacija. NIS preporučuje držanje koraka s međunarodnim praksama i povremeno ažuriranje studije.

Glavni su aspekti razgradnje rastavljanje nuklearnog dijela i gospodarenje radioaktivnim otpadom. Razgradnja je tehnički i organizacijski izazov koji zahtijeva posebnu stručnost. Europa već ima sveobuhvatnog iskustva s planiranjem, provedbom i primjenom posebnih tehnika rastavljanja i dekontaminacije komponenata. Ispitane su tehnike za razgradnju, dostupno je iskusno tehničko osoblje, ishođenje dozvola i upravljanje razgradnjom može se obaviti u skladu s uvriježenim postupcima.

Nekoliko je nuklearnih elektrana i drugih nuklearnih postrojenja već potpuno rastavljeno. Druge su nuklearne elektrane također u procesu razgradnje ili će biti razgrađene u bliskoj budućnosti, posebno u Njemačkoj. Štoviše, iskustvo s razgradnjom trebalo bi se znatno obogatiti kad se konačno obustavi rad NE Krško. Ne očekuje se da istraživanje bude dio ovog projekta razgradnje. Mogla bi biti potrebna posebna rješenja (posebni alati/oprema), ali to je uobičajena praksa i odgovarajući troškovi već su uvršteni u obračunane troškove ulaganja na temelju prijašnjeg iskustva.

NIS je zbog stečenog iskustva uvjeren da izračuni ne nose velik financijski rizik.

Spomenuti dokumenti

[1] Agreement between the governments of Slovenia and Croatia on the status and other legal issues related to investment, exploitation, and decommissioning of NPP Krško, 2002.

[2] Minutes of Meeting from 10th Intergovernmental Commission, 07/2015.

[3] 7th Revision of the Preliminary Decommissioning Plan NPP Krško, Siempelkamp NIS, 2024.

[4] Minutes of Project Implementation Coordination Committee (ICC) Meeting, 21.05.2019.

[5] Development of the site specific decommissioning plan for Krško NPP, NIS Ingenieurgesellschaft mbH, 1996.

[6] Program of NPP Krško decommissioning and SF and NSRAO disposal, APO Doc. No.: 25-04-1348/06, Zagreb: ARAO&APO, 2004.

[7] Preliminary Decommissioning Plan NPP Krško, rev.5, Siempelkamp NIS, 2010.

[8] 3rd Revision of the NPP Krško Decommissioning Program, Siempelkamp NIS, 2019.

[9] 6th Revision of the Preliminary Decommissioning Plan NPP Krško, Siempelkamp NIS, 2019.

[10] Terms of REFERENCE (ToR) for the FOURTH REVISION OF THE KRŠKO NPP DECOMMISSIONING PROGRAM, 01/2022.

[11] Slovenian Rules on radiation and nuclear safety factors, JV5, Off. Gaz. of the RS 74/16 and 76/17-ZVISJV-1.

[12] TECHNICAL SPECIFICATION FOR Krško NPP Decomissioning Program, Revision 4 Development, SP-ES 1419 Rev. 01, Krško: NEK, 03/2023.

[13] IAEA Safety Standards, Decommissioning of Facilities, No. GSR Part 6, 2014.

[14] IAEA Safety Standards, Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, No. SSG-47, 2018.

[15] NEA No. 5300 - Strategy Selection for the Decommissioning of Nuclear Facilities, OECD, 2004.

[16] IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, 2022.

[17] IAEA-TECDOC-1478 - Selection of decommissioning strategies: Issues and factors, 2005.

[18] Uredba o sevalnih dejavnostih, EVA 2017-2550-0083, Ljubljana: Vlada Republike Slovenije, 03/2018.

[19] NEA No. 7088 - International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) for Nuclear Installations, OECD, 2012.

[20] NEA No. 7201 - Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, OECD, 2016.

[21] NEA No. 7344 - Addressing Uncertainties in Cost Estimates for Decommissioning Nuclear Facilities, OECD, 2017.

[22] Holtec International, Decommissioning Plan for Krsko DSB, HI-2188105, Camden, NJ 08104: Holtec International, 2018.

[23] TD-2C Preventive Maintenance Programme (Amendment 9), NEK, 2019.

[24] Holtec's Non-Fuel Waste Storage Technology and Experience, Camden, NJ 08104: Holtec International, 2018.

[25] Safety Analysis and Waste Acceptance Criteria Preparation for Low and Intermediate level Waste Repository in Slovenia, ARAO 055-10 NSRAO2-POG-002-01, Ljublijana: ENCO, 12/2017.

[26] Management of Radwaste in Republic of Croatia Reinforced concrete container (RCC), Zagreb: Fond za financiranje razgradnje NEK, 2018.

[27] Selection and justification of discount parameters for decommissioning projects, Siempelkamp NIS, 2024.

[28] Calculation of annuities for the NPP Krško decommissioning project, Siempelkamp NIS, 2024.

[29] Decommissioning Safety Reference Levels, Version 2.2, WENRA - WGWD, 2015.

[30] QD-10 Environmental Management and Occupational Health and Safety Management Systems, NEK, 2020.

[31] ADP-1.1.033 Health and Safety at Work, NEK, 2022.

[32] 10 CFR Appendix B, Part 50 - Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants, NRC, 2021.

[33] USAR Management Handbook, Chapter 17, Quality Assurance, NEK, 2023.

[34] USAR Management Handbook Chapter 13.3, Emergency Planning, NEK, 2023.

[35] ED-6 Crisis/Emergency management and emergency response planning, NEK, 2022.

[36] NPP Krško PDP - Determination of the Activation Level for Material in the Decommissioning Inventory, Siempelkamp NIS, 06/2009.

[37] NPP Krško Activation calculations reassessment, 4520 / CA / F 010312 9 / 00, Siempelkamp NIS, 2018.

Prilog 1.: Mogući rad FHB-a

Rad RU-a dio je trenutačnog PR-a za popravak višenamjenskih spremnika za vrijeme rada SFDS-a. Prema tehničkoj specifikaciji [12] Prilog 1. obuhvaća mogući rad FHB-a tijekom tog razdoblja umjesto izgradnje i rada nove zgrade RU-a.

Stoga je masa razgradnje manja za 4579 Mg, što podrazumijeva ukupnu razgradnju s količinom od 462 075 Mg za izborni osnovni scenarij 0, 461 431 Mg za izborni osnovni scenarij 1 i 475 515 Mg za oba izborna dodatna scenarija. Međutim, količina radioaktivnog otpada ostaje ista jer se očekuje da će se RU otpustiti iz nuklearnog nadzora bez dekontaminacije. Dakle, samo su mase za odlaganje na odlagalište / recikliranje manje za 4579 Mg za izborne osnovne scenarije i za oba izborna dodatna scenarija.

Da bi FHB ostao u funkciji, potrebno je dulje održavati nekoliko sustava. Njihovo uklanjanje i rastavljanje u pripadajućim zgradama odgađa se do završetka razdoblja rada SFDS-a. To se odnosi na sljedeće sustave i zgrade:

- sustavi:
    - pomoćni sustav parnog grijanja
    - pomoćni parni sustav
    - sustav hlađenja komponenata
    - sustav demineralizirane vode
    - električni sustav
    - sustav bitne opskrbne vode
    - protupožarni sustav
    - sustav rukovanja gorivom
    - sustav rukovanja opremom
    - sustav rasvjete i električne energije
    - sustav hlađenja istrošenog goriva
    - sustav ventilacije i klimatizacije
- zgrade:
    - zgrada s pomoćnim kotlom
    - pomoćna zgrada
    - zgrada za hlađenje komponenata
    - kontrolna zgrada
    - zgrada s bitnom opskrbnom vodom
    - protupožarno područje
    - pristupna točka područja na kojem se nadzire zračenje
    - III. faza RDO-a poslije završetka i skladište za R/D
    - područje rasklopnog postrojenja
    - turbinska zgrada
    - zgrada za predobradu vode.

Promijeni li se raspored navedenih aktivnosti razgradnje, kasnit će završetak projekta izbornog scenarija rada FHB-a. Zemljište će postati *greenfield* lokacija dvije godine i dva mjeseca kasnije. Dakle, kraj projekta očekuje se u listopadu 2109. za izborni osnovni scenarij i izborni dodatni scenarij A, a u listopadu 2129. za izborni dodatni scenarij B.

Zbog sve većeg broja sustava i zgrada koje treba održavati tijekom razdoblja rada SFDS-a potrebno je dodatno osoblje za operativne zadatke predviđene u WP 14 „Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije".

Ukupno se troškovi razgradnje NE Krško zbog mogućnosti rada FHB-a povećavaju za otprilike 43 milijuna € bez PDV-a za osnovni scenarij 0 i za dodatni scenarij B. Dok u osnovnom scenariju 1, prema kojem zemljište postaje *brownfield* lokacija gotovo godinu ranije, povećanje troškova iznosi oko 44 milijuna €. Zbog kraćeg razdoblja rada SFDS-a povećanje troškova za dodatni scenarij A niže je i iznosi oko 23 milijuna € bez PDV-a.

Sljedeće tablice i slike daju pregled rezultata troškova za scenarije s PDV-om i bez njega.

FHB – Troškovi po radnom paketu

Br.	Funkcija	Troškovi [milijun EUR]								PDV *)
		Osnovni scenarij 0		Osnovni scenarij 1		Dodatni scenarij A		Dodatni scenarij B		
		bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	bez PDV-a	uklj. PDV	
01	Postupci prije razgradnje	3,8	4,3	3,8	4,3	3,8	43	3,8	43	0 % / 22 %
02	Pripremni radovi	35,4	42,0	82,6	99,7	35,4	42,0	35,4	42,0	0 % / 22 %
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5	14,4	12,5	14,4	12,5	14,4	12,5	14,4	0 % / 22 %
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0	14,9	13,0	14,9	13,0	14,9	13,0	14,9	0 % / 22 %
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9	4,6	3,9	4,6	3,9	4,6	3,9	4,6	0 % / 22 %
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,4	40,2	33,4	40,2	33,4	40,2	33,4	40,2	0 % / 22 %
08	Rastavljanje RPV-a	20,5	24,6	20,5	24,6	20,5	24,6	20,5	24,6	0 % / 22 %
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1	7,1	6,1	7,1	6,1	7,1	6,1	7,1	0 % / 22 %
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1	10,6	9,1	10,6	9,1	10,6	9,1	10,6	0 % / 22 %
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6	19,8	16,6	19,8	16,6	19,8	16,6	19,8	0 % / 22 %
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8	20,0	16,8	20,0	16,8	20,0	16,8	20,0	0 % / 22 %
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,4	25,3	21,8	23,5	23,4	25,3	23,4	25,3	0 % / 22 %
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	156,7	161,6	150,5	155,1	126,8	130,7	156,7	161,6	0 % / 22 %
14.01	*Rad i održavanje*	127,7	132,7	122,5	127,1	102,7	106,7	127,7	132,7	0 % / 22 %
14.02	*Sigurnost*	28,9	28,9	28,0	28,0	24,0	24,0	28,9	28,9	0 %
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4	49,3	38,5	46,9	40,4	49,3	40,4	49,3	0 % / 22 %
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	89,1	104,2	89,5	104,6	73,0	86,5	83,3	97,1	0 % / 22 %
17	Lokalni poticaji	32,2	32,2	31,0	31,0	32,2	32,2	32,2	32,2	0 %
Ukupno		**512,8**	**575,2**	**549,7**	**621,5**	**466,8**	**526,6**	**507,0**	**568,1**	

Tablica A1-1: Mogućnost rada FHB-a – troškovi po radnom paketu

Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 0 – bez VAT-a [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	2060.	…	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.
01	Postupci prije razgradnje	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																												
02	Pripremni radovi	35,4				0,4	11,8	8,0	10,1	2,2	2,6	0,3																						
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5																								0,1	0,9	3,3	2,4	2,4	3,3	0,1		
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	2,9	2,9												0,2	2,3	3,2	1,2				
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9					0,1	0,6	2,4	0,9																								
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,04						0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																						
08	Rastavljanje RPV-a	20,5									0,3	7,3	11,2	1,6																				
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1										0,1	0,4	2,1	3,5														0,4	1,8	1,7	1,9	2,0	
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1												0,0	0,6	1,3	1,3													0,1	3,8	1,9	0,2	
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6															0,2	3,2	3,2	3,2	0,8										0,0	4,9	7,7	4,1
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																										0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,4					2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	156,7					8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,6	5,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	1,8	1,5	1,5	…	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	127,7					6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	5,3	4,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,4	1,3	1,3	…	1,3	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	28,9					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	…	0,2	0,2	0,2								
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4					0,0	2,5	2,7	2,2	4,6	4,5	0,2	2,2	2,9	1,3	1,2	1,7	2,1	2,1	0,4							0,4	3,3	1,6	1,4	1,6	1,5	0,0	
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	89,1					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	27,8	27,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	…	0,5	0,5	0,6	7,3				0,6	1,7		
17	Lokalni poticaji	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2														
Ukupno		512,8	0,6	1,3	1,3	1,0	25,8	25,8	33,2	33,3	31,0	88,6	53,7	18,6	18,0	8,3	8,4	10,6	11,0	11,0	3,8	2,0	2,0	–	2,0	2,1	3,2	13,5	9,6	7,3	10,5	11,2	11,5	4,3

Tablica A1-2: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 bez PDV-a

Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 1 – bez VAT-a [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2026.	2027.	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	2060.	…	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.
01	Postupci prije razgradnje	3,8			0,6	1,3	1,3	0,6																												
02	Pripremni radovi	82,6	25,0	25,0				0,4	10,9	13,6	4,7	2,3	0,7																							
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5																										0,1	0,9	3,3	2,4	3,3	0,1			
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0												0,3	2,9	2,9													0,2	2,3	3,2	1,2				
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9						0,0	0,6	2,3	1,1																									
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,04							0,6	2,0	15,4	9,6	5,7																							
08	Rastavljanje RPV-a	20,5										0,3	4,5	13,0	2,6																				
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1											0,1	0,4	1,9	3,8																0,4	1,8	1,7	1,9	2,0
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1													0,0	0,6	1,3	1,3															0,1	3,8	1,9	0,2	
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6																0,2	3,2	3,2	3,2	0,8													0,0	4,9	7,7	4,1
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																																			
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	21,8							2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	*Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije*	*150,5*			*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*8,4*	*5,4*	*3,2*	*3,2*	*3,2*	*3,2*	*3,2*	*2,1*	*1,5*	*1,5*	*1,5*	…	*1,5*	*1,5*	*1,5*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*
14.01	*Rad i održavanje*	*122,5*			*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*6,8*	*4,3*	*2,4*	*2,4*	*2,4*	*2,4*	*2,4*	*1,7*	*1,3*	*1,3*	*1,3*	–	*1,3*	*1,3*	*1,3*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*
14.02	*Sigurnost*	*28,0*			*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,6*	*1,3*	*1,1*	*0,8*	*0,8*	*0,8*	*0,8*	*0,4*	*0,2*	*0,2*	*0,2*	–	*0,2*	*0,2*	*0,2*							
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	38,5			0,0	1,7	3,8	4,1	5,1	0,1	2,3	2,5	2,7	2,7	0,4	2,0	1,0	0,3												0,4	3,3	1,6	1,4	1,6	1,5	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	89,5			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	27,8	27,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	…	0,5	0,5	0,6	7,3				0,6	1,7	
17	Lokalni policaji	31,0			3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,3													
Ukupno		549,7	25,0	25,0	0,6	1,3	1,3	1,0	25,8	33,4	38,7	30,1	29,8	55,2	51,2	18,2	9,6	9,8	9,2	10,8	9,8	4,1	2,0	2,0	2,0	–	2,0	2,1	3,2	13,5	9,6	7,3	10,5	11,2	11,5	4,3

Tablica A1-3: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 bez PDV-a

Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju A – bez VAT-a [milijun EUR]

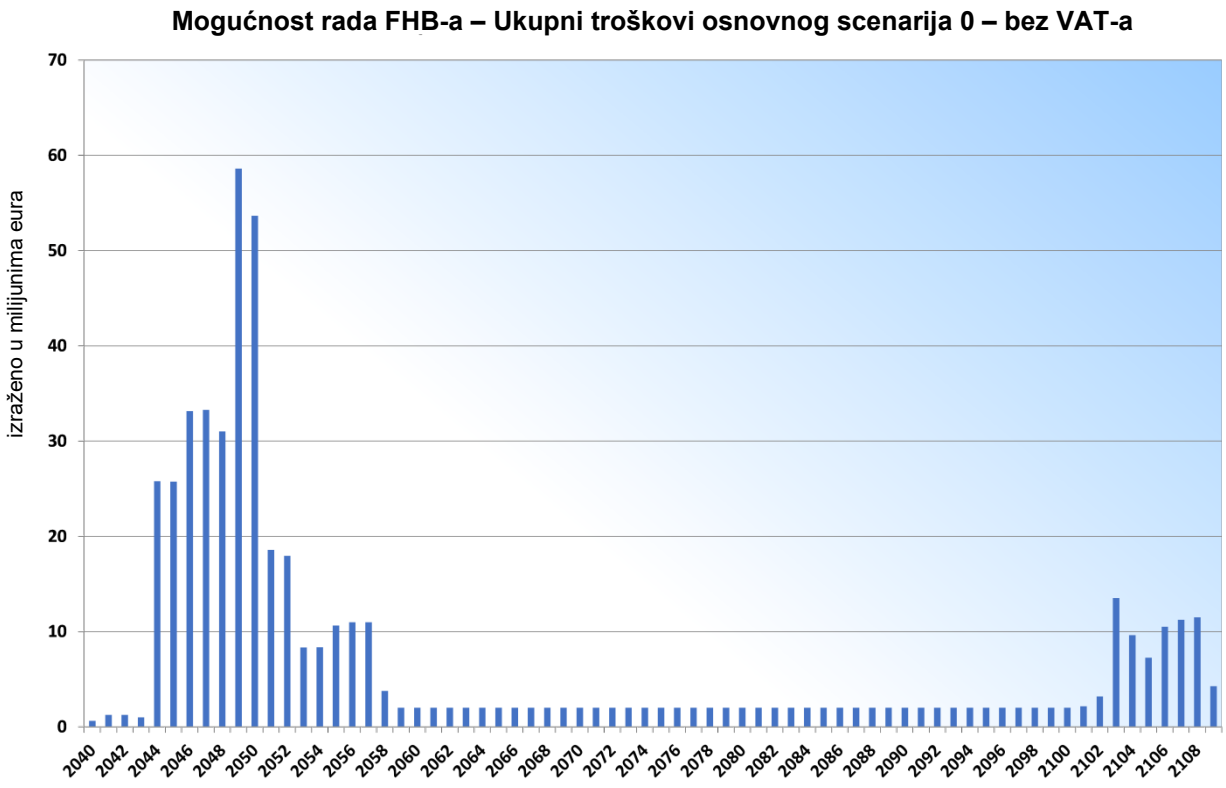
Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.
01	Postupci prije razgradnje	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																												
02	Pripremni radovi	35,4				0,4	11,8	8,0	10,1	2,1	2,6	0,3																						
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5																								0,1	0,9	3,3	2,4	2,4	3,3	0,1		
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	2,9	2,9												0,2	2,3	3,2	1,2				
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9					0,1	0,6	2,4	0,8																								
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,04						0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																						
08	Rastavljanje RPV-a	20,5									0,3	7,5	11,1	1,5																				
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1										0,1	0,4	2,2	3,5																		
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1												0,0	0,6	1,3	1,3												0,4	1,8	1,7	1,9	2,0	
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6															0,2	3,2	3,2	3,2	0,8									0,1	3,8	1,9	0,2	
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																														0,0	4,9	7,7	4,1
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,4					2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	126,8					8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,6	5,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	1,8	1,5	1,5	...	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	102,7					6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	5,3	4,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,4	1,3	1,3	–	1,3	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	24,0					16	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,3	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2							
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4					0,0	2,5	2,7	2,2	4,6	4,5	0,2	2,2	2,9	1,3	1,2	1,7	2,1	2,1	0,4							0,4	3,3	1,6	1,4	1,6	1,5	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	73,0					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	23,1	23,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,6	0,7	1,6	0,9		0,8	2,3	
17	Lokalni poticaji	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2													
Ukupno		466,8	0,6	1,3	1,3	1,0	25,8	25,8	33,2	33,2	31,0	54,2	48,9	18,7	17,8	8,3	8,4	10,6	11,0	11,0	3,8	2,0	2,0	–	2,0	2,1	3,2	16,1	9,6	7,3	10,5	11,4	12,1	4,3

Tablica A1-4: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A bez PDV-a

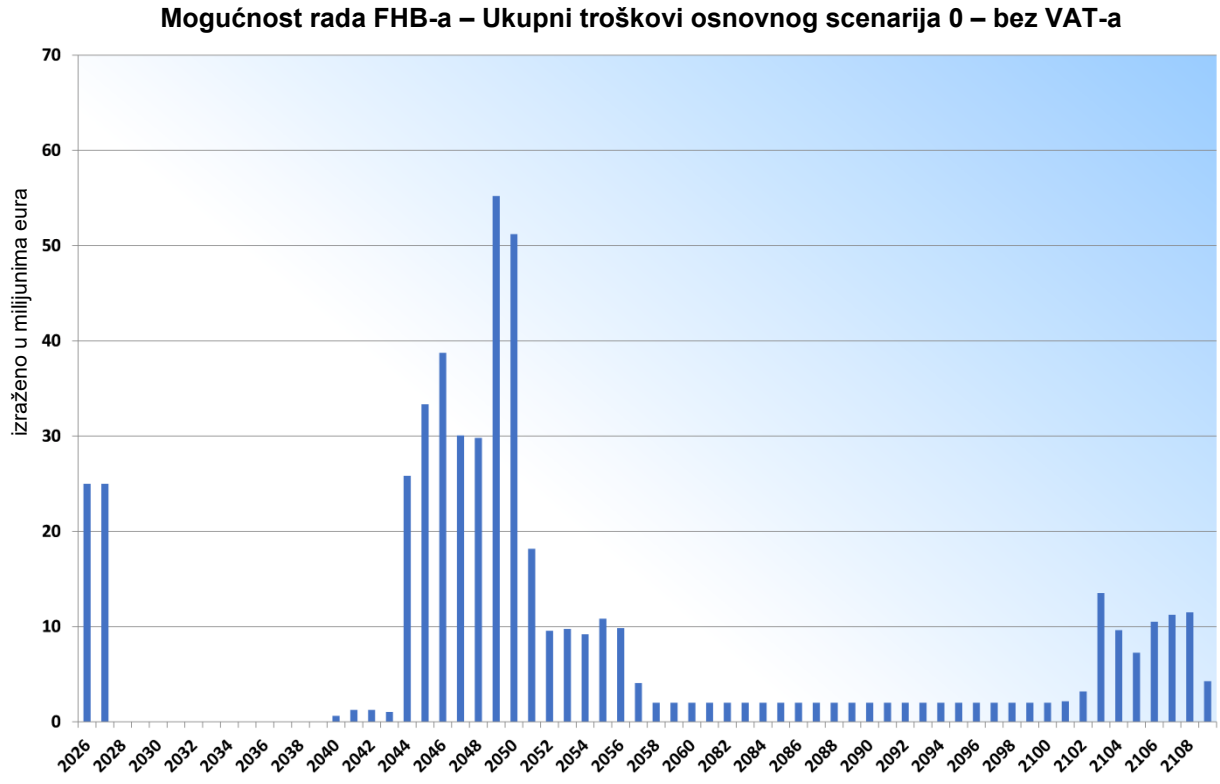
Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju B – bez VAT-a [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	...	2120.	2121.	2122.	2123.	2124.	2125.	2126.	2127.	2128.	2129.
01	**Postupci prije razgradnje**	3,0	0,6	1,3	1,3	0,6																												
02	Pripremni radovi	35,4				0,4	11,8	8,0	10,1	2,1	2,6	0,3															0,1	0,9	3,3	2,4	3,3	0,1		
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5																																
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	2,9	2,9												0,2	2,3	3,2	1,2				
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	3,9					0,1	0,6	2,4	0,8																								
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,04						0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																						
08	Rastavljanje RPV-a	20,6									0,3	7,6	11,1	1,5																				
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1										0,1	0,4	2,2	3,5																			
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1												0,0	0,6	1,3	1,3												0,4	1,8	1,7	1,9	2,0	
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz radstora	16,6															0,2	3,2	3,2	3,2	0,8									0,1	3,8	1,9	0,2	
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																													0,0	4,9	7,7	4,1
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,4					2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	156,7					8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,6	5,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	1,8	1,5	1,5	...	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	14.01 Rad i održavanje	127,7					6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	5,3	4,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,4	1,3	1,3	–	1,3	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	14.02 Sigurnost	28,9					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,3	0,2	–	0,2	0,2	0,2							
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4					0,0	2,5	2,7	2,2	4,6	4,5	0,2	2,2	2,9	1,3	1,2	1,7	2,1	2,1	0,4							0,4	3,3	1,6	1,4	1,6	1,5	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	83,3					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	23,1	23,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,6	0,7	1,6	0,9		0,8	2,3	
17	Lokalni poticaji	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2													
Ukupno		607,0	0,6	1,3	1,3	1,0	25,8	25,8	33,2	33,2	31,1	54,2	40,9	18,7	17,8	8,3	8,4	10,6	11,0	11,0	3,8	2,0	2,0	–	2,0	2,1	3,2	16,1	9,6	7,3	10,5	11,4	12,1	4,3

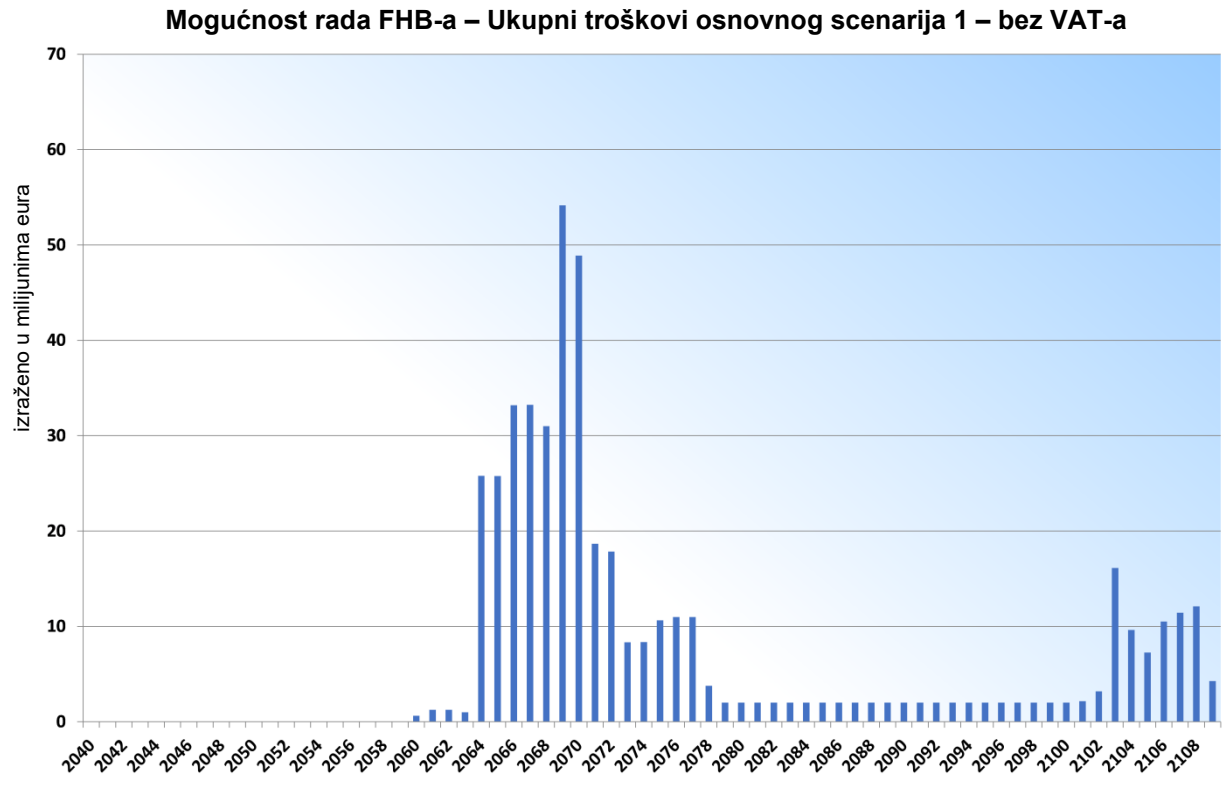
Tablica A1-5: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B bez PDV-a



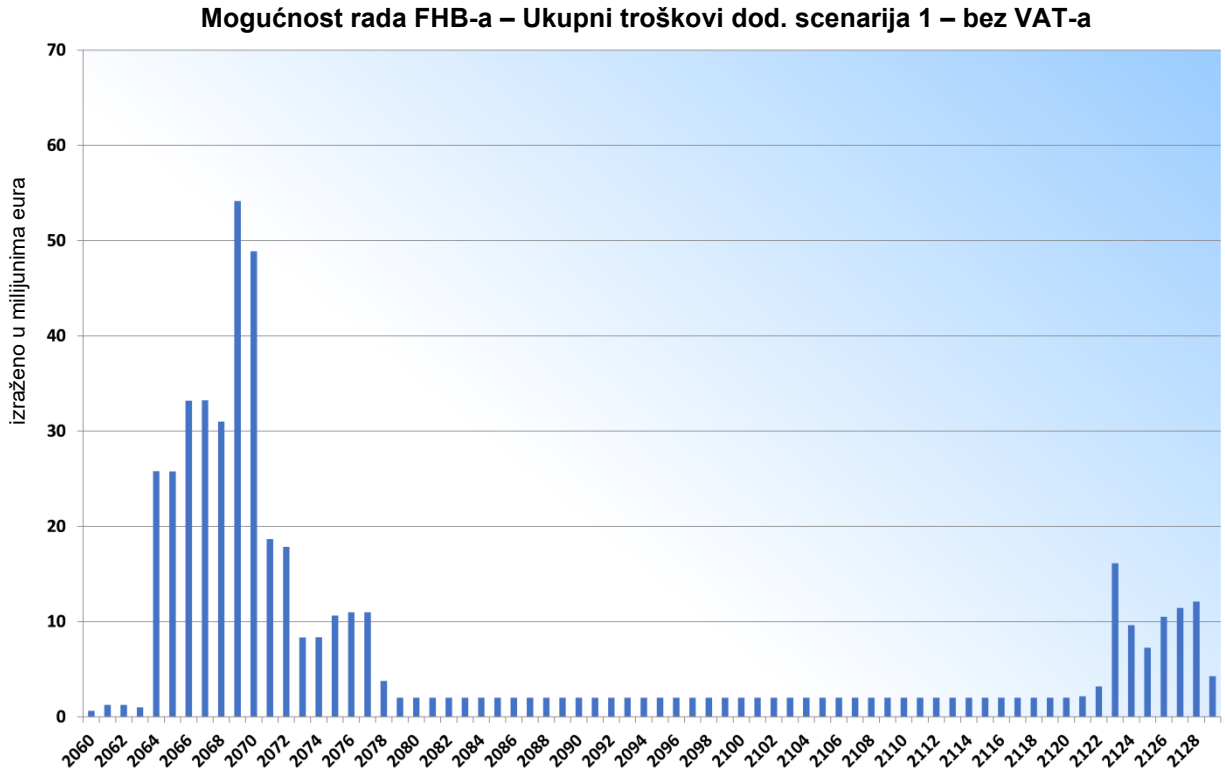
Slika A1-1: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 bez PDV-a



Slika A1-2: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 bez PDV-a



Slika A1-3: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A bez PDV-a



Slika A1-4: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B bez PDV-a

Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 0 – uklj. VAT [milijun EUR]

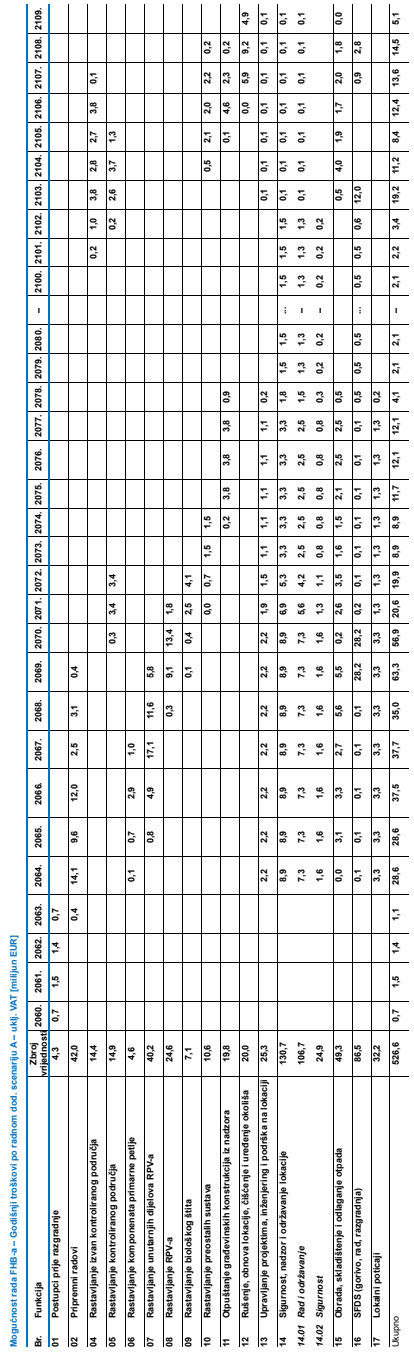
Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	2060.	...	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.
01	Postupci prije razgradnje	4,3	0,7	1,5	1,4	0,7																												
02	Pripremni radovi	42,0				0,4	14,1	9,6	12,1	2,5	3,1	0,4															0,2	1,0	3,8	2,8	2,7	3,8	0,1		
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4																																
05	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	3,4												0,2	2,6	3,7	1,3				
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6					0,1	0,7	2,9	1,0																								
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2						0,8	4,8	17,2	11,6	5,8																						
08	Rastavljanje RPV-a	24,6									0,3	8,8	13,6	1,9																				
09	Rastavljanje biološkog štita	7,1										0,1	0,4	2,5	4,2																			
10	Rastavljanje preostalih sustava	10,6												0,0	0,7	1,5	1,5												0,5	2,1	2,0	2,2	0,2	
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	3,8	3,8	3,8	0,9									0,1	4,6	2,3	0,2	
12	Rušenje, obnova lokacija, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																													0,0	5,9	9,2	4,9
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	25,3					2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,9	1,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	161,6					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	6,8	5,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,8	1,5	1,5	1,5	...	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	132,7					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	5,5	4,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	1,3	1,3	–	...	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	28,9					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	–	–	0,2	0,2	0,2							
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	49,3					0,0	3,1	3,3	2,7	2,6	5,5	0,2	2,6	3,5	1,6	1,5	2,1	2,5	2,5	0,5							0,5	0,4	1,9	1,7	2,0	1,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	104,2					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	33,9	33,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,6	8,9							
17	Lokalni policaji	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2														
Ukupno		575,2	0,7	1,5	1,4	1,1	28,6	28,5	37,5	37,5	35,0	68,8	62,7	20,5	20,0	8,9	8,9	11,7	12,1	12,1	4,1	2,1	2,1	–	2,1	2,2	3,4	16,0	11,2	8,4	12,4	13,4	13,8	5,1

Tablica A1-6: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 0 s PDV-om

Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom paketu osnovnog scenarija 0 – uklj. VAT [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2026.	2027.	–	2040.	2041.	2042.	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	2048.	2049.	2050.	2051.	2052.	2053.	2054.	2055.	2056.	2057.	2058.	2059.	2060.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.
01	Postupci prije razgradnje	4,3				0,7	1,5	1,4	0,7																												
02	Pripremni radovi	99,7	30,5	30,5					0,4	12,9	16,3	5,5	2,8	0,8																							
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4																										0,2	1,0	3,8	2,8	2,7	3,8	0,1			
05	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9												0,3	3,4	3,4													0,2	2,6	3,7	1,3					
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6							0,0	0,6	2,7	1,3	11,6																								
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2								0,7	2,3	18,7	0,3	6,9																							
08	Rastavljanje RPV-a	24,6												5,4	15,7	3,2																					
09	Rastavljanje biološkog štita	7,1												0,1	0,4	2,1	4,5																				
10	Rastavljanje preostalih sustava	10,6														0,0	0,7	1,5	1,5													0,5	2,1	2,0	2,2	0,2	
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8																	0,2	3,8	3,8	3,8	0,9										0,1	4,6	2,3	0,2	
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																																	0,0	5,9	9,2	4,9
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,5								2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,3					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	155,1								8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	5,5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	2,1	1,8	1,5	1,5	...	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	14.01 Rad i održavanje	127,1								7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	4,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	1,7	1,5	1,3	1,3	–	1,3	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	14.02 Sigurnost	28,0								1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,2	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2							
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	46,9								0,0	2,1	4,6	5,0	6,2	0,1	2,8	3,1	3,3	3,3	0,5	2,5	1,2	0,3								0,5	0,4	1,9	1,7	2,0	1,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	104,6								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	33,9	33,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,6	0,6	...	0,5	0,5	0,6	8,9				0,7	2,1	
17	Lokalni policaji	31,0								3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,3														
Ukupno		621,5	30,5	30,5		0,7	1,5	1,4	1,1	29,4	37,3	44,3	33,9	33,6	64,6	59,6	20,2	10,4	10,6	9,9	12,0	10,7	4,4	2,3	2,0	2,0	–	2,1	2,2	3,4	16,0	11,2	8,4	12,4	13,4	13,8	5,1

Tablica A1-7: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za osnovni scenarij 1 s PDV-om



Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju A – uklj. VAT [milijun EUR]

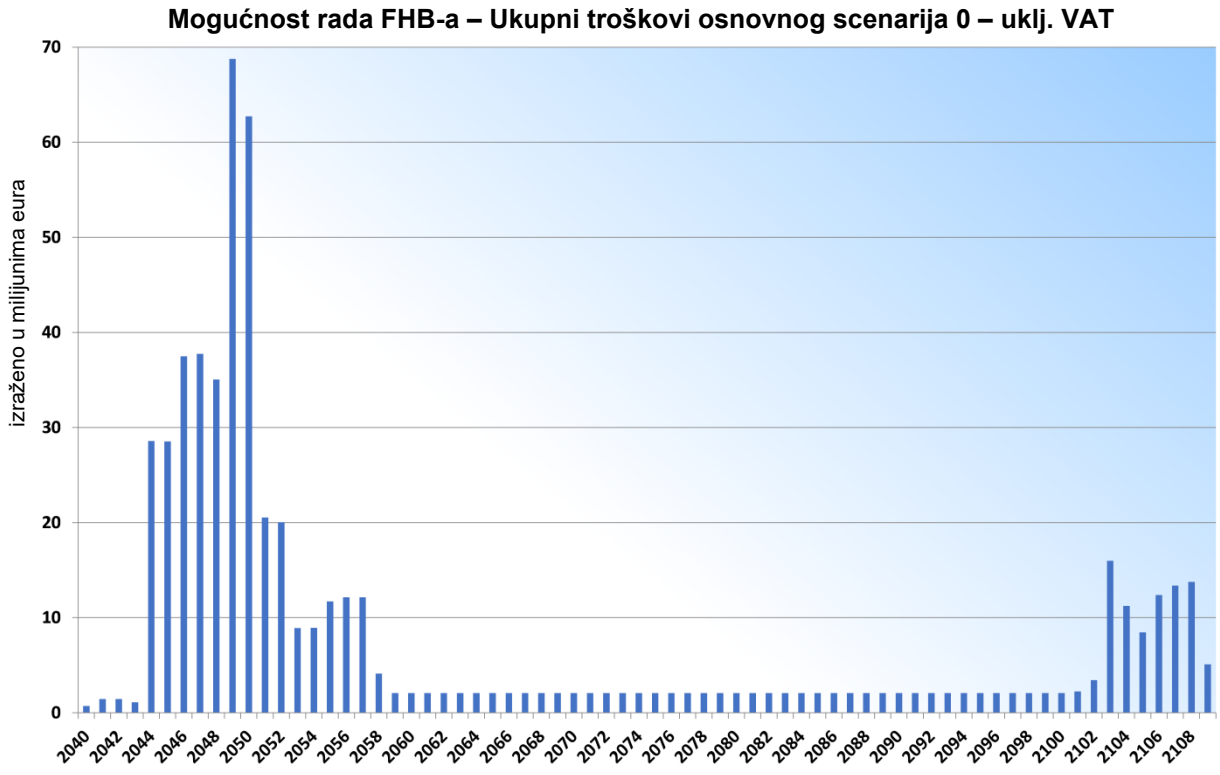
Br.	Funkcija	Zbroj kategorija	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.
01	Postupci prije razgradnje	4,3	0,7	1,5	1,4	0,7																												
02	Pripremni radovi	42,0				0,4	14,1	9,6	12,0	2,5	3,1	0,4																						
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4																								0,2	1,0	3,8	2,8	2,7	3,8	0,1		
05	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	3,4												0,2	2,6	3,7	1,3				
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6					0,1	0,7	2,9	1,0																								
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2						0,8	4,9	17,1	11,6	5,8																						
08	Rastavljanje RPV-a	24,6									0,3	9,1	13,4	1,8																				
09	Rastavljanje biološkog štita	7,1										0,1	0,4	2,5	4,1																			
10	Rastavljanje preostalih sustava	10,6											0,0	0,7	1,5	1,5	1,5												0,5	2,1	2,0	2,2	0,2	
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	3,8	3,8	3,8	0,9									0,1	4,6	2,3	0,2		
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																													0,0	5,9	9,2	4,9
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	25,3					2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,9	1,5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	130,7					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	6,9	5,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,8	1,5	1,5	...	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	106,7					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	5,6	4,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	1,3	1,3	–	1,3	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	24,9					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2								
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	49,3					0,0	3,1	3,3	2,7	5,6	5,5	0,2	2,6	3,5	1,6	1,5	2,1	2,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,6	12,0	0,5	4,0	1,9	1,7	2,0	1,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	86,5					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	28,2	28,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,6					0,9	2,8		
17	Lokalni policajci	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2														
Ukupno		526,6	0,7	1,5	1,4	1,1	28,6	28,6	37,5	37,7	35,0	63,3	56,9	20,6	19,9	8,9	8,9	11,7	12,1	12,1	4,1	2,1	2,1	–	2,1	2,2	3,4	19,2	11,2	8,4	12,4	13,6	14,5	5,1

Tablica A1-8: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A s PDV-om

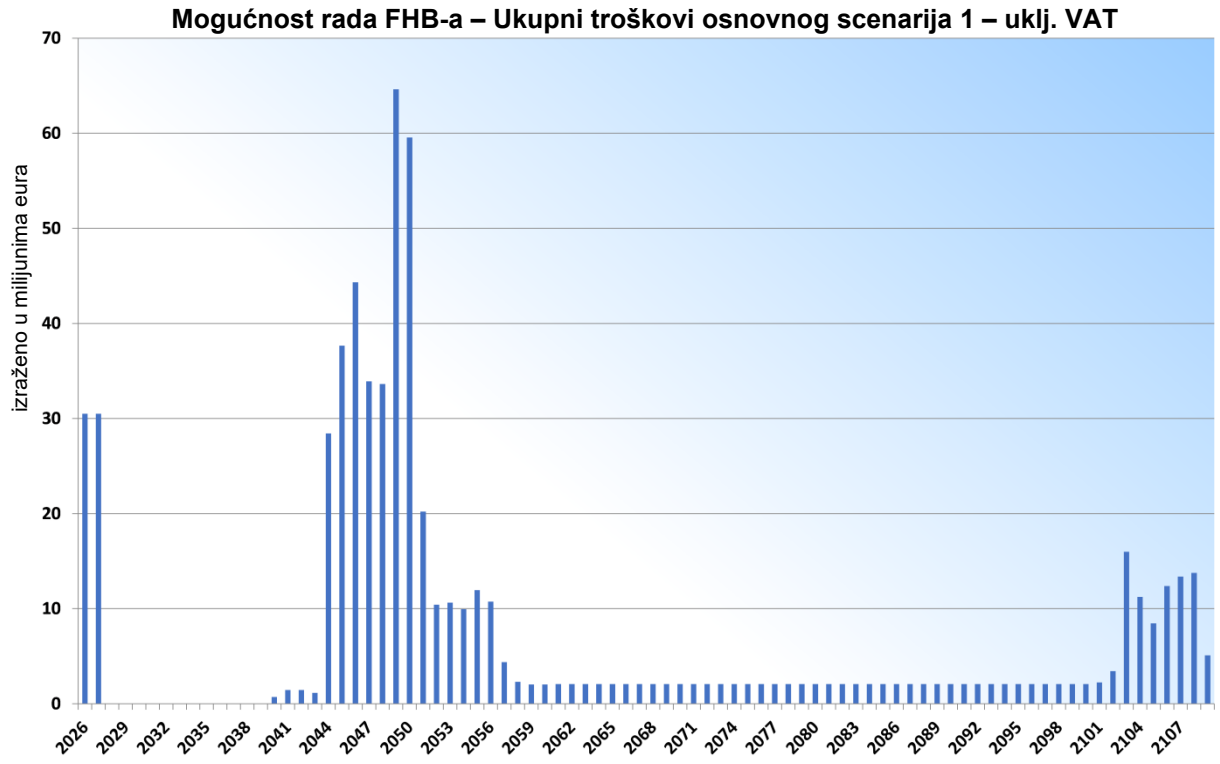
Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju B – uklj. VAT [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	–	2120.	2121.	2122.	2123.	2124.	2125.	2126.	2127.	2128.	2129.
01	Postupci prije razgradnje	4,3	0,7	1,5	1,4	0,7																												
02	Pripremni radovi	42,0				0,4	14,1	9,6	12,0	2,5	3,1	0,4																						
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4																								0,2	1,0	3,8	2,8	2,7	3,8	0,1		
05	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	3,4												0,2	2,6	3,7	1,3				
06	Rastavljanje komponenata primarne petlje	4,6					0,1	0,7	2,9	1,0																								
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2						0,8	4,9	17,1	11,6	5,8																						
08	Rastavljanje RPV-a	24,6									0,3	9,1	13,4	1,8																				
09	Rastavljanje biološkog štita	7,1										0,1	0,4	2,5	4,1																			
10	Rastavljanje preostalih sustava	10,6												0,0	0,7	1,5	1,5												0,5	2,1	2,0	2,2	0,2	
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	3,8	3,8	3,8	0,9									0,1	4,6	2,3	0,2	
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																													0,0	5,9	9,2	4,9
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	25,3					2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,9	1,5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	161,6					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	6,9	5,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,8	1,5	1,5	...	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	*Rad i održavanje*	132,7					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	5,6	4,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	1,3	1,3	–	1,3	1,3	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	*Sigurnost*	28,9					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	–	0,2	0,2	0,2							
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	49,3					0,0	3,1	3,3	2,7	5,6	5,5	0,2	2,6	3,5	1,6	1,5	2,1	2,5	2,5	0,5							0,5	4,0	1,9	1,7	2,0	1,8	0,0
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	97,1					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	28,2	28,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,5	...	0,5	0,5	0,5	12,0				0,9	2,8	
17	Lokalni policajci	32,2					3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,2													
Ukupno		668,1	0,7	1,5	1,4	1,1	28,6	28,6	37,5	37,7	35,0	63,3	56,9	20,6	19,9	8,9	8,9	11,7	12,1	12,1	4,1	2,1	2,1	–	2,1	2,2	3,4	19,2	11,2	8,4	12,4	13,6	14,5	5,1

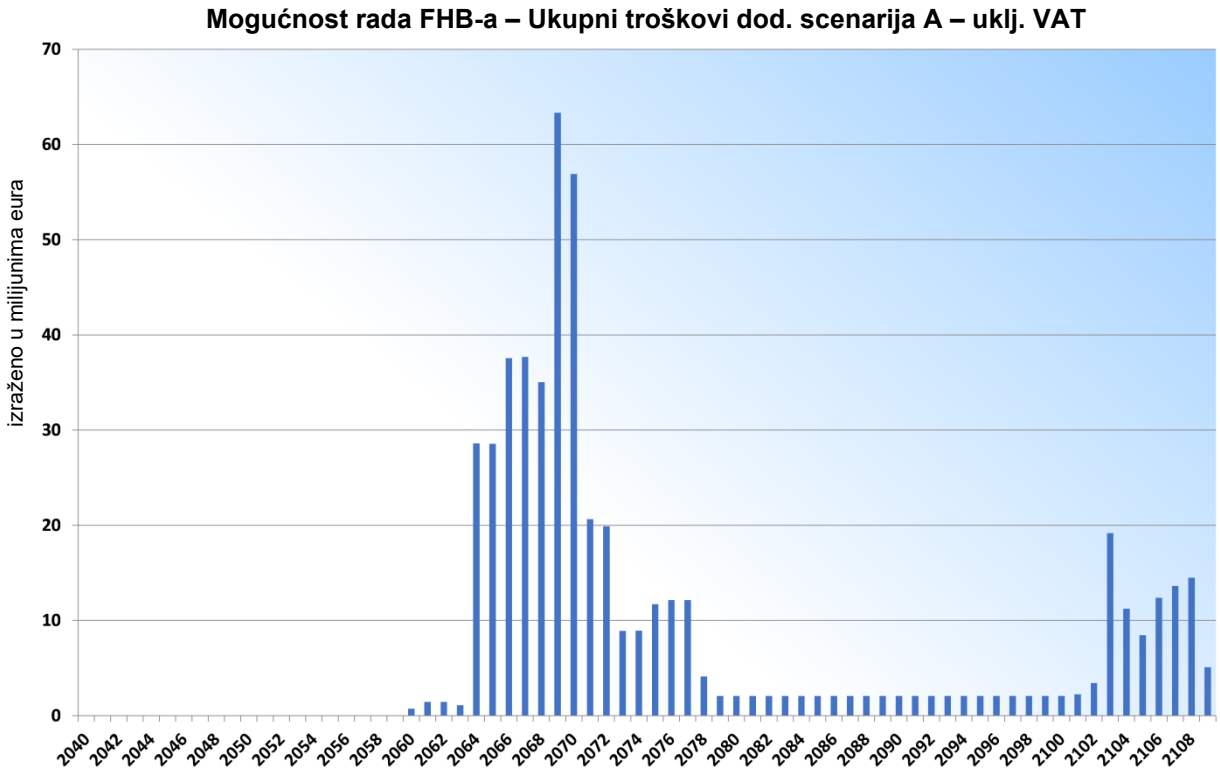
Tablica A1-9: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B s PDV-om



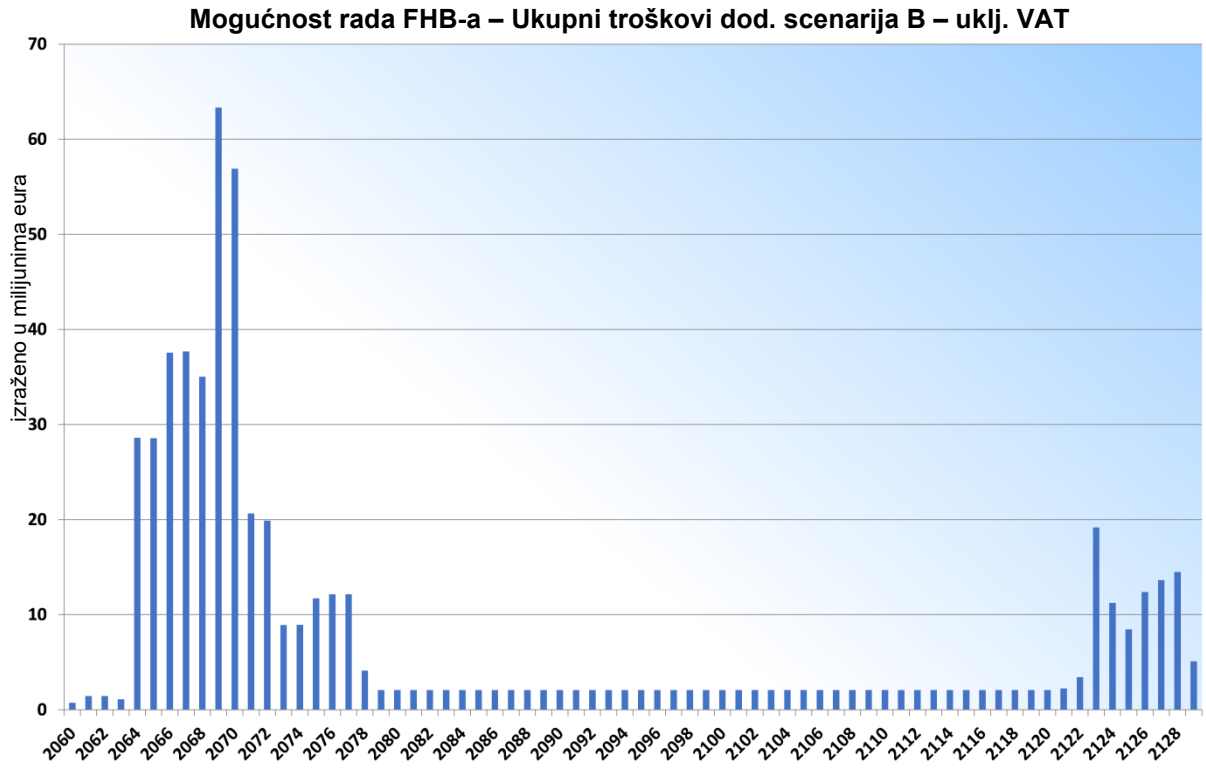
Slika A1-5: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 s PDV-om



Slika A1-6: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 1 s PDV-om



Slika A1-7: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij A s PDV-om



Slika A1-8: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za dodatni scenarij B s PDV-om

Prilog 2.: Odlaganje pogonskog otpada

Pogonski otpad koji nastane do završetka rada NE Krško izuzet je iz ovog PR-a. To je u skladu s projektnim zadatkom [10]. Međutim, da bi se zajamčila cjelovitost informacija, izračun pogonskog otpada i povezani troškovi navedeni su u ovom prilogu. Rezultati su dobiveni jednostavnim izračunom prema pretpostavkama u nastavku.

Krajem 2022. u zgradi za skladištenje radioaktivnog otpada pohranjeno je 2358 m³ pogonskog otpada. Osim toga, na drugim je mjestima smješteno dodatnih 166 m³, što znači da je ukupna količina pogonskog otpada 2524 m³. U budućnosti se do konačne obustave rada očekuje prosječna proizvodnja otpada od 40 m³ godišnje. U osnovnim scenarijima konačna obustava rada planirana je krajem 2043., što podrazumijeva dodatnih 840 m³ pogonskog otpada u preostaloj 21 godini rada. U obama dodatnim scenarijima predviđa se još 800 m³ u dvadeset godina produljenja rada do kraja 2063.

Kondicionira se 0,208 m^3 pogonskog otpada po bačvi. Bačve se stavljaju u TTC za privremeno skladištenje (tri bačve po TTC-u). Za slovensko završno odlaganje kondicioniraju se četiri TTC-a po N2d spremniku. Za hrvatsko završno odlaganje prepakiraju se četiri TTC-a, tj. četiri bačve pogonskog otpada po RCC spremniku.

Tablica A2-3 sadržava rezultate pakiranja otpada za pogonski otpad tijekom različitih kampanja.

Uklanjanje pogonskog otpada planirano je u različitim razdobljima. Prema postavkama iz Tablice A2-3 godišnji troškovi za osnovne i dodatne scenarije s PDV-om i bez njega navedeni su u Tablici A2-1 i Tablici A2-2.

Troškovi za nuklearni materijal (pogonski otpad) WP 03 – bez PDV-a [milijun EUR]

Br. naziv	Zbroj	2024.	2025.	2026.	2027.	2028.	2029.	…	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	…	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.
Osnovni scenarij 0 i 1																			
03 Nuklearni materijal (pogonski otpad)	36,9	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	…	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	…					
Dodatni scenarij A i B																			
03 Nuklearni materijal (pogonski otpad)	45,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	…	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	…	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8

Tablica A2-1: Godišnji troškovi uklanjanja pogonskog otpada (bez PDV-a)

Troškovi za nuklearni materijal (pogonski otpad) WP 03 – uklj. PDV [milijun EUR]

Br. naziv	Zbroj	2024.	2025.	2026.	2027.	2028.	2029.	…	2043.	2044.	2045.	2046.	2047.	…	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.
Osnovni scenarij 0 i 1																			
03Nuklearni materijal (pogonski otpad)	44,8	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	…	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	…					
Dodatni scenarij A i B																			
03Nuklearni materijal (pogonski otpad)	55,5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	…	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	…	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

Tablica A2-2: Godišnji troškovi uklanjanja pogonskog otpada (s PDV-om)

NPP Krško, broj i spremnika za odlagalište pogonskog otpada

Vrsta spremnika	Zbroj vrijednosti				2024. – 2029.				2043. – 2047.				2063. – 2067.			
	Zapakirano volumen [m³]	Broj paketa	Trošak paketa [milijun EUR]	Volumen odlagališta [m³]	Zapakirani volumen [m³]	Broj paketa	Trošak paketa [milijun EUR]	Volumen odlagališta [m³]	Zapakirano volumen [m³]	Broj paketa	Trošak paketa [milijun EUR]	Volumen odlagališta [m³]	Zapakirano volumen [m³]	Broj paketa	Trošak paketa [milijun EUR]	Volumen odlagališta [m³]
Osnovni scenarij 0 i 1																
Spremnik N2d	1682	674	6,7	8275	1262	506	5,1	6209	420	168	1,7	2066.				
RCC	1682	2022	14,6	9932	1262	1517	10,9	7452	420	505	3,6	2480				
Ukupno	3364	2696	21,3	18 208	2524	2022	163	13 361	840	673	5,3	4546				
Dodatni scenarij A i B																
Spremnik N2d	2082	834	8,3	10 243	1262	506	5,1	6209	420	168	1,7	2066	400	160	1,6	1968
RCC	2082	2502	18,0	12 294	1262	1517	10,9	7452	420	505	3,6	2480	400	481	3,5	2362
Ukupno	4164	3337	26,4	22 337	2524	2022	16,0	13 361	840	673	5,3	4546	800	641	5,1	4330

*Pokriveni troškovi kupnje spremnika.

Tablica A2-3: Rezultati pakiranja pogonskog otpada

FUND FOR FINANCING
THE DECOMMISSIONING
OF THE KRŠKO NPP

Fond za financiranje razgradnje NEK
Ulica Vjekoslava Heinzela 70A, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

arao

ARAO- Agencija za radioaktivni otpad
Litostrojska cesta 58a, 1000 Ljubljana, Slovenija

Četvrta revizija

Programa odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško

Inačica 0.5

prosinac 2025.

ARAO – Agencija za radioaktivni otpad, Ljubljana

Fond za financiranje razgradnje NEK, Zagreb

Naslov dokumenta	Četvrta revizija Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško
Inačica teksta	0.5
ARAO Dok. Br.	08-001-02/05/12/2025
Fond Ur. Br.	3-1/25-2-4/3
Datum	Prosinac 2025.

	Organizacija, ime osobe	Potpis
Izradili		
	Fond: Hrvoje Glamuzina	
	Fond: Andrea Rapić	
	Fond: Goran Kukmanović	
	Fond: Mirta Čanak	
	Fond: Galla Uroić	
	Fond: Nika Fulanović	
	Fond: Dino Sajko	
	ARAO: Leon Kegel	
	ARAO: Alen Polovič	
Odobrili		
	Fond: Josip Lebegner, Mr.sc, Direktor	
	ARAO: Sandi Viršek, Mr.sc, Direktor	

Sadržaj

1 Sažetak 5
1.1 Uvod 5
1.2 Inventar RAO-a i ING-a 5
1.3 Zbrinjavanje ING-a/VRAO-a 6
1.4 Podjela i preuzimanje RAO-a 6
1.5 Zbrinjavanje NSRAO-a u RH 7
1.6 Odlaganje NSRAO-a u RS 8
1.7 Procjena troškova 8
1.8 Napredak i najnoviji razvoj događaja od posljednje revizije 8
2 Uvod 11
2.1 Nuklearna elektrana Krško 11
2.2 Zakonski okvir 11
2.3 Prethodne revizije 12
2.4 Ciljevi i rubni uvjeti za četvrtu reviziju (PO, rev. 4) 14
2.5 Scenariji zbrinjavanja RAO-a i ING-a razvijeni za PR, rev. 4 17
2.6 Osiguranje i kontrola kvalitete 18
2.7 Stručni pregled 18
3 Inventar radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva 19
3.1 Inventar radioaktivnog otpada 19
3.2 Inventar ING-a 28
4 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a 30
4.1 Zbrinjavanje i skladištenje prije odlaganja 30
4.2 RD&D Program 40
4.3 Odlaganje VRAO-a i istrošenog goriva 63
4.4 Zaključci i izazovi 82
5 Plan podjele i preuzimanja NSRAO-a 86
5.1 Podjela i preuzimanje operativnog NSRAO-a proizvedenog do 31. prosinca 2023. 87
5.2 Preuzimanje operativnog NSRAO-a proizvedenog do 31. prosinca 2023. 89
5.3 Podjela i preuzimanje operativnog NSRAO-a proizvedenog od 2024. do kraja produženog životnog vijeka 95
5.4 Podjela i preuzimanje dekomisijskog NSRAO-a 96
5.5 Vremenski plan podjele i preuzimanja NSRAO-a 99
6 Zbrinjavanje NSRAO-a u Hrvatskoj 100
6.1 Uvod 100
6.2 Nacionalna strategija i program 101
6.3 Inventar 102
6.4 Koncepti i planovi zbrinjavanja NSRAO-a NE Krško 103
6.5 Tehničko-tehnološka rješenja za zbrinjavanje NSRAO-a NE Krško 103
6.6 Vremenski plan zbrinjavanja hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško 111
6.7 Procjena troškova zbrinjavanja NSRAO-a 113
6.8 Analiza osjetljivosti troškova s registrom rizika 115
6.9 Usporedba s PO Rev.3 117
6.10 Utjecaj produljenog rada NE Krško na troškove zbrinjavanja NSRAO-a 117
7 Zbrinjavanje NSRAO-a u Sloveniji 120
7.1 Uvod 120
7.2 Nacionalna strategija i program 121
7.3 Inventar 122
7.4 Koncepti, planovi i tehnička rješenja 124
7.5 Vremenski plan za scenarij odlaganja slovenske polovice NSRAO-a NE Krško 131
7.6 Procjena troškova i financiranje odlagališta 135
7.7 Analiza osjetljivosti i registar rizika 144
8 Procjena troškova 149

8.1 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško ... 149
8.2 Diskontirani troškovi ... 156
9 Zaključci i preporuke ... 164
9.1 Zaključci ... 164
9.2 Preporuke ... 165
10 Kratice ... 169
11 Popis tablica i slika ... 174
12 Literatura ... 178
13 Prilozi ... 183
13.1 Vremenski okvir za podjelu i preuzimanje operativnog NSRAO proizvedenog do 31. prosinca, 2023 [58] ... 184

1 Sažetak

1.1 Uvod

Odredbama Međudržavnog ugovora propisano je da program razgradnje, kao i program odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenog nuklearnog goriva (ING), uključujući eventualne revizije, izrađuju stručne organizacije u suradnji s NEK d.o.o. (operater NE Krško). Četvrta revizija Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško (PO, rev 4), koju su izradili ARAO i Fond za financiranje razgradnje NE Krško (Fond), usklađena je s Projektnim zadatkom (PZ) odobrenim na 16. sjednici Međudržavnog povjerenstva (MDP) održanoj 4. travnja 2022. godine.

PZ definira ciljeve, opseg rada te opće, financijske i posebne granične uvjete za zbrinjavanje RAO-a i ING-a. Također navodi scenarije za procjenu troškova: osnovni scenarij (BC), koji pretpostavlja rad NE Krško do 2043. godine i rad suhog skladišta istrošenog goriva (SFDS) do 2103. godine, kao i dodatne scenarije (SC ili ELSC) za dodatno produženje rada NE Krško do 2063. godine: SC A uzima u obzir rad SFDS-a do 2103. godine, a SC B pretpostavlja rad SFDS-a do 2123. godine. Na 17. sjednici MDP-a donesena je odluka da preuzimanje nisko i srednje radioaktivnog otpada (NSRAO) nastalog radom NE Krško do kraja 2023. godine mora započeti najkasnije početkom 2028. godine.

PO, rev 4, pripremljen je na temelju stručnih potpornih studija [23, 27, 40, 41, 88], Četvrte revizije Programa razgradnje NE Krško [24], te nacionalnih projekata zbrinjavanja/odlaganja NSRAO-a.

1.2 Inventar RAO-a i ING-a

Na temelju baze podataka NSRAO-a NE Krško i procjena budućih količina RAO-a nastalih radom i razgradnjom NE Krško, u sljedećoj tablici prikazane su ukupne količine radioaktivnog otpada koje će se podijeliti između hrvatske i slovenske strane. Grupe, vrste otpada i pakiranja, zajedno s njihovim radiološkim svojstvima, opisani su u Poglavlju 3.1.

Tablica 1-1 Inventar radioaktivnog otpada NE Krško - Osnovni scenarij (prestanak rada NEK-a 2043.)

Kategorija RAO-a (razdoblje proizvodnje - osnovni scenarij, BC)	**Volumen (m^3)**	**Masa (t)**	**Aktivnost* (TBq)**
Operativni NSRAO (1983. – 2023.)	2.438	4.938	82,8
Operativni NSRAO (2024. – 2043.)	598	923	20,7
Dekomisijski NSRAO (2044. – 2058.)	1.473	2.682	4,8
NSRAO iz razgradnje suhog skladišta ING-a (SFDS) (2103. – 2107.)**	70	550	1,0
Ukupno NSRAO	**4.579**	**9.093**	**109,0**
Visoko radioaktivni otpad (VRAO) iz razgradnje (2044. – 2053.)**	18	140	24.600,0

*Za aktivnosti nije uzet u obzir radioaktivni raspad.
**Nije predmet podjele. Odložit će se u zajedničkom dubokom geološkom odlagalištu zajedno s istrošenim nuklearnim gorivom.

U slučaju dodatnog produljenja radnog vijeka NE Krško do 2063. godine, kako je navedeno u dodatnom scenariju za produljeni životni vijek (SC), proizvest će se dodatnih 923 t operativnog NSRAO-a i dodatnih 220 t NSRAO-a nastalog razgradnjom SFDS-a, s ukupnom aktivnošću od 21,1 TBq.

U BC-u će do 2043. godine nastati ukupno 2.282 elementa ING-a koji će sadržavati 926,5 t teškog metala (tHM). U ELSC-u se očekuje dodatnih 900 gorivnih elemenata, čime će do 2063. biti ukupno 3.182 elementa ING-a, koji će sadržavati 1.292 tHM. Inventar ING-a detaljnije je opisan u Poglavlju 3.2.

1.3 Zbrinjavanje ING-a/VRAO-a

Zbrinjavanje ING-a i visokoradioaktivnog otpada (VRAO) zajednički je slovensko-hrvatski projekt: ING će se u početku skladištiti u suhom skladištu na lokaciji NE Krško, a u skladu s trenutnom strategijom kasnije će se odlagati u duboko geološko odlagalište ili u Sloveniji ili Hrvatskoj. Kao druga opcija, ako je izvedivo, ING se može odložiti u regionalno ili multinacionalno odlagalište.

Suho skladište ING-a (SFDS) u funkciji je od ožujka 2023. godine i predstavlja značajno sigurnosno unapređenje. Premještanje prvih 592 istrošenih gorivnih elemenata u postrojenje dovršeno je u rujnu 2023. godine. Sljedeća kampanja premještanja, koja uključuje dodatna 592 elementa ING-a, planirana je za 2029. godinu, a konačno premještanje preostalih do 1184 elementa predviđeno je između 2048. i 2050. godine.

Obje zemlje zajednički će provoditi aktivnosti navedene u Programu istraživanja, razvoja i demonstracija (RD&D Program), koji je prvi put razvijen u okviru Četvrte revizije (Poglavlje 4.2).

Analizirana su dva glavna koncepta izravnog zbrinjavanja ING-a i za BC i za ELSC: odlaganje u duboko geološko odlagalište (DGO) u formacijama čvrstih stijena i DGO u sedimentnim (glinovitim) formacijama. Uz DGO, u Poglavlju 4 analizirani su i alternativni koncepti zbrinjavanja ING-a u duboke bušotine (DBD), sukladno preporukama iz Treće revizije Programa odlaganja.

1.4 Podjela i preuzimanje RAO-a

U Četvrtoj reviziji razmatraju se samo podjela NSRAO-a i scenariji odvojenog zbrinjavanja za NSRAO, temeljem odluke donesene na 13. sjednici MDP-a. Za razliku od 3. revizije, gdje su moguća podjela i preuzimanje napravljeni teoretski na temelju strogih graničnih uvjeta, PO, rev. 4 predlaže optimizirani fazni pristup podjele i preuzimanja NSRAO-a proizvedenog do kraja 2023. godine. Glavni kriteriji za podjelu su ravnomjeran raspored aktivnosti, volumena i mase, iako su dopuštena određena odstupanja. Ta će se odstupanja nadoknaditi prilikom podjele otpada koji će nastati do kraja rada elektrane i tijekom njezine razgradnje. Razmotreni su i drugi rubni uvjeti, kao što je raspodjela paketa NSRAO-a u privremenom skladištu izgradi za dekontaminaciju te primjena načela ALARA prilikom vađenja, manipulacije te punjenja paketa LILW u IP2, N2d i druge spremnike, duge aktivnosti koje se provode na lokaciji elektrane i karakteristike i vrste odlagališnih paketa. Fond i ARAO će imati četiri faze preuzimanja paketa operativnog NSRAO koji je nastao do 31.12.2023. godine, kao što je opisano u Poglavlju 5.1.

ARAO i Fond preuzet će gotovo istu razinu aktivnosti, volumen i masu ali uz razliku u broju paketa otpada zbog različitih vrsta konačnih paketa otpada (Tablica 1-2).

Tablica 1-2 Sažetak predložene podjele i preuzimanja NSRAO-a [23]

NSRAO do 31. 12. 2023.	FOND				ARAO			
Grupa otpada	Br. paketa	**Volumen (m^3)**	**Aktivnost (Bq) ***	**Masa (t)**	Br. paketa	**Volumen (m^3)**	**Aktivnost (Bq) ***	**Masa (t)**
Koncentrati isparivača i mulj iz spremnika (EC)	818	702,7	9,28E+11	1673,51	813	702,2	9,31E+11	1672,86
Istrošene ionske smole (SIR)	456	168,6	3,23E+13	320,20	457	168,8	3,23E+13	320,28
Potrošeni filtri (SF)	66	22,3	4,23E+11	75,05	66	22,9	4,31E+11	75,22
Kompresibilni otpad (CPW)	741	285,2	1,61E+11	361,03	347	277,3	1,61E+11	344,48
Nekompresibilni otpad (NCW)	40	4,4	1,11E+08	24,77	40	4,4	1,11E+08	24,76
Specifični otpad (SW)	1	0,9	1,22E+06	0,88	11	9,5	4,01E+06	9,01
Ukupno**	**2122**	**1184,1**	**3,38E+13**	**2455,43**	**1734**	**1185,1**	**3,38E+13**	**2446,61**
Razlika	388	-1,1	-1,17E+10	8,81				
Razlika (%)		-0.0903%	-0.0347%	0.3602%				
Projekcije								
Procjena TTC-a nakon obrade (CPW)	9	8	7,71E+12	8,54	9	8	7,71E+12	8.54
Projekcija za 2024.-2043. (sve grupe otpada, TTC-i)	344	299	1,03E+13	461,32	344	299	1,03E+13	461.32
Projekcija za 2044.-2063. (sve grupe otpada, TTC-i)	344	299	1,03E+13	461,32	344	299	1,03E+13	461.32
Ukupno**	**697**	**606**	**2,83E+13**	**931,18**	**697**	**606**	**2,83E+13**	**931.18**
Sveukupno ** Osnovni scenarij (BC)	**2475**	**1491**	**5,18€+13**	**2925**	**2087**	**1492**	**5,18€+13**	**2916**
Sveukupno Dodatni scenarij (SC)**	**2819**	**1790**	**6,21E+13**	**3387**	**2431**	**1791**	**6,21E+13**	**3378**
Razlika (sveukupno)	388	-1	-1,17E+10	9				
Razlika (%)		-0,0597%	-0,0189%	0,2609%				

* Aktivnost je mjerena u vrijeme nastanka paketa (nije uzet u obzir radioaktivni raspad).
** Moguće razlike u ukupnim količinama nastale su zaokruživanjem brojeva na različite decimale.

Podjela operativnog NSRAO-a nastalog od 2024. godine do prestanka rada NE Krško uključuje podjelu ocijenjenog broja paketa otpada, zajedno s pripadajućom ukupnom masom i aktivnošću po vrsti otpada (Poglavlje 5.3). Podjela otpada od razgradnje NE Krško opisana je u Poglavlju 5.4.

1.5 Zbrinjavanje NSRAO-a u RH

Dugoročna politika upravljanja hrvatskom polovicom NSRAO-a nastalog radom NE Krško uključuje skladištenje (do 40 godina) u Dugoročnom skladištu u Centru na lokaciji Čerkezovac (u pogonu 2028. godine), te potom odlaganje u pripovršinsko odlagalište (u pogonu 2051. godine). Paketi NSRAO-a će se transportirati u odgovarajuće postrojenje na obradu i kondicioniranje, gdje će se obraditi i kondicionirati u armirano-betonske spremnike (RCC), u skladu s WAC-ovima za Dugoročno skladište NSRAO-a i buduće odlagalište NSRAO-a. Operativni NSRAO proizveden između od 2024. do 2043. (odnosno do 2063.) i NSRAO iz razgradnje NE Krško bit će kondicioniran u RCC-e i odložen izravno u pripovršinsko odlagalište. Postupak odabira lokacije odlagališta NSRAO-a u Hrvatskoj započet će tek nakon uspostave Centra.

Koncepti, planovi i rješenja, uz vremenski okvir za osnovni scenarij (BC) i dodatne scenarije (ELSC), procjene troškova s analizom osjetljivosti i registar rizika analizirani su u Poglavlju 6.

1.6 Odlaganje NSRAO-a u RS

U skladu sa slovenskom politikom i strategijom, polovica NSRAO-a iz NE Krško, zajedno sa svim ostalim slovenskim NSRAO-om koji udovoljava kriterijima prihvatljivosti za odlaganje, bit će odložen u odlagalište NSRAO-a u Vrbini, koje je trenutno u izgradnji. Probni rad planiran je za kraj 2027. godine, a redoviti rad trebao bi početi 2028. godine. Odlagalište od kraja 2030. godine ulazi u privremenu fazu pripravnosti, te će se s postupcima odlaganja nastaviti 2050. godine kako bi se zbrinula polovica preostalog operativnog NSRAO-a nastalog nakon 2023. godine do zatvaranja NE Krško, kao i polovica NSRAO-a iz razgradnje.

Koncepti, planovi i rješenja, uz vremenski okvir za BC i ELSC scenarije, procjene troškova i financiranje, analiza osjetljivosti i registar rizika analizirani su u Poglavlju 7.

1.7 Procjena troškova

Ukupni nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a NE Krško u osnovnom scenariju (BC), uključujući tehničke troškove provedbe specifičnih aktivnosti, troškove naknade (poticaja) lokalnoj zajednici, nepredviđene troškove i porez na dodanu vrijednost (PDV), procijenjeni su na 2.497,69 milijuna EUR (Tablica 1-3).

Tablica 1-3 Ukupni nominalni trošak zbrinjavanja ING-a i RAO-a NE Krško po scenariju, s PDV-om

Troškovi u mil. EUR (2023.)	BC 0	SC A	SC B
RD&D program za DGO	151,16	151,16	183,35
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	1.590,40	1.859,83	1.859,83
Zbrinjavanje NSRAO-a u RH	367,52	432,32	432,32
Zbrinjavanje NSRAO-a u RS	388,60	614,38	614,38
UKUPNO	**2.497,69**	**3.057,70**	**3.089,89**

Kada se troškovima prikazanim u Tablica 1-3 dodaju i troškovi razgradnje NEK, kao i rada i razgradnje suhog skladišta ING-a, sveukupni troškovi iznose 3.060,17 milijuna eura za osnovni scenarij (SC 0), 3.579,36 milijuna eura za dodatni scenarij A i 3.645,27 milijuna eura za dodatni scenarij B.

Vremenska raspodjela nominalnih troškova, procjena internih stopa povrata nacionalnih fondova (na temelju neto vrijednosti imovine nacionalnog fonda na kraju 2023. godine i pretpostavljenih nepromijenjenih visina godišnjih uplata), kao i diskontirani troškovi s različitim diskontnim stopama za obje zemlje, navedeni su u Poglavlju 8.

1.8 Napredak i najnoviji razvoj događaja od posljednje revizije

U poglavlju je naveden pregled ostvarenog napretka i novonastalih okolnosti u odnosu na prethodnu reviziju Programa razgradnje NE Krško i Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško. Najvažnije razlike su u odnosu na analizirane scenarije razgradnje, revizije i optimizacije podjele i preuzimanja

NSRAO-a nastalog do kraja 2023. godine, analizu RD&D programa za DGO i nekoliko koncepata odlaganja ING-a i VRAO-a.

Scenariji razgradnje

Treća revizija Programa razgradnje NE Krško donosi plan razgradnje temeljen na strategiji brze razgradnje – trenutno rastavljanje (*immediate dismantling*) nakon konačne obustave rada reaktora 2043. godine. Ova revizija je sadržavala 2 scenarija za razgradnju – osnovni scenarij i dodatni scenarij. Osnovni scenarij koji je pretpostavljao rad suhog skladišta istrošenog goriva (SFDS) do 2103. godine, dok dodatni scenarij pretpostavljao rad SFDS do 2075. godine.

Četvrta revizija Programa razgradnje NE Krško nadovezuje se na 3. reviziju doradom i proširenjem scenarija. Uvodi četiri scenarija: dva osnovna scenarija (BC 0 i 1) i dva dodatna scenarija (SC A i B), koji se razlikuju u pogledu trajanja rada SFDS-a. Oba osnovna scenarija pretpostavljaju da će NE Krško raditi do 2043. godine, dok dodatni scenariji istražuju mogućnost produljenja rada za dodatnih 20 godina. Ključna razlika u osnovnom scenariju 1 je potencijalno uklanjanje starih parogeneratora (SG) između 2026. i 2027. godine, na temelju postojeće ponude za njihov prijevoz u Sjedinjene Američke Države. Nasuprot tome, osnovni scenarij 0 i dodatni scenariji uključuju uklanjanje starih parogeneratora nakon konačne obustave rada tijekom pripremnih radova za razgradnju. Nadalje, svi scenariji uključuju opciju nastavka rada zgrade za manipuliranje gorivom kao alternativu jedinici za izvlačenje goriva (RU).

Plan podjele i preuzimanja RAO-a

Preuzimanje operativnog NSRAO-a nastalog do kraja 2023. godine odgađa se za početak 2028. godine, sukladno odluci Međudržavnog povjerenstva [18].

U 3. reviziji predložena je opća podjela otpada kako bi se osiguralo da svaka država preuzme jednaku količinu NSRAO-a. Četvrta revizija predlaže optimizirani fazni pristup podjele i preuzimanja NSRAO-a proizvedenog do kraja 2023. godine, čime se osigurava da svaka zemlja dobije jednak udio mase, aktivnosti i volumena s razlikom manjom od 1 %. Uz uvjete koji reguliraju količine i aktivnosti NSRAO-a, razmotreni su i drugi rubni uvjeti, kao što je raspodjela i dostupnost paketa NSRAO-a u privremenom skladištu i ALARA načelo tijekom vađenja, rukovanja i utovara paketa NSRAO-a u IP2, N2d i druge spremnike, druge operativne aktivnosti koje se odvijaju u NEK-u te karakteristike i vrste spremnika za odlaganje. Međutim, kondicioniranje otpada u spremnicima za skladištenje i odlaganje (N2d ili RCC) na lokaciji NPP-a, kako je odobrilo Međudržavno povjerenstvo na 16. [55] i 17. sjednici [18], pokazalo se neizvedivim zbog tehničkih, regulatornih i prostornih ograničenja NEK-a [50]. Slijedom toga, Koordinacijski odbor je zatražio od ARAO-a, Fonda i NEK-a da pripreme revizije studije podjele i preuzimanja te predlože raspored preuzimanja, kao i da revidiraju Četvrtu reviziju sukladno novim dokumentima [51].

Više o kriterijima za optimiziranje podjele i preuzimanja operativnog NSRAO-a iz NE Krško piše u Poglavlju 5.

Koncepti zbrinjavanja ING-a i VRAO-a

U 3. reviziji Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško analiziran je koncept odlaganja temeljen na švedskom modelu KBS-3V. Predložena generička lokacija za zajedničko duboko geološko odlagalište (DGO) identificirana je kao formacija čvrstih stijena ili u Sloveniji ili u Hrvatskoj. U

usporedbi s 3. revizijom, trenutna revizija istražuje nekoliko dodatnih opcija za odlaganje ING-a i visokoradioaktivnog otpada (VRAO). Uz prethodno detaljno razrađen koncept KBS-3V, ispitan je i švicarski koncept odlaganja. Švicarski pristup uključuje aksijalno postavljanje spremnika unutar tunela i razmatra alternativnu vrstu matične stijene - glinu. Uz dva koncepta rudničkih odlagališta za odlaganje ING-a, ova Revizija kao alternativno rješenje također razmatra koncept odlaganja u duboke bušotine, što je posebno pogodno za zemlje s malim inventarima VRAO-a. Analiza se primarno usredotočila na razlike u troškovima izgradnje i odlaganja, kao i na tehnologiju na kojoj se temelji sam koncept.

RD&D program za DGO

Treća revizija nije razmatrala cjelovit program za ING i VRAO, jer nisu bile detaljno obuhvaćene sve istraživačko-razvojne aktivnosti. Četvrta revizija predlaže prvu verziju Programa istraživanja, razvoja i demonstracije (RD&D Program) zajedničkog odlaganja ING-a i VRAO-a u duboka geološka odlagališta u Republici Hrvatskoj ili Republici Sloveniji. RD&D Program navodi smjernice, razvoj kriterija odabira lokacije, prijedlog tehnologija i metodologija za provedbu, prijedlog odabira lokacije, vremenski okvir Programa, prijedlog predoperativnog nadzora, strategiju komunikacije i uključivanja dionika, te procjenu troškova.

Procjena troškova

U Trećoj reviziji Programa odlaganja detaljni troškovi izračunati su samo za osnovni scenarij za svaku zemlju.

Četvrta revizija razlikuje se u izračunu troškova razgradnje i zbrinjavanja za RAO-a i ING-a uvođenjem 3 scenarija: Osnovni scenarij (BC 0) i 2 dodatna scenarija (SC A i SC B), koji se razlikuju ovisno o operativnom razdoblju SFDS-a. U scenariju SC B, skladište će raditi do 2123. godine Uz uvođenje scenarija, troškovi su izračunati na temelju trenutnih cijena i stope inflacije.

Detaljni financijski izračuni i izračuni uplata provode se za BC 0 i SC B, što predstavlja scenarije niskih i visokih nominalnih troškova.

2 Uvod

2.1 Nuklearna elektrana Krško

Nuklearna elektrana Krško (NE Krško) nalazi se u Vrbini, općina Krško, u jugoistočnom dijelu Slovenije, blizu granice s Republikom Hrvatskom. NE Krško ima Westinghouseov lakovodni tlačni reaktor (PWR), s izvornom neto snagom od 632 MWe, koja je povećana na 696 MWe nakon zamjene parogeneratora 2000. godine (nazivna toplinska snaga iznosi 1.994 MWt).

Nuklearna elektrana Krško izgrađena je kao zajednički projekt Slovenije i Hrvatske. Elektrana je priključena na elektroenergetski sustav 2. listopada 1981. godine, a u komercijalni rad puštena je 1. siječnja 1983. NE Krško započela je rad s gorivnim ciklusom od 18 mjeseci 2004. godine.

Operator elektrane, Nuklearna elektrana Krško (NEK), u vlasništvu je (50:50) slovenske državne tvrtke GEN Energija i hrvatske državne tvrtke Hrvatska elektroprivreda (HEP). Električna energija koju proizvodi NE Krško jednako se dijeli između ove dvije zemlje.

Planirano konačno gašenje elektrane, koje je prvobitno predviđeno za 2023. godinu, produženo je do 2043. godine, pod uvjetom uspješnog završetka periodične sigurnosne provjere u budućoj reviziji 2033. godine. Produljenje radnog vijeka odobrili su vlasnici i slovensko regulatorno tijelo (SNSA) [1] 2012. godine, a podržala ga je i Međudržavna komisija (MDP), odlukom sa 10. sjednice, održane 20. srpnja 2015. godine ([2] zaključci br. 1.2 i 2.1). Nakon uspješnog završetka procjene utjecaja na okoliš, NEK je 13. siječnja 2023. godine dobio okolišnu suglasnost za produženje radnog vijeka postrojenja s 40 na 60 godina [3]. U 2023. godini završena je treća periodična sigurnosna provjera (PSR3), koju je potvrdilo slovensko regulatorno tijelo [4].

2.2 Zakonski okvir

2.2.1 Međudržavni ugovor

Ugovor između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (dalje: Međudržavni ugovor, MU) sklopljen je 19. prosinca 2001. godine, ratificiran s obje strane 2002. i 2003. godine, a na snazi je od 11. ožujka 2003. godine [5]. MU je dio pravne stečevine Europske unije.

Međudržavni ugovor, između ostalog, navodi da su zbrinjavanje radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) zajednička odgovornost ugovornih strana, koje moraju osigurati učinkovito zajedničko rješenje za zbrinjavanje RAO-a i ING-a s ekonomskog i okolišnog aspekta. Zbrinjavanje RAO-a i ING-a nastalog tijekom rada Nuklearne elektrane (NE) Krško, kao i tijekom razgradnje postrojenja, provodit će se u skladu s Programom odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško, koji će izraditi dvije stručne organizacije imenovane od strane ugovornih strana. Program odlaganja RAO-a i ING-a, između ostalog, treba uključivati prijedlog moguće podjele i preuzimanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnoga goriva s kriterijima za prihvaćanje otpada (WAC) te procjenu potrebnih financijskih sredstava i vremenik za provođenje zbrinjavanja RAO-a i ING-a.

Program razgradnje (PR) NE Krško potvrđuje Međudržavno povjerenstvo (MDP), kojeg čine ugovorne strane radi praćenja provedbe Međudržavnog ugovora (MU) i obavljanja drugih poslova u

skladu s MU-om, kao i Vlada Republike Slovenije i Vlada Republike Hrvatske. Obje strane imaju jednak broj članova MDP-a.

Međudržavni ugovor također zahtijeva da se razgradnja NE Krško provodi u skladu s Programom razgradnje, koji obuhvaća zbrinjavanje sveg radioaktivnog otpada i drugog otpada nastalog tijekom razgradnje do njegovog odvoza s lokacije NE Krško, procjenu potrebnih financijskih sredstava te određivanje ciljanih rokova za provedbu PR-a. Program razgradnje potvrđuje MDP, a također ga odobrava slovensko regulatorno tijelo nadležno za nuklearnu sigurnost (URSJV).

Periodične revizije oba programa trebale bi se provoditi najmanje svakih pet godina, kako bi se razvili precizniji tehnički projekti prije stvarne provedbe aktivnosti razgradnje i odlaganja otpada.

U slučaju sporazuma o zajedničkoj izradi i provedbi PO-a i PR-a, njihovo financiranje osiguravaju ugovorne strane MU-a u jednakim dijelovima, pod uvjetom da ugovorne strane zajednički snose troškove zbrinjavanja RAO-a i ING-a. Ako takav sporazum ne bude postignut, ugovorne strane će pojedinačno snositi troškove svih nacionalnih aktivnosti zbrinjavanja RAO-a i ING-a.

Direktiva 2011/70/Euratom [6] priznaje specifičan slučaj zajedničke slovensko-hrvatske odgovornosti za radioaktivni otpad iz NE Krško, te izričito podržava primjenu Međudržavnog ugovora.

2.2.2 Nacionalne strategije i programi

Nacionalne politike za zbrinjavanje radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva definiraju se nacionalnim strateškim dokumentima i legislativom. Hrvatska Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenoga nuklearnog goriva odobrena je u Hrvatskom saboru 2014. [7] godine, dok je prvi Nacionalni program za provedbu strategije usvojen od strane Vlade Republike Hrvatske 2018. godine [8], s dopunama u 2022. godini [9]. Rezolucija o Nacionalnom programu zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnoga goriva 2023-2032 (ReNPROIG23-32) usvojena je u siječnju 2023. godine [10].

2.3 Prethodne revizije

2.3.1 Prva revizija (DDP Rev. 1)

U skladu s MU, MDP donijelo je odluku o objedinjavanju razgradnje i zbrinjavanja RAO-a i ING-a u jedinstveni dokument pod nazivom "Program razgradnje NE Krško i odlaganja ING-a i NSRAO-a[1]" (PRO Rev.1) [11]. Primarni cilj PRO Rev.1 bio je procjena troškova vezanih za razgradnju i odlaganje RAO-a i ING-a NE Krško. Ova inicijativa imala je za cilj uspostaviti hrvatski fond za financiranje razgradnje NE Krško i zbrinjavanja RAO-a i ING-a te prilagoditi godišnje anuitete za postojeći fond u Sloveniji. DDP Rev.1, dovršen u prvoj polovici 2004. godine, prošao je recenziju od strane Electricite de France (EDF). Nakon odobrenja MDP-a, Slovenska Vlada je obaviještena o dokumentu na 93. redovnoj sjednici, 7. listopada 2004. Ubrzo nakon toga, Hrvatska Vlada je podržala dokument, a PRO Rev.1 je potvrđen u Hrvatskom saboru 8. prosinca 2004. Procijenjeni troškovi razgradnje NE Krško te odlaganja RAO-a i ING-a iznosili su otprilike 350 milijuna eura (u cijenama iz 2002. godine).

[1] NSRAO – nisko i srednje radioaktivni otpad

Procijenjeno je 19 odgovarajućih jednakih anuiteta, koji su trebali biti uplaćeni od 2004. do 2022. godine u (na početku 2004. godine prazan) zajednički fond u iznosu od 28,5 milijuna eura godišnje.

2.3.2 Druga revizija (PRO Rev. 2)

Drugu reviziju proveo je Projektni tim (PT), sastavljen od hrvatskih i slovenskih stručnih organizacija (APO d.o.o. i ARAO), nakon potvrđivanja Projektnog zadatka za 2. reviziju tijekom 8. sastanka MDP-a [12]. Izrada Programa razgradnje NE Krško dodijeljena je NEK d.o.o. Razmatrano je pet scenarija razgradnje i zbrinjavanja, uzimajući u obzir razlike u nacionalnim strategijama i pretpostavljajući završetak rada NE Krško 2023. godine, odnosno 2043. godine, sa zajedničkim ili odvojenim nacionalnim zbrinjavanjem NSRAO-a. Ova revizija nije bila predmet usvajanja u skladu s Međudržavnim ugovorom.

2.3.3 Treća revizija (PRO Rev. 3)

S obzirom na novonastale okolnosti, MDP je, na 10. sjednici, donio odluku o obustavi svih aktivnosti vezanih uz PRO Rev.2. Osim toga, MDP je utvrdio da se u NE Krško treba uspostaviti suho skladište ING-a. Troškove izgradnje i rada suhog skladišta snosi NEK d.o.o. MDP je imenovao ARAO i Fond za izradu Projektnog zadatka (PZ) za Reviziju Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško (PO, Rev.3), kao i za Reviziju Programa razgradnje NE Krško (PR, Rev 3). Do odobrenja oba programa uplate u fondove ostaju nepromijenjene.

Tijekom održane 11. sjednice MDP-a dana 21. studenog 2017. [13], prihvaćeni su PZ-ovi za Treću reviziju. ARAO i Fond imenovani su za provedbu pripreme PO, Rev.3, a NEK d.o.o. za Treću reviziju Programa razgradnje NE Krško (PR, rev 3). MDP je također osnovalo Koordinacijski odbor za provedbu projekta (KO), koji se sastoji od četiri člana sa svake strane, s ciljem praćenja pripreme oba programa i pregovaranja o prijedlozima za potencijalno zajedničko rješenje odlagališta NSRAO-a. Tijekom sastanka, hrvatska je strana obavijestila slovensku da je ponuda o sudjelovanju u uspostavljanju odlagališta NSRAO-a u Vrbini, koju je na prethodnom sastanku MDP-a iznijela slovenska strana na temelju studije "Program ulaganja za odlagalište NSRAO-a na lokaciji Vrbina, rev. C" neprihvatljiva.

Suho skladište istrošenog goriva (engl. *Spent Fuel Dry Storage, SFDS*), s projektiranim vijekom trajanja od 100 godina, ima za cilj skladištenje istrošenog goriva i visokoradioaktivnog otpada (VRAO) koji nastaje tijekom rada i razgradnje NE Krško. Osnovni i dodatni scenariji razmatraju se u odnosu na razdoblje rada i razgradnje SFDS-a.

Integrirani plan također uključuje zbrinjavanje i odlaganje istrošenog goriva (ING), uključujući razvoj referentnog scenarija za odlagalište u prikladnoj čvrstoj stijeni. Opcije za odlaganje ING-a uključuju regionalna odlagališta i/ili regionalno postrojenje za pakiranje. Odlagalište je projektirano ne samo za VRAO iz NE Krško, već i za NSRAO iz razgradnje SFDS-a, kao i nadzemnih struktura dubokog geološkog odlagališta (DGO[2]).

Revizija se bavi ključnim pitanjima za upravljanje radioaktivnim otpadom prije odlaganja, uključujući preuzimanje i podjelu NSRAO-a između Hrvatske i Slovenije, kako je propisano MDP-om i PZ-om. Izazovi uključuju puni skladišni kapacitet u internom skladištu radioaktivnog otpada (SRSF), koji

[2] DGO – duboko geološko odlagalište ili DGR - engleski *Deep Geological Repository*

zahtijeva rano pražnjenje i optimalnu strategiju za usklađivanje planirane podjele i preuzimanja. Predložena podjela NSRAO-a smatra se pravednom, ali se zbog dugoročne sigurnosti naglašava potreba za točnijom karakterizacijom uskladištenog otpada.

U popratnoj studiji navode se vrste otpada koje zahtijevaju dodatnu obradu zbog korozivnosti, higroskopnih svojstava i neodgovarajuće stabilizacije. Treća revizija pretpostavlja kapacitete za kondicioniranje (ali ne i obradu) na lokaciji NE Krško za dekomisijski otpad nakon 2043. godine. Različite perspektive između RH i RS u pogledu obrade i kondicioniranja operativnog NSRAO-a ukazuju na potrebu za kontinuiranom suradnjom.

Na 14. sjednici MDP-a održanoj 14. srpnja 2020. u Zagrebu [14] potvrđena je Treća revizija Programa razgradnje NE Krško i Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško [15]. Ukupni procijenjeni nominalni troškovi razgradnje i odlaganja procijenjeni su na 2.194,96 milijuna eura, od čega 1.030,55 milijuna eura za hrvatsku stranu, te 1.090,10 milijuna eura za slovensku stranu. Na istoj sjednici MDP-a predložena je interna stopa povrata (IRR) i anuiteti koji bi se plaćali u nacionalnim fondovima do prestanka rada NE Krško. S hrvatske strane, HEP godišnje doprinosi Hrvatskom Fondu s 9.760.000,00 € [16].

U Sloveniji, GEN energija je od 1. kolovoza 2020. uplaćivala doprinos od 4,80 EUR/MWh u Slovenski fond, u skladu s Odlukom Vlade Republike Slovenije br. 360-51/2020/5, a od 1. siječnja 2022. GEN energija je uplaćivala doprinos u iznosu od 12 EUR/MWh u Fond u skladu s Odlukom Vlade Republike Slovenije br. 306-106/2021/5.

2.4 Ciljevi i rubni uvjeti za četvrtu reviziju (PO, rev. 4)

2.4.1 Opći ciljevi

PZ [17] za Četvrtu reviziju PO-a navodi sljedeće općenite ciljeve revizije:

a) revidirati postojeći Program odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško, temeljen na strategijama odlaganja i radu NE Krško do 2043. (osnovni scenarij) i mogućnosti dodatnog produljenja životnog vijeka NE Krško do 2063. (dodatni scenarij), količine RAO-a i ING-a, doze i troškove za razgradnju procijenjene u Četvrtoj reviziji Programa razgradnje NE Krško i razmatranjem svih novih okolnosti koje su se dogodile od posljednje revizije.

b) Na temelju tehničkog i tehnološkog okvira revizije PO-a, nedavnog razvoja i napretka nacionalnih projekata zbrinjavanja radioaktivnog otpada u RS i RH i uzimajući u obzir rubne uvjete revizije, predložiti poboljšane scenarije zbrinjavanja RAO-a i ING-a.

c) Vodeći se razvijenim scenarijima iz točke b), troškove zbrinjavanja/odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško treba procijeniti u eurima (€) za 2023. godinu (nominalni trošak). Nominalni trošak zbrinjavanja / odlaganja za svaku zemlju zajedno s polovicom izračunatih troškova Programa razgradnje NE Krško također treba diskontirati za dogovoreni raspon diskontiranih vrijednosti, zasebno za svaku zemlju. Izračune treba temeljiti na stanju raspoloživih sredstava u RS i RH na dogovoreni datum.

2.4.2 Granični (rubni) uvjeti

A. Opći granični uvjeti

1. NE Krško će biti u pogonu do 2043. godine (osnovni scenarij) pod uvjetom da periodični sigurnosni pregled 2033. godine bude uspješno dovršen. Za dodatni scenarij za dodatno produljenje životnog vijeka NE do 2063. i rada SFDS-a razmatra se kako slijedi:
   - Osnovni scenarij: Rad NE Krško do 2043. godine i rad SFDS-a do 2103. godine
   - Dodatni scenarij A: Rad NE Krško do 2063. godine i rad SFDS-a do 2103. godine
   - Dodatni scenarij B: Rad NE Krško do 2063. godine i rad SFDS-a do 2123. godine
2. Ugovorne strane MU-a preuzet će svoj dio operativnog NSRAO-a proizvedenog do 2023. godine u razdoblju od 2023.-2025. kako je navedeno u ugovoru.
3. Provedbu Projekta suhog skladišta istrošenog goriva do 2043. godine financirat će NE Krško izravno iz cijene kWh.

Tijekom izrade 4. revizije izmijenjen je Opći granični uvjet br. 2 u skladu s odlukama sa 17. sjednice MDP-a (2.10.2023.) [18], a preuzimanje operativnog NSRAO-a nastalog do kraja 2023. godine pomiče se za početak 2028. godine.

B. Financijski granični uvjeti

- Svi nominalni troškovi u 2023. izraženi su u €.
- Svi troškovi su obračunati su s PDV-om i bez njega.
- Nominalni troškovi Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško uključuju troškove za:
  - podjelu, preuzimanje i prijevoz NSRAO-a,
  - zbrinjavanje ½ NSRAO-a u RH,
  - odlaganje ½ NSRAO-a u RS,
  - prijevoz, prepakiranje i odlaganje ING-a i VRAO-a,
  - rad suhog skladišta ING- i VRAO-a nakon kraja životnog vijeka NE Krško,
  - troškove transporta ING-a,
  - odlaganje RAO-a iz razgradnje suhog skladišta ING-a.
- Nominalni troškovi Programa razgradnje NE Krško uključuju troškove za:
  - sve aktivnosti razgradnje NE Krško,
  - aktivnosti obrade dekomisijkog RAO-a prije odlaganja,
  - sve aktivnosti zatvaranja i razgradnje suhog skladišta ING-a.
- Nominalni troškovi uključuju troškove naknada/poticaja lokalnim zajednicama prema lokalnim propisima koji moraju biti jasno odvojeni od ostalih troškova.
- Troškovi institucionalne kontrole lokacija nakon razgradnje i zatvaranja odlagališta bit će procijenjeni u skladu s nacionalnim propisima[3], međunarodnim iskustvom i preporukama.

[3] Troškovi dugoročne institucionalne kontrole i održavanja odlagališta procjenjuju se za obje zemlje, ali za Sloveniju nisu uključeni u izračun godišnjih uplata Javnom skladu NEK jer će u skladu sa ZVISJV-1 te troškove pokrivati državni proračun, a ne Javni sklad NEK.

- Za određivanje godišnjih iznosa koji se uplaćuju u nacionalne fondove, svaka ugovorna strana MU-a zasebno će izračunati specifične i ukupne diskontirane troškove razgradnje i zbrinjavanja RAO-a i ING-a, koristeći dogovorenu metodologiju diskontiranja i parametre diskontiranja.

C. Granični uvjeti za odlaganje/zbrinjavanje RAO-a NE Krško

- Razmatrat će se samo posebni scenariji odlaganja NSRAO-a, na temelju odluke MDP-a [19] i provedba nacionalnih strategija i programa zbrinjavanja RAO-a i ING-a.
- Podjela i preuzimanje NSRAO-a temeljit će se na konačnom "Planu podjele i preuzimanja", koji će se izraditi za operativni NSRAO proizveden do kraja 2023. godine ili međusobno dogovorenim aktivnostima zbrinjavanja između NE Krško (koji je u posjedu RAO-a) i obje organizacije za zbrinjavanje RAO (ARAO i Fond NEK), te prijedlozima podjele NSRAO-a koji će nastati do 2043. godine i tijekom razgradnje NE Krško.
- Razgradnja suhog skladišta ING-a planira se nakon zatvaranja nacionalnih odlagališta NSRAO-a. NSRAO koji nastaje tijekom rada suhog skladišta ING-a nakon zatvaranja nacionalnih odlagališta NSRAO-a, te tijekom razgradnje tog skladišta neće biti dio podjele. Tako nastali NSRAO zbrinjavat će se zajedno s ING-om i VRAO-om.

D. Granični uvjeti za zbrinjavanje VRAO-a i ING-a

- Suho skladište ING-a uspostavit će se na lokaciji NE Krško tijekom pripremnog razdoblja Četvrte revizije i koristit će se 60 godina nakon zatvaranja NE Krško (osnovni scenarij). Kao dodatni scenarij treba analizirati rad suhog skladišta 80 godina nakon zatvaranja NE Krško kako je definirano u "A. Općim graničnim uvjetima", članak 1. Nakon isteka životnog vijeka NE Krško, svi troškovi suhog skladištenja financirat će se iz državnih sredstava za razgradnju i zbrinjavanje RAO-a i ING-a.
- Zbrinjavanje VRAO-a i ING-a planirano je kao zajednički program RH i RS.
- Pretpostavlja se jedno odlagalište ING-a i VRAO-a na području RH ili RS za odlaganje VRAO-a i ING-a proizvedenog u NE Krško.
- Obratit će se izvoz VRAO-a i ING-a u multinacionalno odlagalište u trećoj zemlji.
- Opcija odlaganja u duboke bušotine (DBD[4]) će se analizirati kao opcija zbrinjavanja ING-a.

2.4.3 Stavke za isporuku

Stručne organizacije ARAO i Fond u suradnji s NE Krško dostavit će dokument pod nazivom Četvrta revizija Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško Međudržavnom povjerenstvu. Dokument će biti pripremljen na engleskom jeziku (izvornik) i zatim na kraju projekta preveden na hrvatski i slovenski jezik.

2.4.4 Organizacija projekta

Priprema dijelova Četvrte revizije provedena je u suradnji dviju stručnih organizacija, ARAO i Fonda. Proces izrade i pregleda poglavlja podijeljen je između ovih uglednih organizacija. Zajednički napori

[4] DBD – engleski: *Deep Borehole Disposal*

u postizanju ciljeva projekta odvijali su se tijekom zajedničkih sastanaka, bilo virtualnih ili uživo. Za svaki sastanak vođena je opsežna dokumentacija u obliku zapisnika, koje su potpisali svi sudionici. Ovim zapisnikom sadržani su precizni zaključci, u kojima su navedene konkretne aktivnosti koje su dodijeljene svakoj strani s određenim rokovima. U slučajevima kada su zadaće delegirane vanjskim stručnim organizacijama, ARAO i Fond su pažljivo pripremili, pregledali i odobrili detaljne specifikacije.

Projektni zadatak, zajedno sa svim relevantnim izvješćima koja detaljno opisuju različite faze pripreme Četvrte revizije i konačnog dokumenta, odobrio je NEK, čime je osigurana sveobuhvatna usklađenost i dogovor među svim dionicima.

MDP je imenovao Koordinacijski odbor za provedbu projekta (KO). KO je podržao aktivnosti nove revizije Programa odlaganja temeljem odobrenog PZ-a, donosio odluke o pripremi revizije i odobrio izmjene, pratio aktivnosti podjele i preuzimanja NSRAO-a. Stručne organizacije i KO redovito su izvještavali MDP o napretku projekta.

2.5 Scenariji zbrinjavanja RAO-a i ING-a razvijeni za PR, rev. 4

U 4. reviziji, procjene troškova daju se za osnovni scenarij (BC) u skladu sa sadašnjom politikom o operativnom periodu NE Krško (do 2043. godine). To obuhvaća ključne točke, definiranje početka provedbe aktivnosti programa odlaganja, pogonsku spremnost odlagališta NSRAO-a u Vrbini, skladišta na Čerkezovcu, a kasnije i budućeg odlagališta NSRAO-a u RH, dubokog geološkog odlagališta za VRAO i ING, kao i rad i razgradnju SFDS-a. Osim toga, projekcije troškova načinjene su za dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (ELSC), koji razmatra potencijalno produljenje operativnog perioda NE Krško do 2063. godine. Nadalje, ovaj scenarij obuhvaća produženi rad SFDS do 2123. godine.

NSRAO nastao radom i razgradnjom NE Krško se dijeli, preuzimaju ga obje strane, a zatim se zbrinjava i skladišti u nacionalno skladište, odnosno odlaže u nacionalno odlagalište. Na 17. sjednici [18], MDP je naložilo NE Krško da nastavi s provedbom svih aktivnosti i pokrene nove aktivnosti koje su potrebne i moguće za osiguranje dostatnih skladišnih kapaciteta za NSRAO, s ciljem stvaranja predispozicija za pomicanje početka preuzimanja NSRAO-a s 2023. godine na početak 2028. godine. NE Krško je provela niz radnji za osiguranje skladišnih kapaciteta u SRSF-u i drugim zgradama kao što su zgrade za upravljanje otpadom i dekontaminaciju (WMB i DB).

Podjela i preuzimanje operativnog i dekomisijskog NSRAO-a predloženo je u studiji „Analiza moguće podjele i preuzimanja operativnog i dekomisijskog radioaktivnog otpada iz NE Krško, revizija 2 (Enconet, listopada 2025) [23], baziranoj na originalnom prijedlogu Koordinacijskog odbora za fazni odvoz, koji je prihvaćen na 17. sjednici Međudržavnog povjerenstva [18] te na Preliminarnom planu razgradnje NE Krško, Rev. 7 (PDP Rev. 7) [20].

PDP Rev. 7 analizira dva osnovna scenarija (BS 0 i 1) i dva dodatna scenarija (SC A i B) za razgradnju NE Krško. Razlika između osnovnog scenarija 0 i 1 je u vremenskom rasporedu uklanjanja starih parogeneratora iz Zgrade za dekontaminaciju (DB), konkretno hoće li se ukloniti u vrijeme razgradnje (BC 0) ili ranije, tijekom 2026.-2027. (BC 1). U BC 0 planirano je uklanjanje starih parogeneratora nakon konačnog zaustavljanja rada postrojenja. Ova se aktivnost smatra dijelom pripremnih radova potrebnih za druge postupke razgradnje. Međutim, U BC 1 je predložen alternativni pristup. Ovaj

scenarij uključuje mogućnost ranijeg uklanjanja starih generatora pare, uz mogućnost njihovog prijevoza u talionicu tijekom razdoblja 2026.-2027. godine, na temelju preliminarne ponude. Dodatni scenariji A i B podrazumijevaju gašenje NE Krško nakon 80 godina rada, odnosno 2063. godine. Razlika između dodatnih scenarija A i B je u godini završetka rada SFDS-a i Jedinice za izvlačenje goriva (RU), tj. u 2103., odnosno 2123. godini. Planirano je da razgradnja SFDS-a i RU-a počne 2103. godine (osnovni scenarij 0 i 1, dodatni scenarij A), odnosno 2123. za dodatni scenarij B. Budući da se status "*brownfield*" (industrijska namjena lokacije) planira postići najkasnije 2058. za osnovne scenarije, odnosno 2078. za dodatne scenarije, odlagališta NSRAO-a u Sloveniji i Hrvatskoj već će biti zatvorena kada razgradnja SFDS-a započne. RAO nastao razgradnjom SFDS-a bit će odložen zajedno s ING-om u DGO (vidi poglavlje 4.3).

Scenariji troškova zbrinjavanja ING-a procijenjeni su za primjenu različitih tehnologija odlaganja. To uključuje ponovnu procjenu postojećeg scenarija (koncept KBS-3V u kristaliničnoj stijeni), razmatranje švicarskog koncepta odlaganja (odlaganje u aksijalnom tunelu u sedimentnoj stijeni) i odlaganje ING-a u dubokim bušotinama, dok će se VRAO i dugoživući NSRAO koji nastaju razgradnjom odlagati u DGO. Također se razmatra mogućnost multinacionalnog odlagališta.

Troškovi zbrinjavanja i konačnog odlaganja polovice NSRAO-a u Hrvatskoj i Sloveniji u skladu s nacionalnim programima procijenjeni su za scenarije BC i ELSC.

Dodatno, za scenarije BC i ELSC definiran je vremenski okvir i procjena troškova za provedbu zajedničkog RD&D programa za odlaganje ING-a i VRAO-a u dubokim geološkim formacijama u Hrvatskoj ili Sloveniji.

2.6 Osiguranje i kontrola kvalitete

ARAO i Fond implementirali su vlastite sustave kontrole kvalitete. Sukladno dogovoru stručnih organizacija, potporne studije, izrađene za ovaj dokument međusobno su revidirane. Dodatno, za potporne studije provedene su i vanjske recenzije. Nadalje, NE Krško je provela reviziju potpornih studija koje su se odnosile na podjelu i preuzimanje NSRAO-a te skladištenje i odlaganje ING-a. KO je također pregledao sve nacrte ovog dokumenta, uključujući potporne studije o podjeli i preuzimanju RAO-a i odlaganju VRAO-a i ING-a.

2.7 Stručni pregled

U srpnju 2024. godine stručne organizacije su u suradnji s NE Krško izradile zajedničku, potvrđenu radnu verziju dokumenta "Četvrta revizija Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško". Ovaj nacrt je, uz suglasnost KO-a, dostavljen na nezavisni stručni pregled Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju (IAEA). Trodnevna zajednička slovensko-hrvatska ekspertna pregledna misija IAEA-e organizirana je od 2. do 4. listopada 2024. godine.

Preporuke stručne skupine, iz završnog izvješća navedenog u [90] integrirani su u relevantne dijelove 4. revizije i uključeni su u Poglavlje 9.2 u svrhu razvoja budućih iteracija Programa odlaganja.

3 Inventar radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva

3.1 Inventar radioaktivnog otpada

Inventar radioaktivnog otpada NE Krško temelji se na podacima iz baze podataka NE Krško (NSRAO pohranjen do 21. prosinca 2023.) [21] i studija "Analiza moguće podjele i preuzimanja operativnog i dekomisijskog RAO-a iz NE Krško", Revizija 1 (Enconet d.o.o., siječanj 2024.) [22], "Analiza moguće podjele i preuzimanja operativnog i dekomisijskog RAO-a iz NE Krško", Revizija 2 (Enconet d.o.o., listopad 2025.) [23]. Osim prethodno navedenih izvora, inventar dekomisijskog RAO-a i ING-a temelji se na podacima iz PDP Rev. 7 [20] i Četvrte revizije Programa razgradnje NE Krško [24].

3.1.1 Inventar operativnog NSRAO-a

Operativni NSRAO nastao je tijekom rada, svakodnevnog održavanja i remonta NE Krško.

S obzirom na različite izvore i karakteristike radioaktivnog otpada u NE Krško postoji 6 grupa operativnog NSRAO-a[5]: 1) EC - koncentrati isparivača i muljevi iz spremnika, 2) SIR - istrošene ionske smole, 3) F(SF) - potrošeni filtri, 4) CPW - kompresibilni (stlačivi) otpad, 5) NCW - nestlačivi otpad i 6) SW – specijalni otpad. Grupe otpada s jednom ili više vrsta otpada[6] koje su pakirane u različite osnovne spremnike i nadpakete za otpad. Vrste otpada proizašle iz standardne prakse gospodarenja otpadom u NE Krško prikazane su u Tablica 3-1, a spremnici za otpad u Tablica 3-2.

Tablica 3-1 Grupe i pripadajuće vrste operativnog otpada uskladišteni u privremenom skladištu NE Krško

Grupa otpada		Vrsta (forma) otpada	
EC	Koncentrati iz isparivača i muljevi iz spremnika	**EB**	Čvrsti ostaci iz isparivača solidificirani u vermikulitno-cementnoj matrici
		EBC	Superkompaktirani ostaci iz isparivača (peleti)
		DC	Osušeni koncentrati (IDDS* produkti)
		DS	Osušeni muljevi (IDDS produkti)
SIR	Istrošene ionske smole	**SR**	Istrošene smole učvršćene u vermikulitno-cementnoj matrici
		BR	Osušene smole iz otpusta pare iz sekundarnog sustava pročišćavanja (IDDS produkti)
		PR	Osušene primarne smole (IDDS produkti)
SF(F)	Potrošeni filteri	**CF**	Filterske patrone u cementnoj matrici
CPW	Stlačivi (kompresibilni) otpad	**CWC**	Superkompaktirani stlačivi otpad (peleti)
		OC	Superkompaktirani drugi stlačivi otpad (peleti)
		CW	Kompaktirani otpad (prijelazna vrsta otpada – može se dodatno superkompaktirati)
NCW	Ne stlačivi otpad	**A**	Pepeo (proizvod spaljivanja)
		I	Ingoti (proizvod taljenja)
		O	Ostali čvrsti nestlačivi otpad (ostali otpad može biti namijenjen dodatnoj obradi ili kondicioniranju)
		HF	Kompaktirani ostaci filtera
SW	Specijalni otpad	**ACC**	Superkompaktirani ugljen (peleti)

***** IDDS – (engl. *In Drum Drying System*) sustav sušenja u bačvi.

[5] Grupa otpada (engl. *waste stream*) definira grupu otpada tijekom cijelog ciklusa, počevši od njegovog izvora, preko obrade i kondicioniranja, do konačnog odlaganja. Vrste otpada obično pretpostavljaju kategorije otpada s približno stalnim i nepromjenjivim radiološkim, kemijskim, fizikalnim, mehaničkim, toplinskim i biološkim svojstvima.

[6] Vrsta otpada (engl. *waste form*) definirana je kao fizički i kemijski oblik RAO-a nakon obrade i/ili kondicioniranja, što rezultira čvrstim proizvodom prije pakiranja (forma ili oblik otpada).

Tablica 3-2 Spremnici otpada korišteni za skladištenje operativnog NSRAO

Oznaka	Volumen/ Korisni volumen (l)	Materijal*	Debljina stijenke (mm)	Masa prazne bačve (kg)	Uporaba (vrsta otpada, kao u Tablica 3-1)
D1	208	CS	1	23	A, AC, HF, CW, O
D2	113	CS	1	10	A
D3	208/32**	CS	1	400	CF
D4	208/80**	CS	1	190	SR
D5	208/110**	CS	1	180	EB
D6	320	CS	1,4	37	CWC, EBC, OC
D7	208	CS	1,5	27	A, AC, HF, CW i O
H1	200	SS	1,5	65	BR, DC, DS
H2	200/150	SS	30	450	CF, PR
H3	200	CS	1,5	60	BR, DC
T1**	864	CS	2	117	ACC, CF, CWC, EB, EBC, OC, SR
T2**	869	CS	2	135	A, ACC, BR, CF, CWC, DC, DS, EBC, OC, PR

* CS – ugljični čelik, SS – nehrđajući čelik

** D3 – ima betonski štit (160 mm); D4 – ima sloj vermikulit cementa i betonski štit; D5 – ima sloj vermikulit cementa; T1 – poklopac je zavaren (stariji tip); T2 – poklopac je učvršćen vijcima (još se koristi).

Spremnici označeni kao D1, D2, D3, D4, D5, D7, H1, H2 i H3 su tzv. osnovni spremnici (bačve) za različite vrste otpada, a spremnici D6, T1 i T2 su plaštevi. Cjevasti spremnici (engl. *tube-type containers*, TTC) T1 i T2 mogu sadržavati otpreske nastale obradom ili 3 bačve manjih dimenzija (208 l) u kojima se nalazi otpad. D6 bačve sadrže otpreske. Otpresci su produkt superkompaktiranja manjih bačvi napunjenih otpadom. Spremnik D1 je nadpaket samo za vrstu otpada A, izvorno stavljen u D2 bačvu.

Paket otpada čini spremnik (bačva) u koji se stavlja odgovarajuća vrsta otpada. Drugim riječima, spremnik i vrsta otpada sastavni su dijelovi paketa otpada. Ove dvije komponente su osnovne barijere za migraciju radionuklida u skladu sa slovenskim pravilnikom o zbrinjavanju radioaktivnog otpada i istrošenog goriva koji definira paket otpada kao ambalažu s unutarnjim barijerama ili apsorpcijskim materijalom te radioaktivni otpad ili istrošeno gorivo. Ukupna količina operativnog NSRAO-a pohranjenog u SRFS-u, DB-u i WMB-u do 31. prosinca 2023. prikazana je u tablici (Tablica 3-3).

Tablica 3-3 Operativni NSRAO uskladišten u NE Krško do 31. prosinca 2023. [23]

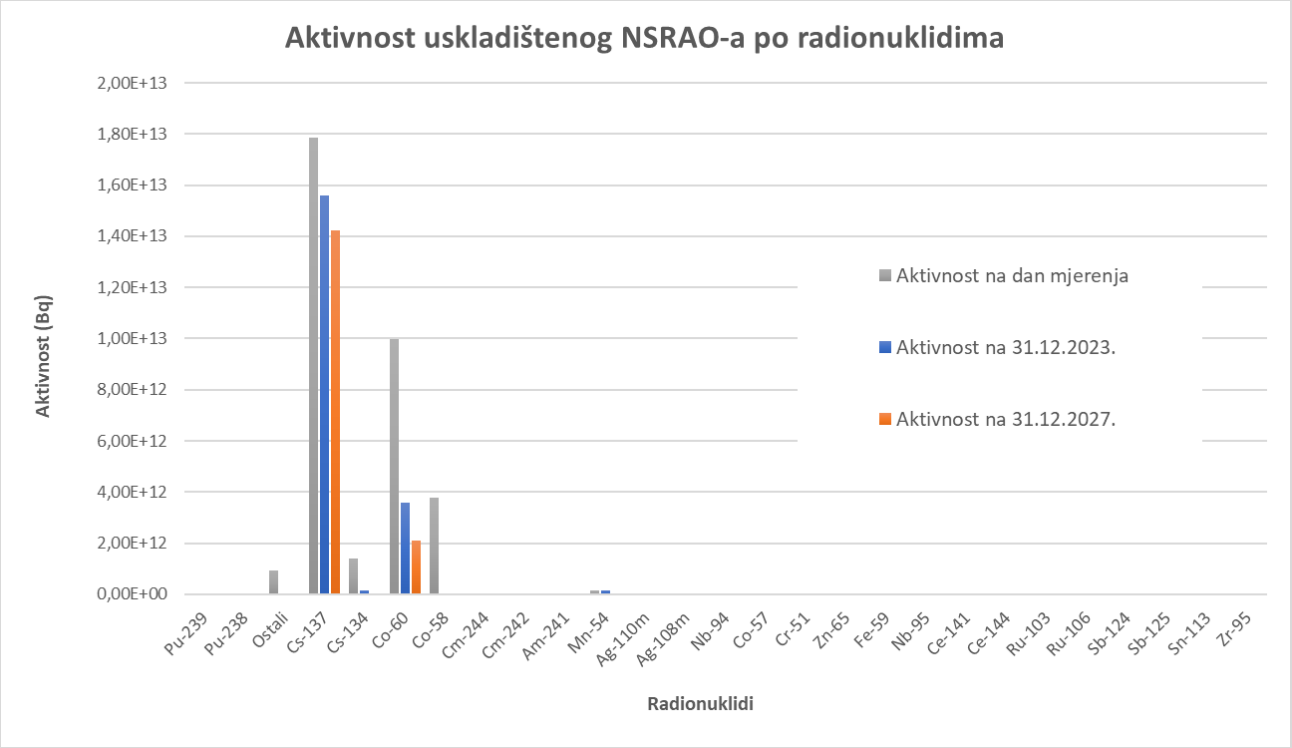
Grupa otpada	Vrsta otpada	Pakiranje otpada	Broj paketa*	Masa (t)	Volumen (m^3)	Ukupna aktivnost (Bq) **
EC	EBC	EBCD6	7	4,91	2,24	8,00E+08
	EBC	EBCT1	1.442	3.129,6	1.245,89	1,31E+12
	EBC	EBCT2	16	37,82	13,9	1,61E+10
	EB	EBD5	2	0,72	0,42	7,94E+08
	EB	EBD5T1	12	15,09	10,37	7,85E+09
	DC	DCH1T1	141	147,63	122,53	4,41E+11
	DS	DSH1T1	11	10,6	9,56	8,55E+10
	Ukupno	**Ukupno**	**1.631**	**3.346,37**	**1.404,91**	**1,86E+12**
SIR	SR	SRD4	689	329,4	143,31	1,61E+13
	SR	SRD4T1	106	110,82	91,58	2,13E+13

Grupa otpada	Vrsta otpada	Pakiranje otpada	Broj paketa*	Masa (t)	Volumen (m^3)	Ukupna aktivnost (Bq) **
	BR	BRH1	1	0,22	0,2	1,86E+09
	BR	BRH1T2	14	10,99	12,17	4,28E+10
	PR	PRH2T2	104	189,27	90,38	2,69E+13
	Ukupno	**Ukupno**	**914**	**640,7**	**337,64**	**6,43E+13**
SF	CF	CFD3T1	23	55,96	19,87	1,71E+11
	CF	CFD3T2	4	10,68	3,48	2,81E+10
	CF	CFD3	101	79,41	21,01	3,46E+11
	CF	CFH2	4	4,217	0,8	3,08E+11
	Ukupno	**Ukupno**	**132**	**150,27**	**45,16**	**8,53E+11**
CPW	CW	CWD1	289	30,61	60,11	1,52E+13
	CWC	CWCD6	515	202,38	164,8	1,30E+11
	CWC	CWCT1	207	195,94	178,85	1,07E+11
	CWC	CWCT2	37	33,32	32,15	1,07E+10
	OC	OCD6	95	43,13	30,4	1,70E+10
	OC	OCT1	15	14,18	12,96	1,05E+10
	OC	OCT2	135	181,38	117,31	3,37E+10
	O	OD1	41	5,4	8,53	2,48E+11
	A	AD2D1T2	13	13,91	11,3	1,48E+09
	A	AD2D1	71	21,28	14,77	1,12E+10
	Ukupno	**Ukupno**	**1.418**	**741,53**	**631,18**	**1,58E+13**
NCW	I	I	80	49,53	8,8	2,22E+08
	Ukupno	**Ukupno**	**80**	**49,53**	**8,8**	**2,22E+08**
SW	ACC	ACCT1	11	9,01	9,5	4,01E+06
	ACC	ACCT2	1	0,88	0,87	1,22E+06
	Ukupno	**Ukupno**	**12**	**9,89**	**10,37**	**5,23E+06**
	Sveukupno	**Sveukupno**	**4.187**	**4.938,29**	**2.438,06**	**8,28E+13**

* Broj kontejnera uključuje sve vrste osnovnih bačvi koje nisu stavljene u natpakete, kao i broj natpaketa ako su osnovne bačve prepakirane. Neki od vrsta otpada i paketa namijenjeni su za dodatnu obradu ili kondicioniranje, što može utjecati na ukupni broj spremnika, kao i na masu i volumen konačnih paketa otpada.

** Aktivnosti su preuzete iz baze inventara NSRAO [21] i nije uzet u obzir radioaktivni raspad. Za 5 TTC-a nema podataka o aktivnosti, a za Ingote nema podataka o alfa aktivnosti. Za te su pakete uzete prosječne vrijednosti za vrstu otpada.

Kada se uzme u obzir radioaktivni raspad, ukupna očekivana beta i gama aktivnost na 13. prosinca 2027. godine iznosi **$1{,}64 * 10^{13}$ Bq**, a alfa ukupna aktivnost $2{,}67 * 10^{10}$ Bq. Glavni radionuklidi koji doprinose ukupnoj aktivnosti uskladištenog operativnog NSRAO-a na 31. prosinac 2027. godine biti će Cs-137 (86,7 %) i Co-60 (12,9 %). Ukupne pojedinačne aktivnosti svih radionuklida iz baze podataka NEK-a (na dan mjerenja, izračunate na dan 31. prosinca 2023. te izračunate na dan 31. prosinca 2027. godine) prikazane su na sljedećem grafikonu (Slika 3-1). Doprinosi se utvrđuju na temelju baze podataka NEK-a [21]. Kategorija u bazi nazvana „ostali“ odnosi se na ostale nespomenute radionuklide koji doprinose ukupnoj aktivnosti uskladištenog NSRAO-a. S obzirom na to da su to radionuklidi s vremenom poluraspada kraćim od jedne godine, njihov će doprinos u trenutku preuzimanja otpada biti zanemariv.



Slika 3-1 Aktivnost pojedinih radionuklida u operativnom NSRAO-u (na dan mjerenja, te preračunati na 31. prosinca 2023. i na 31. prosinca 2027. godine)

NEK d.o.o. (operater NEK Krško) odgovoran je za sigurno gospodarenje radioaktivnim otpadom na lokaciji. Program gospodarenja radioaktivnim otpadom NEK-a obuhvaća prikupljanje, obradu, skladištenje i pakiranje radioaktivnog otpada u oblik prikladan za skladištenje (Tablica 3-1). Interni postupci i radna praksa provode se kako bi se spriječilo i minimiziralo nastajanje otpada te smanjile količine otpada uključujući odvajanje, ekstrakciju i koncentriranje, isparavanje, sušenje i solidificiranje tekućeg otpada, kompresiju i superkompakciju otpada koji se može kompaktirati, kao i dekontaminaciju krutih materijala i opreme. Osim toga, zapaljivi otpad je spaljen ili staljen u nekoliko kampanja izvan lokacije (vanjske usluge). Operativne aktivnosti predobrade i obrade NSRAO-a obavljaju se u Pomoćnoj zgradi (AB) i Zgradi za manipulaciju RAO-a (WMB). Paketi otpada se tijekom obrade, pakiranja, radioloških mjerenja i pripreme za transport pohranjuju u privremenom Skladištu krutog radioaktivnog otpada (SRSF), WMB-u, a od kraja 2023. godine i u Zgradi za dekontaminaciju (DB).

3.1.1.1 Projekcija proizvodnje paketa operativnog NSRAO-a do 2043. i 2063. godine

Na temelju predviđanja nastanka otpada (cca. 103 paketa otpada tipa T2 tijekom tri godine) [23, 25] izračunat je predviđeni broj paketa otpada koji će nastati u vremenskom razdoblju od 2024. do 2043. godine. U sljedećoj tablici (Tablica 3-4) prikazane su projekcije otpada za rad NE Krško do kraja 2043. u skladu s važećom okolišnom dozvolom i dozvolom za rad (osnovni scenarij, BC, kako je objašnjeno u Poglavlju 2.5). Projekcije u Tablica 3-5 odnose se na dodatne scenarije s produljenim životnim vijekom (ELSC, SC), koji procjenjuju količinu otpada koja će nastati ako NEK radi do 2063. godine. Prema predstavljenim projekcijama, količina otpadnih paketa koja se očekuje da će nastati u razdobljima 2024.–2043. i 2044.–2063. smatra se jednakom. Projekcije količina operativnog i

dekomisijkog RAO-a za BC i SC (tablice 3-4 do 3-8) zahtijevaju granični uvjeti za Četvrtu reviziju (kako je prikazano u Poglavlju 2.3.1) i izrađene su na temelju analize za procjenu utjecaja na okoliš za produljenje rada NE Krško i periodične sigurnosne provjere (PSR) NE Krško.

Tablica 3-4 Projekcija inventara operativnog NSRAO-a, 2024.-2043. (osnovni scenarij, prema Poglavlju 2.5)

Grupa otpada	Vrsta otpada	Pakiranje otpada (PO)	PO broj	Masa (t)	Volumen (m^3)	Ukupna aktivnost (Bq)*
EC	Osušeni koncentrati	DCH1T2	134	134,68	116.45	7.31E+11
	Osušeni muljevi	DSH1T2				
SIR	Istrošene ionske smole	PRH2T2	74	134,67	64.31	1.91E+13
F(SF)	Istrošeni filteri	CFH2T2	80	213,66	69.52	5.63E+11
CPW	Superkompaktirani stlačivi otpad	CWCT2	60	54,03	52.14	1.74E+10
	Superkompaktirani drugi stlačivi otpad	OCT2	140	188,78	121.66	3.50E+10
	Pepeo (produkt spaljivanja)	AD2D1T2	140	149,78	121.66	1.59E+10
NCW	Čvrsti nestlačivi (drugi) otpad	OD1T2	60	47,73	52.14	1.87E+11
		Ukupno	**688**	**922.65**	**597,87**	**2,07E+13**

* Procijenjena ukupna gama aktivnost na dan kada je mjereno zračenje paketa NSRAO-a, a paket je pohranjen u SRSF (aktivnost bez radioaktivnog raspada). Masa uključuje i masu T2 spremnika (bruto masa).

Tablica 3-5 Projekcija inventara operativnog NSRAO-a, 2024.-2063. (Dodatni scenarij, prema Poglavlju 2.5)

Grupa otpada	Vrsta otpada	Pakiranje otpada (PO)	PO broj	Masa (t)*	Volumen (m^3)	Ukupna aktivnost (Bq)**
EC	Osušeni koncentrati	DCH1T2	268	269,36	232.90	1.46E+12
	Osušeni muljevi	DSH1T2				
SIR	Istrošene ionske smole	PRH2T2	148	269,34	128.62	3,82E+13
F(SF)	Istrošeni filteri	CFH2T2	160	427,32	139.04	1,13E+12
CPW	Superkompaktirani stlačivi otpad	CWCT2	120	108,06	104.28	3,48E+10
	Superkompaktirani drugi stlačivi otpad	OCT2	280	376,18	243.32	7,00E+10
	Pepeo (produkt spaljivanja)	AD2D1T2	280	299,56	243.32	3,18E+10
NCW	Čvrsti nestlačivi (drugi) otpad	OD1T2	120	95,46	104.28	3,34E+11
		Total	**1.376**	**1.845.28**	**1.195,75**	**4,14E+13**

* Za dodatni scenarij, vrijednosti su izračunate jednostavnim udvostručenjem podataka osnovnog scenarija. Mase uključuju i masu T2 spremnika (bruto masa).

** Procijenjena ukupna gama aktivnost na dan kada je mjerena aktivnost paketa NSRAO-a, a paket je pohranjen u privremeno skladište (SRSF) - aktivnost bez radioaktivnog raspada.

Mase i aktivnosti navedene u tablici izračunate su na temelju prosječnih vrijednosti već postojećih paketa iste vrste [21] i trenutne prakse obrade i kondicioniranja radioaktivnog otpada u NE Krško kao i kampanja obrade izvan postrojenja. Točne karakteristike paketa otpada koji će nastati u budućnosti trenutno se ne mogu utvrditi. Treba napomenuti da će se izvesti opsežni radovi na modernizaciji i zamjeni opreme u pripremi za rad od 60 do 80 godina, kao i da su vrlo vjerojatne inovacije u tehnikama prerade RAO-a te da je projekcija navedena u prethodnoj tablici (Tablica 3-5) može smatrati samo indikativnom. Vrijednosti za dodatni scenarij izračunate su jednostavnim množenjem vrijednosti osnovnog scenarija s dva. Preciznije projekcije pripremit će se u sljedećoj reviziji, ukoliko bude

potrebno. U PDP Rev. 7 [20] pretpostavlja se godišnja prosječna proizvodnja otpada od 40 m³ do konačnog prestanka rada (ukupno 800 m³ za produljenje rada od 20 godina). Ove se projekcije odnose na otpad prije kondicioniranja u skladišne spremnike.

3.1.2 Inventar dekomisijskog radioaktivnog otpada

U PDP-u, rev. 7 [20] i Četvrtoj reviziji Programa razgradnje [24] analiziraju se razgradnja zgrada i objekata NE Krško nakon zatvaranja NE Krško, kao i razgradnja suhog skladišta istrošenog goriva (SFDS) i Jedinice za izvlačenje goriva (RU) za koje se planira da ostanu u pogonu 60 ili 80 godina nakon zatvaranja NE Krško. Analizirane su dvije varijante osnovnog scenarija s gašenjem NE Krško 2043. (BC 0 i BC 1) i dva dodatna scenarija s produljenim životnim vijekom (ELSC A i ELSC B) s produljenjem rada NE Krško do 2063. godine, kako je prethodno objašnjeno u Poglavlju 2.5.

Kompletan materijal koji će biti izdvojen tijekom razgradnje NE Krško i SFDS-a podijeljen je u pet kategorija kako je prikazano u tablicama u nastavku. Materijal od razgradnje nastat će nakon dekontaminacije, demontaže i obrade komponenti i konstrukcija koje se nalaze u kontroliranom području, području pod nadzorom i unutar ograđenog prostora NE Krško. Dekomisijski NSRAO će uključivati nekoliko vrsta krutog otpada kao što su: otpresci, metalni komadi, proizvodi spaljivanja, proizvodi taljenja, skrutnute otpadne vode, šuta, drobljeni beton itd. Dekomisijski NSRAO će se sastojati od različitih vrsta materijala kao što su: austenitni čelik, željezni čelik, građevinska šuta, kabeli s izolacijom, filteri, mineralna vuna itd. Podijeljen je u dvije kategorije: primarni i sekundarni NSRAO. Primarne mase NSRAO-a sastoje se od onečišćenog materijala iz kontroliranog i nadziranog područja. Materijal iz razgradnje za BC 0 i ELSC A i ELSC B uključuje masu starih parogeneratora. Sekundarne mase NSRAO-a sastoje se od odjeće, plastičnih folija, zračnih filtara, istrošenog alata, ostalih potrošnih materijala korištenih pri dekontaminaciji i demontaži, tekućina od dekontaminacije, betonskih šuta, itd.

Procjenjuje se da je ukupna količina primarnog i sekundarnog dekomisijskog RAO-a prije obrade 8.902,7 t (osnovni scenarij, BC 0), 8.234,2 t (BC 1) i 9.122,5 t (ELSC A i B). Predviđena obrada je superkompakcija, mehanička dekontaminacija, mokra dekontaminacija i topljenje. Nakon obrade ova će se masa smanjiti na 2.682,1 t u osnovnom scenariju 0 i scenarijima ELSC A i B, te 2.500,0 t u BC 1, s procijenjenom aktivnošću od 4,76 TBq (i 4,47 TBq za BC 1), kao što je prikazano u prethodnim tablicama (Tablica 3-6, Tablica 3-7 i Tablica 3-8).

Glavni radionuklidi koji doprinose ukupnoj aktivnosti dekomisijskog NSRAO-a procjenjuju se na temelju modela aktivacije, informacija NEK-a i generičkih vrijednosti iz literature. Dominantni gama/beta emiteri su Co-60 (60 %), Cs-137 (30 %), Cs-134 (9 %) i Sb-125 (1 %). Za pogonski specifičan radiološki sadržaj dekomisijskog RAO-a, projekt karakterizacije trebao bi uključivati izravna mjerenja otpada kao što su prethodno zamijenjeni parogeneratori i izmjenjivači topline ili teorijske izračune, kao što je neutronska aktivacija komponenti jezgre [20 i 24]. Projekt karakterizacije starih parogeneratora proveden je 2024. godine radi utvrđivanja površinske kontaminacije i aktivacije prikupljanjem uzoraka s primarne i sekundarne strane starih parogeneratora. Uzorci su analizirani u akreditiranom laboratoriju, a rezultati su predstavljeni u završnom izvješću [26]. Dominantni doprinos utvrđene aktivnosti imaju Co-60, Ni-63 i Fe-55 (čiji doprinos iznosi od 94 do 100 % ukupne aktivnosti).

Tablica 3-6 Materijalna bilanca razgradnje NE Krško za Osnovni scenarij 0

Kategorija materijala razgradnje - BC 0	Masa (t)	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)
VRAO za odlaganje (u odlagalište VRAO)	140,0	17,7	2,46E+16
NSRAO iz SFDS/RU (odlaganje u odlagalište VRAO, 2104)	549,5	70,0	9,75E+11
NSRAO za odlaganje (u odlagalište NSRAO, 2058)	2.682,1	1.472,9	4,76E+12
Materijal za otpuštanje iz radiološkog nadzora (za odlaganje / recikliranje)	19.121,2	16.454,1	N/A
Konvencionalni otpad za odlaganje / recikliranje	448.661,6	343.511,0	N/A

Tablica 3-7 Materijalna bilanca razgradnje NE Krško za Osnovni scenarij 1

Kategorija materijala razgradnje - BC 1	Masa (t)	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)
VRAO za odlaganje (u odlagalište VRAO)	140,0	17,7	2,46E+16
NSRAO iz SFDS/RU (odlaganje u odlagalište VRAO, 2104)	549,5	70,0	9,75E+11
NSRAO za odlaganje (u odlagalište NSRAO, 2058)	2.500,0	1.455,6	4,47E+12
Materijal za otpuštanje iz radiološkog nadzora (za odlaganje / recikliranje)	18.414,5	15.235,6	N/A
Konvencionalni otpad za odlaganje / recikliranje	448.661,6	343.511,0	N/A

Tablica 3-8 Materijalna bilanca razgradnje NE Krško za Dodatne scenarije A & B

Kategorija materijala razgradnje - ELSC A & B	Masa (t)	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)
VRAO za odlaganje (u odlagalište VRAO)	140,0	17,7	2,46E+16
NSRAO iz SFDS/RU (odlaganje u odlagalište VRAO 2104/2124)	769,3	98,0	1,37E+12
NSRAO za odlaganje (u odlagalište NSRAO, 2078)	2.682,1	1.472,9	4,76E+12
Materijal za otpuštanje iz radiološkog nadzora (za odlaganje / recikliranje)	19.121,2	16.454,1	N/A
Konvencionalni otpad za odlaganje / recikliranje	461.881,6	360.697,0	N/A

SFDS i Jedinica za izvlačenje goriva (RU) ostat će u pogonu nakon demontaže svih ostalih zgrada i sustava NE Krško. Tijekom rada SFDS-a i RU-a neće nastati značajne količine otpada (vrijedi za sve scenarije). Međutim, određene će količine NSRAO-a nastati tijekom razgradnje SFDS-a i RU-a. Ukupna očekivana masa za BC 0 i 1 je 549,5 t, a za ELSC A i B 769,3 t, dok se ukupna aktivnost procjenjuje na 0,975 TBq odnosno 1,37 TBq (Tablica 3-9). Ukupni volumen za odlaganje je približno 650 m^3 (900 m^3) i može se pakirati u 56 (78) N2d ili 124 (172) RCC spremnika za odlaganje [20 i 24].

NSRAO nastao tijekom održavanja i razgradnje SFDS/RU biti će odložen u duboko geološko odlagalište (DGO) zajedno s VRAO-om i dugoživućim NSRAO-om. Prema trenutnim planovima, odlagališta NSRAO-a u Sloveniji i Hrvatskoj neće se ponovno otvarati zbog razgradnje SFDS-a. Razdoblje odlaganja je predviđeno za 2104.–2107. godine (BC 0, BC 1, ELSC A) ili 2124.–2127. godine (ELSC B).

Tablica 3-9 Operativni radioaktivni otpad i dekomisijski radioaktivni otpad SFDS-a/RU-a [20, 24]

Scenarij	NSRAO od rada i razgradnje SFDS-a i RU-a	Volumen otpada (m^3)	Masa (t)	Aktivnost (Bq)	Volumen za odlaganje (m^3)
Osnovni scenarij	Pogon 2058-2102 Razgradnja 2103-2107	70,0	549,5	9,75E+11	645,1
ELSC A	Pogon 2078-2102 Razgradnja 2103-2107	98,0	769,3	1,37€+12	903,2
ELSC B	Pogon 2078-2122 Razgradnja 2123-2127	98,0	769,3	1,37€+12	903,2

Dekomisijski VRAO, nastao razgradnjom primarnog kruga NE Krško (u razdobljima 2044.–2053. za BC odnosno 2064. –2073. za ELSC) čine aktivirane komponente: unutarnji dijelovi RPV-a, RPV i biološki štit. Ukupna pakirana masa VRAO-a je 140,0 t, a aktivnost se procjenjuje na $2{,}46\times10^{16}$ Bq (pet godina nakon gašenja reaktora) s Fe-55 i Co-60 kao dominantnim radionuklidima (iz odbojnih ploča, reaktorske jezgre, toplinskog štita, obloge reaktorske posude, izolacije i reaktorske posude), te Co-60 i Eu-142 iz biološkog štita. Nuklidi s nešto manjim doprinosom ukupnoj aktivnosti VRAO-a su H-3, C-14, Mn-54, Ni-59 i Ni-63 [24]. U svim scenarijima, dekomisijski VRAO bit će pakiran u 7 Holtec HI-SAFE bačvi, od kojih će svaka sadržavati spremnik za otpad (NFWC[7]) kapaciteta 20.078 kg [27]. Ukupna količina dekomisijskog VRAO-a je 237,0 m^3 (Tablica 3-10). VRAO će biti pohranjen u SFDS postrojenju dok duboko geološko skladište ne bude dostupno (vidi Poglavlje 4.1).

Tablica 3-10 Dekomisijski VRAO-a /SRAO-a NE Krško [24, 27]

Tip radioaktivnog otpada (vrijeme generiranja otpada)	Volumen otpada (m^3)	Masa (t)	Aktivnost (Bq)	Volumen za odlaganje (m^3)
Dekomisijski VRAO (unutarnji dijelovi reaktorske posude) (BC 2044.-2053.; ELSC 2064.-2073.)	17,7	140,0	2,46E+16	237,0 (7 Holtec HI-SAFE spremnika)

Procjena troškova svih aktivnosti razgradnje zgrada i sustava NE Krško navedena je u PDP-u, rev. 7 [20] i u "4. reviziji Programa razgradnje NE Krško" [24].

3.1.3 Cjelokupni inventar operativnog i dekomisijskog RAO-a

Ukupne količine analiziranog uskladištenog inventara NSRAO-a i procijenjene buduće količine NSRAO-a nastale radom, održavanjem i razgradnjom NE Krško kao i razgradnjom SFDS-a i RU-a prikazane su u nastavku (Tablica 3-11 za osnovni scenarij i Tablica 3-12 za dodatne scenarije, vidi poglavlje 2.5).

[7] NFWC - *Non-Fuel Waste Canister*

Tablica 3-11 Projekcija ukupnih količina radioaktivnog otpada iz NE Krško (za rad NE Krško do 2043. godine)

Tip radioaktivnog otpada (vrijeme generiranja otpada)	Volumen (m^3)	Masa (t)	Aktivnost (Bq)*	Obrada prije odlaganja
Operativni NSRAO (1.1.1983. – 31.12.2023.)	2.438,06	4.938,29	8,28E+13	Podjela i preuzimanje kako je opisano u Poglavlju 5.
Operativni NSRAO * (1.1.2024. – **31.12.2043.)**	597,98	922,65	2,07E+13	Kondicioniranje u N2d ili RCC na lokaciji NE Krško ili u postrojenju za obradu u trećoj zemlji.
Dekomisijski NSRAO **(2044. – 2058.)**	1.472,90	2.682,10	4,76E+12	Podjela, obrada i kondicioniranje u N2d i RCC spremnike. Preuzimanje i prijevoz u NSRAO odlagališta u Sloveniji (RS) ili Hrvatskoj (RH) nakon 2050. godine
NSRAO iz razgradnje SFDS i RU **(2103.-2107.)**	70,00	549,50	9,75E+11	Nema planirane podjele. Kondicioniranje i prijevoz u zajedničko odlagalište za ING/VRAO (DGO).
Ukupno NSRAO	**4.578,83**	**9.092,54**	**1,09E+14**	
Dekomisijski VRAO **(2044-2053)**	17,7	140,0	2,46E+16	Nema planirane podjele. Kondicioniranje i prijevoz u zajedničko odlagalište za ING/VRAO (DGO).

* Izvor podataka za operativni i dekomisijski NSRAO je Druga revizija studije podjele i preuzimanja [23], PDP, rev 7 [20] i PR, rev 4. [24]. Radioaktivni raspad nije zet u obzir. RAO- koji će nastati razgradnjom suhog skladišta ING-a i jedinice za izvlačenje goriva (SFDS i RU) se neće dijeliti, već će se odložiti u duboko geološko odlagalište zajedno s ING-om i VRAO-om.

Tablica 3-12 Projekcija ukupnih količina radioaktivnog otpada iz NE Krško (za rad NE Krško do 2063. godine)

Tip radioaktivnog otpada (vrijeme generiranja otpada)	Volumen (m^3)	Masa (t)	Aktivnost (Bq)*	Obrada prije odlaganja
Operativni NSRAO (1.1.1983. – 31.12.2023.)	2.438,06	4.938,29	8,28E+13	Podjela i preuzimanje kako je opisano u Poglavlju 5.
Operativni NSRAO * (1.1.2024. – **31.12.2063.)**	1.195,74	1.834,30	4.14E+13	Kondicioniranje u N2d ili RCC na lokaciji NE Krško ili u postrojenju za obradu u trećoj zemlji.
Dekomisijski NSRAO **(2064. – 2078.)**	1.472,9	2.682,10	4,76E+12	Podjela, obrada i kondicioniranje u N2d i RCC spremnike. Preuzimanje i prijevoz u NSRAO odlagališta u Sloveniji (RS) ili Hrvatskoj (RH) nakon 2070. godine
NSRAO iz razgradnje SFDS i RU **(2123. – 2127.)**	98,0	769,30	1,37E+12	Nema planirane podjele. Kondicioniranje i prijevoz u zajedničko odlagalište za ING/VRAO (DGO).
Ukupno NSRAO	**5.176,70**	**10.015,19**	**1,30E+14**	
Dekomisijski VRAO **(2064. – 2073.)**	17,7	140,0	2,46E+16	Nema planirane podjele. Kondicioniranje i prijevoz u zajedničko odlagalište za ING/VRAO (DGO).

* Izvor podataka za operativni i dekomisijski NSRAO je Druga revizija studije podjele i preuzimanja [23], PDP, rev 7 [20] i PR, rev 4. [24]. Radioaktivni raspad nije zet u obzir. RAO- koji će nastati razgradnjom suhog skladišta ING i jedinice za izvlačenje goriva (SFDS i RU) se neće dijeliti, već će se odložiti u duboko geološko odlagalište zajedno s ING-om i VRAO-om.

3.1.4 Inventar RAO-a iz postrojenja za pakiranje i DGO-a

Osim radioaktivnog otpada koji će nastajati na lokaciji NE Krško, kao što je prikazano u prethodnim tablicama, treba spomenuti da će određene količine NSRAO-a nastajati tijekom rada i razgradnje postrojenja za pakiranje i DGO-a za odlaganje ING-a/VRAO-a (vidi Poglavlje 4.3.3). Procijenjena

količina operativnog i dekomisijskog otpada iz postrojenja za pakiranje je: 172 m^3 (BC) i 206 m^3 (ELSC), uz pretpostavku da je pakiran u 14 (BC) i 17 (ELSC) N2d spremnika [27]. Procjenjuje se da će tijekom rada DGO-a godišnje nastati jedna 200 l bačva operativnog radioaktivnog otpada, što je ukupno 10-20 bačvi tijekom operativnog razdoblja [27]. Tijekom razgradnje i zatvaranja DGO-a ne očekuje se radioaktivni otpad. Procijenjene količine prikazane su u nastavku (Tablica 3-13). Ovaj će otpad nastati u vrijeme kada se planirana nacionalna odlagališta NSRAO-a zatvore i stoga će se odlagati u DGO zajedno s ING-om kako je opisano u Poglavlju 4.

Tablica 3-13 Postrojenje za pakiranje i DGO – operativni i dekomisijski radioaktivni otpad [27]

Izvor radioaktivnog otpada	Tip radioaktivnog otpada	Volumen (m^3)		Planirano zbrinjavanje
		BC	ELSC	
Postrojenje za pakiranje	Operativni i dekomisijski NSRAO	172	206	Podjela nije planirana. Pakiranje u odlagališne spremnike i odlaganje u DGO.
Duboko geološko odlagalište (DGO)	Operativni NSRAO	2– 4 (10-20 bačvi)		Podjela nije planirana. Odlaganje u DGO u 200-l bačvama.

BC – Osnovni scenarij, ELSC – Scenarij produljenog životnog vijeka, DGO – Duboko geološko odlagalište

3.2 Inventar ING-a

Jezgra reaktora NE Krško sastoji se od 121 gorivnog elementa vanjskih dimenzija 19,718 cm x 19,178 cm x 405,803 cm. Svaki gorivni element sastoji se od 235 gorivnih štapova ispunjenih keramičkim tabletama uranovog dioksida i obloženih legurom cirkonija. Obogaćenje urana je u rasponu od nekoliko postotaka (između 2 i 5 %). Jedan gorivni element sadrži približno 406 kg urana.

U prva tri ciklusa, u NEK-u je korišteno standardno Westinghouseovo gorivo (STD) 16x16. U ciklusima 1-4 korištena je standardna zamjena goriva (tzv. "*out-in*" gospodarenje). Gospodarenje gorivom s malim propuštanjem uvedeno je u NEK-u u 5. ciklusu i koristilo se u narednim ciklusima. U 7. ciklusu, polovica zamijenjenog svježeg goriva bilo je standardno Westinghouseovo gorivo 16x16, a polovica, Westinghouseovo 16x16 gorivo sa značajkama izvedbe VANTAGE 5. U 8. gorivnom ciklusu su svi novo dodani gorivni elementi (40) bili tipa Westinghouse 16x16 sa značajkama izvedbe VANTAGE 5. Gorivni element 16x16 sa značajkama izvedbe VANTAGE 5 modifikacija je standardnog gorivnog elementa 16x16, s istim vanjskim dimenzijama, ali s dodatnim značajkama i povećanom sposobnošću izgaranja goriva.

Počevši od 15. ciklusa, NEK je uveo gorivne elemente "24 Westinghouse 16x16 STD" s nekim značajkama izvedbe goriva VANTAGE+. Počevši od 28. ciklusa, NEK je implementirao još jednu značajku VANTAGE+: zaštitni premaz od cirkonijevog dioksida na dnu ZIRLO obloge gorivnog štapa. U 29. ciklusu uvedeno je 56 gorivnih elemenata s modificiranim značajkama izvedbe VANTAGE+ (modificirane značajke izvedbe goriva VANTAGE+) [28].

2004. godine (nakon 20. ciklusa) NEK je uveo duži gorivni ciklus u kojem se gorivni elementi mijenjaju svakih 18 mjeseci. Na kraju svakog ciklusa, iz jezgre se ispušta prosječno 56 gorivnih elemenata u bazen za istrošeno nuklearno gorivo (SFP). Krajem 2023. u bazenu za ING i u suhom skladištu (SFDS) na lokaciji NE Krško bilo je pohranjeno 1.435 istrošenih gorivnih elemenata, u koje se ubrajaju i dva posebna spremnika s gorivnim šipkama iz rekonstitucije goriva. SFP također sadrži

istrošenu fisijsku ćeliju [29]. Tijekom prve kampanje izmještanja ING-a 2023. godine bazena u suho skladište prebačena su 592 istrošena gorivna elementa (i umetnuta u 16 posebnih spremnika, čime se omogućuje suho skladištenje uz pasivno odvođenje topline iz skladišten zgrade). Prije kraja 2023. velika većina svježih gorivnih elemenata, dopremljenih iz SAD-a, privremeno je uskladištena u bazenu (istrošenog goriva). Tijekom prve kampanje premještanja iz ING-a u 2023. godini, čak 592 istrošena goriva elementa premještena su iz bazena u suho skladište (smještena u 16 posebnih spremnika, što omogućuje suho skladištenje s pasivnim odvođenjem topline u namjenskoj zgradi). Prije kraja 2023. godine, velika većina svježih goriva elemenata, isporučenih iz SAD-a, privremeno je pohranjena u bazen za istrošeno gorivo.

Tablica 3-14 Inventar istrošenoga nuklearnog goriva u bazenu i suhom skladištu za ING u prosincu 2023. godine

Godina	Elementi istrošenoga nuklearnog goriva		
	Iz jezgre	U bazenu	U suhom skladištu
2009	56 (+1)	929	--
2010	56	985	--
2011	0	985	--
2012	56	1041	--
2013	56 (+1)	1098	--
2014	0	1098	--
2015	56	1154	--
2016	56	1210	--
2017	0 (+1)	1211	--
2018	56	1267	--
2019	56	1323	--
2020	0	1323	--
2021	56	1379	--
2022	56	1435	--
2023	0	843	592

NE Krško planira nastaviti s primjenom 18-mjesečnih ciklusa nuklearnog goriva pri čemu će se do 2043. godine (BC) proizvesti ukupno 2.282 gorivnih elemenata koji sadrže 926,5 t teškog metala – tHM. U ELSC-u se očekuje dodatnih 900 gorivnih elemenata s ukupnim brojem od 3.182 gorivnih elemenata proizvedenih do 2063. koji sadrže 1291,9 tHM (Tablica 3-15). U skladu s PZ-om za Četvrtu reviziju, scenarij ponovne obrade/recikliranja nije razmatran i stoga nije analiziran.

Tablica 3-15 Inventar istrošenoga nuklearnog goriva NE Krško

Razdoblje ozračivanja	Izvor podataka	Prosječna stopa izgaranja (GWd/tHM)	Gorivni element (broj)	Volumen (m^3)	Masa (tHM)
1981 - 1991	Uskladišteni inventar (SFP&SFDS)*	32	314	44,7	126,0
1992 - 2007		42	532	75,7	228,0
2008 - 2023		54	589	84,0	228,5
2024 - 2043	Procjena	54	847	120,0	344,0
Ukupno za Osnovni scenarij:			**2.282**	**324,4**	**926,5**
2044 - 2063	Procjena	54	900	127,4	365,4
Ukupno za ELSC:			**3.182**	**451,8**	**1.291,9**

* Od rujna 2023. godine, 592 istrošena gorivna elementa nalaze se u suhom skladištu (SFDS), smještena u šesnaest spremnika, dok je preostalih 843 istrošenih gorivnih elemenata pohranjeno u bazenu za ING NE Krško [30].

4 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a

4.1 Zbrinjavanje i skladištenje prije odlaganja

4.1.1 Uvod

U svrhu postizanja specifičnog cilja zbrinjavanja ING-a potrebno je osigurati sigurno rukovanje, čuvanje i skladištenje ING-a u svim fazama njegova postojanja. Nakon toga, treba primijeniti odgovarajuća trajna rješenja za odlaganje u odgovarajućem odlagalištu, koje je međunarodno priznato kao sigurno krajnje odredište za ING ili VRAO nastao preradom ING-a.

Međunarodno je priznato da je, bez obzira na odabranu opciju zbrinjavanja ING-a, potrebno neko vrijeme skladištiti istrošeno gorivo. ING se skladišti u mokrim skladištima (bazenima istrošeno gorivo) ili suhim skladištima u složenim skladišnim spremnicima (engleski: *cask*) ili skladišnim jedinicama. Gotovo svi nuklearni reaktori imaju bazene za skladištenje goriva, a dodatni skladišni kapacitet, bilo mokri ili suhi, se gradi iz operativnih i sigurnosnih razloga. Drugim riječima dodatno skladište može se izgraditi kako bi se povećao kapacitet skladišta istrošenog goriva nuklearnih elektrana i povećala sigurnost pohranjenog ING-a.

Za mnoge zemlje s malim programima za nuklearnu energiju mogućnost, strategija izravnog odlaganja ING-a ograničena je s nekoliko čimbenika. Identificiranje odgovarajućih geoloških i društvenih kriterija za smještaj odlagališta može biti izazovno. Osim toga, za razvoj, izgradnju i rad DGO-a potrebni su iznimno veliki ljudski resursi, a financijski zahtjevi mogu biti previsoki. Iz tih razloga mnoge zemlje s malim programima za nuklearnu energiju odlučuju se za produženo skladištenje ING-a i VRAO-a.

Suho skladištenje na lokaciji reaktora relevantno je i za NEK i usklađeno je s odobrenom Rezolucijom ReNPROIG23-32 u Sloveniji [10] i s odobrenim Nacionalnim programom provedbe Strategije zbrinjavanja RAO-a, II-a i ING-a u Republici Hrvatskoj [8, 9].

4.1.1.1 Odgovornost operatera postrojenja

Operater nuklearnog postrojenja nadležan je i odgovoran za gospodarenje ING-om na lokaciji pogona u radu. NEK je odgovoran za skladištenje ING-a iz pogona NEK-a na lokaciji reaktora [31].

Operater postrojenja NEK-a također je nositelj licence za sav ING na lokaciji. U skladu s ReNPROIG23-32, vlasnik ING-a dužan je ispitati mogućnost njegove ponovne prerade [10].

SFDS postrojenje značajno je sigurnosno unapređenje jer povećava nuklearnu sigurnost svojom pasivnom prirodom i smanjenjem količine ING-a u bazenu. SFDS je pasivan sustav koji ne zahtijeva aktivne sustave, strukture ili komponente za jamčenje sigurnosti dugoročnog skladištenja ING-a. U tom smislu, suho skladištenje povećava sigurnost "skladištenja ING-a u reaktoru" uz održavanje istih okolišnih i radioloških ograničenja. SFDS osigurava dodatni prostor za skladištenje ING-a u bazenu i povećava ukupnu sigurnost sustava za skladištenje ING-a.

O izgradnji suhog skladišta za ING raspravljao je MDP [5] na svojoj 10. sjednici u srpnju 2015. [2]. Povjerenstvo je odlučilo da je izgradnja SFDS-a na lokaciji reaktora, koja bi trebala biti dovršena prije prestanka rada NEK-a, dio zajedničkog rješenja zbrinjavanja istrošenog goriva. Ova odluka usklađena

je s točkom 7. članka 10. Bilateralnog ugovora. Rad SFDS-a nakon 2043. godine na lokaciji NE Krško predmet je dodatnih pregovora i mogućeg novog sporazuma između slovenske i hrvatske vlade [24] [32].

Izgradnja suhog skladišta istrošenog goriva na lokaciji NEK-a, s minimalnim životnim vijekom od 60 godina i mogućnošću produljenja rada, uključena je u slovensku Rezoluciju ReNPRROG16-25 kao aktivnost koju treba provesti NEK [33].

Osim što je SFDS-a predviđen u ReNPROIG23-32 kao sljedeći korak skladištenja, potreba za suhim skladištenjem na lokaciji reaktora prepoznata je i ranije u detaljnim sigurnosnim pregledima za provjeru otpornosti na stres i drugim sigurnosnim analizama provedenim od 2011. godine nadalje [34].

4.1.1.2 Opis suhog skladišta istrošenog nuklearnog goriva u NEK-u

Konačni prestanak rada NE Krško očekuje se 2043. godine za varijante osnovnog scenarija 0 i 1 (BC 0 i 1), odnosno 2063. godine za dodatne scenarije A i B (poglavlje 2.5). Prema osnovnim scenarijima i dodatnom scenariju A predviđa se da će SFDS i RU raditi do 2103. godine, a prema dodatnom scenariju B predviđa se rad do 2123. [24].

Novi skladišni sustav uključuje Zgradu suhog skladišta (DSB) unutar ograde NEK-a. SFDS se temelji na sustavu suhog skladištenja u HI-STORM FW spremnicima (HI-STORM) proizvođača Holtec lnternational. U ovom sustavu, ING se pohranjuje u MPC[8] i stavlja unutar natpaketa HI-STORM. HI-STORM FW natpaket zatim se transportira i skladišti na betonskoj podlozi. Na lokaciji NE Krško, HI-STORM natpaketi skladište se u DSB na betonskoj podlozi.

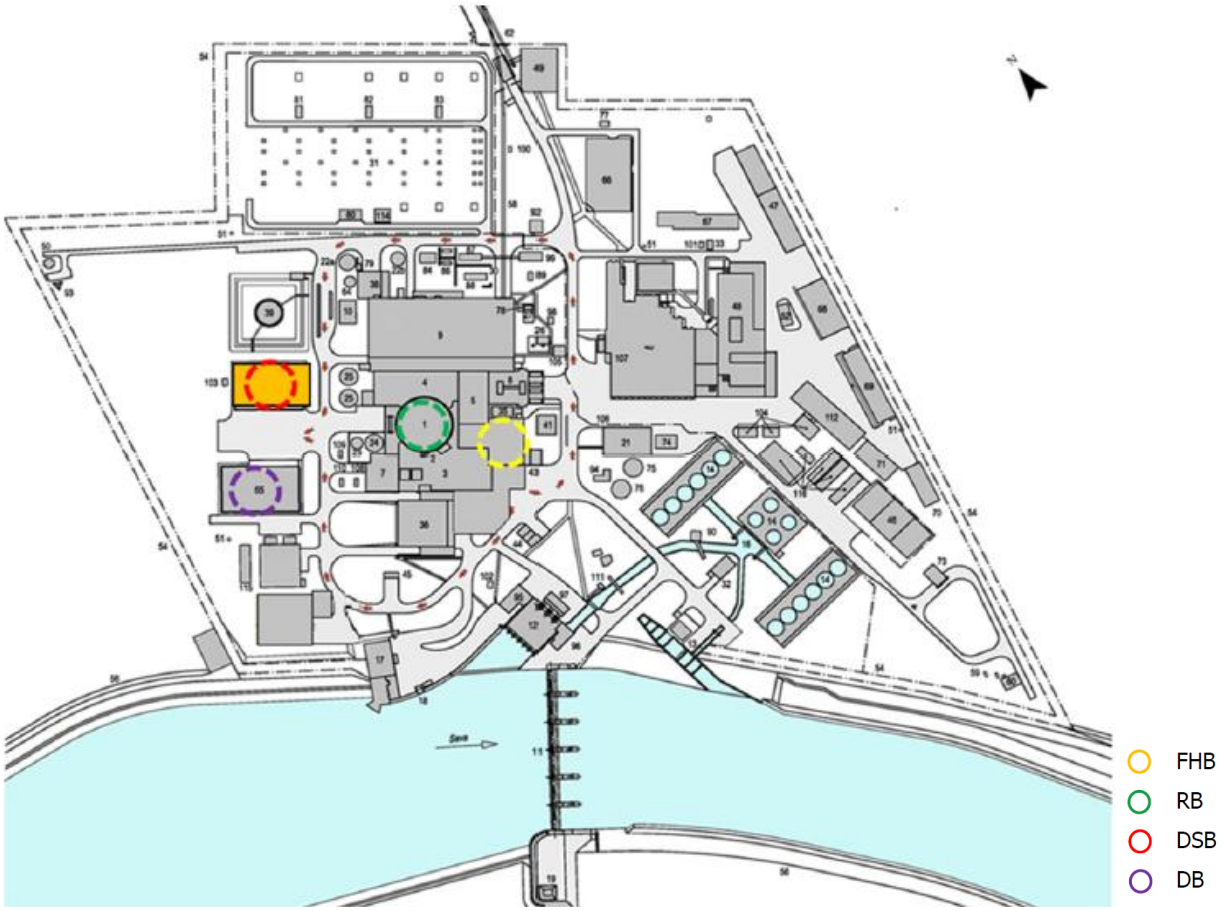
Sustav suhog skladištenja Holtec International HI-STORM zapravo je betonski zaštitni spremnik obložen čelikom s unutarnjom zatvorenom metalnom bačvom. Sustav HI-STORM FW predviđen je za pružanje fizičke zaštite istrošenog goriva, zaštite od zračenja te za pasivno uklanjanje topline i učinkovito hlađenje prirodnom konvekcijom tijekom privremenog skladištenja.

U NE Krško, na betonsku podlogu u DSB-u može se pohraniti do 70 natpaketa HI-STORM, a u svaki se može pohraniti do 37 gorivnih elemenata uz maksimalni kapacitet od 2.590 gorivnih elemenata. Trenutno su potrebna samo 62 spremnika za predviđeni inventar ING-a. Dodatni kapacitet razmatra se za potencijalno gospodarenje gorivom ili promjene u radu u budućnosti i za potencijalno privremeno skladištenje visoko radioaktivnog materijala.

Betonska podloga DSB-a je armirano-betonska ploča, približnih dimenzija 47 x 69 m i debljine od otprilike 1,75 m. Glavna je funkcija betonske podloge u DSB-u pohrana natpaketa HI-STORM u seizmički stabilnom i izoliranom području koje može podnijeti sva moguća strukturna i seizmička opterećenja povezana s dugoročnim skladištenjem. DSB je izgrađena od betona i metala. Donji dio postrojenja izrađen je od betona u svrhu zaštite od poplava. Zgrada se sastoji od skladišnog prostora, pristupnog prostora, tehničkog prostora te ulaznog i izlaznog prostora za kontrolirane radiološke svrhe. DSB je izveden da osigura ventilaciju i zaštitu od zračenja za napunjene HI-STORM natpakete tijekom dugoročnog skladištenja. Pristupni prostor je mjesto gdje se obavlja prihvat i priprema MPC-ova za skladištenje i gdje se pohranjuje oprema za prijenos. Postrojenje za prijenos spremnika (CTF) je u donjem dijelu pristupnog područja u DSB-u gdje se MPC-ovi prenose iz HI-TRAC-a u HI-STORM

[8] MPC – engleski: *Multi-Purpose Canister*

(ili obrnuto). U tehničkom prostoru DSB-a nalaze se kontrolne ploče i oprema za nadzor rada DSB-a. Od prostora za skladištenje spremnika, odvojen je zaštitnim betonskim zidom.



Slika 4-1 Lokacija Suhog skladišta (DSB) unutar lokacije Nuklearne elektrane Krško [35]

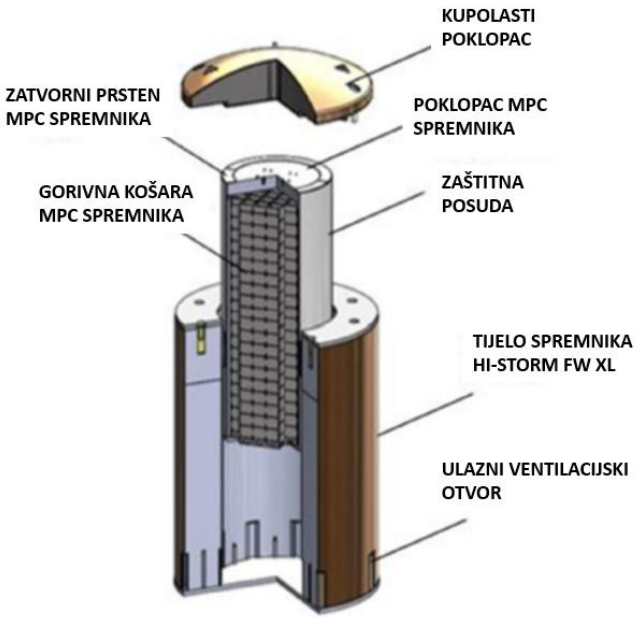


Slika 4-2 Suho skladište (DSB), izvor NEK



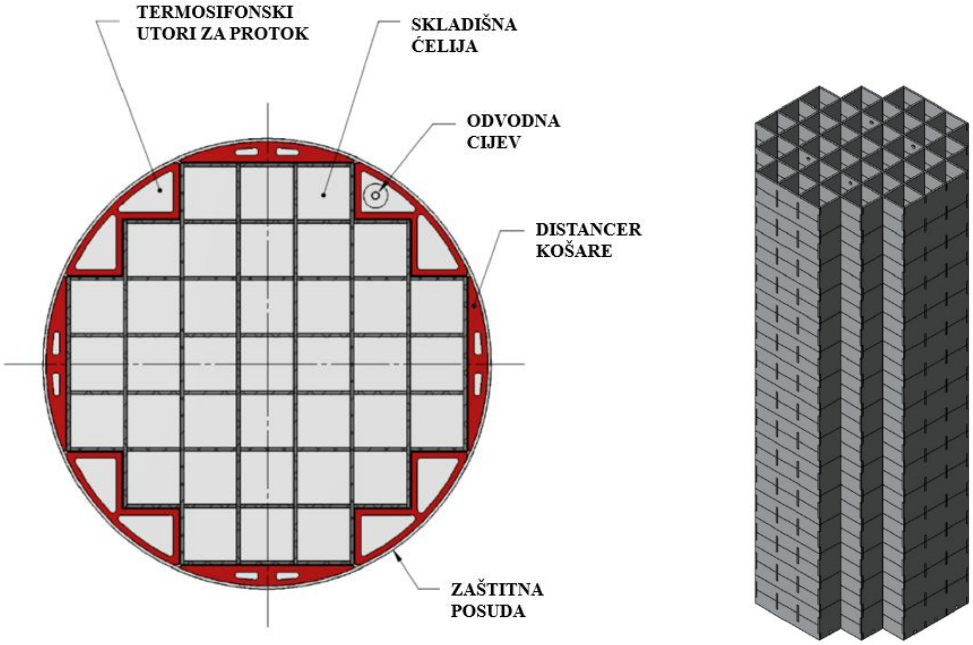
Slika 4-3 Suho skladište, izvor NEK

HI - STORM FW natpaket je glavna izolacijska i zaštitna komponenta suhog skladišnog sustava. Sastoji se od unutarnje i vanjske ovojnice povezane radijalnim rebrima kroz cijelu komponentu. Ovojnice su s gornje i donje strane povezane pločicama koje tvore šupljinu između dvaju slojeva. Ta se šupljina zatim ispuni betonom visoke gustoće, čime se stvara zaštitna ovojnica debljine približno 70 centimetara. Beton osigurava tlačnu čvrstoću i zaštitu od zračenja. Natpaket HI-STORM je opremljen s četiri ulazna otvora na dnu, čime se omogućuje strujanje zraka u središte, a zatim prema gore i oko vanjskog dijela MPC-a (unutarnji spremnik) prije izlaska kroz izlazne otvore na vrhu natpaketa. Ova izvedba osigurava pasivno odvođenje topline koju stvara gorivo.



Slika 4-4 HI-STORM s MPC (MPC-37) sustavom za suho skladištenje [36]

Višenamjenski spremnik (MPC) je sustav za zatvaranje pohranjenog ING-a. MPC je osušeni, zavareni i helijem napunjeni cilindrični spremnik s košarom u obliku saća, baznom pločom, poklopcem, prstenom za zatvaranje i ovojnicom spremnika. Gorivni elementi skladište se u košari za gorivo unutar MPC-a, koji može primiti do 37 elemenata za transport i skladištenje. Ovojnica MPC-a je debljine približno 12 mm i zavarena je na poklopac i baznu ploču. Dok MPC pruža određenu zaštitu, njegova glavna funkcija je održavati konfiguraciju istrošenog goriva i služiti kao granica zatvorenog prostora između pohranjenog istrošenog nuklearnog goriva i okoliša.



Slika 4-5 Višenamjenski spremnik za 37 PWR istrošenih gorivnih elemenata (MPC-37) u poprečnom presjeku (lijevo) i MPC-37 PWR košara za gorivo (37 skladišnih ćelija) u perspektivi (desno) [36]

4.1.2 Inventar

Jezgra reaktora NE Krško sastoji se od 121 gorivnog elementa vanjskih dimenzija 19,718 cm x 19,178 cm x 405,803 cm. Svaki gorivni element sastoji se od 235 gorivnih štapova ispunjenih keramičkim tabletama uranovog dioksida i obloženih legurom cirkonija.

U poglavlju 3.2 opisan je inventar NE Krško. Tablica 3-15 prikazuje trenutne količine ING-a uskladištenog u mokrom i suhom skladištu, kao i predviđene količine do kraja životnog vijeka NE Krško. Ukratko, za BC se očekuju 2.282 elementa FS-a, a za ELSC 3.182 elementa.

4.1.2.1 Kapacitet skladišta ING-a i očekivani inventar istrošenog goriva

Mokro skladište u NEK-u - Bazen ING-a ima 1.709 skladišnih mjesta za istrošeno gorivo. Od toga je 20 mjesta u novim regalima fizički nedostupno, a 56 mjesta u starim regalima su administrativno zabranjene ćelije. Budući da u bazenu u svakom trenutku mora biti osiguran prostor za cijelu jezgru reaktora, najmanje 121 mjesto uvijek mora biti rezervirano za hitni istovar jezgre. Preostalih 1.512 lokacija fizički je dostupno za skladištenje istrošenih gorivnih elemenata. Ovi elementi mogu se skladištiti u dvije od četiri, tri od četiri i četiri od četiri konfiguracije, ovisno o projektnim parametrima

kao što su početno obogaćivanje, izgaranje i toplina raspadanja. Rezultati testova opterećenja provedenih u 2011. godini doveli su do povećanja sigurnosnih rezervi i strožih kriterija za smještaj gorivnih elemenata u stalke za skladištenje.

4.1.2.2 Planirani inventar ING-a u SFP-u i SFDS-u te pogon SFDS-a

Planirani inventar u SFP-u i SFDS-u, s obzirom na planirane faze prijenosa za sve scenarije, prikazan je u Tablica 4-1. Tri planirane kampanje prijenosa uzimaju se u obzir za osnovni scenarij i četiri za dodatne scenarije. Za BC je prva faza kampanje provedena 2023.godine, druga je planirana za 2029. godinu, a početak završne kampanje predviđa se 5 godina nakon pražnjenja jezgre reaktora (2048.-2050.) [24].

Za BC, prije konačnog pražnjenja goriva iz jezgre reaktora 2043. godine, u SFDS-u će se nalaziti 1184 elementa ING-a, a u bazenu nešto manje od 1000 elemenata ING-a. Nakon konačnog pražnjenja jezgre, u bazenu će se nalaziti nešto manje od 1100 elemenata ING-a [24].

U osnovnom scenariju, proizvodnja topline 121 istrošenog gorivnog elementa iz posljednjeg pražnjenja jezgre, 140 sati nakon gašenja, je manja od 6,4 MW. Proizvodnja topline istrošenih gorivnih elemenata u jednom MPC-u neće prelaziti 42,5 kW. Prosječna proizvodnja topline jednog MPC-a tijekom kampanje punjenja bit će između 26 i 32 kW. Nakon 5 godina u SFDS-u, prosječna proizvodnja topline jednog MPC-a bit će ispod 26 kW.

Za oba dodatna scenarija, osi prethodne tri kampanje, planirana je četvrta i posljednja kampanja za razdoblje 2068.-2070. godine, tijekom koje će 900 elemenata ING-a biti premješteno u SFDS. U tom će slučaju očekivani inventar ING-a premašiti trenutni kapacitet postrojenja skladišta. Stoga će biti potrebno osigurati dodatni skladišni kapacitet ili ranije odlaganje ING-a kako bi se podržalo produljenje životnog vijeka NEK-a do 2063. [24].

Planirani i očekivani inventar ING-a u SFP-u i SFDS-u za osnovni scenarij i dodatne scenarije prikazan je u Tablica 4-1. Konačno gašenje reaktora NE Krško predviđeno je 2043. za BC i 2063. za ELSC (SC) scenarije A i B.

Tablica 4-1 Trenutni i očekivani inventar ING-a NE Krško za osnovni scenarij (BC) i dodatne scenarije (SC A&B)

	Godina	Ukupni broj ING elemenata		Br. ING u bazenu za ING (SFP)		Br. ING u suhom skladištu (SFDS)		Br. MPC-a u SFDS	
		BC	SC A&B	BC	SC A&B	BC	SC A&B	BC	SC A&B
Faza I	2023	1435	1435	843	843	592	592	16	16
Faza II	2029	1659	1659	475	475	1184	1184	32	32
Konačno gašenje reaktora	2043	2282	2282	1098	1098	1184	1184	32	32
5-godišnje hlađenje	2048	2282	2507	1098	1323	1184	1184	32	32
Faza III	2048-2050	2282	2507 (2597)	0	225 (315)	2282	2282	62	62
Konačno gašenje reaktora	2063	/	3182	/	900	2282	2282	62	62
5-godišnje hlađenje	2068	/	3182	/	900	2282	2282	62	62
Faza IV	2068-2070	/	3182	/	0	2282	3182	62	87

Nakon posljednje faze (faza III) kampanje punjenja, SFDS postrojenje neće primati nove istrošene gorivne elemente. Sav ING i VRAO iz razgradnje će se skladištiti i nadzirati u SFDS-u, a ne u drugim postrojenjima NE Krško. SFP NE Krško će se isprazniti i dekontaminirati, a bit će potrebno izgraditi alternativno postrojenje (suho ili mokro) koje će omogućiti eventualno ponovno otvaranje i pražnjenje (ili ponovno pakiranje) spremnika u slučaju potrebe za zamjenom MPC-a. U ovom trenutku ostale strukture, sustavi i komponente NE Krško su u *brownfield* stanju [24].

Kao opcija, skladište SFDS se također može koristiti za pohranjivanje (osim VRAO-a koji nastaje tijekom razgradnje) čvrstog i kondicioniranog SRAO-a i VRAO-a koji dolazi iz potencijalne prerade ING-a [10], [24].

RENPROIG23-32 zahtijeva od vlasnika licence za gorivo (NE Krško) da ispita mogućnost prerade ING-a [10]. Preostali VRAO iz prerade ING-a treba biti čvrst i pakiran u standardnom formatu za kasnije skladištenje u odgovarajućem suhom skladištu.

Aktivnosti vezane uz SFDS postrojenje u ovoj fazi rada sastoje se od nadzora i praćenja uskladištenog goriva te eventualno po potrebi održavanja.

Postoje tri različita scenarija za rad SFDS-a nakon 3. faze kampanje punjenja. U osnovnom scenariju, SFDS i dalje radi između 2049. i 2102. godine, u dodatnom scenariju A između 2049. i 2103. godine, a u dodatnom scenariju B između 2049. i 2123. godine [24].

Prije kraja ovih razdoblja (u 2103. odnosno 2123. godini), sav inventar iz SFDS-a bit će prebačen i transportiran u DGO. DGO je međunarodno priznat kao sigurno dugoročno rješenje za odlaganje VRAO-a i ING-a (ako se ne preradi u VRAO). U skladu s nacionalnim politikama zbrinjavanja VRAO-a i ING-a, sav inventar VRAO-a i ING-a mora se prenijeti u nacionalno ili multinacionalno duboko geološko odlagalište (Rezolucija RS, referenca na Strategiju br. 5, [33], [10]), [8, 9].

4.1.2.3 Inventar VRAO-a iz razgradnje NE Krško

Inventar VRAO-a iz razgradnje NE Krško opisan je u poglavlju 3.1.2 (Inventar dekomisijskog RAO-a), Tablica 3-10. Ukratko, tijekom razgradnje NEK-a nastat će oko 140 tona otpada od VRAO-a [24] za sve scenarije. VRAO će biti pakiran u 7 Holtec HI-SAFE spremnika i pohranjeni u SFDS, kao što je opisano u [24]. Procijenjena ukupna zapremina uskladištenih spremnika VRAO je 237 m^3.

4.1.3 Nadzor i praćenje u skladištu, održavanje

Osiguran je nadzor i praćenje suhog skladišnog sustava HI-STORM tijekom cijelog životnog vijeka, u što je uključena rutinska inspekcija vanjskog dijela natpaketa i periodična vizualna provjera jesu li ventilacijski putovi natpaketa za skladištenje prohodni i čisti. Osim toga, sustav HI-STORM FW izveden je za jednostavno vađenje MPC-a iz natpaketa. Ova značajka omogućuje detaljnije preglede i po potrebi popravke na natpaketu za skladištenje.

Izvedba sustava suhog skladištenja omogućuje odvođenje topline koristeći samo prirodnu konvekciju, bez potrebe za prisilnim hlađenjem zraka.

Tijekom faze nadzora i praćenja, zgrada DSB-a treba fizičku zaštitu, praćenje temperature i vlažnosti, praćenje razina zračenja u zgradi i rasvjetu.

4.1.4 Razgradnja SFDS-a

Rastavljanje i razgradnja SFDS postrojenja, RU-a i DSB-a u NEK-u provest će se nakon predaje cjelokupnog inventara ING-a i VRAO-a iz skladišta na konačno odlaganje. Aktivnosti rastavljanja i razgradnje u osnovnom scenariju i dodatnom scenariju A, neće započeti prije 2104. godine, a u dodatnom scenariju B prije 2124. godine [24].

U načelu, od postrojenja se očekuje da radi kao "čisto" postrojenje. Ne očekuje se da bilo koja komponenta, uključujući transportne spremnike i natpakete za skladištenje, imati površinsku kontaminaciju tijekom rada. Tijekom životnog vijeka postrojenja provodit će se periodični nadzori i provjere kako bi se identificirala moguća kontaminacija i provjerilo ostaje li postrojenje čisto. Očekuje se da će zaostala radioaktivna kontaminacija u postrojenju biti minimalna iz nekoliko razloga:

- MPC-ovi se pregledavaju i dekontaminiraju prije stavljanja u skladište kako bi se osiguralo da su vanjske površine čiste.
- MPC-ovi su zavareni i zatvoreni kako bi se spriječilo curenje.
- Očekuje se da će radiološka aktivacija HI-STORM natpaketa i materijala betonske podloge skladišta biti minimalna, zbog niskih neutrona i brzine doze.

MPC jedinice, od kojih svaka sadrži 37 elementa ING-a, pohranjene su unutar HI-STORM natpaketa. MPC jedinice bit će uklonjene iz HI-STORM-a i smještene u spremnike HI-STAR-a te odvezene s lokacije radi konačnog odlaganja. Nakon što se svi MPC-ovi otpreme s lokacije i počne razdoblje razgradnje, procjenom lokacije identificirat će se sva područja koje treba dekontaminirati. Potom će se provesti dekontaminacija svih sustava, struktura i komponenata SFDS-a i DSB-a.

Zgrada za suho skladištenje s betonskom podlogom

Niti jedna komponenta DSB-a neće se kontaminirati jer nema kontakta s vodom iz bazena za ING, a MPC je izveden da zadovolji kriterije nepropusnosti. Ne očekuje se da će se bilo koja komponenta DSB-a aktivirati zbog blizine utovarenog natpaketa. Sve komponente DSB-a moći će se razgraditi uobičajenim komercijalnim metodama.

Zbog izvedbe sustava HI-STORM, ne očekuje se zaostala kontaminacija na betonskoj podlozi (ispod HI-STORM-a) u DSB-u. Temeljna podloga i periferne pomoćne strukture neće zahtijevati dekontaminaciju niti posebno rukovanje nakon uklanjanja zadnjeg natpaketa. Ne očekuje se aktiviranje betona ili armaturne šipke iznad razine otpuštanja. Stoga se te strukture mogu rastaviti uobičajenim komercijalnim metodama ili po želji ponovno upotrijebiti.

Natpaket HI-STORM

Natpaket HI-STORM sastoji se od čelika i betona. Očekuje se da plašt neće imati unutarnju ili vanjsku radioaktivnu površinsku kontaminaciju. Jedini izvor aktivnosti je neutronska aktivacija. Očekuje se da će svaka neutronska aktivacija čelika i betona biti iznimno mala zbog niske doze neutrona, a također je svedena na minimum izvedbom unutarnje čelične ovojnice. Aktivirana unutarnja ovojnica (otprilike 1 kubični metar po jednom natpaketu) može se odvojiti od ostatka natpaketa tijekom rastavljanja. Očekuje se da unutarnja čelična ovojnica sustava HI-STORM-a biti NSRAO.

Očekuje se da će aktivacija betona u HI-STORM-u biti ispod granica za bezuvjetno slobodno otpuštanje iz radioaktivne kontrole (granice preuzete iz UV1 [37] i BSS [38]). Beton HI-STORM-a

ima razinu aktivacije koja je ispod granica za slobodno otpuštanje. Nakon uklanjanja unutarnje i vanjske ovojnice, beton se može razbiti i tretirati kao uobičajeni građevinski otpad.

Osim toga, HI-STORM se može ponovno upotrijebiti za pohranu drugog MPC-a ako to zahtijevaju promjene okolnosti ili drugačiji smjer nacionalne politike.

Višenamjenski spremnik (MPC)

Svi MPC-ovi iz SFDS pogona bit će prevezeni s lokacije u HI-STAR transportnim spremnicima. MPC napunjen istrošenim gorivom i zatvoren samostalni je "paket otpada"; prije transporta u konačno odlagalište nije potrebno daljnje rukovanje istrošenim gorivom pohranjenim u MPC. MPC je projektiran tako da bude prikladan kao paket otpada za trajno odlaganje u DGO. Poznato je da su materijali korišteni u konstrukciji MPC-a vrlo otporni na teške vanjske utjecaje. U MPC-u se ne koriste niti su dopušteni ugljični čelik, boje ili premazi.

Za potrebe transporta MPC-ovi s ING elementima će se u zgradi suhog skladišta NEK-a premještati iz HI-STORM-a u transportne spremnike HI-STAR. Gorivni elementi u MPC-ovima bit će kondicionirani za odlaganje ubacivanjem u spremnike za odlaganje. Proces prepakiranja, koji će se u osnovnim scenarijima provoditi u postrojenju za pakiranje na lokaciji dubokog odlagališta, opisan je u poglavlju 4.3.

Očekuje se približno 650 m^3 dugoživućeg NSRAO-a i VRAO-a od rada suhog skladišta ING-a, kampanja utovara i istovara, prijenosa MPC-ova na konačno odlaganje i razgradnje skladišta (Tablica 3-9) [24] [27]. U količinu otpada uključeni su i otpadni MPC-ovi u koje su ugrađeni gorivni elementi ING-a za suho skladištenje i iz kojih se gorivni elementi prebacuju u bakrene spremnike u postupku prepakiranja.

4.1.5 Troškovi skladištenja ING-a i VRAO-a

Financiranje izgradnje SFDS-a kao i rad SFDS-a tijekom rada NE Krško dio je pogonskih troškova NE Krško [2]. Dakle, svi troškovi vezani uz SFDS do 2043. (2063. za dodatne scenarije A i B) financiraju se isključivo kroz cijenu električne energije i nisu dati kao trošak u ovom poglavlju niti uključeni u ukupne troškove skladištenja u svrhu procjene troškova koji će se uplatiti u fondove za razgradnju i zbrinjavanje NEK-a za prikupljanje potrebnih sredstava za zbrinjavanje ING-a i RAO-a iz Krškog. Isto vrijedi i za moguću konstrukciju Jedinice za izvlačenje goriva [24].

Svi ostali troškovi SFDS-a koji se odnose na transport goriva od SFP-a do lokacije SFDS-a, rad SFDS-a nakon prestanka rada NE Krško i razgradnju SFDS-a temelje se na 7. Reviziji Preliminarnog plana razgradnje NE Krško [20] te uključeni i prezentirani u Četvrtoj reviziji Programa razgradnje NE Krško [24] i nisu navedeni kao troškovi u ovom poglavlju. Uključene i planirane aktivnosti za osnovni scenarij su:

- kupnja 30 dodatnih spremnika (Holtecov HI-STORM FW) za istrošeno gorivo (3. faza za 1.098 istrošenih gorivnih elemenata)
- pakiranje preostalih 1.098 elemenata ING-a (u 3. fazi) u Holtecove spremnike i prijevoz do SFDS-a
- rad SFDS-a (rukovodeće/operativno osoblje, zaštitarska služba i troškovi koji nisu povezani s osobljem)

- Razgradnja SFDS-a (demontaža opreme i komponenti, demontaža i pakiranje betonske zaštite spremnika Holtec HI-STORM i Holtec HI-SAFE, mjerenja za oslobađanje zgrade od nuklearnih ograničenja i konvencionalno rušenje)

S obzirom na to da se u dodatnim scenarijima predviđa produljenje rada NE Krško za još dvadeset godina, troškovi ING-a prilagođeni su kako slijedi:

- zbrinjavanje istrošenog goriva (dodatni scenariji)
- kupnja 25 dodatnih spremnika (Holtecov HI-STORM FW) za 900 FA-ova
- pakiranje preostalih 900 FA-ova u Holtecov spremnik i prijevoz do SFDS-a.

Troškovi tijekom redovnog rada SFDS-a uključuju troškove potrošnog materijala, fizičke zaštite, troškove električne energije i komunikacijskog priključka. Ovi troškovi dio su Četvrte revizije Programa razgradnje NE Krško [24] i za sve analizirane scenarije iznose 0,5 milijuna € godišnje . Svi troškovi navedeni u ovom poglavlju izraženi su u EUR iz 2023.

Troškovi razgradnje za dodatne scenarije uzimaju u obzir povećani SFDS i dodatne spremnike za međuskladištenje ING-a.

Prijevoz ING-a u MPC-ovima do DGO-a procjenjuje se i uključuje u referentni scenarij za geološko odlagalište [27]. Troškovi su stoga prikazani unutar poglavlja 4.3, a pokrivaju ih dva nacionalna fonda za razgradnju u Sloveniji i Hrvatskoj (Javni Sklad NEK i Fond).

Troškovi naknada isplaćenih lokalnim zajednicama

Trošak naknade isplaćene lokalnim zajednicama u skladu je sa slovenskim zakonodavstvom za skladištenje ING-a u SFDS-u. Za skladištenje radioaktivnog otpada ili ING-a u Sloveniji dužno je plaćati naknadu za ograničeno korištenje zemljišta. Isplata naknade je u skladu sa slovenskim zakonodavstvom i trenutno je regulirana Uredbom o kriterijima za određivanje naknade za ograničeno iskorištavanje područja i mjera intervencije u područjima nuklearnih postrojenja (Uredba UV8) [39]. Prema ZVISJV-1 [31] i Uredbi UV8 operater postrojenja dužan je platiti naknadu. Naknada se ne plaća dva puta ako se u jednom prostoru imatelja dozvole nalazi više postrojenja.

Tijekom razgradnje s bazenom ING-a, naknada za razdoblje 2044.-2050. iznosi 3.264.540 € godišnje, a tijekom razgradnje s SFDS-om za razdoblje 2051.-2058., iznosi 1.305.816 € godišnje [24].

Za sve scenarije i u svrhu procjene troškova rada SFDS-a kao samostalnog nuklearnog postrojenja, smatra se da se naknada isplaćuje godišnje u iznosu od 633.985 € od 2059. (2079.) do 2107. (2127.) kada će SFDS biti potpuno razgrađen i postignut status "*greenfield*" (neograničena namjena lokacije). Ukupne očekivane naknade koje plaćaju dva nacionalna fonda za razgradnju (Javni Sklad NEK i Fond) stoga su za osnovni scenarij i dodatni scenarij A procijenjene na 31,07 milijuna EUR i na 43,75 milijuna EUR za dodatni scenarij B.

U Tablica 4-2 su prikazani svi troškovi vezani uz rad skladišta VRAO-a i ING-a i njegovu razgradnju nakon konačnog gašenja NE Krško (2043. godine).

Tablica 4-2 Ukupni troškovi skladištenja ING-a i VRAO-a

Troškovi skladištenja VRAO i ING (u mil. EUR)	**Nominalni troškovi***	**PDV**	**Troškovi naknada** 2059. (2079.) – 2107. (2127.)	**Ukupno**
Osnovni scenarij 0	89.1	15.1	31.07	**135.27**
Dodatni scenarij A	73.0	13.5	31.07	**117.57**
Dodatni scenarij B	83.3	13.8	43.75	**140.85**

* Dio 4. Revizije Programa razgradnje NE Krško [24], koji navodi nominalne troškove za rad i razgradnju jedinice za preuzimanje (RU). Jedinica za izvlačenje goriva je nova građevina koja se gradi prije razgradnje NE Krško radi mogućeg preuzimanja istrošenoga goriva uskladištenog u SFDS-u, a financira se iz operativnih troškova NE Krško (kWh). Troškovi rada i razgradnje jedinice za izvlačenje goriva nisu uključeni u ovu tablicu.

4.2 RD&D Program

Razvoj programa istraživanja, razvoja i demonstracija (RD&D) i planova za zbrinjavanje ING-a i VRAO-a obvezni su u skladu s Direktivom Vijeća 2011/70/Euratom i hrvatskim i slovenskim nacionalnim propisima i strateškim dokumentima.

Prvi zajednički RD&D program sastavljen je u lipnju 2024.[40]. Program sadrži: pregled prethodnog istraživanja, razvoj kriterija odabira lokacije, prijedlog tehnologija i metodologija za provedbu Programa, prijedlog postupka odabira lokacije, vremenski okvir Programa, prijedlog predoperativnog nadzora, strategiju komunikacije i uključivanje dionika te procjenu upravljanja programom i troškova provedbe. U Programu je predloženo nekoliko ključnih zaključaka i preporuka:

- Uspostava jedne jedinstvene provedbene organizacije mogla bi se provesti nakon što se sazna konačna lokacija postrojenja [9].
- Izmjena vremenskog okvira osnovnog scenarija, čime bi se ranije započela provedba Programa i osiguralo dovoljno vremena za izmjene Programa, njegovo vođenje i provedbu.
- Neposredni početak aktivnosti na komunikaciji i uključivanju dionika, prije razdoblja službenog početka Programa, a sve do uspostave jedinstvene provedbene organizacije.
- Primjena Kriterija za odabir lokacija posebno razvijenih i prilagođenih hrvatsko-slovenskom programu.
- Intenzivno korištenje internetskog geografskog informacijskog sustava u svrhu provedbe i upravljanja Programom, kao i za angažman dionika.
- Implementacija specifičnih značajki prilagođenih zahtjevima jedinstvene situacije za provedbu jedinstvenog Programa u dvije zemlje.

Izrađen dokument daje prvu verziju RD&D Programa za zajedničko odlaganje ING-a i VRAO-a u DGO u Republici Hrvatskoj ili Republici Sloveniji, sa smjernicama, postupcima i troškovima za vođenje i provedbu Programa.

[9] Izvorni dokument RD&D Programa [40] predlaže uspostavu jedinstvene provedbene organizacije do 2033. godine. Međutim, na temelju preporuka recenzenata, Fond i ARAO odlučili su da će sve aktivnosti na projektu koordinirati projektni tim sa osobljem iz obje organizacije Agencije najkasnije dok se ne sazna konačna lokacija postrojenja.

4.2.1 Razvoj kriterija za odabir lokacije

Kriteriji za odabir lokacije mogu se primijeniti u različitim fazama razvoja Programa i stoga su podijeljeni u odgovarajuće korake:

1. Inicijalno istraživanje teritorija obiju država (RH i RS), koje će rezultirati identifikacijom "geološki" prikladnih regija (prvenstveno desk studija temeljena na prikupljenim postojećim podacima);
2. Sužavanje prikladnih regija na razinu prikladnih subregija;
3. Pregled prikladnih područja i stoga sužavanje podregija na prikladna područja;
4. Odabir potencijalnih lokacija unutar prikladnih područja (do deset ili više);
5. Odabir predloženih lokacija (jedna u RH i jedna u RS);
6. Odabir konačne (*host*) lokacije (nije dio ovog dokumenta).

Broj gore navedenih koraka može se mijenjati, tako da u procesu odabira može biti više ili manje od 6 koraka.

Ovdje prikazani kriteriji izvedeni su iz različitih kriterija koje predlaže IAEA, hrvatskih i slovenskih regulatornih dokumenata i kriterija odabira lokacije iz zemalja s naprednim programima. Predloženi su isključni i usporedni kriteriji. Ovo je nacrt verzije i ne predstavlja konačne kriterije odabira lokacije za RD&D Program u RH i RS, koji se mora razviti u budućnosti. Prijedlog RD&D Programa treba proći kroz nekoliko konzultacija i postupaka odobravanja i treba ga pravilno integrirati u oba nacionalna programa za zbrinjavanje RAO. Kriteriji prikazani u tablicama ispod (Tablice 4.3-4.5), uz "indikator", imaju dodijeljene "vrijednosti procjene": poželjne, uvjetno poželjne i nepoželjne (kao što je detaljno prikazano u izvornom dokumentu) [40].

Tablica 4-3 1. skupina kriterija: Geološki kriteriji: procesi, svojstva i hazardi.

1. SKUPINA KRITERIJA: GEOLOŠKI KRITERIJI: PROCESI, SVOJSTVA I HAZARDI	
SVOJSTVO	**INDIKATOR**
1.1. Utjecaj budućih geodinamičkih promjena	1.1.1. Klimatske promjene - glacijacija
	1.1.2. Erozija
	1.1.3. Buduća tektonika
	1.1.4. Neotektonika
	1.1.5. Aktivne rasjedne zone
	1.1.6. Pukotinski sustavi
	1.1.7. Seizmičnost
	1.1.8. Vulkanizam
	1.1.9. Geotermalni gradijent i termalni izvori
	1.1.10. Dijapirizam
1.2. Hidrogeološki parametri	1.2.1. Tok podzemne vode
	1.2.2. Karakteristična hidraulička vodljivost
	1.2.3. Brzina difuzije
	1.2.4. Promjene postojeće stijenske propusnosti
	1.2.5. Očuvanje slabe propusnosti stijene domaćina pod dugotrajnim promjenama od tektonskog naprezanja

1. SKUPINA KRITERIJA: GEOLOŠKI KRITERIJI: PROCESI, SVOJSTVA I HAZARDI	
SVOJSTVO	**INDIKATOR**
	1.2.6. Očuvanje slabe propusnosti pod kratkotrajnim dinamičkim naprezanjima
	1.2.7. Topivost stijene domaćina u vodi
	1.2.8. Inkluzije fosilnih fluida
	1.2.9. Topivost okolnih stijena u vodi
	1.2.10. Plastičnost stijena
	1.2.11. Redukcija sekundarne poroznosti zatvaranjem pukotina
	1.2.12. Tendencija formiranja puteva fluida
	1.2.13. Starost podzemne vode
	1.2.14. Zaštita vodonosnika
1.3. Hidrološki i meteorološki hazardi	1.3.1. Sigurnost od plavljenja (poplavna ravnica)
	1.3.2. Ostala poplavna područja
	1.3.3. Meteorološki hazardi
1.4. Jednostavnost karakterizacije stijene domaćina i krovine te istraživost prostornih uvjeta	1.4.1. Ujednačenost debljine stijene domaćina i stratigrafija
	1.4.2. Ujednačenost debljine krovine i stratigrafija
	1.4.3. Pouzdanost podataka iz jezgre i bušotine za stijenu domaćina
	1.4.4. Pouzdanost podataka iz jezgre i bušotine za krovinu
	1.4.5. Površinsko kartiranje
	1.4.6. Potpovršinsko kartiranje
	1.4.7. Površinski uvjeti
1.5. Geometrija stijene domaćina i njegove krovine	1.5.1. Veličina područja konačnog odlagališta (footprint at given location)
	1.5.2. Dubina stijene domaćina
	1.5.3. Bočno pružanje stijene domaćina
	1.5.4. Debljina stijene domaćina
	1.5.5. Kvaliteta stijene domaćina
	1.5.6. Debljina krovine
	1.5.7. Kvaliteta krovine
1.6. Geomehanička svojstva potpovršine	1.6.1. Geomehanička svojstva stijene domaćina
	1.6.2. Geomehanička svojstva krovine
	1.6.3. Potencijal za fleksibilan dizajn
	1.6.4. Smanjenje mehaničkih svojstava s obzirom na materijal ispune pukotina
1.7. Geomehanička svojstva materijala na lokaciji Inženjerska geologija, mehanika tla i stijena.	1.7.1. Mogućnost pojave klizišta, odrona i puzanja
	1.7.2. Nagib terena
	1.7.3. Geomehaničke karakteristike površinskog sloja
	1.7.4. Inženjerskogeološke karakteristike
	1.7.5. Potencijal pojave likvefakcije
1.8. Plinopropusnost	1.8.1. Plinopropusnost stijene domaćina
	1.8.2. Plinopropusnost krovine
	1.8.3. Dotok vode u odlagališni prostor
	1.9.1. Svojstvo sorpcije

1. SKUPINA KRITERIJA: GEOLOŠKI KRITERIJI: PROCESI, SVOJSTVA I HAZARDI	
SVOJSTVO	**INDIKATOR**
1.9. Mineraloška, geokemijska i hidrokemijska svojstva	1.9.2. Sadržaj karbonata i kemijski sastav podzemne vode, uključujući pH i Eh
	1.9.3. Kemijski, radiokemijski i mineraloški sastav stijene (uključujući materijale ispune pukotina)
	1.9.4. Efekti radijacije i topline raspadanja radionuklida iz odloženog materijala na stijenu i kemizam podzemne vode
	1.9.5. Efekti organskih, koloidnih i mikrobioloških materijala
	1.9.6. Struktura pora i karakteristike površine minerala u stijeni (uključujući pukotine)

Tablica 4-4 2. skupina kriterija: Iskorištavanje prirodnih resursa i mogući antropogeni utjecaji.

2. SKUPINA KRITERIJA: ISKORIŠTAVANJE PRIRODNIH RESURSA I MOGUĆI ANTROPOGENI UTJECAJI	
SVOJSTVO	**INDIKATOR**
2.1. Eksploatacija metalnih, nemetalnih sirovina i drugih prirodnih resursa	2.1.1. Tragovi povijesne eksploatacije, postojeća ili buduća eksploatacija
	2.1.2. Ležišta mineralnih sirovina
	2.1.3. Pojava tekućih ili plinovitih ugljikovodika
	2.1.4. Potencijal buduće uporabe površinske i podzemne vode
	2.1.5. Lokacije budućih i planiranih otvorenih vodenih tijela (akumulacijska jezera, retencija i sl.)

Tablica 4-5 3. skupina kriterija: Ekološki i društveni kriteriji.

3. SKUPINA KRITERIJA: EKOLOŠKI I DRUŠTVENI KRITERIJI	
SVOJSTVO	**INDIKATOR**
3.1. Istraživački radovi	3.1.1. Izrada istraživačkih bušotina na potencijalnim lokacijama
	3.1.2. Izvođenje prometnica potrebnih za pristup lokacijama
	3.1.3. Utjecaj istraživačkih radova i transporta
	3.1.4. Korištenje tehnološke vode
3.2. Utjecaj lokacije na ljude	3.2.1. Gustoća naseljenosti
	3.2.2. Blizina naselja
	3.2.3. Blizina naselja – radna snaga
	3.2.4. Turizam
	3.2.5. Obrana/posebna namjena/elektrane/vojska
	3.2.6. Infrastruktura
	3.2.7. Vrijednost zemljišta
	3.2.8. Utjecaj na faktor dobrobiti
3.3. Transport i logistika	3.3.1. Postojeća prometna infrastruktura
	3.3.2. Kvaliteta puteva
	3.3.3. Nosivost mostova
	3.3.4. Blizina pruge

3. SKUPINA KRITERIJA: EKOLOŠKI I DRUŠTVENI KRITERIJI	
SVOJSTVO	**INDIKATOR**
	3.3.5. Izloženost stanovništva duž transportnih ruta radijaciji iz transportnih spremnika
	3.3.6. Alternativni načini transporta i alternativne rute
	3.3.7. Osiguravanje pristupa jedinicama za spašavanje/interventne službe
	3.3.8. Blizina međunarodne granice
3.4. Zaštita okoliša	3.4.1. Zaštićena područja nacionalne kategorije
	3.4.2. Zaštita prirodne baštine
	3.4.3. Zaštita kulturne baštine
	3.4.4. Biološko-ekološke vrijednosti
	3.4.5. Poljoprivreda
	3.4.6. Radiološki aspekti postojećeg stanja
	3.4.7. Šumarstvo
3.5. Uporaba zemljišta, prostorno planiranje i vlasništvo zemljišta	3.5.1. Uporaba zemljišta i prostorno planiranje
	3.5.2. Vlasništvo zemljišta
3.6. Operacijska sigurnost i osiguranje	3.6.1. Širenje radioaktivne tvari u slučaju pogonske nesreće
	3.6.2. Sposobnost stvaranja fizičke zaštite
3.7. Opasnost izazvana ljudskim djelovanjem (ostali antropogeni utjecaji)	3.7.1. Rizik od pada zrakoplova
	3.7.2. Rizik od kemijskih eksplozija
	3.7.3. Postrojenja koja bi mogla ugroziti sigurnost odlagališta
	3.7.4. Opasnost od letećih predmeta
	3.7.5. Posljedice elektromagnetskih interferencija, vrtložnih struja i začepljenja ispusta zraka ili vode
	3.7.6. Minski sumnjiva područja

Pregled načina na koji se specifični kriteriji primjenjuju u različitim fazama, uključujući vrstu kriterija i njihove odgovarajuće pondere, predstavljen je u izvornom dokumentu [40].

4.2.2 Postupak lociranja dubokih geoloških odlagališta

Konačni cilj postupka određivanja lokacije DGO-a koji se odnosi na ovaj Program odabir je dviju potencijalnih lokacija odlagališta, na temelju predloženih kriterija, jedne u Hrvatskoj i jedne u Sloveniji. Način odabira konačne lokacije između dvije potencijalne lokacije bit će razrađen u sljedećoj reviziji Programa. Kriteriji su podijeljeni na eliminacijske (E) i usporedne (C) kategorije, dok se usporedni kriteriji dalje dijele na diskrecijske (C-D) i klasifikacijske (C-R), s utežnim faktorima od 1 do 10. Prva dva koraka koriste samo eliminacijske kriterije, dok koraci 3., 4. i 5. u karakterizaciji lokacije također koriste usporedne kriterije.

Neophodno je oformiti tim stručnjaka koji će provesti preliminarna istraživanja prije početka ove analize. Projektni tim / provoditelj mora okupiti dobro usklađen tim stručnjaka iz različitih područja relevantnih za kriterije koji se analiziraju, kao što su: geologija, hidrogeologija, inženjerska geologija, geotehničko inženjerstvo, rudarsko inženjerstvo, geo- i hidrokemija, građevinarstvo, pravno

savjetovanje, geografija, prometno inženjerstvo i menadžment, biologija, botanika, ekologija, šumarstvo, znanost o podacima i upravljanje sigurnošću.

U potrazi za napretkom određivanja lokacije DGO-a, projektni tim / provoditelj snosi važne odgovornosti. Njihov mandat obuhvaća prikupljanje podataka, nabavu najsuvremenijih analitičkih tehnologija i brigu o tome da svi sustavi ostanu ažurni. Ovi temeljni zadaci postavljaju temelje za uspješnu provedbu i osiguravaju uspješan završetak svih pothvata. Programom su predviđena istraživanja koja bi trebala dati dovoljno podataka, uz podatke dostupne preko državnih agencija, baza podataka i sl.

RD&D Program preporučuje uspostavu jedinstvenog provoditelja. Razlozi za to, kao i izazovi, detaljnije su objašnjeni u izvornom dokumentu [40]. Ovdje se spominje samo nekoliko argumenata:

- Jedan provoditelj znači da neće biti većih problema u komunikaciji i raspodjeli zadataka, već će se poslovi organizirati prema odjelima unutar organizacije/tvrtke, u skladu sa stručnošću i rasporedom stručnjaka za pojedine poslove.
- Dva regulatorna tijela mogu podijeliti posao u vezi s Programom te će regulatornu/zakonsku osnovu lakše napisati za jedan Program i jednog provoditelja.
- Povjerenje dionika u jednog provoditelja bit će veće jer se radi o stručnjacima iz dviju zemalja koji blisko surađuju u rješavanju zajedničkog problema.

Do uspostave jedinstvenog provoditelja, odlučeno je da će sve aktivnosti koordinirati projektni tim, sastavljen od osoblja upućenim iz ARAO-a i Fonda[9].

Protokol kriterija i povezana vizualizacija podataka i analiza će se provesti pomoću GIS-a ili slične tehnologije. Ako je tehnički moguće, preporučuje se korištenje (polu)automatiziranog sustava implementacije. Ako se isti kriteriji pojave u različitim koracima provedbe Programa, za razliku od istog kriterija primijenjenog u prethodnom koraku, podaci korišteni u daljnjim koracima bit će razmatrani s više pažnje, između ostalog zbog različitih razmjera karata/podataka.

4.2.3 Tehnologije i metodologije

Općenito, odabir lokacije za odlaganje ING-a složen je i visoko reguliran postupak koji zahtijeva pažljivo razmatranje društvenih, geoloških, ekoloških i sigurnosnih čimbenika. Geografski informacijski sustav (u daljnjem tekstu: GIS) može biti važan alat u ovom procesu, a GIS tehnologija će se koristiti za prostornu analizu i kartografiju sa svim koracima obrade podataka, ali i geoprocesiranja. Konačno, potrebni sustav višekriterijske potpore odlučivanju (u daljnjem tekstu: MCDS) treba biti izveden kao WebGIS.

Baze podataka također igraju važnu ulogu u procesu odabira lokacije za odlaganje ING-a i VRAO-a. Ove se baze podataka koriste za pohranu, upravljanje i analizu širokog raspona podataka koji se odnose na potencijalna odlagališta. Prostorne i ne prostorne baze podataka, pomažu stručnjacima s izvedbom GIS-a ili čak složenijeg GIS-a temeljenog na MCDA. Oni su temelj procesa odabira lokacije za ING i VRAO i služe kao središnja spremišta podataka i olakšavaju organizaciju, analizu i vizualizaciju informacija ključnih za donošenje informiranih odluka u vezi s lokacijama za odlaganje radioaktivnog otpada. Kvaliteta, sigurnost i dostupnost ovih baza podataka ključni su za osiguranje sigurnosti i transparentnosti cijelog procesa.

S obzirom na dugoročnu predanost i potrebu da se osigura sigurnost odlagališta tijekom stotina godina, navedena su neka razmatranja za očuvanje podataka i znanja te njihov prijenos budućim generacijama.

Cilj očuvanja podataka i znanja u kontekstu upravljanja ING-om osigurati je da buduće generacije imaju pristup točnim i sveobuhvatnim informacijama o odlagalištima, razlozima odabira lokacije i sigurnosnim mjerama koje su na snazi. Ova transparentnost i pristup znanju ključni su za dugoročnu sigurnost odlagališta i za održavanje povjerenja javnosti.

Ovaj sustav se mora razvijati, proširivati i održavati u skladu s razvojem Programa i ne smije se zanemariti. Gubitak radne snage ili znanja može značiti značajne probleme za Program, pa čak i gubitak vremena.

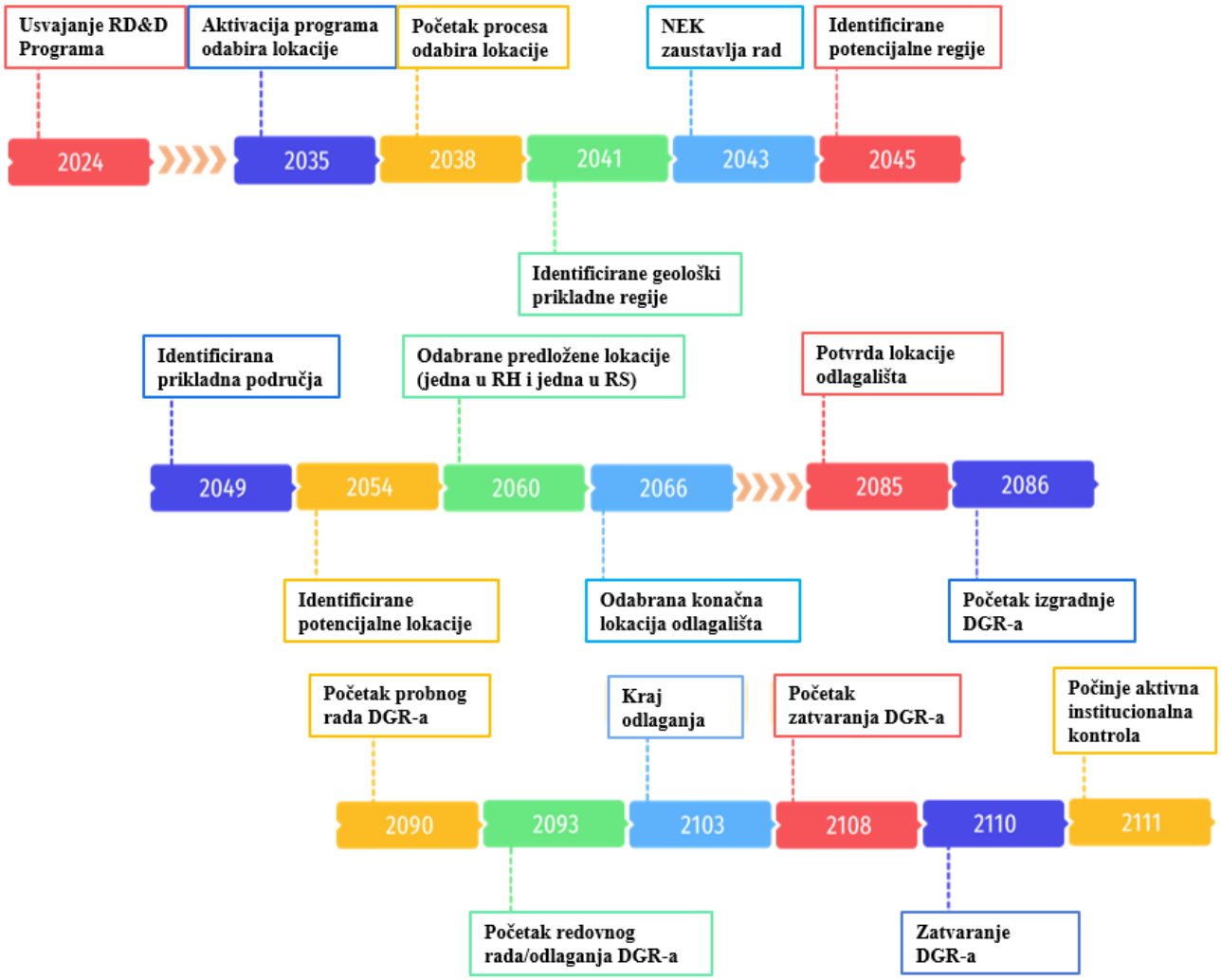
4.2.4 Vremenski raspored i ključne točke

U RD&D programu procjenjuju se tri vremenska okvira: osnovni scenarij i dva dodatna scenarija (produljeni životni vijek i raniji dodatni scenarij).

RD&D Program temelji se na osnovnom scenariju, ali s predloženim promjenama u vremenskom okviru kako bi bio prihvatljiviji i izvediviji. Dodatni scenariji s ranijim i produženim vijekom trajanja razmatraju se na način da se procijene razlike u troškovima i mogućim promjenama u razvoju i provedbi Programa. Izmjene izvornog "Osnovnog scenarija" (Slika 4-6) i razvoj "Vremenskog plana predloženog scenarija" napravljene su kako bi se provedba RD&D Programa prilagodila zahtjevima Euratoma i preporukama IAEA-e. Predloženi vremenski okvir nudi više "prostora" za prilagodbe RD&D Programa (uključujući moguće ponovno pokretanje), i još uvijek daje dovoljno vremena objema zemljama da odluče o valjanosti komercijalne opcije zbrinjavanja.

Izmijenjeni osnovni scenarij dat će dovoljno vremena da se dionici informiraju i educiraju o aspektima ionizirajućeg zračenja, zbrinjavanju radioaktivnog otpada, zbrinjavanju ING-a, kriterijima odabira lokacije itd. Tako će šira javnost imati dovoljno znanja i vremena prihvatiti zbrinjavanje ING-a kao složen zadatak, rješenje značajnog problema, značenje sigurnog zbrinjavanja ING-a za buduće generacije i sl. kako bi pomogla u procesu odabira lokacije i lakše prihvatila volonterski princip kao dio rješenja.

Ako RD&D Program započne ranije, bit će više vremena za ispravljanje pogrešaka, kao i za učenje iz pogrešaka i ponovno pokretanje Programa na bolji način. Također postoji više vremena da projektni tim / provoditelj stekne povjerenje dionika, razvije transparentnost i mehanizme za dijalog.



Slika 4-6 Pojednostavljeni "Vremenski plan predloženog scenarija", s važnim ključnim točkama.

Ako se uzmu u obzir "raniji dodatni scenarij" i "dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom", postoji nekoliko izazova koje treba riješiti za oba.

Ovdje je potrebno napomenuti da za raniji dodatni scenarij procjena troškova podrazumijeva promptnu uspostavu jedinstvene hrvatsko-slovenske provedbene organizacije, koja će preuzeti odgovornost za razvoj programa 2025. godine. Izračun je napravljen uz ovu pretpostavku jer scenarij inače NE bi odgovarao traženom vremenskom okviru.

Raniji dodatni scenarij, s "Aktiviranjem geološkog programa" 2025., ima nekoliko specifičnih izazova:

- Ako bi postojale dvije (nacionalne) provedbene organizacije, one nikada neće biti toliko koordinirane kao članovi jedne provedbene organizacije. Također, malo je vjerojatno da će jedinstveni provoditelj biti uspostavljen 2025. godine.
- Postoji realna vjerojatnost da bi dvije (pa čak i jedna) provedbene organizacije imale manjak osoblja. Zapošljavanje stručnog kadra od strane provoditelja će oduzeti značajno vrijeme za dodatno osposobljavanje i educiranje nove radne snage, posebno uz ovako rani početak i tijesan rok.
- Za pokretanje programa trebalo bi angažirati vanjske tvrtke.

- Nekoliko regulatornih dokumenata, uključujući kriterije za odabir lokacije, nedostajat će bez obzira na to što je početak procesa odabira lokacije predviđen za 2027. godinu.
- U 2027. godini trebalo bi započeti zbrinjavanje NSRAO-a u obje zemlje, a to će previše zakomplicirati provedbu istraživanja i razvoja.
- Dionici neće biti pripremljeni, dovoljno informirani i uključeni u Program.
- Bit će teška koordinacija između dva nacionalna regulatorna tijela.
- Ideja da će lokacije kandidati (jedna u RH i jedna u RS) biti odabrane samo 20 godina nakon početka programa je vjerojatna samo ako se dionici slažu sa svime i volonterski pristup funkcionira bez problema.
- Razdoblje između 2050. i 2058. godine za potvrdu lokacije previše je optimistično, s obzirom na količinu potrebnih istraživanja, čak i ako sve bude točno po planu.

Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom, s "Aktiviranjem geološkog programa" 2063., imao bi svoje izazove:

- Ako uključivanje dionika započne prerano, vjerojatno će se usporiti i možda zaustaviti ili "zastraniti" u roku od gotovo 40 godina od danas.
- Bit će problema s provoditeljima, jer nema jamstva da će se pravi odabir i edukacija osoblja započeti na vrijeme. Ako se započne prerano, radna snaga će otići ili skoro otići u mirovinu prije nego što se uključi u provedbu Programa itd.
- Hrvatski program zbrinjavanja ING-a desetljećima praktički nije postojao ili je desetljećima bio previše pojednostavljen i zanemaren. Slovenske aktivnosti su se razlikovale jer se NEK nalazi u RS. Ako se očekuje pauza od 40 godina do početka programa odlaganja, nema jamstva da će svi potrebni pripremni radovi biti obavljeni na vrijeme. Uvijek je problem s dugoročnim planovima i tzv. "institucionalnim zaboravom" i "naslijeđenim otpadom". To ne znači da će ING biti izgubljen, ali može doći do značajnog gubitka podataka i mogućeg smanjenja broja školovanih stručnjaka.
- Jedan od postulata svjetski prihvaćenih strategija, programa i regulatornih dokumenata za ING i radioaktivni otpad kaže da se "odgovornost za zbrinjavanje (i odlaganje) radioaktivnog otpada i ING-a neće prepustiti niti ostaviti budućim generacijama".

Kao što je ranije navedeno, osnovni scenarij je modificiran kako bi zadovoljio potrebe realnog vremenskog okvira i omogućio nepredviđene slučajeve problema koji se mogu predvidjeti. Budući da će biti potrebno određeno vrijeme za izgradnju kredibiliteta projektnog tima/provoditelja i regulatornih tijela, kao i za izgradnju povjerenja s dionicima u obje zemlje, procesi razvoja projektnog tima / provedbene organizacije i angažmana dionika, moraju započeti što je prije moguće.

Razrada "vremenskog plana predloženog scenarija" (modificiranog "Osnovnog scenarija") prema određenim radnjama tijekom programa navedena je u Tablica 4-6. Ovo je detaljnije objašnjeno u izvornom dokumentu [40].

Tablica 4-6 Predloženi vremenski plan osnovnog scenarija

SSC - kriteriji odabira lokacije; DGO - duboko geološko odlagalište; UTF - podzemno postrojenje za ispitivanje; SFDS - suho skladište istrošenog goriva; BC – osnovni scenarij; ELSC – dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom

	Ključne točke	Istraživanje / aktivnosti provoditelja	Dionici	RH i RS - regulatorni okvir
2024.	Napisan RD&D Program			
2025.				
2026.			Izrada Programa uključivanja dionika, prilagođenog svakoj zemlji (jezik, znanje i stupanj informiranosti stanovništva o temi, stavovi, politika...).	Prihvaćanje RD&D Programa. SSC predloženi kao regulatorni dokument – razvoj.
2027.	Započelo je zbrinjavanje NSRAO-a.			
2028.			Nacionalna istraživanja javnog mnijenja (RS i RH) o percepciji stanovništva o zbrinjavanju ING-a. Početak angažmana dionika.	Početak skladištenja (RH) i odlaganja (RS) NSRAO-a.
2029.			Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje. Početak razvoja programa obrazovanja. Tisak i distribucija fizičkih materijala.	Razmatranje jedinstvenog provoditelja. Prihvaćanje programa obrazovanja.
2030.			Početak razvoja programa obrazovanja, 1. faza: Obuka voditelja obuke. Video i audio produkcija.	
2031.	Unapređenje i revizija RD&D Programa.			
2032.			Početak programa obrazovanja. 2. faza: Primjena u školama i na sveučilištima	Regulatorni dokumenti o jedinstvenom provoditelju.
2033.	Uspostavljen jedinstveni provoditelj ili projektni tim. Osnovna Aktivacija programa odabira lokacije.	Dizajn i brendiranje.	Početak aktivnosti vezanih uz WWW. Tisak i distribucija fizičkih materijala. Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje. Video i audio produkcija. Upravljanje događajima.	
2034.			Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika.	

	Ključne točke	Istraživanje / aktivnosti provoditelja	Dionici	RH i RS - regulatorni okvir
2035.	**Službena aktivacija programa odabira lokacije.**	Uređivanje SSC-a.	Uključivanje dionika u SSC. Video i audio produkcija. Upravljanje događajima.	Regulatorni dokument koji se odnosi na prikupljanje svih postojećih geoloških i drugih relevantnih podataka za odabir lokacije.
2036.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Unapređenje i revizija RD&D Programa.	Prikupljanje svih postojećih geoloških i drugih relevantnih podataka za odabir lokacije.	Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2037.			Nacionalna istraživanja javnog mnijenja (RS i RH) o percepciji stanovništva o zbrinjavanju ING-a.	Prihvaćanje SSC-a kao zajedničkog regulatornog dokumenta.
2038.	**Početak procesa odabira lokacije.**	Inicijalni pregled teritorija RH i RS.	Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW. Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje. Video i audio produkcija. Upravljanje događajima.	
2039.				
2040.				
2041.	**Identificirane geološki prikladne regije.** Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Unapređenje i revizija RD&D Programa.	Sužavanje geološki prikladnih regija.		
2042.			Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2043.	**NEK zaustavlja rad (BC scenarij).**		Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2044.				
2045.	**Identificirane potencijalne regije.**	Preliminarna ispitivanja prikladnih područja.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika.	
2046.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Unapređenje i revizija RD&D Programa.		Video i audio produkcija.	
2047.			Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje.	
2048.		Dizajn i brendiranje.	Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW. Tisak i distribucija fizičkih materijala.	

	Ključne točke	Istraživanje / aktivnosti provoditelja	Dionici	RH i RS - regulatorni okvir
			Video i audio produkcija.	
2049.	**Identificirana prikladna područja.**	Odabir potencijalnih lokacija.	Ispitivanje javnog mnijenja o predloženim lokacijama (općine koje dobrovoljno ulaze u proces). Tisak i distribucija fizičkih materijala. Video i audio produkcija. Upravljanje događajima. 1. poziv za volontere.	
2050.		Preporuka koncepta odlaganja.	Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima.	Moguće ponovno pokretanje RD&D Programa.
2051.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Unapređenje i revizija RD&D Programa.		Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima.	
2052.			Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima.	
2053.			Moguće odustajanje općina. Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW. Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima.	
2054.	**Identificirane potencijalne lokacije.**	Odabir lokacija-kandidata.	Ispitivanje javnog mnijenja o predloženim lokacijama (općine koje dobrovoljno ulaze u proces). Tisak i distribucija fizičkih materijala. Upravljanje događajima. Video i audio produkcija. Izgradnja lokalnog partnerstva. 2. poziv za volontere.	
2055.			Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva.	Moguće ponovno pokretanje RD&D Programa.

	Ključne točke	Istraživanje / aktivnosti provoditelja	Dionici	RH i RS - regulatorni okvir
			Upravljanje događajima.	
2056.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Unapređenje i revizija RD&D Programa.		Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima.	
2057.			Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima.	
2058.			Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima. Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2059.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Unapređenje i revizija RD&D Programa.		Moguće odustajanje općina. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima. Tisak i distribucija fizičkih materijala. Video i audio produkcija. Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika.	
2060.	**Odabrane predložene lokacije - kandidati (jedna u RH i jedna u RS).**	Odabir konačne lokacije odlagališta.	Početak početnih ulaganja u obje mjesne zajednice. Izgradnja lokalnog partnerstva. Upravljanje događajima.	Odluka o preseljenju provoditelja u zajednicu domaćina.
Kraj vremenskog okvira razmatranog u ovoj verziji RD&D Programa				
2061.		Odluka o konceptu odlaganja.	Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje.	
2062.				
2063.	NEK zaustavlja rad (ELSC scenarij).		Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2064.			Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2065.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Izrada Programa istraživanja/odlaganja.		Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika.	

	Ključne točke	Istraživanje / aktivnosti provoditelja	Dionici	RH i RS - regulatorni okvir
2066.	**Odabrana konačna lokacija odlagališta.**	Početak izgradnje pristupnog tunela (rampe) i okna.	Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje. Početak ulaganja u zajednicu domaćina.	Preseljenje provoditelja u zajednicu domaćina.
2067.		Početak izgradnje pristupnog tunela (rampe) i okna (alternativni datum).	Početak ulaganja u zajednicu domaćina (alternativni datum).	Preseljenje provoditelja u zajednicu domaćina (alternativni datum).
2068.			Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2069.		Izgradnja UTF-a.	Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2070.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Poboljšanje i revizija Programa istraživanja/odlaganja.			
2071.		Početak istraživanja lokacije u UTF-u.	Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje.	
2072.				
2073.			Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2074.			Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2075.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Poboljšanje i revizija Programa istraživanja/odlaganja.			
2076.				
2077.				
2078.			Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2079.			Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2080.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Poboljšanje i revizija Programa istraživanja/odlaganja.			
2081.				
2082.				
2083.			Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	

	Ključne točke	Istraživanje / aktivnosti provoditelja	Dionici	RH i RS - regulatorni okvir
2084.			Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2085.	**Potvrda lokacije odlagališta.** Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Izrada operativnog programa DGO-a.		Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje.	
2086.	**Početak izgradnje DGO-a.**			
2087.				
2088.			Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2089.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika. Poboljšanje i revizija operativnog programa DGO-a.		Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2090.	**Početak probnog rada DGO-a.**		Kampanje za podizanje svijesti i oglašavanje. Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika.	
2091.				
2092.	Poboljšanje i revizija operativnog programa DGO-a.			
2093.	**Početak redovnog rada DGO-a (odlaganja).**		Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2094.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika.		Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2095.				
2096.				
2097.				
2098.			Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2099.	Unapređenje i revizija Programa uključivanja dionika.			
2100.			Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2101.				
2102.				

	Ključne točke	Istraživanje / aktivnosti provoditelja	Dionici	RH i RS - regulatorni okvir
2103.	**Kraj odlaganja.**		Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2104.	Početak razgradnje SFDS-a i DGO-a.		Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2105.				
2106.				
2107.	Kraj razgradnje SFDS-a i DGO-a.			
2108.	Početak zatvaranja DGO-a.		Nastavak aktivnosti vezanih uz WWW.	
2109.			Tisak i distribucija fizičkih materijala.	
2110.	Zatvaranje DGO-a.			
2111.	Počinje aktivna institucionalna kontrola.			

Napomena: Neke su aktivnosti odgođene za godine nakon usvajanja Četvrte revizije, u usporedbi s onim što je izvorno bilo planirano Programom RD&D.

4.2.5 Komunikacijska podrška i uključivanje dionika

Na karti dionika (Slika 4-7) predložena je mreža ključnih dionika i skupina dionika u Sloveniji i Hrvatskoj koji će biti uključeni u različite komunikacijske procese. Karta dionika trenutno samo prikazuje, na općoj razini, skupine dionika koje utječu na provedbu projekta. Kako projekt bude odmicao, karta dionika trebala bi se sve više definirati od organizacijske do individualne razine.

Dionike s nižim interesom i manjim utjecajem potrebno je pratiti, ali ne i pretjerano informirati. Suprotno tome, dionike s visokim interesom, ali manjim utjecajem, potrebno je dobro informirani o projektu, jer je njihov interes za temu velik. Dionike s velikom moći, ali niskim interesom, treba zadržati zadovoljnima, što znači da ih treba informirati o razvoju projekta i konzultirati se s njima kada je to potrebno. Naposljetku, s dionicima s velikom moći i velikim interesom potrebno je redovito komunicirati i aktivno ih uključiti u projekt. Treba pažljivo upravljati njihovim očekivanjima. To je detaljnije objašnjeno u izvornom dokumentu [40] te će biti dodatno razrađeno u planiranom "Programu uključivanja dionika".

Učinkovita komunikacija glavni je faktor uspješnih projekata odlaganja VRAO-a i ING-a. Dok ulazimo u ovaj kritični poduhvat, tri međusobno povezana stupa (Slika 4-8) prepoznata su kao temelj naše komunikacijske strategije.

Kako bi se proveo i izvršio program uključivanja dionika, projektni tim / provoditelj mora osigurati da organizacija ima interdisciplinarni, kompetentan, vješt i kvalificiran tim unutar organizacije, koji bi trebao uključivati stručnjake za odnose s javnošću, društvene znanosti i psihologiju sa znanjem o planiranju i upravljanju projektima. Važan član ovog tima (koji može biti i vanjski konzultant) je stručnjak za mjerenje javnog mnijenja i ispitivanje stavova i ponašanja te evaluaciju programa uključivanja dionika.



Slika 4-7 Dionici/zainteresirane strane



Slika 4-8 Tri stupa komunikacijske strategije

Postoje određene točke koje je potrebno detaljnije razmotriti, jer mogu nastati ozbiljni problemi ako se poduzmu pogrešni koraci tijekom, pa čak i prije provedbe Programa.

Ako u Program nisu uključene od strane provoditelja/ projektnog tima, nevladine organizacije (NVO) će se same uključiti i to na način koji neće biti od koristi Programu. S obzirom na utjecaj koji imaju i svoju publiku, NVO su vrlo učinkovite promotivne organizacije u pogledu širenja poruka. Budući da provoditelj / projektni tim i nevladine organizacije imaju zajednički cilj i misiju: "Učinite svijet/državu/život sigurnijim i nosite se s potencijalnim prijetnjama na način da ih minimizirate ili izbjegnete", to se mora iskoristiti.

Publika kojoj se poruke prenose vrlo je raznolika. Program uključuje dvije države i dvije vrste građana različitih vrijednosti, mentaliteta i stavova. Budući da se NEK nalazi u Sloveniji, većina Slovenaca je smatra "svojom", a isto vrijedi i za Hrvate koji je smatraju "slovenskom nuklearnom elektranom" Činjenica da se NEK gradi kao zajednički pothvat, da obje zemlje kupuju po pola električne energije i da svakoj zemlji pripada po pola RAO-a i ING-a, nije široko poznata niti prihvaćena.

Kako bi se to izbjeglo, na početku programa moraju se razviti posebne poruke:

- To je naš zajednički pogon, naša zajednička korist i naša zajednička odgovornost.
- Problem (otpada) moramo rješavati zajedno.
- Problem moramo zajednički riješiti za vlastitu korist, ali i za dobrobit generacija koje dolaze ("naše djece").
- Imamo stručnjake koji to mogu riješiti.
- Imamo znanje, tehnologiju i dovoljno financijskih sredstava.
- (Jedinstveni) provoditelj / projektni tim radi najbolje, otvoreno, transparentno, bez ikakvih tajni, koristeći najbolje svjetske, najsuvremenije tehnologije i načela.

Jedan od razloga da se oformi jedinstveni provoditelj, te da provoditelj konačno "obitava" na (u blizini) lokaciji budućeg odlagališta, jest pokazati da su napori zajednički (obje zemlje) i da je projekt siguran. Ako će postojati dvije odvojene provedbene organizacije, ne samo da će to otežati istraživanje i provedbu ostalih dijelova Programa, već će se značajno smanjiti povjerenje u Program dionika iz obje zemlje.

Odjel za odnose s javnošću provoditelja mora uključivati psihologa, sociologa, komunikologa, stručnjaka za marketing i glasnogovornika. Glasnogovornik, odnosno jedna osoba ili nekoliko njih koji bi vodili tiskovne konferencije, javno istupali i predstavljali Program, davali službene izjave na televiziji, radiju i društvenim mrežama, moraju biti dobro odabrani i prezentabilni. Ponekad će biti potrebno da stručnjaci/inženjeri uključeni u Program izađu u javnost, daju izjave, komuniciraju s dionicima i sl., ali budući da nije moguće, niti je potrebno educirati sve osobe zaposlene u organizaciji za provedbu odnosa s javnošću, većinu komunikacijskih poslova trebala bi obavljati jedna osoba (po mogućnosti više njih) koja je za to educirana i osposobljena.

Za provedbu angažmana dionika potrebno je izraditi i napisati zaseban i konkretan Program uključivanja dionika (zaseban dokument/elaborat). Taj će dokument sadržavati više detalja, detaljne procedure i radnje, način odabira zaposlenika u službi za odnose s javnošću provoditelja, opis pojedinih procesa itd. Takav Program je predviđen, već je dio Procjene troškova i vremenskog okvira izvornog dokumenta [40].

4.2.6 Procjena troškova RD&D-a

Struktura razrade rada (engl. *Work Breakdown Structure*, WBS) podijeljena je na potpoglavlja koja prate definirane faze Programa.

Ovaj sažetak olakšava procese:

- postavljanje modela strukture baze podataka za upravljanje ekonomski relevantnim podacima za financijske procjene,
- definiranje obujma radova za troškovnike
- bilance kako bi se razlikovao rad koji obavlja provedbena organizacija od aktivnosti za koje su angažirane vanjske tvrtke
- osnove za procjenu obujma pojedinih kategorija troškova
- definiranje grupa predmeta za procjene rizika i nepredviđenih događaja.

4.2.6.1 Model obračuna troškova

Troškovi su unutar WBS-a već podijeljeni u tri glavne skupine.

- Troškovi provedbene organizacije
- Troškovi uključivanja dionika
- Troškovi za određene tehničke i geološke radove koje obavljaju vanjski izvođači.

Za financijski izračun, pojedinačne troškovne stavke su dodatno definirane kako slijedi:

- Osobni troškovi
- Najmovi
- Usluge
    - Ovisno o vremenu / Neovisno o vremenu
    - Njime se bavi sama provedbena organizacija / vanjski izvođači
- Ulaganja
- PDV[10]
- Nepredviđeni troškovi
- Rizici.

4.2.6.2 Osnovni scenarij

Osnovni scenarij (modificirana verzija izvornog osnovnog scenarija, predložena i preporučena u RD&D Programu [40]) predviđa početak programa 2025. godine i završetak prvog dijela programa s identifikacijom dvije predložene lokacije-kandidata 2060. godine. Scenarij je podijeljen u sedam uzastopnih koraka, pri čemu prvi korak, planiran za razdoblje 2025.-2032.godine, još uvijek uključuje istovremeno djelovanje slovenske i hrvatske nadležne organizacije (ARAO, Fond). Za sljedeće korake od 2032. godine nadalje, scenarij predlaže uspostavu zajedničke provedbene organizacije ili projektnog tima. Troškovi pripremne faze Projekta do uspostave jedinstvene Provedbene organizacije

[10] Osobni troškovi izuzeti su od oporezivanja, a zajednički troškovi imaju dodatni porez od 25 % za polovicu troškova i 22 % za polovicu troškova.

iznose 2,98 mil. EUR (Tablica 4-7). Sažetak troškova Provedbene organizacije (1), angažmana dionika (2) i vanjskog angažmana (3) naveden je u Tablica 4-8, pri čemu se na konačne iznose dodaje PDV.

Tablica 4-7 Sažeta tablica odvojenih troškova u EUR za pojedinačne nadležne organizacije za pripremnu fazu projekta (2025. – 2032.) za osnovni scenarij

Period	Faza	Aktivnost	Bez nepredviđenih troškova	Nepredviđeni troškovi - raspon niske točnosti	Nepredviđeni troškovi - raspon visoke točnosti	Nepredviđeni troškovi - prosječna vrijednost
			Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a
2025–2032	Pripremna faza	Troškovi za Hrvatsku (bez osobnih troškova)	277.327,80	277.327,80	305.060,58	291.194,19
		Hrvatska – osobni troškovi	1.143.828,00	1.143.828,00	1.258.210,80	1.201.019,40
		Troškovi za Sloveniju (bez osobnih troškova)	277.110,29	277.110,29	304.821,32	290.965,80
		Slovenija – osobni troškovi	1.142.930,88	1.142.930,88	1.257.223,97	1.200.077,42
		Ukupno za Hrvatsku i Sloveniju	**2.841.196,97**	**2.841.196,97**	**3.125.316,67**	**2.983.256,81**

Tablica 4-8 Tablica troškova u EUR za program odabira lokacije prema osnovnom scenariju uključujući zajedničke troškove za RH i RS za pripremnu fazu (2025. – 2032.) i sve ostale troškove do faze predodabira dviju predloženih lokacija.

OSNOVNI SCENARIJ							
Period	Faza		Aktivnost	Bez nepredviđenih troškova	Nepredviđeni troškovi - raspon niske točnosti	Nepredviđeni troškovi - raspon visoke točnosti	Nepredviđeni troškovi - prosječna vrijednost
				Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a
2025–2032	Pripremna faza	1.	Ostalo – ZAJEDNIČKI	326.073,60	326.073,60	358.680,96	342.377,28
		2.	Uključivanje dionika – ZAJEDNIČKI	423.750,00	423.750,00	466.125,00	444.937,50
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2033–2037	Aktivacija Programa odabira lokacije	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	2.006.025,00	1.948.312,50	2.142.915,00	2.045.613,75
		1.1.	Osobni troškovi	5.626.359,33	5.626.359,33	6.751.631,20	6.188.995,26
		2.	Uključivanje dionika	562.500,00	562.500,00	646.875,00	604.687,50
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2038–2040	Preliminarno istraživanje teritorija obje zemlje	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	1.073.190,00	1.043.283,75	1.150.602,75	1.096.943,25
		1.1.	Osobni troškovi	4.014.607,33	4.014.607,33	4.817.528,79	4.416.068,06
		2.	Uključivanje dionika	502.500,00	502.500,00	577.875,00	540.187,50
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2041–2044	Sužavanje prikladnih regija	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	1.572.420,00	1.526.370,00	1.753.683,00	1.677.526,50
		1.1.	Osobni troškovi	7.264.683,69	7.264.683,69	8.717.620,43	7.991.152,06
		2.	Uključivanje dionika	315.000,00	315.000,00	378.000,00	346.500,00

OSNOVNI SCENARIJ							
Period	**Faza**		**Aktivnost**	**Bez nepredviđenih troškova**	**Nepredviđeni troškovi - raspon niske točnosti**	**Nepredviđeni troškovi - raspon visoke točnosti**	**Nepredviđeni troškovi - prosječna vrijednost**
				Bez PDV-a	**Bez PDV-a**	**Bez PDV-a**	**Bez PDV-a**
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2045–2048	Pregled prikladnih područja	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	1.752.570,00	1.664.478,00	1.995.252,00	1.829.865,00
		1.1.	Osobni troškovi	10.516.800,69	10.516.800,69	13.146.000,87	11.831.400,78
		2.	Uključivanje dionika	558.750,00	558.750,00	670.500,00	614.625,00
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2049–2053	Odabir potencijalnih područja	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	2.472.525,00	2.306.700,00	2.962.057,50	2.634.378,75
		1.1.	Osobni troškovi	14.571.367,07	14.571.367,07	18.942.777,19	16.757.072,13
		2.	Uključivanje dionika	840.000,00	840.000,00	1.050.000,00	945.000,00
		3.	Vanjski angažman	12.024.000,00	10.824.750,00	13.829.175,00	12.326.962,50
2054–2060	Odabir predloženih lokacija	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	3.473.985,00	3.138.060,00	4.288.743,00	3.709.895,25
		1.1.	Osobni troškovi	34.480.227,33	34.480.227,33	48.272.318,27	41.376.272,80
		2.	Uključivanje dionika	712.500,00	712.500,00	890.625,00	801.562,50
		3.	Vanjski angažman	18.298.500,00	15.572.625,00	21.049.575,00	18.311.100,00
UKUPNO:				**123.388.334,04**	**118.739.698,29**	**154.837.373,45**	**136.833.123,37**
UKUPNO (bez osobnih troš.) s PDV-om				57.939.146,42	52.198.081,27	66.950.195,00	59.616.120,42
UKUPNO OSOBNI (bez PDV-a)				76.474.045,44	76.474.045,44	100.647.876,74	88.560.961,09
UKUPNO (osobni troškovi bez PDV-a + ostali troškovi s PDV-om)				134.413.191,86	128.672.126,71	167.598.071,74	148.177.081,51

Ukupni troškovi za osnovni scenarij, uključujući troškove navedene u Tablica 4-7 i Tablica 4-8 su 139,816 mil. eura bez PDV-a i 151,160 mil. EUR s PDV-om.

4.2.6.3 Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom

Produljeni dodatni scenarij je očekivano najskuplji (Tablica 4-9 i Tablica 4-10). Konkretno, prva, najdulja faza znatno je skuplja (15,52 mil. EUR), iako predviđa da hrvatske i slovenske nadležne organizacije rade paralelno prvih 38 godina (Tablica 4-9).

S druge strane, prekoračenje troškova nije toliko značajno koliko bi se moglo očekivati, budući da je ukupno trajanje programa, koje je, izračunato od uspostave zajedničke provedbene organizacije, najkraće od razmatranih scenarija (18 godina). Što također igra značajnu ulogu. Produljeni dodatni scenarij također donosi najveće nepredviđene troškove. Stvarna aktivacija programa odgođena je za 2063. godinu, relativno dalek vremenski horizont, koji će imati značajan utjecaj na nepredviđene troškove.

Tablica 4-9 Sažeta tablica troškova u EUR za pojedinačne odgovorne organizacije za pripremnu fazu projekta (2025. – 2062.) za Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom.

Period	Faza	Aktivnost	Bez nepredviđenih troškova	Nepredviđeni troškovi - raspon niske točnosti	Nepredviđeni troškovi - raspon visoke točnosti	Nepredviđeni troškovi - prosječna vrijednost
			Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a
2025–2062	Pripremna faza	Troškovi za Hrvatsku (bez osobnih troškova)	1.317.307,05	1.317.307,05	1.712.499,17	1.514.903,11
		Hrvatska – osobni troškovi	5.433.183,00	5.433.183,00	7.063.137,90	6.248.160,45
		Troškovi za Sloveniju (bez osobnih troškova)	1.316.273,87	1.316.273,87	1.711.156,03	1.513.714,95
		Slovenija – osobni troškovi	5.428.921,68	5.428.921,68	7.057.598,18	6.243.259,93
		Ukupno za HRV i SLO	**13.495.685,60**	**13.495.685,60**	**17.544.391,28**	**15.520.038,44**

Tablica 4-10 Ukupni troškovi u EUR za Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom, uključujući zajedničke troškove za pripremnu fazu (2025. – 2032.) i sve ostale troškove do faze predodabira dviju predloženih lokacija.

DODATNI SCENARIJ S PRODULJENIM ŽIVOTNIM VIJEKOM							
Period	Faza		Aktivnost	Bez nepredviđenih troškova	Nepredviđeni troškovi - raspon niske točnosti	Nepredviđeni troškovi - raspon visoke točnosti	Nepredviđeni troškovi - prosječna vrijednost
				Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a	Bez PDV-a
2025–2062	Pripremna faza	1.	Ostalo – ZAJEDNIČKI	1.548.849,60	1.548.849,60	2.013.504,48	1.781.177,04
		2.	Uključivanje dionika – ZAJEDNIČKI	2.065.781,25	2.065.781,25	2.463.046,875	2.264.414,06
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2063	Aktivacija Programa odabira lokacije	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	627.105,00	603.667,50	768.361,50	668.520,75
		1.1.	Osobni troškovi	2.415.385,70	2.415.385,70	3.260.770,69	2.838.078,20
		2.	Uključivanje dionika	112.500,00	112.500,00	146.250,00	129.375,00
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2064–2065	Preliminarno istraživanje teritorija obje	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	703.335,00	731.028,75	923.654,25	779.838,38
		1.1.	Osobni troškovi	4.984.553,34	4.984.553,34	6.729.147,00	5.856.850,17
		2.	Uključivanje dionika	335.000,00	335.000,00	469.000,00	402.000,00
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2066–2067	Sužavanje prikladnih regija	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	908.610,00	861.978,00	1.184.619,00	1.023.298,50
		1.1.	Osobni troškovi	6.162.082,32	6.162.082,32	8.626.915,25	7.394.498,78
		2.	Uključivanje dionika	157.500,00	157.500,00	220.500,00	189.000,00
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2068–2070	Pregled prikladnih područja	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	1.302.090,00	1.220.737,50	1.741.573,50	1.481.155,50
		1.1.	Osobni troškovi	12.489.057,67	12.489.057,67	18.109.133,62	15.299.095,65
		2.	Uključivanje dionika	419.062,50	419.062,50	607.640,63	513.351,56

DODATNI SCENARIJ S PRODULJENIM ŽIVOTNIM VIJEKOM							
Period	**Faza**		**Aktivnost**	**Bez nepredviđenih troškova**	**Nepredviđeni troškovi - raspon niske točnosti**	**Nepredviđeni troškovi - raspon visoke točnosti**	**Nepredviđeni troškovi - prosječna vrijednost**
				Bez PDV-a	**Bez PDV-a**	**Bez PDV-a**	**Bez PDV-a**
		3.	Vanjski angažman	-	-	-	-
2071–2075	Odabir potencijalnih područja	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	2.548.875,00	2.375.415,00	3.508.916,25	2.942.165,63
		1.1.	Osobni troškovi	22.539.119,89	22.539.119,89	33.808.679,83	28.173.899,86
		2.	Uključivanje dionika	840.000,00	840.000,00	1.260.000,00	1.050.000,00
		3.	Vanjski angažman	12.024.000,00	10.225.125,00	15.635.925,00	12.930.525,00
2076–2080	Odabir predloženih lokacija	1.	Troškovi za provedbenu organiz. (bez osobnih troš.)	2.358.375,00	2.194.965,.00	3.234.206,25	2.721.928,13
		1.1.	Osobni troškovi	37.288.864,08	37.288.864,08	57.797.739,32	47.543.301,70
		2.	Uključivanje dionika	508.928,57	508.928,57	788.839,29	648.883,93
		3.	Vanjski angažman	18.262.500,00	15.536.625,00	23.754.750,00	19.645.687,50
UKUPNO:				**130.601.574,91**	**125.616.226,66**	**186.854.539,92**	**156.277.045,32**
UKUPNO (bez osob. troš.) s PDV-om				55.232.302,2	49.075.397,1	72.520.172,0	60.726.581,4
UKUPNO OSOBNI (bez PDV-a)				85.879.063,0	85.879.063,0	128.332.385,7	107.105.724,4
UKUPNO (osob. troš. bez PDV-a + ostali troškovi s PDV-om)				141.111.365,2	134.954.460,1	200.852.557,7	167.832.305,7

Troškovi razdoblja 2025. – 2062. godine ne mogu se isključiti jer će obje zemlje imati mali broj ljudi odgovornih za "održavanje Programa" do trenutka njegove aktivacije, a to "održavanje" svakako uključuje aktivnosti oko angažmana dionika i vanjskog angažmana određenog dijela razvoja, pregleda i poboljšanja postojećeg Programa i drugih studija. Troškovi iz tog razdoblja neće biti manji, nego vjerojatno čak i veći ako se zaposli više ljudi (više osoblja uključenog u održavanje RD&D Programa). Smanjenje troškova vezanih uz angažman dionika te reviziju i poboljšanje postojećeg Programa bilo bi kontraproduktivno i povećalo bi troškove provedbe kada Program službeno započne.

Ukupni troškovi za produljeni dodatni scenarij, uključujući troškove navedene u Tablica 4-9 i Tablica 4-10 su 171,797 mil. eura bez PDV-a i 183,352 mil. EUR s PDV-om.

4.2.6.4 Usporedba troškova različitih scenarija

Usporedba pojedinačnih scenarija prikazana je u Tablica 4-11. Troškovi za pripremne faze osnovnog i produljenog dodatnog scenarija, tj. troškovi pojedinih hrvatskih i slovenskih provoditelja nisu uključeni, za njih pogledajte Tablica 4-7 i Tablica 4-9. Vrijednost u rasponu nepredviđenih troškova visoke točnosti s dodanim PDV-om treba se smatrati najrelevantnijom.

Tablica 4-11 Usporedba troškova u EUR za dva razmatrana scenarija bez troškova za pojedinačne odgovorne organizacije u "Pripremnoj fazi".

	OSNOVNI SCENARIJ		DODATNI SCENARIJ S PRODULJENIM ŽIVOTNIM VIJEKOM	
	Bez PDV-a	S PDV-om[10]	Bez PDV-a	S PDV-om[10]
Trajanje/Godina	**27**		**18**	
BEZ NEPREDVIĐENIH TROŠKOVA	123.388.334,0	134.413.191,9	130.601.574,9	141.111.365,2
Nepredviđeni troškovi – donji raspon	118.739.698,3	128.672.126,7	125.616.226,7	134.954.460,1
Nepredviđeni troškovi – gornji raspon	154.837.373,5	167.598.071,7	186.854.539,9	200.852.557,7
NEPREDVIĐENI TROŠKOVI - PROSJEČNA VRIJEDNOST	136.833.123,4	148.177.081,5	156.277.045,3	167.832.305,7

Treba napomenuti da su, unatoč maksimalnom mogućem fokusu na složenost i točnost izračuna, zajedno s izražavanjem raspona neizvjesnosti u smislu nepredviđenih troškova, izračunati troškovi samo vrlo indikativni. Na temelju iskustva provoditelja naprednih programa izbora lokacije DGO-a, može se pretpostaviti da će stvarni trošak biti znatno veći od procijenjenog troška.

4.3 Odlaganje VRAO-a i istrošenog goriva

4.3.1 Uvod i ključne točke

U svibnju 2024. izrađena je nova revizija studije odlaganja ING-a [27], s ciljem pregleda tehničkog, tehnološkog, statutarnog i organizacijskog razvoja, zahtjeva i mogućnosti te revizije procjene troškova odlaganju ING-a, VRAO-a i dugoživućeg RAO-a iz NE Krško. Troškovi su generirani za osnovni scenarij (BC) koji odražava trenutnu politiku životnog vijeka NE Krško (do 2043.) i ključne datume za program odlaganja s operativnim DGO-om i razgradnjom SFDS postrojenja (nakon 80-godišnjeg radnog vijeka). Radni vijek postrojenja SFDS-a određuje i ključnu točku[11] programa odlaganja, odnosno početak rada odlagališta.

Također su razrađeni troškovi za Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (ELSC) NE Krško do 2063. godine, kao i produljeno razdoblje rada postrojenja SFDS-a, do 2123. godine.

Geološko odlagalište bit će smješteno na lokaciji unutar slovenske ili hrvatske državne granice i u odgovarajućoj geološkoj formaciji. Koriste se generički podaci o formacijama stijena u Sloveniji ili Hrvatskoj. Za mnoge parametre pretpostavlja se da su referentni podaci za geološke uvjete stijena za švicarski Kristallin-I i švedski Äspö dovoljno reprezentativni za trenutnu fazu slovenskog i hrvatskog programa. Detaljne informacije o odgovarajućim geološkim formacijama, termalnim svojstvima stijena i geotehničkoj kvaliteti stijenske mase dio su studije troškova DGO-a [27].

[11] Glavna ili ključna točka ili prekretnica programa (engleski: *milestone*)

Pretpostavlja se da je DGO izgrađen u čvrstoj stijeni ili u sedimentnom geološkom okruženju, ili će se koristiti komercijalna usluga. Razvijen je alternativni scenarij u slučaju da se ING odlaže u odlagalište u dubokoj bušotini (DBDF) (razrađen u studiji Deep Isolation EMEA [41] u kojemu je potreban DGO ali samo za odlaganje visokoradioaktivnog i dugoživućeg RAO-a, na istoj ili zasebnoj lokaciji. Za DGO u čvrstoj stijeni razmatrana su tehnička rješenja za kondicioniranje i odlaganje otpada iz švedskih i finskih rješenja za odlaganje goriva u bakrene spremnike postavljene u vertikalne bušotine odlagališta (KBS-3V). Za odlaganje u sedimentnom geološkom okruženju usvojen je švicarski koncept odlaganja Opalinus Clay [25].

Unatoč statusu koncepta KBS-3V kao dosadašnje referentne metode odlaganja [42], sadašnja revizija referentnog scenarija također uključuje praćenje statusa i razvoja svih dostupnih koncepata i metoda odlaganja ING-a, uključujući odlaganje u formacije sedimentnih stijena.

Prva faza programa geološkog odlaganja je faza istraživanja i razvoja koja je prikazana u poglavlju 4.2. U drugoj fazi, opisanoj u ovom poglavlju, aktivira se program odlaganja na temelju znanja i podataka dobivenih u prvoj fazi, tako da će se aktivnosti na izgradnji odlagališta intenzivirati prema ključnim prekretnicama za osiguranje pravovremenog zbrinjavanja.

Faze i ključne točke programa odlaganja općenito su definirane PZ-om za Četvrtu reviziju Programa razgradnje i Programa odlaganja NE Krško [17] i detaljnije su razrađeni u PZ-u za analizu troškova DGO-a [43], samoj studiji [27], te tijekom pripremnih sastanaka za izradu studije. Faze i ključne točke za BC i ELSC prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 4-12).

Tablica 4-12 Glavne aktivnosti i ključne točke scenarija s rudničkim DGO-om (prilagođeno iz [43])

Aktivnost	Osnovni scenarij (BC) (godina)	Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (ELSC) (godina)
Procjene DGO koncepta; postupni razvoj sigurnosne studije; uključivanje javnosti; definiranje, odobrenje i iniciranje pristupa izboru lokacije; kabinetski rad - analize odabira lokacija temeljem geoloških svojstava, također uzimajući u obzir opciju DBDF; konzultacije s javnošću i dionicima; uspostavljanje regulatornih zahtjeva za faze razvoja DGO-a; definiranje osnovnih podataka za odluke-odabir DGO/DBDF i ostale aktivnosti planirane u RD&D programu (poglavlje 4.2). Sve razlike između predloženih rokova u RD&D Programu i ovoj tablici bit će usklađene u sljedećoj reviziji Programa odlaganja.	2023.-2050.	2023.- 2065.
Odluka o odabiru tehnologije odlaganja ING-a (DGO ili DBDF) temeljit će se na geološkom kabinetskom radu (iznad) i početnim rezultatima istraživanja 5 lokacija, što će ukazati na relativnu izvedivost dviju opcija. Identifikacija i vladino/regulatorno "načelno odobrenje" poželjne lokacije DGO-a.	2055.	2070.
Dvostruki pristup odlučivanju: nastaviti s DGO programom ili koristiti međunarodno / multinacionalno odlagalište (MNR).	2055.	2055.
Karakterizacija površine poželjne lokacije; odabir koncepta; projektiranje nadzemnih i podzemnih objekata; razvoj i podnošenje sigurnosnih studija; aktivnosti za izdavanje preliminarne građevinske dozvole za početak podzemnih radova na lokaciji, izgradnja infrastrukture i izgradnja bitnih nadzemnih građevina.	2055.-2070.	2070.-2085.
Preliminarna građevinska dozvola (za pristup i podzemni istraživački objekt (URCF), infrastrukturu, nadzemne građevine).	2070.	2085.
Infrastruktura DGO-a, bitne nadzemne strukture, pristup i izgradnja URCF-a; korištenje URCF-a za podzemnu karakterizaciju i potvrdu tehničkih problema u sigurnosnoj studiji; aktivnosti za izdavanje glavne građevinske dozvole za početak	2070.-2085.	2085.-2100.

Aktivnost	Osnovni scenarij (BC) (godina)	Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (ELSC) (godina)
izgradnje DGO-a; aktivnosti za podnošenje zahtjeva za licencu za postrojenje za pakiranje.		
Građevinska dozvola za odlagalište.	2085.	2100.
Dozvola za izgradnju postrojenja za pakiranje.	2087.	2102.
Izgradnja i ispitivanje postrojenja za pakiranje; aktivnosti podnošenja i odobravanja dozvole za rad.	2087.-2092.	2102.-2107.
Dozvola za rad postrojenja za pakiranje.	2092.	2107.
Početna izgradnja operativnih područja i odlagališnih tunela DGO-a; aktivnosti vezane uz pripremu i odobrenje dozvole za rad.	2085.-2092.	2100.-2107.
Rad postrojenja za pakiranje.	2093.-2103.	2108.-2123.
Dozvola za rad DGO-a.	2092.	2107.
Rad DGO-a: odlaganje ING-a i VRAO-a/dugoživućeg NSRAO-a iz NE Krško	**2093.-2103.**	**2108.-2123.**
Razgradnja postrojenja za pakiranje.	2104.-2107.	2124.-2127.
Rad DGO-a: odlaganje otpada od razgradnje SFDS-a i postrojenja za pakiranje.	2104.-2110.	2124.-2130.
Odlaganje dugoživućeg NSRAO-a iz razgradnje; završetak i zatvaranje DGO-a.	2110.	2130.

Vremenski plan ELSC-a strukturno je sličan vremenskom planu BC-a, ali je većina datuma početka aktivnosti pomaknuta dalje u budućnost.

4.3.2 Glavni scenariji odlaganja

Procijenjena su dva glavna scenarija s različitim podskupom scenarija: 1) Osnovni scenarij (BC): NE Krško radi do 2043., SFDS do 2103./2107. i 2) Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (ELSC): NE Krško do 2063., SFDS do 2123./2127.

I. BC scenariji

a) ***DGO scenariji za ING, VRAO i dugoživući NSRAO, odlaganje u jedan DGO,*** u Sloveniji ili Hrvatskoj s vremenskim planom aktivnosti za BC prema Tablica 4-12:
- Scenarij DGO-a u čvrstoj stijeni (**B.D.H.**)
- Scenarij DGO-a u sedimentnoj stijeni (**B.D.S.**)

b) ***DBD scenariji za ING + DGO za komponente inventara koje nisu ING*** (VRAO i dugoživući NSRAO koji zahtijevaju geološko odlaganje) s ključnim točkama kao u Tablica 4-15 [44 ,41] sa:
- DBD i DGO na istoj lokaciji (B.B.B.)
- DBD i DGO na zasebnim lokacijama (B.B.S.)

Podskup različitih DBD scenarija za ING objašnjen je u poglavlju 4.3.7.1.

c) ***MNR scenariji za ING, VRAO i dugoživući NSRAO koji zahtijevaju geološko odlaganje*** s vremenskim planom aktivnosti za BC prema Tablica 4-12:

i) Scenariji sa zajedničkim MNR-om:
- DGO u čvrstoj stijeni – KBS-3V (B.M.S.H.) s različitim udjelom inventara NE Krško (10 %, 25 %, 50 %).

- DGO u sedimentnoj stijeni – OPA (B.M.S.S.) s različitim udjelom inventara NE Krško (10 %, 25 %, 50 %).

ii) Scenarij s komercijalnim MNR-om (dodatni troškovi)

II. **ELSC scenariji** gdje su svi gore navedeni DGO, DBD + DGO i MNR scenariji prilagođeni ovim proširenim glavnim točkama

a) DGO scenariji za ING, VRAO i dugoživući NSRAO, odlaganje u jedan DGO, u Sloveniji ili Hrvatskoj s vremenskim planom aktivnosti za ELSC prema Tablica 4-12:

- Scenarij DGO-a u čvrstoj stijeni (E.D.H)
- Scenarij DGO-a u sedimentnoj stijeni (E.D.S)

Za procjenu troškova definirano je nekoliko projektnih pretpostavki i graničnih uvjeta za sve scenarije analizirane u studiji troškova DGO-a [18]. Najvažniji za DGO scenarije su sljedeći:

1. Samo izravno odlaganje ING-a (bez ponovne obrade).
2. DGO se sastoji od podzemnog prostora (središnja servisna i odlagališna zona, ostali objekti) i više nadzemnih objekata, koji su neophodni za normalan rad odlagališta. Podzemni dio je pristupnom rampom povezan s nadzemnim dijelom.
3. Program razvoja DGO-a uključivat će podzemni objekt za karakterizaciju stijena i inženjerske demonstracije (URF) koji je sastavni dio i bitan za završetak karakterizacije lokacije i konačni projekt podzemnih prostora.
4. Postrojenje za pakiranje ING-a bit će smješteno zajedno s DGO-om, na nominalnoj udaljenosti od 200 km od NE Krško, a otpad će se do lokacije prevoziti cestom. Su-lokacija omogućuje korištenje postojeće HI-STAR tehnologije za transport ING-a i izbjegava potrebu za razvojem transportnog sustava za masivne, zapakirane spremnike ING-a.
5. VRAO i NSRAO iz razgradnje koji je namijenjen za DGO bit će prebačen u SFDS iz njegovih HI-SAFE spremnika za skladištenje u pakete prikladne za transport i izravno odlaganje u DGO.
6. ING će biti u suhom skladištu u NE Krško od 2023. do potpunog prijenosa u DGO do kraja 2102. ili 2122. godine.
7. U BC-u, DGO mora biti u funkciji do 2093. kako bi se omogućilo izravno odlaganje ING-a bez zahtjeva za produljenim skladištenjem nakon 2103. i bit će zatvoren čim se ostatak inventara (SFDS i otpad od razgradnje postrojenja za pakiranje) smjesti (očekuje se do kraja 2110.). ELSC razmatra mogućnost produljenja životnog vijeka NE Krško do 2063. godine, kao i produljenog operativnog razdoblja SFDS-a do 2123. godine, s kasnijim početkom DGO programa.
8. U svakom slučaju, predloženi su odgovarajući izgled i dimenzije DGO-a na kojima se temelje procjene troškova.
9. Pretpostavlja se da je dubina zone odlaganja DGO-a za sve vrste otpada 500 m.

U ovom poglavlju 4.3 predstavljeni su najvažniji i najvjerojatniji scenariji u čvrstim stijenama i sedimentnim formacijama s najvećim utjecajem na buduće troškove:

a. BC i ELSC DGO scenariji za odlaganje istrošenog goriva, VRAO-a i dugoživućeg NSRAO-a,
b. Alternativni scenariji: DBD za ING i DGO samo za VRAO i dugoživući NSRAO (B.B.B., B.B.S.),
c. Alternativni scenariji: B.M.S.H. i B.M.S.S. kao zajednički MNR

4.3.3 Inventar

Inventar ING-a i otpada sastoji se od sljedećih materijala (Poglavlje 3.2):

- sveg ING-a iz Krškog[12] u skladištu nakon zatvaranja NE pod BC (2043.) i ELSC (2063.)
- sveg VRAO-a / dugoživućeg NSRAO-a iz razgradnje NEK, što će biti dovršeno 2058. u BC-u i 2078. u ELSC-u
- RAO-a iz rada SFDS-a: nalazi se na lokaciji NE nakon 2058. (BC) i 2078. (ELSC), kao i sav RAO iz razgradnje SFDS-a
- RAO iz rada i razgradnje postrojenja za pakiranje ING-a
- RAO-a iz pogona i razgradnja nadzemnih građevina DGO-a.

4.3.3.1 Istrošeno nuklearno gorivo

U poglavljima 3.2 i 4.1.2.1 opisan je inventar NE Krško. Tablica 4-13 prikazuje trenutne količine ING-a uskladištenog u mokrom i suhom skladištu, kao i predviđene količine do kraja životnog vijeka NE Krško. Planiranje NE Krško razmatra cikluse nuklearnog goriva od 18 mjeseci gdje će se u BC-u do 2043. godine proizvesti ukupno 2.282 gorivnih elemenata, a u ELSC-u se očekuje dodatnih 900 SFA-ova. Tablica 4-13 prikazuje broj spremnika potrebnih za odlaganje.

Tablica 4-13 Broj istrošenih gorivnih elemenata ING-a za svaki glavni scenarij s brojem spremnika potrebnih za odlaganje.

	Base Case	**ELSC**
Broj gorivnih elemenata ING-a za odlaganje:		
U spremnicima suhog skladišta na početku odlaganja	2282 (926,5 tHM)	3182 (1291,9 tHM)
U bazenu za ING u NE Krško na početku odlaganja	0	0
Ukupno	2282	3182
Broj potrebnih spremnika za odlaganje:	**571**	**796**

4.3.3.2 Ostali otpad za odlaganje

Pretpostavka za NSRAO i VRAO koji će također biti odloženi u geološko odlagalište uključuje [27]:

1. U BC-u i ELSC-u: 140 t VRAO-a iz razgradnje NEK-a (Tablica 3-10), zapakiran u 7 spremnika za otpad bez goriva (NFWC) umetnutih u spremnike Holtec HI-SAFE, zapremine odlaganja od 237 m^3 [20]; NFWC-ovi će se transportirati do postrojenja za odlaganje u transportnim spremnicima HI-STAR i odložiti u HI-SAFE ili druge zaštitne spremnike u servisnom području DGO-a.
2. Otpad iz pogona i razgradnje SFDS-a u BC-u i (ELSC-u) [27]:
   a) NSRAO koji će nastati tijekom razgradnje SFDS-a u godinama 2103. – 2106. (2123. – 2126.) prikazan je u Poglavlju 3.1.2, Tablica 3-9
   b) Ukupni volumen za odlaganje od približno 650 m^3 (900 m^3) može se pakirati u 56 (78) N2d ili 124 (174) RCC spremnika za odlaganje i odlagati u DGO zajedno s VRAO-om i dugoživućim NSRAO-om jer odlagališta NSRAO-a u Sloveniji i Hrvatskoj neće biti ponovno otvorena zbog demontaže SFDS-a.

[12] Opcija ponovne prerade ING-a ostaje otvorena, ali nastali otpad (ostakljeni VRAO i obloge dugoživućeg SRAO-a) još nije razmatran u ovoj analizi, koja se odnosi samo na izravno odlaganje ING-a.

3. Otpad iz pogona i razgradnje postrojenja za pakiranje [27]:
   a) Pretpostavlja se da se procijenjena količina otpada kako je prikazano u Poglavlju 3.1.2,Tablica 3-13 pakira u 14 (BC) i 17 (ELSC) N2d spremnika;
   b) Odlaže se na isti način kao otpad iz pogona i razgradnje odlagališta.
4. Otpad iz pogona i razgradnje odlagališta (isto za BC i ELSC) [27]:
   a) Rad (normalan): jedna bačva od 200 l godišnje; 10-20 bačvi tijekom pogonskog razdoblja (Tablica 3-13);
   b) Razgradnja/zatvaranje: nema radioaktivnog otpada.
   c) Izravno odlaganje bačvi (bez dodatnog spremnika za odlaganje) u odgovarajući podzemni odjeljak (npr. servisni prostor).
   d) Spremnici i bačve s NSRAO-om iz razgradnje nadzemnih postrojenja i aktivirani NSRAO iz SFDS-a odlagat će se u podzemne odjeljke servisnog područja nakon prestanka drugih postupaka odlaganja. Kao druga opcija, VRAO se može odložiti u posebno odlagalište.

4.3.4 DGO u čvrstoj stijeni

Koncept odlaganja temelji se na konceptu KBS-3V koji se koristi u programima odlaganja u Švedskoj i Finskoj. Uključuje odlaganje pakiranog ING-a u DGO, koristeći sustav s više barijera za sprječavanje ispuštanja radioaktivnog materijala u okoliš. Uz barijeru koju čini matična stijena, koristi se nekoliko inženjerskih barijera, kao što je spremnik otporan na koroziju i materijal ispune oko spremnika koji se sastoji od visoko zbijene bentonitne gline.

Odlagalište, na dubini od 500 metara, sastoji se od nekoliko odlagališnih tunela, iskopanih bušenjem i miniranjem. Na podu svakog tunela izbušene su vertikalne bušotine čiji razmak ovisi uglavnom o željenoj raspodjeli temperature oko spremnika, ali i o prisutnosti/odsutnosti pukotina. Spremnici se spuštaju u bušotine i okružuju slojem bentonitne gline; to se naziva materijal ispune jer drži spremnik na mjestu i štiti ga od malih pomaka u stijeni.

Na lokaciji odlagališta moraju biti osigurane sve strukture, sustavi i komponente potrebne da odlagalište djeluje kao samostalan nuklearni objekt. Zbog pogonskih zahtjeva i potrebnih mjera fizičke zaštite cijeli prostor odlagališta bit će podijeljen u četiri dijela (neograđeni, industrijski, nadzemni i podzemni tehnološki).

Prije nego što se ING smjesti u duboko odlagalište, bit će zatvoren u izdržljive spremnike u postrojenju za pakiranje na lokaciji odlagališta. Pogon se sastoji od recepcije, servisa, ventilacije, zgrade za proizvodnju, te ostalih potrebnih objekata i opreme, projektiran za godišnji proizvodni kapacitet od 60 bakrenih spremnika. Nakon završetka pakiranja postrojenje će se razgraditi, a radioaktivni otpad koji nastane razgradnjom prevest će se u odlagalište [27].

Podzemni prostor DGO-a sastoji se od sljedećih jedinica [27]:

- pristupna rampa jasnog presjeka 7 m x 7 m,
- servisno okno promjera 5 m; i,
- ventilacijsko okno promjera 3 m,
- servisni prostor s raznim komorama, i
- odlagalište s pristupnim tunelima, odlagališnim tunelima i bušotinama od ukupno 571 (BC) i 796 (ELSC) spremnika istrošenog goriva.

Pristupna rampa ili okno, zajedno sa servisnim oknom, povezuje se sa servisnim prostorom podzemnog odlagališta i također služi kao izlaz i pristupni putevi za vatrogasno osoblje i opremu. Pristupna rampa i tuneli projektirani su tako da omoguće neophodan transport spremnika s istrošenim gorivom, iskopane stijene, materijala ispune, materijala za zatrpavanje, građevinskog materijala i strojeva. Okna i pristupna rampa također se koriste za ventilaciju.

Područje odlaganja za BC sastoji se od 28 odlagališnih tunela, grupiranih s obje strane glavnog pristupnog tunela. Odlagalište je dimenzionirano za 571 odlagališnih bušotina. Dvadeset sedam odlagališnih tunela (dužine 207 m) opslužuje po 21 bušotinu, a jedan tunel (dužine 54 m) opslužuje 4 bušotine. Na dnu tunela za odlaganje izbušene su vertikalne bušotine. Svaka rupa je duboka oko 7,6 m i ima promjer od 1,8 m. Razmak između odlagališnih bušotina je 9 m. VRAO i dugoživući NSRAO iz razgradnje NE Krško odlagat će se u jednu od komora servisnog područja. NSRAO iz rada i razgradnje geološkog odlagališta i iz postrojenja za pakiranje tijekom aktivnosti zatvaranja odlagat će se u napuštene komore servisnog područja ili u druge podzemne odjeljke.

Dimenzije za ELSC prilagođene su potrebnom broju spremnika za odlaganje.

Dio DGO-a za odlaganje, gdje će se od 2108. – 2123. godine vršiti odlaganje 796 spremnika s ING-om, u odnosu na BC proširit će se na:

- 38 odlagališnih tunela (37 tunela od 207 m i 21 mjesto odlaganja – bušotine i jedan tunel duljine 189 m i 19 mjesta odlaganja) – za DGO koncept u čvrstoj stijeni; i
- 8 odlagališnih tunela duljine 800 m – za koncept DGO-a u sedimentnoj stijeni.

Rad i održavanje odlagališta

Rad DGO-a sastoji se od površinskih aktivnosti, posebice prijevoza i prihvata spremnika, te podzemnih aktivnosti, točnije rukovanja i postavljanja spremnika na mjesta odlaganja. Aktivnosti na lokaciji također uključuju pakiranje spremnika s istrošenim gorivom.

Operativne aktivnosti započinju odmah nakon dobivanja dozvole za rad odlagališta i puštanja u rad postrojenja. U početku je predviđen probni rad u trajanju od godinu dana. Radna faza također uključuje zatrpavanje i brtvljenje odlagališnih tunela. Pretpostavlja se da će rad odlagališta trajati 10 (2093.-2103. za BC) ili 15 (2108.-2123. za ELSC) godina.

Nakon što se svi spremnici postave u odlagališne bušotine, odlagališni tunel će se zatrpati, kako bi se osiguralo da materijal ispune oko spremnika ne nabubri prerano i da se ograniči protok vode. Prije zatrpavanja uklanja se betonska podloga i demontiraju ventilacijski, gromobranski i električni kabeli te cijevi za vodu i komprimirani zrak iz dijela koji se zatrpava.

Razgradnja nadzemnih građevina i zatvaranje odlagališta

Razgradnja postrojenja može započeti kada se odloži sav ING. Zatvaranje geološkog odlagališta započet će popunjavanjem podzemnih tunela i područja za odlaganje. Strukture koje su izgrađene za operativnu fazu, poput betonskih podova i sustava, bit će uklonjene iz odlagališta. Nakon zatrpavanja podzemnih odlagališta vrši se zatvaranje tunela, rovova, okna i rampe.

Većina zgrada i objekata na površini bit će demontirana. Međutim, dijelovi površinskih postrojenja mogu ostati ovisno o potrebama nadzora odlagališta nakon zatvaranja.

Otpad iz razgradnje, kao i operativni otpad, odlagat će se u odgovarajuće podzemne odjeljke DGO-a. Ponovna uporaba nekih površinskih zgrada i objekata može se predvidjeti za druge industrijske djelatnosti.

Pretpostavlja se da će faza razgradnje trajati 4 godine, 2104.-2107. za BC i 2124.-2127. za ELSC, a faza zatvaranja će trajati 3 godine, 2108.-2110. za BC i 2128.-2130. za ELSC.

Nadzor i institucionalna kontrola

U svrhu procjene troškova, pretpostavlja se da će aktivnosti nadzora okoliša na lokaciji (mjerenje radioaktivnosti na površini zemlje i u dubokim bušotinama, razine podzemne vode, protoka, kemije, temperature itd.) započeti godinu nakon načelnog odobrenja preferirane lokacije i nastaviti će se tijekom rada i razgradnje. Pretpostavlja se razdoblje od 18 godina. Trenutno se pretpostavlja da će u oba scenarija aktivna institucionalna kontrola trajati 50 godina nakon zatvaranja odlagališta.

Na kraju razdoblja aktivne institucionalne kontrole, odlagalište se priprema za pasivni dugotrajni nadzor. To uključuje čuvanje podataka na odlagalištu, podsjećanje budućih generacija na postojanje odlagališta i sprječavanje upada ljudi te zadržavanje vlasništva nad zemljištem odlagališta.

4.3.5 DGO u sedimentnoj stijeni

Za scenarij DGO-a u sedimentnoj stijeni, karakteriziran glinovitim sedimentima niske do srednje čvrstoće kao geološkim okruženjem za odlaganje, razmatraju se švicarski OPA inženjerski koncepti koje je razvila Nagra za geološko okruženje Opalinus Clay. Pretpostavlja se da glinovite formacije s istim svojstvima kao švicarska Opalinus Clay postoje u Sloveniji ili Hrvatskoj i da su pogodne za DGO. U prošlosti je već obavljen određeni rad prikupljanja i sređivanja podataka u preliminarni katalog glinovitih formacija na području Slovenije s 12 takvih identificiranih formacija [45]. U sklopu projekta "Preliminarna analiza mogućnosti i regulatornih osnova potencijalnih geoloških okruženja za izgradnju dubokog geološkog odlagališta (2021.)" [46] provedena je višekriterijska analiza teritorija Republike Hrvatske. Ovom analizom identificirane su matične stijene za potencijalnu izgradnju dubokog geološkog odlagališta. Rezultati su prikazani na geološkoj karti korištenjem GIS tehnologije.

Skladištenje ING-a na lokaciji NE Krško i transport ING-a do lokacije DGO-a, kao i proces pakiranja bit će isti kao u slučaju koncepta čvrste stijene (4.3.4). Međutim, postupak pakiranja prilagođen je umetanju FA u čelični spremnik za odlaganje (spremnik za odlaganje bez bakrene obloge ili premaza). Broj spremnika za odlaganje isti je kao za koncept čvrste stijene (Tablica 4-13).

Koncept odlaganja temelji se na konceptu tvrtke Nagra, izvorno razvijenom za DGO u Švicarskoj i uključuje odlaganje zapakiranog ING-a u DGO, korištenjem sustava s više barijera kako bi se smanjilo ispuštanje radioaktivnog materijala u okoliš. Osim funkcije barijere koju osigurava matična stijena, koriste se i inženjerske barijere koje se sastoje od spremnika za odlaganje, bentonitne ispune koja okružuje spremnik i brtvila na ulazu u odlagališne tunele.

Predviđena je ista dubina kao u konceptu čvrste stijene, tj. 500 m, a broj odlagališnih tunela prilagođen je inventaru NE Krško (Tablica 4-14). Odlagalište za BC sastoji se od šest odlagališnih tunela za ING, izvedenih kao slijepi tuneli, iskopanih strojem za bušenje tunela. Spremnici za odlaganje s ING-om bit će postavljeni vodoravno u odlagališnim tunelima s razmakom od 3 metra između njih kako bi temperatura oko spremnika bila dovoljno niska. Spremnici za odlaganje ING-a bit će postavljeni na bentonitne blokove, a nakon postavljanja prostor oko spremnika će se odmah zatrpati bentonitom [27].

Faze odlagališta, projektni kriteriji i nadzemni objekti za DGO u konceptu gline isti su kao i za koncept čvrste stijene.

Pristup podzemnom URF-u i odlagalištu bit će isti kao kod koncepta čvrstih stijena, dok će URF (kasnije preuređen u servisno područje) i dio odlagališta biti prilagođeni geološkim i geomehaničkim svojstvima gline.

Podzemno postrojenje sastoji se od servisnog prostora s različitim komorama, te odlagališta za ING s pristupnim i odlagališnim tunelima. Raspored okna i pristupne rampe, projektna razmatranja za pristup podzemnim objektima, kao i rješenja, isti su kao i za koncept čvrste stijene. Samo se područje odlaganja VRAO-a/SRAO-a mijenja iz kristaliničnog koncepta u slijepe tunele, što ima prednosti za dugoročnu sigurnost i smanjuje radove na zatvaranju ovog dijela. Raspored odlagališnih tunela je drugačiji – njihov promjer je znatno manji, a ne koriste se okomiti otvori za odlaganje. Umjesto toga, spremnici za odlaganje vodoravno su smješteni u odlagališnim tunelima. Funkcije i kapaciteti ostalih podzemnih objekata isti su kao i za koncept čvrste stijene. Odlagalište za osnovni scenarij sastoji se od 6 paralelnih odlagališnih tunela koji počinju od radnog tunela. Odlagalište je dimenzionirano za 571 spremnik za odlaganje. Dimenzije za ELSC prilagođene su potrebnom broju spremnika za odlaganje [27].

Izgradnja pristupnih građevina izvodit će se na isti način kao i kod koncepta čvrste stijene: spuštanjem okna i iskopom pristupnog tunela.

Servisno područje, URF, radni i ventilacijski tunel će se izgraditi strojem za iskopavanje tunela (engl. *road header*). Izgradnja odlagališnih tunela vršit će se strojem za bušenje tunela.

Rad i održavanje odlagališta

Organizacija aktivnosti odvijat će se na isti način kao i kod koncepta DGO-a u čvrstoj stijeni. Također, vremenski okvir poduhvata bit će isti.

Svi odlagališni tuneli bit će iskopani prije početka odlaganja tijekom faze izgradnje pomoću stroja za bušenje tunela. Spremnici za odlaganje bit će prebačeni iz površinskih objekata u odlagališta uz pristupnu rampu, servisni prostor i radni tunel. Strojem za postavljanje će se spremnik za odlaganje s bentonitnim blokovima dovesti i postaviti na odgovarajuće mjesto (pomoću daljinskog upravljanja). Bentonitni blokovi ispod spremnika za odlaganje potrebni su kako bi se osiguralo da se spremnik za odlaganje može postaviti u središte odlagališnog tunela. Nakon postavljanja spremnika za odlaganje izvršit će se zatrpavanje. Kada se odlagališni tunel napuni spremnicima za odlaganje i zatrpa, može započeti postavljanje u sljedeći odlagališni tunel.

Osim toga, izgradit će se brtva na spoju odlagališnog tunela i radnog tunela. Brtva će se izgraditi u fazi zatvaranja.

Razgradnja nadzemnih građevina i zatvaranje odlagališta

Razgradnja postrojenja može započeti kada se smjesti sav ING, kao i ostali otpad koji nije ING. Zatvaranje geološkog odlagališta započet će popunjavanjem podzemnih tunela i područja za odlaganje. Nakon zatrpavanja podzemnih područja odlagališta vrši se brtvljenje tunela, rovova, okna i rampe u servisnom i pristupnom dijelu objekta na isti način kao u slučaju koncepta u čvrstoj stijeni. Također, razgradnja nadzemnih objekata, zbrinjavanje otpada i eventualna ponovna uporaba nadzemnih objekata provodit će se na isti način u istim vremenskim razdobljima kao i za DGO u čvrstoj stijeni.

Nadzor i institucionalna kontrola

Nadzor i institucionalna kontrola provodit će se na isti način kao i u slučaju koncepta DGO-a u čvrstoj stijeni.

Ostale aktivnosti aktivne i pasivne institucionalne kontrole (uključujući zaštitne mjere) bit će iste kao i za rješenje u čvrstoj stijeni.

4.3.6 Glavne razlike u oba DGO scenarija

U usporedbi s kristaliničnom stijenom, izgradnja DGO-a u glini donekle je drugačija zbog ograničene čvrstoće gline pa su shodno tome mogući samo presjeci ograničene veličine, a potrebno je više napora za oslonac stijene. Sukladno tome, dubina naslaga gline također ima utjecaj na izvedivost izgradnje. Ključna razlika između čvrste i sedimentne (gline) stijene je količina iskopanog materijala koja je izravno povezana s razmatranim konceptima odlaganja (KBS-3V u odnosu na OPA) kao što je prikazano u Tablica 4-14.

Tablica 4-14 Volumen iskopane stijene – Usporedba za Osnovni scenarij (BC) [27].

Komponenta	**DGO BC Čvrsta stijena**	**DGO BC Glina**
	Volumen (m^3)	
Pristupna rampa	240,000	
Servisno okno	13,250	
Ventilacijsko okno	4,500	
Servisno područje	74,660	24,902
Pristupni/operativni/ventilacijski tunel	106,674	24,386
Odlagališni tuneli (571 spremnik)	180,576	39,330
Odlagališne bušotine	11,037	N/A
Specifični volumen iskopane stijene	372,947	88,618
Ukupni volumen iskopane stijene	**630,697**	**346,368**
Odlagališni tuneli/bušotine	28 odlagališnih tunela od 207 m / 21 bušotina po tunelu.	5 odlagališnih tunela od 800 m.
	Tunel br. 28: 54 m/4 bušotine.	Tunel br. 6: 600 m.

Druge razlike između dva koncepta koje značajno utječu na troškove:

1. Čelični spremnici za odlaganje gline znatno su jeftiniji od spremnika za odlaganje u čvrstoj stijeni koji su obloženi bakrom.
2. Iskop i izgradnja prilaza (pristupne rampe, servisnog okna i ventilacijskog okna) do dijela DGO-a za odlaganje u sedimentnoj stijeni jeftiniji su (za cca 20 %) od iskopa i izgradnje dijela za odlaganje u čvrstoj stijeni.

4.3.7 Mogućnosti odlaganja uz DGO scenarije

4.3.7.1 Odlaganje u duboku bušotinu (DBD) u kombinaciji s DGO-om za VRAO

U posljednjih nekoliko godina došlo je do ubrzanog globalnog interesa za alternativni pristup geološkom odlaganju: odlaganje u duboke bušotine (DBD). Kako bi podržali razvoj opcije odlaganja u DBD koja će se koristiti u četvrtoj reviziji Programa odlaganja RAO-a i ING-a iz NE Krško, ARAO i Fond naručili su zasebnu studiju za izradu proračuna troškova i vremena za odlaganje ING-a iz NE Krško u odlagalište u dubokoj bušotini, [41] u odnosu na rudnički DGO [27]. U ovom scenariju rudnički DGO je potreban samo za komponente inventara koje nisu ING (tj. VRAO i NSRAO koji zahtijevaju geološko odlaganje), jer je ING odložen u DBD postrojenju.

Cilj studije za DBD bio je informirati o razumijevanju kako će troškovi duboke bušotine varirati ovisno o geologiji (tj. varijacija u troškovima između odlaganja u sedimentnim stijenama i odlaganja u kristaliničnim stijenama), lokaciji (tj. usporedba troškova odlaganja u Krškom s odlaganjem na "generičkoj" slovensko/hrvatskoj lokaciji) i arhitekturi bušotine (tj. varijacija u troškovima između vertikalnih i horizontalnih opcija odlaganja). Studija se usredotočuje na samo tri od osam mogućih varijanti geologije/lokacije i arhitekture, koji zajedno pružaju najveću vrijednost u prikazu ključnih čimbenika troškova i kompromisa povezanih s odlaganjem u duboke bušotine:

a) Horizontalno odlaganje u sedimentnim stijenama na generičkoj hrvatsko/slovenskoj lokaciji.
b) Vertikalno odlaganje na istoj generičkoj lokaciji, dublje okomito bušenje u kristaliničnu stijenu ispod sedimentnih formacija.
c) Horizontalno odlaganje u sedimentnim stijenama u Krškoj nizini.

Procjene troškova za ove kombinacije izrađene su na temelju tri vremenska scenarija koja su bila što je više moguće usklađena sa studijom troškova DGO-a [27], a gdje je bilo potrebno, razvijen je novi scenarij:

- **Osnovni scenarij (BC)**: u kojem NE Krško prestaje s radom i započinje razgradnju 2043., a vremenski okvir za izbor lokacije i izgradnju DBD odlagališta uvelike odražava trenutnu pretpostavku za rudnički DGO u [27].
- **Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (ELSC):** u kojem NE Krško nastavlja s radom do 2063. godine.
- **najranije moguće odlaganje (EPD)**: daje preporuku za vremenski komprimiraniji raspored odlaganja, povezan sa zatvaranjem NE Krško 2043. godine, kao u osnovnom scenariju.

Scenariji potpune procjene troškova korištenjem [47] zatim su pripremljeni za BC, koristeći prethodno opisane geološke/lokacijske i arhitektonske varijante a), b) i c), uključujući ELSC u okviru opcije c) te EPD također unutar opcije c).

Tablica 4-15 Vremenski čimbenici od posebne važnosti za procjenu troškova [41].

Čimbenik	BC	ELSC
Krško prestaje s radom i započinje razgradnja	2043.	2063.
Odluka o tome hoće li se implementirati DBDF ili rudnički DGO	2055.	2070.
Načelno odobrenje preferirane lokacije za DBDF	2055.	2070.
Počinje izgradnja odlagališta	2065.	2080.
Dobivena građevinska dozvola za postrojenje za pakiranje	2066.	2081.

Čimbenik	BC	ELSC
Dobivena uporabna dozvola za postrojenje za pakiranje i početak aktivnosti pakiranja	2071.	2081.
Dobivena uporabna dozvola za odlagalište i početak aktivnosti odlaganja	2073.	2088.
Zatvaranje odlagališta i postrojenja za pakiranje	2076.	2092.

U oba glavna scenarija, trenutna politika predviđa da se terenske aktivnosti za identifikaciju i istraživanje potencijalnih lokacija za odlagalište neće započeti do 2050. godine. Međutim, preporuka je sastavljača studije troškova za DBD [41] da razvoj tehnologije i tržišta znači da je moguć značajno brži vremenski okvir za DBD – iako bi to zahtijevalo testiranje tehnologije i određeni razvoj i odabir lokacije i terenski rad da bi se počelo znatno prije trenutno planiranog rasporeda za 2050. godinu.

Planirano da se sav inventar ING-a (Tablica 3-15) odlaže u nekoliko dubokih bušotina na jednom mjestu, a postrojenje za pakiranje ING-a nalazit će se na odlagalištu DBD-a.

Pripremljeni su visoki geološki zahtjevi za DBD odlagalište istrošenog goriva iz NE Krško, izvedeni iz generičke litologije koja je tipična za veći dio podzemlja u Sloveniji i Hrvatskoj, kao i studija javno dostupnih podataka o geologiji područja Krškog [41].

Izrađene su i analize troškovnih varijabli za različite dubine i broj bušotina.

Odlaganje preostalog RAO-a bilo je predmet studije troškova DGO-a [25] s dvije glavne opcije koje su analizirane:

- DGO za VRAO na lokaciji odlagališta DBD-a i
- DGO za VRAO na zasebnoj lokaciji DGO-a.

Za ove varijante, DGO BC rokovi i aktivnosti opisani gore (Tablica 4-12) su izmijenjeni kako bi odgovarali scenariju DBD odlagališta [41], što omogućuje raniju razgradnju SFDS-a i postrojenja za pakiranje te kasniji početak DGO programa. Ostali aspekti također se mijenjaju, na primjer, ne bi bilo URF-a.

4.3.7.2 Multinacionalno odlaganje

DGO-i uključuju visoke razine fiksnih troškova koji su, u određenoj mjeri, neovisni o količini otpada koji se odlaže.

Dijeljenje odlagališta s nekoliko partnera može dramatično smanjiti izdatke za fiksne troškove za sve uključene, u usporedbi s fiksnim troškovima jednog nacionalnog odlagališta.

Za potrebe obračuna troškova, pretpostavljeno je da se MNR nalazi izvan Slovenije i Hrvatske. MNR i povezano postrojenje za pakiranje koje će početi s radom 2060. godine prihvatit će cijeli inventar Krškog kao i otpad od razgradnje SFDS-a [27]. MNR će biti dostupan najmanje do 2107. godine – BC (2127. – ELSC), kako bi se prihvatio "najmlađi" ING (60 godina bivši reaktor) bez potrebe za produljenjem operativnog razdoblja SFDS-a.

Kao što je prethodno objašnjeno, analizirana su dva scenarija pružatelja MNR-a [25]:

- scenarij sa zajedničkim MNR-om gdje ING iz NEK-a predstavlja 10 %, 25 % ili 50 % kapaciteta MNR-a i zajedničko postrojenje za pakiranje ING-a je predviđeno na lokaciji MNR-a. Troškovi se procjenjuju pomoću dva modela:

  - izvedba KBS-3V u čvrstoj stijeni u kombinaciji s komorom za VRAO;
  - OPA (švicarska) izvedba u glini; i
- scenarij s komercijalnim MNR-om: MNR s komercijalnom uslugom, koja također pruža uslugu pakiranja ING-a.

O MNR rješenju se detaljnije raspravljalo u studiji troškova DGO-a [27]. Budući da je ovo dodatno rješenje za osnovni scenarij odlaganja ING-a i VRAO-a u rudničkom DGO-u, procjene troškova nisu uključene u ovaj program.

4.3.8 Troškovi odlaganja VRAO-a i ING-a

4.3.8.1 Korištena metodologija obračuna troškova

Za pripremu troškova odlaganja VRAO-a i ING-a korištena je EURAD WBS struktura [27].

EURAD struktura razrade rada (engl. *Work Breakdown Structure*, WBS) [47] za procjenu specifičnih komponenti ili elemenata troškova korišteno je i organizirano u 12 glavnih skupina u obje DGO studije troškova [27], [41] kako slijedi:

1. Upravljanje programom odlaganja
2. Uključivanje dionika
3. Odabir lokacije
4. Istraživanje lokacije i RD&D
5. Monitoring (od osnovnih informacija do dugoročne sigurnosti odlagališta)
6. Sigurnosna procjena, sigurnosna studija i procjena utjecaja na okoliš
7. Dizajn
8. Ostale aktivnosti / dokumentacija
9. Izgradnja
10. Rad i održavanje
11. Zatvaranje
12. Institucionalna kontrola

Svaka od skupina dalje je podijeljena na detaljnije i specifične stavke troškova, kao što su na primjer:

9. Izgradnja
    - 9.1. Upravljanje izgradnjom
    - 9.2. Infrastruktura na lokaciji i izvan nje
    - 9.3. Nadzemni objekti i građevine
    - 9.4. Izgradnja podzemnog istraživačkog postrojenja (URF)
    - 9.5. Podzemni objekti i građevine
    - 9.6. Ostala postrojenja ili usluge za odlaganje (npr. postrojenje za pakiranje)
    - 9.7. Ugradnja opreme.

Troškovnik se izrađuje za svaku pojedinačnu WBS stavku. Za svaku glavnu skupinu troškova, WBS je pripremljen do 3. razine (npr. 9.7.2 Podzemne građevine) i uključen u priloge studije troškova DGO-a [27].

Svi troškovi izraženi su kao (nominalni) troškovi ulaganja i temelje se na razini cijena iz lipnja 2023. Buduća inflacija ili diskontne stope nisu uzete u obzir.

Troškovnik je napravljen na temelju:

- Rezultata dobro razvijenog programa (Švedska, Finska, Švicarska),
- Iskustva projekta odlaganja NSRAO-a (studija izvodljivosti),
- Iskustva iz projekata za NE Krško (posebno SFDS-a),
- Iskustva u projektiranju i izgradnji hidroelektrana,
- Učinaka inflacije i poskupljenja,
- Regulatornih zahtjeva za naknadu.

Za švicarske troškove uzet je u obzir utjecaj pariteta kupovne moći (PPP). Za svaki element WBS-a korišten je udio radova ili isporuka koje mogu izvesti lokalni izvođači (Slovenija, Hrvatska) i udio radova ili isporuka koji se moraju izvršiti u inozemstvu.

Troškovnik pokriva sve troškove za BC i ELSC u razdoblju od 2051. do zatvaranja odlagališta 2110. (2130.) godine.

Troškovi nadzora nakon zatvaranja dio su integralnog obračuna troškova u studiji troškova DGO-a [27] i nisu uključeni u troškove ulaganja za izračun anuiteta slovenskom fondu, jer će ti troškovi biti prema ZVISJV-1 [31] financirani iz državnog proračuna. U slučaju Hrvatske, ove troškove mora pokriti Fond i oni su dio troškova ulaganja.

4.3.8.2 Opcionalna analiza i registar rizika

Ukupni troškovi geološkog odlaganja izračunati su u tri koraka. Prvo su procijenjeni osnovni troškovi. Zatim su na osnovne troškove, stručnom procjenom procijenjene naknade za greške predviđanja kako bi se nadoknadile razne neizvjesnosti kao što su zrelost projekta, korištene tehnologije, uporaba inovativnih tehnologija, sve u skladu sa smjernicama koje je izdao AACEI [48], koje se koriste za određivanje nepredviđenih troškova i dodaje se kao postotak osnovnih troškova. Ovisno o zrelosti projekta, isti se raspoređuje u jednu od pet razreda procjene za koje su definirani specifični nepredviđeni troškovi. Općenito, projekt je dodijeljen u razred procjene 4. Ovisno o razini neizvjesnosti, postotak nepredviđenosti odabran tijekom procesa stručne prosudbe može biti 20 %, 25 % ili 30 %.

WBS stavka Isplata naknada lokalnim zajednicama temelji se na trenutno važećem slovenskom zakonodavstvu (UV8, [39]). Na ovu stavku ne primjenjuju se nepredviđeni troškovi.

Zbog vremenskog jaza između današnjeg ulaganja sredstava i učinaka ulaganja u budućnosti, takva su ulaganja usko povezana s rizicima i stoga ih treba nadoknaditi naknadama za hazarde.

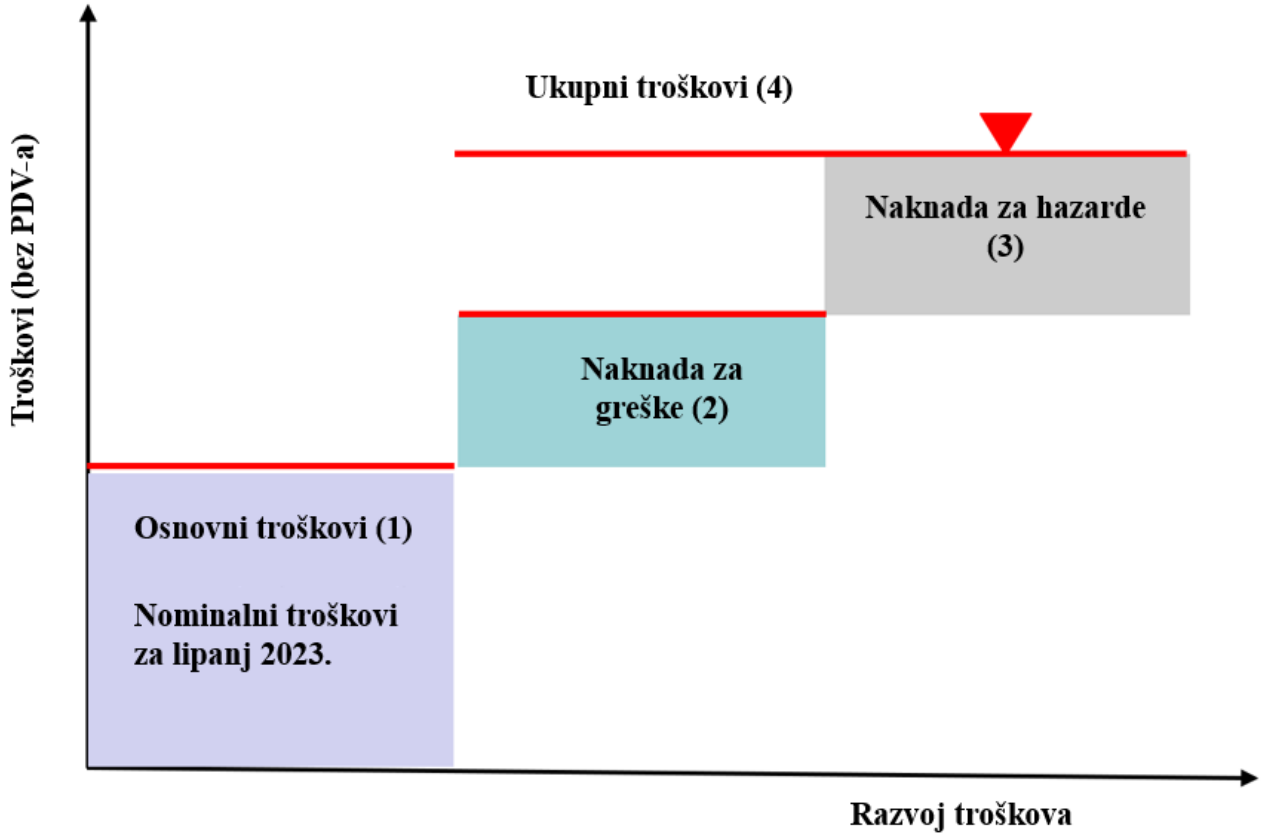
Posebna pozornost posvećena je hazardima koji mogu utjecati na povećanje troškova pojedinih aktivnosti WBS-a s različitim stupnjevima hazarda. Ugrubo je pretpostavljeno da je granica između manje štetnih i štetnih posljedica oko 10 %, a između štetnih i vrlo štetnih financijskih posljedica oko 30 % osnovnog troška svake aktivnosti.

Tri su razreda također određena za vjerojatnost pojavljivanja:

1. Malo vjerojatno - događaj se vjerojatno neće dogoditi; vjerojatnost je nekoliko postotaka i ne prelazi 10 posto.
2. Moguće - vjerojatnost pojavljivanja događaja je otprilike jedan prema četiri (25 %) s odstupanjima od 10-15 posto naniže i naviše.
3. Vjerojatno - vjerojatnost pojave događaja je značajna ili visoka i kreće se od približno 50 % do gotovo 100 %.

Nakon izrade procjena nominalnih troškova, nominalnim troškovima dodaju se naknade za hazarde i prilike korištenjem ekspertne procjene za skupine WBS elemenata.

Ukupni troškovi tada se izračunavaju kao zbroj osnovnih troškova i svih dodatnih naknada. Struktura ukupnih troškova prikazana je na Slika 4-9.



Slika 4-9 Shematski prikaz korištene metodologije obračuna troškova [27].

4.3.8.3 Troškovi za DGO u čvrstoj stijeni

Tablica 4-16 Ukupni troškovi za osnovni scenarij s naknadama i PDV-om (SLO i HR), B.D.H [27].

	Osnovni troškovi	Faktor greške	Naknada za greške	Faktor hazarda	Naknada za hazarde	UKUPNO (EUR)
1. UPRAVLJANJE PROGRAMOM ODLAGANJA	7.969.750	20 %	1.593.950	0 %	---	9.563.700
2. UKLJUČIVANJE DIONIKA	82.935.053	0 %-20 %	357.000	0 %-10 %	178.500	83.470.553
3. ODABIR LOKACIJE	12.614.720	20 %	2.522.944	0 %-10 %	991.472	16.129.136
4. ISTRAŽIVANJE LOKACIJE I RD&D	81.222.070	20 %	16.244.414	10 %	8.122.207	105.588.691
5. MONITORING	46.735.655	20 %	9.347.131	0 %-10 %	1.767.315	57.850.101
6. SIGURNOSNA PROCJENA, SIGURNOSNA STUDIJA I PUO	12.899.500	20 %	2.579.900	0 %-10 %	1.129.950	16.609.350
7. DIZAJN	23.783.625	20 %-25 %	5.721.131	0 %-10 %	1.928.813	31.433.569

	Osnovni troškovi	Faktor greške	Naknada za greške	Faktor hazarda	Naknada za hazarde	UKUPNO (EUR)
8. OSTALE AKTIVNOSTI / DOKUMENTACIJA	557.685	20 %	111.537	0 %	---	669.222
9. IZGRADNJA	463.481.549	20 %-25 %	112.918.374	0 %-20 %	80.888.259	657.288.182
10. RAD I ODRŽAVANJE	367.702.697	20 %-30 %	96.017.046	0 %-20 %	28.579.397	492.299.141
11. ZATVARANJE	78.562.861	20 %-30 %	22.193.655	0 %-20 %	7.310.681	108.067.197
12. INSTITUCIONALNA KONTROLA	37.975.000	50 %	18.987.500	20 %	7.595.000	64.557.500
UKUPNO	**1.216.440.166**		**288.594.583**		**138.491.593**	**1.643.526.341**
UKUPNO sa SLO PDV-om	**1.466.203.991**		**352.085.391**		**168.959.743**	**1.987.249.125**
UKUPNO sa HRV PDV-om	**1.500.262.694**		**360.743.228**		**173.114.491**	**2.034.120.413**

Ukupni troškovi za osnovni scenarij DGO-a u čvrstoj stijeni procjenjuju se na 1,644 milijarde EUR (bez PDV-a), te na 1,987 milijardi EUR za korištenje slovenske stope PDV-a i na 2,034 milijarde EUR za korištenje hrvatske stope PDV-a.

Većina troškova povezana je s izgradnjom, radom i održavanjem DGO-a. Troškovi izgradnje uključuju troškove vođenja izgradnje (koordinacija zaštite na radu u fazi izvedbe projekta i nadzor nad izvođenjem radova), infrastrukturnih priključaka, izgradnje nadzemnih i podzemnih objekata, postrojenja za pakiranje i instalacije opreme. Procjenjuju se visoke cijene za izgradnju pristupne rampe (121,4 milijuna EUR), pristupnog tunela (37,6 milijuna EUR) i odlagališnih tunela (110,2 milijuna EUR) uglavnom zbog velikih količina iskopanog materijala tijekom izgradnje [27]. Za rad i održavanje DGO-a procijenjeni su veliki troškovi za izgradnju i rad postrojenja za pakiranje (239,7 milijuna EUR), za kupnju bakrenih spremnika (138,2 milijuna EUR), za troškove rada (74,5 milijuna EUR) i za posebne materijale (bentonit, glina) za brtvljenje bušotina i odlagališnih tunela (165,9 milijuna EUR). Svaka od skupina troškova detaljnije je razrađena u studiji troškova DGO-a i njezinim prilozima [27].

Troškovi DGO-a u čvrstoj stijeni za ELSC (E.D.H) prikazani su u Tablica 4-17.

Tablica 4-17 Ukupni troškovi s nepredviđenim troškovima i PDV-om za ELSC u čvrstoj stijeni (E.D.H) [27].

	Osnovni troškovi	Faktor greške	Naknada za greške	Faktor hazarda	Naknada za hazarde	UKUPNO (EUR)
1. UPRAVLJANJE PROGRAMOM ODLAGANJA	8.564.750	20%	1.712.950	0%	---	10.277.700
2. UKLJUČIVANJE DIONIKA	98.933.423	0%-20%	386.750	0%-10%	193.375	99.513.548
3. ODABIR LOKACIJE	12.614.720	20%	2.522.944	0%-10%	991.472	16.129.136
4. ISTRAŽIVANJE LOKACIJE I RD&D	81.222.070	20%	16.244.414	10%	8.122.207	105.588.691
5. MONITORING	51.644.863	20%	10.328.973	0%-10%	2.258.235	64.232.071
6. SIGURNOSNA PROCJENA. SIGURNOSNA STUDIJA I PUO	12.899.500	20%	2.579.900	0%-10%	1.129.950	16.609.350
7. DIZAJN	23.783.625	20%-25%	5.721.131	0%-10%	1.928.813	31.433.569
8. OSTALE AKTIVNOSTI/ DOKUMENTACIJA	557.685	20%	111.537	0%	---	669.222
9. IZGRADNJA	517.245.280	20%-25%	126.344.307	0%-20%	91.581.005	735.170.593

	Osnovni troškovi	Faktor greške	Naknada za greške	Faktor hazarda	Naknada za hazarde	UKUPNO (EUR)
10. RAD I ODRŽAVANJE	525.746.362	20%-30%	136.882.913	0%-20%	40.199.792	702.829.067
11. ZATVARANJE	79.381.361	20%-30%	22.439.205	0%-20%	7.474.381	109.294.947
12. INSTITUCIONALNA KONTROLA	37.975.000	50%	18.987.500	20%	7.595.000	64.557.500
UKUPNO	**1.450.568.640**		**344.262.523**		**161.474.229**	**1.956.305.392**
UKUPNO sa SLO PDV-om	**1.748.353.813**		**420.000.278**		**196.998.560**	**2.365.352.651**
UKUPNO s HRV PDV-om	**1.788.960.882**		**430.328.154**		**201.842.787**	**2.421.131.822**

Za ELSC troškovi su veći nego za osnovni scenarij uglavnom zbog produljenog vremena rada (veći troškovi rada i održavanja) i odlaganja dodatnih istrošenih gorivnih elemenata koji su povezani s više iskopanog materijala i većim brojem spremnika za odlaganje i većim brojem kupljenih spremnika za odlaganje.

4.3.8.4 Troškovi za DGO u sedimentnim formacijama

Tablica 4-18 Ukupni troškovi s naknadama i PDV-om, osnovni scenarij za DGO u sedimentnoj stijeni (B.D.S) [27].

	Osnovni troškovi	Faktor greške	Naknada za greške	Faktor hazarda	Naknada za hazarde	UKUPNO (EUR)
1. UPRAVLJANJE PROGRAMOM ODLAGANJA	7.969.750	20%	1.593.950	0%	---	9.563.700
2. UKLJUČIVANJE DIONIKA	82.935.053	0%-20%	357.000	0%-10%	178.500	83.470.553
3. ODABIR LOKACIJE	12.614.720	20%	2.522.944	0%-10%	991.472	16.129.136
4. ISTRAŽIVANJE LOKACIJE I RD&D	81.222.070	20%	16.244.414	10%	8.122.207	105.588.691
5. MONITORING	46.735.655	20%	9.347.131	0%-10%	1.767.315	57.850.101
6. SIGURNOSNA PROCJENA. SIGURNOSNA STUDIJA I PUO	12.899.500	20%	2.579.900	0%-10%	1.129.950	16.609.350
7. DIZAJN	23.783.625	20%-25%	5.721.131	0%-10%	1.928.813	31.433.569
8. OSTALE AKTIVNOSTI/ DOKUMENTACIJA	557.685	20%	111.537	0%	---	669.222
9. IZGRADNJA	396.239.589	20%-25%	96.107.884	0%-20%	67.439.867	559.787.340
10. RAD I ODRŽAVANJE	231.049.910	20%-30%	57.896.826	0%-20%	15.283.949	304.230.685
11. ZATVARANJE	72.820.566	20%-30%	20.739.934	0%-20%	7.068.997	100.629.496
12. INSTITUCIONALNA KONTROLA	37.975.000	50%	18.987.500	20%	7.595.000	64.557.500
UKUPNO	**1.006.803.123**		**232.210.152**		**111.506.069**	**1.350.519.343**
UKUPNO sa SLO PDV-om	**1.210.446.798**		**283.296.385**		**136.037.404**	**1.629.780.587**
UKUPNO s HRV PDV-om	**1.238.216.390**		**290.262.690**		**139.382.586**	**1.667.861.665**

Ukupni troškovi za osnovni scenarij DGO-a u sedimentnim stijenama procjenjuju se na 1,351 milijarde EUR (bez PDV-a), te na 1,630 milijardi EUR za korištenje slovenske stope PDV-a i na 1,668 milijarde EUR za korištenje hrvatske stope PDV-a.

Što se tiče osnovnog scenarija u čvrstoj stijeni, većina troškova povezana je s izgradnjom, radom i održavanjem DGO-a. Riječ je o troškovima izgradnje pristupne rampe (121,4 milijuna EUR), pristupnog tunela (11,4 milijuna EUR) i odlagališnih tunela (111,0 milijuna EUR) [4]. Za rad i održavanje DGO-a procijenjeni su veliki troškovi za izgradnju i rad postrojenja za pakiranje (172,0 milijuna EUR), za kupnju bakrenih spremnika (70,5 milijuna EUR), za troškove rada (74,5 milijuna EUR) i za posebne materijale (bentonit) za brtvljenje odlagališnih tunela (51,5 milijuna EUR).

Tablica 4-19 Ukupni troškovi s nepredviđenim troškovima i PDV-om za ELSC u sedimentnoj stijeni (E.D.S) [27].

	Osnovni troškovi	Faktor greške	Naknada za greške	Faktor hazarda	Naknada za hazarde	UKUPNO (EUR)
1. UPRAVLJANJE PROGRAMOM ODLAGANJA	8.564.750	20%	1.712.950	0%	---	10.277.700
2. UKLJUČIVANJE DIONIKA	98.933.423	0%-20%	386.750	0%-10%	193.375	99.513.548
3. ODABIR LOKACIJE	12.614.720	20%	2.522.944	0%-10%	991.472	16.129.136
4. ISTRAŽIVANJE LOKACIJE I RD&D	81.222.070	20%	16.244.414	10%	8.122.207	105.588.691
5. MONITORING	51.644.863	20%	10.328.973	0%-10%	2.258.235	64.232.071
6. SIGURNOSNA PROCJENA. SIGURNOSNA STUDIJA I PUO	12.899.500	20%	2.579.900	0%-10%	1.129.950	16.609.350
7. DIZAJN	23.783.625	20%-25%	5.721.131	0%-10%	1.928.813	31.433.569
8. OSTALE AKTIVNOSTI/ DOKUMENTACIJA	557.685	20%	111.537	0%	---	669.222
9. IZGRADNJA	439.962.549	20%-25%	107.023.625	0%-20%	76.124.459	623.110.633
10. RAD I ODRŽAVANJE	334.411.752	20%-30%	83.576.976	0%-20%	21.684.593	439.673.321
11. ZATVARANJE	74.020.566	20%-30%	21.099.934	0%-20%	7.308.997	102.429.496
12. INSTITUCIONALNA KONTROLA	37.975.000	50%	18.987.500	20%	7.595.000	64.557.500
UKUPNO	**1.176.590.503**		**270.296.633**		**127.337.100**	**1.574.224.236**
UKUPNO sa SLO PDV-om	**1.414.100.486**		**329.761.892**		**155.351.262**	**1.899.213.640**
UKUPNO s HRV PDV-om	**1.446.488.211**		**337.870.791**		**159.171.375**	**1.943.530.377**

Slično scenariju ELSC-a u čvrstoj stijeni, također su troškovi za scenarij ELSC-a u sedimentnim stijenama veći nego za osnovni scenarij zbog produljenog vremena rada i odlaganja dodatnih istrošenih gorivnih elemenata koji zahtijevaju dodatno iskopavanje materijala i veći broj odlagališnih bušotina i kupljenih spremnika za odlaganje.

4.3.8.5 Usporedba procjena troškova za DGO u čvrstoj stijeni i glini

Tablica 4-20 Usporedba troškova za oba osnovna scenarija s najvećim razlikama u troškovima.

	UKUPNO		DGO razlika B.D.H - B.D.S
	Čvrsta stijena	Glina	
1. UPRAVLJANJE PROGRAMOM ODLAGANJA	9.563.700,0	9.563.700,0	**0**
2. UKLJUČIVANJE DIONIKA	83.470.553,4	83.470.553,4	**0**
3. ODABIR LOKACIJE	16.129.136,0	16.129.136,0	**0**
4. ISTRAŽIVANJE LOKACIJE I RD&D	105.588.690,7	105.588.690,7	**0**
5. MONITORING	57.850.101,2	57.850.101,2	**0**
6. PROCJENA SIGURNOSTI, SIGURNOSNA STUDIJA I PUO	16.609.350,0	16.609.350,0	**0**
7. DIZAJN	31.433.568,8	31.433.568,8	**0**
8. OSTALE AKTIVNOSTI/ DOKUMENTACIJA	669.222,0	669.222,0	**0**
9. IZGRADNJA	**657.288.182,3**	**559.787.339,7**	**97.500.842,6**
10. RAD I ODRŽAVANJE	**492.299.140,5**	**304.230.684,9**	**188.068.455,6**
11. ZATVARANJE	**108.067.196,6**	**100.629.496,0**	**7.437.700,6**
12. INSTITUCIONALNA KONTROLA	64.557.500,0	64.557.500,0	**0**
UKUPNO (EUR)	**1.643.526.341,4**	**1.350.519.343,0**	**293.006.998,4**
UKUPNO sa SLO PDV-om (EUR)	**1.987.249.125,0**	**1.629.780.587,0**	**357.468.538,0**
UKUPNO s HRV PDV-om (EUR)	**2.034.120.413,0**	**1.667.861.665,0**	**366.258.748,0**

Kao što je već spomenuto u Poglavlju 4.3.6, postoje neke značajne razlike u oba osnovna scenarija DGO-a u količini iskopanog materijala i troškovima materijala za spremnike za odlaganje koji su izravno povezani s razmatranim konceptima odlaganja. Ove se razlike prevode u procjene troškova kao što se može vidjeti iz Tablica 4-20. Najveće razlike povezane su s troškovima izgradnje, rada i održavanja DGO-a. Procjene troškova niže su za B.D.S scenarij uglavnom zbog nižih troškova izgradnje postrojenja za pakiranje i njegovog rada, troškova pristupnih tunela i ukupnih troškova materijala za zatrpavanje i brtvljenje te nižih troškova čeličnih spremnika za odlaganje u glini, koji su znatno jeftiniji od bakrenih spremnika za odlaganje u čvrstoj stijeni.

4.3.8.6 Troškovi mogućnosti odlaganja uz DGO scenarije

Izrađeni su i troškovi za scenarij odlaganja isključivo inventara ING-a [23]. Iz ove preliminarne studije može se zaključiti da je duboko odlaganje u bušotinama izvedivo i potencijalno isplativo rješenje za istrošeno nuklearno gorivo iz NE Krško.

Uz DBD odlagalište za odlaganje ING-a, rudnički DGO je potreban za komponente inventara koje nisu ING (tj. VRAO i NSRAO koji zahtijevaju geološko odlaganje).

Kada je ING odložen u DBD odlagalište koje se nalazi na istoj lokaciji kao i rudnički DGO, troškovi se procjenjuju na 469,2 milijuna EUR (bez PDV-a), te na 572,5 milijuna EUR za korištenje slovenske stope PDV-a i na 586,5 milijuna EUR za korištenje hrvatske stope PDV-a [23]. Kada se DGO za VRAO i NSRAO koji zahtijeva geološko odlaganje gradi na zasebnoj lokaciji kao što je DBD, onda su troškovi uzrokovani dodatnim transportima i troškovima zasebnog izbora lokacije i programa

uključivanja dionika (neovisnog od DGO-a), nešto viši i procijenjeni na 531,0 milijuna EUR (bez PDV-a), te na 638,0 milijuna EUR za korištenje slovenske stope PDV-a i na 652,6 milijuna EUR kada se koristi hrvatska stopa PDV-a.

Tablica 4-21 Usporedba ukupnih troškova (bez PDV-a) u analiziranim scenarijima.

Kategorije troška	**Procjena troškova (u milijunima EUR)**							
	DBDF za ING (Osnovni scenarij)			**DGO za VRAO (osnovni scenarij)**		**Rudnički DGO (BC, DGO studija iz 2024.)**		**Ukupni troškovi za VRAO i ING**
	BC a) Generička-horizontalno	BC b): Generička-vertikalno	BC c): Horizontalno u Krškoj nizini	Na istoj lokaciji kao DBDF	Zasebna lokacija DBDF-a	U geologiji gline	U čvrstoj stijeni	**Rješenje s nižim troškovima**
Podzbroj	608,4	740,9	578,1	333,1	391,7	1010,2	1216,4	911,2 = 578,1+333,1
Nepredviđeni troškovi	220,1	300,0	217,6	136,1	139,29	344,6	427,1	353,7 = 217,6+136,1
UKUPNO	**828,5**	**1040,8**	**795,6**	**469,2**	**531,0**	**1350,5**	**1643,5**	**1264,8 = 795,6+469,2**
Trošak po MTHM-u	0,90	1,13	0,86	/	/	1,47	1,78	1,37

Provedba osnovnog scenarija za horizontalni DBD u Krškoj nizini i njegova kombinacija s DGO-om na istoj lokaciji za odlaganje VRAO-a mogla bi donijeti uštede (bez PDV-a) u rasponu od 85,7 milijuna EUR (najniži troškovi za scenarij s glinom) do 378,7 milijuna EUR u usporedbi s rudničkim odlagalištem u čvrstoj stijeni.

4.4 Zaključci i izazovi

4.4.1 Skladištenje ING-a

Svo istrošeno gorivo iz NE Krško trenutno se skladišti u bazenu istrošenog goriva, a od ožujka 2023. i u suhom skladištu koje svojom pasivnošću i smanjenjem količine ING-a u bazenu predstavlja značajno sigurnosno unapređenje. Premještanje istrošenog goriva završeno je u rujnu 2023. godine kada su u objekt pohranjena prva 592 istrošena gorivna elementa. Sljedeća kampanja premještanja dodatna 592 istrošena gorivna elementa planirana je za 2029. godinu, a završna kampanja predviđena je za 2048. godinu sa završetkom 2050. godine kada će preostalih 1184 ING-a biti premješteno u suho skladište.

4.4.2 RD&D Program

Ovaj prvi RD&D Program za odlaganje ING-a iz NE Krško je pripremljen i kroz vrijeme će se mijenjati i razvijati uz određeni iterativni postupak. Morat će se prilagoditi promjenama u vremenskom planu, troškovima, pristupima, tehnologijama itd.

S nekih aspekata, ovo je zahtjevniji RD&D program u usporedbi s drugim zemljama, budući da ING i VRAO koji bi se trebali odlagati u jednom DGO-u pripadaju dvjema državama (pola i pola), a to podrazumijeva da se odlagalište odabire proučavanjem teritorija obiju zemalja koji su prilično male površine; kao posljedica toga, postoji relativno mali prostor unutar kojeg se mora odabrati odgovarajuća lokacija za DGO.

Kako bi se RD&D Program i program(i) odlaganja ING-a uskladili za RH i RS, ključno je započeti međudržavne pregovore o usklađivanju regulatornih dokumenata obiju država. Preporučuje se u određenoj fazi provedbe programa uspostaviti jedinstveni, zajednički provoditelj / projektni tim. Predlaže se da se budući kriteriji za odabir lokacije za obje zemlje temelje na prijedlogu predstavljenom u Programu, imajući u vidu da su kriteriji i Program izrađeni za određeno vremensko razdoblje, odnosno do identifikacije dvije potencijalne lokacije, jedne u RH i jedne u RS.

O stupnju uključenosti dionika u odabir lokacije odlučit će regulatorno tijelo (tijela) i provoditelj/provoditelji. Međutim, dionici moraju biti dio razvoja i legalizacije kriterija za odabir lokacije DGO-a. Dionici moraju biti uključeni u intenzivan proces informiranja i obrazovanja.

RD&D se temelji na osnovnom scenariju, koji je modificiran kako bi zadovoljio potrebe realnog vremenskog okvira i omogućio nepredviđene troškove za probleme koji se mogu predvidjeti.

Sposobnost provoditelja za uključivanje dionika i dijalog te prilagodbu društvenom kontekstu koji se razvija tijekom procesa odabira lokacije istaknuli su se kao najbitniji kriteriji za dovršetak programa. Razmjenu informacija, obrazovni program, dijalog i druge metode uključivanja dionika na nacionalnoj, regionalnoj i općinskoj razini treba razmotriti u najranijim fazama procesa odabira lokacije.

Načelo "volonterskog pristupa", mora biti dio budućeg regulatornog okvira, a ne samo dio sugestija i zaključaka ovog dokumenta.

Procjena troškova napravljena je uzimajući u obzir određene specifičnosti vezane uz ovaj RD&D program:

- Predloženi vremenski okvir (modificirani osnovni scenarij);
- Načelo predloženog jedinstvenog provoditelja;
- Razvoj kriterija za odabir lokacije;
- Predloženi program uključivanja dionika.

Ukupni troškovi za Osnovni scenarij iznose 139,816 mil. eura bez PDV-a i 151,160 mil. eura s PDV-om, a za dodatni scenarij – 171,797 mil. eura bez PDV-a i 183,352 mil. EUR s PDV-om.

Moguće je očekivati razlike u procjeni troškova u slučaju da Program nastavljaju voditi dva odvojena provoditelja, u usporedbi s troškovima Programa koji bi provodio jedan zajednički provoditelj. Uspostava zajedničke provedbene organizacije može se smatrati potencijalnom preprekom, međutim, ako dva odvojena provoditelja iz dvije zemlje rade na istom programu, operativni troškovi bi i dalje bili veći. Može se zaključiti da bi RD&D Program koji provode dva provoditelja bio složeniji za izvođenje, dok je potrebno uzeti u obzir određene prepreke ako se želi uspostaviti jedan provoditelj.

Za budućnost se može predložiti izrada cjelovitog Programa odlaganja ING-a, odnosno – Programa koji sadrži sve potrebne dijelove: "RD&D Program" izrađen do finalne faze odabira lokacije, detaljan

Program uključivanja dionika, Prijedlog koncepta odlaganja s analizom lokacije i planom razvoja te Cjelovita procjena troškova.

4.4.3 Zbrinjavanje ING-a / VRAO-a

Procjene troškova za odlaganje VRAO-a i ING-a temelje se na scenarijima za duboko geološko odlagalište (DGO) u Sloveniji ili Hrvatskoj, u okolišu čvrste stijene ili sedimentne stijene (gline). Odlaganje ING-a u odlagalištu u dubokoj bušotini (DBDF) također je istraživano, ali nije bilo podvrgnuto istoj procjeni kao rudnički DGO.

Geološka osnova za scenarije odlaganja, bilo u rudničkom DGO-u ili DBDF-u, pretpostavlja dostupnost kristaliničnih ili sedimentnih (gline) formacija u Sloveniji ili Hrvatskoj. Potencijalne lokacije zahtijevaju kabinetna i terenska istraživanja kako bi se poduprle ove pretpostavke, smanjile nesigurnosti i ublažili troškovni rizici.

Budući razvoj tehnologije, koncepata i troškova za odlaganje u DGO i DBD moraju biti integrirani s RD&D programom za zajedničko odlaganje VRAO-a i ING-a u DGO-u u Sloveniji i Hrvatskoj, koji daje smjernice i postupke za upravljanje i provedbu. U sljedećim revizijama Programa morat će se provesti detaljnija usporedba koristi i rizika različitih opcija dubokog odlaganja kako bi se podržao budući odabir koncepta.

Iako sve opcije za odlaganje ING-a i VRO-a trebaju ostati u razmatranju, posebnu pozornost u budućim evaluacijama treba posvetiti glinovitim formacijama (npr. glini). Iako se odlaganje može postići na siguran način u oba okruženja, odlaganje u glinovite formacije čini se ekonomski povoljnijim, a prikladnija područja identificirana su u Sloveniji i Hrvatskoj. Međutim, koncepte čvrstih i sedimentnih stijena treba nastaviti razvijati, iako trenutne studije daju prednost glinovitim formacijama zbog njihove dostupnosti u obje zemlje te zbog njihove isplativosti.

Za BC scenarij DGO-a ukupni troškovi odlaganja u čvrstu stijenu s obzirom na prilagođeni koncept KBS-3V iznose 1,644 milijardi EUR (bez PDV-a) ili 1,987 milijardi EUR za korištenje slovenske stope PDV-a. Za odlaganje u glini (Opalinus koncept) iznose 1,351 milijardu EUR (bez PDV-a) ili 1,630 milijardi EUR po slovenskoj stopi PDV-a.

A za ELSC scenarij DGO-a u čvrstoj stijeni iznose 1,956 (bez PDV-a) ili 2,365 milijardi EUR sa slovenskom stopom PDV-a i za glinu iznose 1,574 (bez PDV-a) odnosno 1,899 milijardi EUR (slovenska stopa PDV-a).

Iz gore navedenih razloga, procjena troškova odlaganja ING-a i VRAO-a u rudničkom DGO-u u glinovitim formacijama koristi se u Poglavlju 8. u svrhu procjene ukupnih troškova, uključujući izračun njegovih diskontiranih vrijednosti i prijedlog raspona godišnjih uplata namjenskim fondovima u Republici Sloveniji i Hrvatskoj.

U slučaju odlaganja ING-a u DBDF, a ostalog radioaktivnog otpada (VRAO i dugoživući NSRAO) u DGO-u, ukupni troškovi ovise o lokaciji, geologiji i arhitekturi bušotina. Za odlaganje otpada koji nije ING u DGO na lokaciji DBDF-a troškovi iznose 469 milijuna EUR. Za DGO na lokaciji odvojenoj od DBDF-a troškovi iznose 531 milijuna EUR. Da bi se procijenio ukupni trošak ING-a i VRAO-a te dugoživućeg NSRAO-a, potrebno je dodati troškove odlaganja ING-a u DBD. U ovom scenariju oba su odlagališta na istoj lokaciji na području Krškog sa sedimentnim stijenama i tipom DBD-a s horizontalnim bušotinama, ukupni troškovi procjenjuju se na 1,265 milijardi EUR.

Prije aktivacije programa geološkog odlaganja, referentni scenariji za odlaganje VRAO-a i ING-a bit će revidirani nekoliko puta, ali najmanje svakih 5 godina kako bi se ponovno procijenila tehnološka spremnost, uključilo međunarodno iskustvo u radu s prvim DGO-ovima, uskladilo DGO program s nacionalnom politikom i strategijama te provjerile i ažurirale naknade za razgradnju i odlaganje.

U tom smislu, kao nadopuna aktivnostima planiranim u kasnijim fazama RD&D Programa unutar samog koncepta odlaganja, potrebno je dodatno razraditi izgradnju i rad DGO-a u nekoliko područja, kao što su:

- RD&D za:
  - Radioaktivni materijali, tj.: eksperimenti i modeli koji se odnose na inventar ING-a/VRAO-a, kritičnost i stupanj izgaranja (engl. *burn-up credit)*, ponašanje ING-a, rukovanje i dekontaminacija spremnika za transport i skladištenje ING-a, svojstva ING-a i VRAO-a nakon odlaganja;
  - Tehnologija (površinska i podzemna postrojenja, EBS, spremnik za konačno odlaganje ING-a/VRAO-a);
  - RD&D na zatrpavanju i brtvljenju ING-a/VRAO-a;
  - Razvoj metoda iskopavanja i sustava potpore stijena za odlagališne komore;
  - Ispitivanje ING-a/VRAO-a u istraživačkim laboratorijima;
  - Monitoring;
  - Podaci iz međunarodne suradnje (istraživački laboratoriji, ostalo).
- Sigurnosna analiza i sigurnosna studija (metodologija, prenosivi podaci, razvoj i primjena modela);
- Razvoj tehnologije i spremnost (npr. spremnici za konačno odlaganje, pakiranje istrošenog goriva, projektiranje i izgradnja tunela, zatrpavanje i brtvljenje).

5 Plan podjele i preuzimanja NSRAO-a

Ovo poglavlje temelji se na studiji "Analiza moguće podjele i preuzimanja operativnog i dekomisijskog RAO-a iz NE Krško", Revizija 1 [22], i " Analiza moguće podjele i preuzimanja operativnog i dekomisijskog RAO-a iz NE Krško", Revizija 2 (Enconet d.o.o., listopad 2025.) [23]. Sukladno odlukama sa 17. sjednice MDP-a (2.listopad 2023.) [18], preuzimanje operativnog NSRAO-a nastalog do kraja 2023. godine odgađa se za početak 2028. godine.

U Trećoj reviziji PO-a predložena je opća podjela otpada kako bi se osiguralo da svaka država preuzme jednaku količinu NSRAO-a. Za razliku od 3. revizije, gdje su moguća podjela i preuzimanje napravljeni teoretski na temelju strogih graničnih uvjeta, ova revizija predlaže optimizirani fazni pristup podjele i preuzimanja NSRAO-a proizvedenog do kraja 2023. godine. U četvrtoj reviziji detaljnije je razrađena podjela po fazama, osiguravajući da svaka zemlja dobije jednaki udio, koristeći nova dostignuća i znanja, inventar NSRAO-a iz NEK-a na dan 31. prosinca 2023.i dodatne ulazne podatke NEK-a. S obzirom na rokove za prihvat otpada temeljem Međudržavnog ugovora, nakon potvrde Treće revizije, hrvatska strana je predvidjela da će se otpad koji se mora preuzeti u Fazi 1 morati izvesti početkom 2024. godine na kondicioniranje i dodatno skladištenje prije izdavanja dozvole za Dugoročno skladište u Centru. Zbog promjene godine preuzimanja zaključeno je da ovaj otpad nije nužno izvoziti u inozemstvo 2024., kako je bilo predviđeno Trećom revizijom. Međutim, kondicioniranje otpada u spremnicima za skladištenje i odlaganje (N2d ili RCC) na lokaciji NEK-a, kako je odobrilo Međudržavno povjerenstvo na 16. i 17. sjednici, prema NEK-u [18] i potvrđeno od strane Koordinacijskog odbora (KO) na 14. sastanku u svibnju 2025. [49], nije izvedivo zbog tehničkih, regulatornih i prostornih ograničenja NEK-a [50]. Stoga je KO pripremio smjernice za nastavak aktivnosti u pripremi 4. revizije Programa odlaganja RAO-a i ING-a iz NE Krško [51].

Revidirani su i optimizirani kriteriji za podjelu operativnog radioaktivnog otpada NEK-a nastalog do 31. prosinca 2023. godine. Uz uvjete koji se odnose na količine i aktivnosti NSRAO-a, razmotreni su i drugi granični uvjeti, kao što je smještaj paketa NSRAO-a u privremenom skladištu te načelo ALARA.

Kriteriji i pristup za podjelu i preuzimanje temelje se na glavnim zahtjevima definiranim kako slijedi:

- Upute, smjernice koje je pružio KO – praktični fazni koncept podjele, pakiranja i strategije preuzimanja (Izvješće Koordinacijskog odbora, prosinac 2021.) [52] i Tablica 1 iz (Tehničke specifikacije SP-ES 1418 Revizija 1, kolovoz 2025.) [53].
- Praktični prijedlog NEK-a za redoslijed pražnjenja skladišnih ćelija, kako je dogovoreno na početnom sastanku održanom 6. rujna 2022. [54].
- Baza podataka o cjelokupnom operativnom otpadu nastalom od početka rada NE Krško do 31. prosinca 2023. godine, kao i procjena nastanka paketa otpada do kraja produženog radnog vijeka [21, 23].
- Kriteriji za podjelu operativnog NSRAO-a revidirani su na način da se, koliko je moguće, zadrže kriteriji volumena i aktivnosti. Odstupanja prema tipu otpada (grupi otpada) i masi mogu se tolerirati, ali moraju biti dogovorena između Fonda, ARAO-a i NEK-a.
- Osiguravanje što je moguće manjeg broja manipulacija paketima otpada, poštivanje zahtjeva definiranih u procedurama i dozvolama, minimizacija izloženosti radnika

(ALARA), uzimajući u obzir dogovorena ulaganja u potrebnu opremu te smanjenje troškova i napora za pripremu pošiljki za obradu otpada, kao i minimizaciju nastanka sekundarnog otpada.

- Paketi otpada iz faza 3 i 4 bit će podijeljeni uzimajući u obzir sljedeće karakteristike paketa otpada: grupa otpada, broj i vrsta paketa otpada, volumen, masa, ukupna aktivnost te površinska brzina doze paketa otpada:
    - Svaka grupa paketa otpada (Fonda i ARAO) trebala bi sadržavati približno jednaku količinu NSRAO-a prema volumenu i ukupnoj aktivnosti.
    - Svaka grupa paketa otpada (Fonda i ARAO) bit će povezana s brojevima paketa (zapisima) odgovarajućih paketa otpada.
    - Za pakete otpada za koje nedostaju podaci o ukupnoj aktivnosti ili masi, taj će se parametar uzeti kao prosječna vrijednost toka otpada kojem paket otpada pripada.
    - Razlika između vrijednosti parametara podjele – volumena i ukupne aktivnosti – za ukupnu količinu otpada podijeljenu između Fonda i ARAO-a mora biti ≤ 1 %.
    - Posebna će se pažnja posvetiti paketima otpada s površinskim brzinama doze iznad 2 mSv/h. Podjela tih paketa mora se provesti na način da površinske brzine doze budu približno ravnomjerno raspoređene među grupama.

5.1 Podjela i preuzimanje operativnog NSRAO-a proizvedenog do 31. prosinca 2023.

Kako je definirano u Uputama, smjernicama koje je dao KO [51] i praktičnom prijedlogu NEK-a za redoslijed pražnjenja skladišnih ćelija [54], preuzimanje RAO-a generiranog do kraja 2023. godine bit će podijeljeno u 4 faze:

Faza 1 – Preuzimanje 617 paketa otpada D6 s otpadom u obliku EBC, CWC i OC od strane Fonda (ukupno 320 paketa otpada od 320 l). Fond će preuzeti sve pakete otpada u D6 bačvama, odnosno 7 EBCD6, 95 OCD6 i 515 CWCD6, neovisno o površinskoj brzini doze. FWP-ovi s površinskom brzinom doze većom od 2 mSv/h bit će preuzeti, ali će se posebna pozornost posvetiti zaštiti od zračenja tijekom rukovanja i prijevoza u skladu s načelima ALARA i propisima o prijevozu. To iznosi približno 200 m³ od ukupno 1200 m³ NSRAO-a (hrvatska obveza).

Faza 2 – preuzimanje TTC paketa otpada pohranjenih u skladišnim ćelijama H, G i F SRSF-a od strane ARAO-a radi popunjavanja do 200 spremnika N2d, što odgovara 800 TTC paketa (643 EBCT1, 140 CWCT1, 6OCT1 i 11 ACCT1), sa sličnim karakteristikama grupe otpada i vrstama otpada kao paketi otpada koje Fond preuzima u Fazi 1, pri čemu 779 paketa otpada ima površinsku brzinu doze manju ili jednaku 2 mSv/h, a 21 paket otpada površinsku brzinu doze veću od 2 mSv/h i manju ili jednaku 4 mSv/h. To iznosi približno 700 m^3 od ukupno 1200 m^3 NSRAO-a (slovenska obveza).

Faza 3 – Preuzimanje preostalih paketa NSRAO-a (hrvatski dio) od strane Fonda (otprilike 1000 m^3).

Faza 4 – Preuzimanje preostalih paketa NSRAO-a (slovenski dio) od strane ARAO-a (približno 500 m^3).

Preuzimanjem različitih vrsta paketa otpada (prema vrsti spremnika i vrsti otpada) došlo je do neravnoteže u podjeli, koju je bilo potrebno uskladiti u sljedećim koracima podjele i preuzimanja. Razlika nastala nakon prve i druge faze usklađena je u trećoj i četvrtoj fazi, koliko je to bilo moguće,

na način da je rezultat podjele operativnog radioaktivnog otpada nastalog do 31. prosinca 2023. godine usporediv prema zadanim kriterijima.

Vrijednosti aktivnosti prikazane u svim tablicama ne uzimaju u obzir radioaktivni raspad. Neki paketi otpada koji su proizvedeni prije duljeg vremena i sadrže kratkoživuće radionuklide imat će znatno niže aktivnosti u trenutku preuzimanja, stoga je nužno da se pri konačnoj podjeli (prije stvarnog preuzimanja 2028. godine) aktivnosti ponovno izračunaju uzimajući u obzir radioaktivni raspad. Isto se odnosi i na površinske brzine doze, koje je potrebno ponovno izmjeriti. Što se tiče površinske β/γ i α kontaminacije paketa, specifična površinska kontaminacija je unutar propisanih regulatornih granica te će se ponovno izmjeriti prije preuzimanja.

Tablice 5-1 do 5-4 prikazuju rezultate podjele za sve pakete otpada (WP) nastale do 31. prosinca 2023. godine, uključujući procijenjene pakete otpada nakon predviđene obrade. Podjela je, gdje god je to bilo moguće, provedena zasebno za svaku grupu otpada i vrstu paketa otpada.

Tablica 5-1 Podjela konačnih paketa otpada (FWP) u spremnike T1, T2 i D6 [23]

Grupa RAO	Paket RAO (Waste package)	FOND				ARAO			
		Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)
EC	EBCD6	7	2,24	8,00E+08	4.909,70				
	EBCT1/T2	727	628,20	6,61E+11	1.581.506,03	731	631,59	6,62E+11	1.585.916,90
	EBD5T1	6	5,18	3,93E+09	7.549,15	6	5,18	3,92E+09	7.536,66
	DCH1T2	71	61,70	2,20E+11	73.784,09	70	60,83	2,21E+11	73.846,90
	DSH1T2	6	5,21	4,14E+10	5.421,70	5	4,35	4,41E+10	5.172,80
SIR	SRD4T1	53	45,79	1,07E+13	55.321,00	53	45,79	1,07E+13	55.496,45
	BRH1T2	7	6,08	2,14E+10	5.503,30	7	6,08	2,14E+10	5.488,70
	PRH2T2	52	45,19	1,35E+13	94.672,00	52	45,19	1,35E+13	94.592,80
SF	CFD3T1/T2	13	11,24	9,94E+10	33.052,10	14	12,11	1,00E+11	33.591,00
CPW	CWCD6	515	164,80	1,30E+11	202.376,90				
	CWCT1/T2	27	23,43	2,89E+09	23.518,64	217	187,57	1,15E+11	205.742,47
	OCD6	95	30,40	1,70E+10	43.127,60				
	OCT12	62	53,86	4,82E+09	74.388,97	88	76,41	3,94E+10	121.169,16
	AD2D1T2	6	5,21	7,39E+08	6.429,00	7	6,08	7,37E+08	7.479,00
SW	ACCT2	1	0,87	1,22E+06	876,00	11	9,50	4,01E+06	9.013,06
Ukupno		1648	1.089,42	2,53E+13	2.212.436,18	1261	1.090,69	2,53E+13	2.205.045,90
Razlika		**387**	**-1,27**	**-3,01E+09**	**7.390,28**				
Razlika (%)			**-0,1165%**	**-0,0119%**	**0,3346%**				

*Aktivnost izmjerena u trenutku nastanka paketa (radioaktivni raspad nije uzet u obzir)

Tablica 5-2 Podjela konačnih paketa otpada (FWP) – ingoti

Grupa RAO	Paket RAO (Waste package)	FOND				ARAO			
		Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)
NCW	I	40	4,40	1,1121E+08	24.770,50	40	4,40	1,1120E+08	24.762,50
Razlika		**-**	**0,00**	**1,04E+04**	**8,00**				
Razlika (%)			**0,0000%**	**0,0023%**	**0,0081%**				

*Aktivnost izmjerena u trenutku nastanka paketa (radioaktivni raspad nije uzet u obzir)

Tablica 5-3 Podjela konačnih paketa otpada (FWP) u 200 l spremnicima

Grupa RAO	Paket RAO (Waste package)	FOND				ARAO			
		Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)
EC	EBD5	1	0,21	3,79E+08	338,00	1	0,21	4,14E+08	383,00
SIR	SRD4	344	71,55	8,0653E+12	164.701,82	345	71,76	8,0652E+12	164.702,00
SF	CFD3	51	10,61	1,72E+11	39.850,60	50	10,40	1,75E+11	39.556,30
	CFH2	2	0,40	1,52E+11	2.146,00	2	0,40	1,56E+11	2.071,00
CPW	AD2D1	36	7,49	5,31E+09	11.184,68	35	7,28	5,92E+09	10.093,91
Ukupno		434	90,26	8,39E+12	218.221,10	433	90,05	8,40E+12	216.806,21
Razlika		**1**	**0,21**	**-7,06E+09**	**1.414,89**				
Razlika (%)			**0,2307%**	**-0,0841%**	**0,6505%**				

*Aktivnost izmjerena u trenutku nastanka paketa (radioaktivni raspad nije uzet u obzir)

Tablica 5-4 Podjela procijenjenih paketa otpada (WP) nakon predviđene obrade

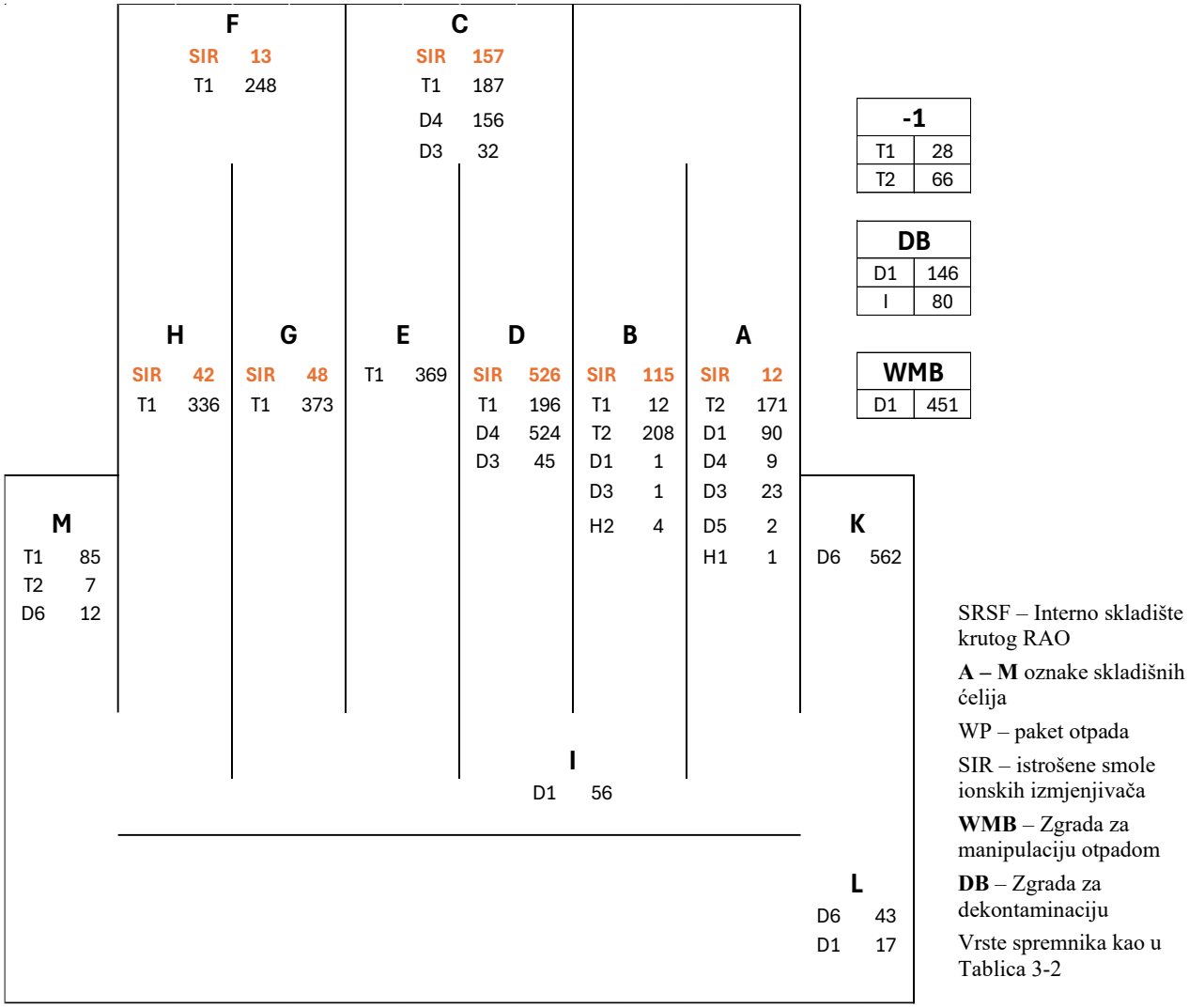
Grupa RAO	Paket RAO (Waste package)	FOND				ARAO			
		Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)
CPW	OCT2	3	2,61	1,24E+11	2.755,39	3	2,61	1,24E+11	2.755,39
	AD2D1T2	5	4,35	4,62E+09	5.349,23	5	4,35	4,62E+09	5.349,23
	CWCT2	1	0,87	7,58E+12	429,65	1	0,87	7,58E+12	429,65
Ukupno		9	7,82	7,71E+12	8.534,27	9	7,82	7,71E+12	8.534,27
Razlika		**-**	**0,00**	**0,00E+00**	**0,00**				
Razlika (%)			**0,0000%**	**0,0000%**	**0,0000%**				

*Aktivnost izmjerena u trenutku nastanka paketa (radioaktivni raspad nije uzet u obzir)

5.2 Preuzimanje operativnog NSRAO-a proizvedenog do 31. prosinca 2023.

Preuzimanje je predloženo u 4 faze, kako je objašnjeno u Poglavlju 5.1.

Slika 5-1 prikazuje broj paketa otpada (WP) sa istrošenim smolama ionskih izmjenjivača (SIR) i ukupan broj svih paketa otpada u različitim vrstama spremnika po ćeliji internog skladišta (SRSF), kao i broj paketa u zgradi za manipulaciju otpadom (WMB) i zgradi za dekontaminaciju (DB), te pakete s neodređenom lokacijom.



Slika 5-1 Raspodjela i broj paketa otpada u SRSF-u po tipu WP-a, SIR WP-a te broj paketa u WMB-u i DB-u

5.2.1 Faza 1 preuzimanja (Fond)

Faza 1: Fond će preuzeti 617 paketa otpada D6 (paketi zapremine 320 l). To iznosi približno 200 m³ operativnog NSRAO-a. Ovi paketi otpada uključuju sljedeće vrste otpada:

- EBC - superkompaktirani ostaci iz isparivača (peleti)
- CWC - superkompaktirani stlačivi otpad (peleti)
- OC - superkompaktirani drugi stlačivi otpad (peleti).

NEK je u procesu premještanja svih D6 paketa otpada u DB radi osiguravanja dodatnog slobodnog prostora u SRSF-u. Do rujna 2025. godine premješteno je približno 80 % paketa. Do početka preuzimanja svi ili većina D6 paketa otpada bit će premješteni u DB. Površinske brzine doze svih premještenih paketa ne prelaze 1 mSv/h.

Podaci o masi, volumenu, ukupnoj aktivnosti i površinskoj brzini doze (*SDR*) paketa otpada preuzeti su iz operativne baze podataka NSRAO-a NEK-a [21] i prikazani su u Tablici 5-5.

Tablica 5-5 Inventar paketa NSRAO-a koje Fond preuzima u Fazi 1Fond							
Ukupne vrijednosti							
Paket RAO	**Broj paketa**	**Volumen (m^3)**	**Aktivnost (Bq)**	**Masa (kg)**	**SDR ≤ 2 (mSv/h)**	**2 < SDR ≤ 4 (mSv/h)**	**4 < SDR ≤ 25 (mSv/h)**
EBCD6	7	2,24	7,9976E+08	4.909,70	7		
CWCD6	515	164,8	1,2995E+11	202.376,90	499	5	11
OCD6	95	30,4	1,7037E+10	43.127,60	93	1	1
Ukupno	**617**	**197,44**	**1,4779E+11**	**250.414,20**	**599**	**6**	**12**

Kao što se može vidjeti iz Tablice 5-5, ukupno 18 paketa (CWCD6 i OCD6) ima površinske brzine doze (SDR) iznad 2 mSv/h, izmjerene u trenutku nastanka paketa, tj. 1988. i 1989. godine. U tim paketima dominantni radionuklid je Co-60, koji ima vrijeme poluraspada od 5,3 godine. Uzimajući u obzir godinu nastanka paketa i mjerenja površinskih brzina doze te poluraspad Co-60, može se očekivati smanjenje brzina doze. Ipak, za ove pakete će biti potrebna zaštita (shielding) tijekom manipulacije, pripreme za transport i samog prijevoza.

5.2.2 Faza 2 preuzimanja (ARAO)

Faza 2: ARAO će preuzeti operativni NSRAO u TTC paketima kako bi se napunilo do 200 N2d spremnika, što odgovara 800 TTC paketa, odnosno približno 700 m³. Početna metoda odabira paketa bila je zasnovana na sljedećem:

- Prijedlog NEK-a za pražnjenje skladišnih ćelija H i G, pri čemu se prvo prazni razina 1, a zatim razina 2. Ako je potrebno više paketa, NEK je predložio pražnjenje skladišne ćelije F na isti način (prvo razina 1, zatim razina 2) [54].
- Odabir paketa otpada sa sličnim karakteristikama grupi otpada i vrsti otpada kao paketi preuzeti od strane Fonda u Fazi 1.
- Površinska brzina doze manja ili jednaka 2 mSv/h.

Paketi otpada pohranjeni u ćelijama H, G i F su sljedeći:

- EBCT1 - superkompaktirani ostaci iz isparivača u T1 spremnicima (peleti)
- CWCT1 - superkompaktirani stlačivi otpad (peleti) u T1 spremnicima
- OCT1 - superkompaktirani drugi stlačivi otpad (peleti) u T1 spremnicima
- CFD3T1 - filterske patrone u cementnoj matrici u T1 spremnicima
- SRD4T1 - istrošene smole učvršćene u vermikulitno-cementnoj matrici u T1 spremnicima
- ACCT1 - superkompaktirani ugljen (peleti) u T1.

EBC, CWC i OC predstavljaju iste vrste otpada koje Fond preuzima u Fazi 1, stoga su paketi s tim vrstama otpada razmatrani za preuzimanje od strane ARAO-a u Fazi 2. Paketi otpada CFD3T1 i SRD4T1 sadrže vrste otpada koji nisu uključeni u preuzimanje u Fazi 1, a uz to općenito imaju veće aktivnosti i površinske brzine doze od paketa otpada preuzetih u Fazi 1. Od svih CFD3T1 i SRD4T1 paketa samo 7 ima površinsku brzinu doze manju ili jednaku 2 mSv/h. Zbog navedenog, CFD3T1 i

SRD4T1 paketi nisu uključeni u Fazu 2, već će biti razmatrani u Fazama 3 i 4. Paketi otpada ACCT1 imaju vrlo niske brzine doze i stoga su prikladni za preuzimanje u Fazi 2.

Bez paketa CFD3T1 i SRD4T1, u skladišnim ćelijama H i G ostaje samo 709 paketa, što znači da je potrebno prazniti i skladišnu ćeliju F. Uzimajući u obzir navedeno i zahtjeve vezane uz manipulaciju paketima u skladištu NEK-a, redoslijed pražnjenja skladišnih ćelija trebao bi biti sljedeći: prvo pražnjenje razine 1 ćelija H, G i također F, a zatim razine 2 navedenih ćelija.

Nadalje, uzimajući u obzir kriterij površinske brzine doze manjom ili jednakom 2 mSv/h, kada su svi paketi CFD3T1 i SRD4T1 isključeni, u ćelijama H, G i F ostaje 779 paketa otpada s površinskom brzinom doze manjom ili jednakom 2 mSv/h. Kako bi se odabralo 800 paketa otpada, kao što je planirano za Fazu 2, dodatni 21 paket odabran je iz paketa koji imaju brzinu doze veću od 2 mSv/h, ali manju ili jednaku 4 mSv/h. Treba napomenuti da postoji ukupno 22 paketa s brzinom doze većom od 2 mSv/h, ali manjom ili jednakom 4 mSv/h. Od tih 22 paketa, samo 3 paketa imaju brzinu doze jednaku 4 mSv/h (1 CWCT1 i 2 EBCT1). Odabir točno 800 paketa izveden je tako da je jedan EBCT1 paket s dozom od 4 mSv/h izostavljen. Budući da oba EBCT1 paketa imaju slične karakteristike (razlika u masi: 1,5 %, aktivnost: 6 %), odlučujući je kriterij bila lokacija paketa, kako bi manipulacija bila lakša. EBCT1 paket koji je izostavljen iz odabira razmatrat će se za preuzimanje u budućim fazama.

Ukupni inventar za odabrane pakete prikazani su u Tablici 5-6.

Tablica 5-6 Inventar paketa NSRAO-a koje ARAO preuzima u Fazi 2

ARAO						
Ukupne vrijednosti						
Paket RAO	**Broj paketa**	**Volumen (m^3)**	**Aktivnost (Bq)**	**Masa (kg)**	**SDR≤2 (mSv/h)**	**2<SDR≤4 (mSv/h)**
EBCT1	643	555,552	3,3155E+11	1.389.513,55	630	13
CWCT1	140	120,96	5,0365E+10	130.850,31	132	8
OCT1	6	5,184	1,3398E+08	5.130,77	6	
ACCT1	11	9,504	2,8600E+06	9.013,06	11	
Ukupno	**800**	**691,2**	**3,8205E+11**	**1.534.507,69**	**779**	**21**

Postoji 13 EBCT1 i 8 CWCT1 paketa otpada s površinskom brzinom doze (SDR) većom od 2 mSv/h, ali manjom ili jednakom 4 mSv/h, izmjerenom u trenutku nastanka paketa, tj. 1994. i 1995. godine. S obzirom na vrijeme poluraspada radionuklida koji su uglavnom prisutni u paketima, može se pretpostaviti da će površinska brzina doze, uzimajući u obzir proteklo vrijeme, biti smanjena dovoljno da ti paketi ne predstavljaju problem s aspekta doze, osobito imajući u vidu da će biti smješteni u N2d betonske spremnike.

Za preuzimanje u Fazi 2 potrebno je uzeti u obzir točnu lokaciju svih paketa pohranjenih u ćelijama H, G i F (Slika 5-1) kako bi se mogla planirati manipulacija paketima u skladu s načelima ALARA. Paketi otpada s brzinama doze iznad 4 mSv/h, koji će biti preuzeti u kasnijim fazama, moraju se premjestiti kako bi se omogućio pristup paketima predviđenima za preuzimanje. Stoga, tijekom pripreme Faze 2, manipulacija i premještanje tih paketa trebaju se planirati u skladu s procedurama NEK-a i načelima ALARA. Ako to zahtijeva NEK-ov odjel zaštite od zračenja, bit će izrađen ALARA

plan za manipulaciju i premještanje navedenih paketa. Nove lokacije premještenih paketa bit će zabilježene u NEK-ovoj bazi podataka radioaktivnog otpada.

5.2.3 Faza 3 preuzimanja (Fond) i Faza 4 (ARAO)

Faza 3 odnosi se na preuzimanje preostalih paketa NSRAO-a od strane Fonda (Tablica 5-7), dok se Faza 4 odnosi na preuzimanje preostalih paketa NSRAO-a od strane ARAO-a (Tablica 5-8). Preostali paketi NSRAO-a, kao i u Fazama 1 i 2, bit će pripremljeni za transport ili u IP2 spremnicima ili u RCC i N2d spremnicima određenim za Fond, odnosno ARAO.

Nakon preuzimanja u Fazama 1 i 2, preostali paketi NSRAO-a za preuzimanje u Fazama 3 i 4 mogu se podijeliti na sljedeći način:

- Konačni paketi otpada formirani u nadpaketima T1, T2 i u ingotima.
- Paketi otpada u bačvama od 200 l, koji se za potrebe podjele i preuzimanja smatraju konačnima.
- Paketi otpada koji trenutno čekaju daljnju obradu. Pretpostavlja se da će ti paketi otpada biti dostupni u predviđenom roku. Predviđene tehnologije obrade su superkompaktiranje i spaljivanje, te kondicioniranje u TTC spremnicima.

Tablica 5-7 Paketi otpada (WP) koje Fond preuzima u Fazi 3

Fond – Faza 3					
		Ukupne vrijednosti			
	Paket RAO	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)
Konačni paket RAO (FWP) u TTC	EBCT1/T2	727	628,20	6,61E+11	1.581.506,03
	EBD5T1	6	5,18	3,93E+09	7.549,15
	DCH1T2	71	61,70	2,20E+11	73.784,09
	DSH1T2	6	5,21	4,14E+10	5.421,70
	SRD4T1	53	45,79	1,07E+13	55.321,00
	BRH1T2	7	6,08	2,14E+10	5.503,30
	PRH2T2	52	45,19	1,35E+13	94.672,00
	CFD3T1/T2	13	11,24	9,94E+10	33.052,10
	CWCT1/T2	27	23,43	2,89E+09	23.518,64
	OCT1/T2	62	53,86	4,82E+09	74.388,97
	ACCT2	1	0,87	1,22E+06	876,00
	AD2D1T2	6	5,21	7,39E+08	6.429,00
	I	40	4,40	1,11E+08	24.770,50
Ukupno		1071	896,38	2,52E+13	1.986.792,48
Paket RAO u 200 l bačvi	EBD5	1	0,21	3,79E+08	338,00
	SRD4	344	71,55	8,07E+12	164.701,82
	CFD3	51	10,61	1,72E+11	39.850,60
	CFH2	2	0,40	1,52E+11	2.146,00
	AD2D1	36	7,49	5,31E+09	11.184,68
Ukupno		434	90,26	8,39E+12	218.221,10
	OCT2	3	2,61	1,24E+11	2.755,39

Fond – Faza 3					
		Ukupne vrijednosti			
	Paket RAO	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)
Procjena TTC paketa nakon obrade	AD2D1T2	5	4,35	4,62E+09	5.349,23
	OD1T2	1	0,87	7,58E+12	429,65
Ukupno		9	7,82	7,71E+12	8.534,27
Ukupno		**1514**	**994,46**	**4,13E+13**	**2.213.547,85**

Tablica 5-8 Paketi otpada (WP) koje ARAO preuzima u Fazi 4

ARAO – Faza 4					
		Ukupne vrijednosti			
	Paket RAO	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (kg)
Konačni paket RAO (FWP) u TTC	EBCT1/T2	88	76,04	3,30E+11	196.403,35
	EBD5T1	6	5,18	3,92E+09	7.536,66
	DCH1T2	70	60,83	2,21E+11	73.846,90
	DSH1T2	5	4,35	4,41E+10	5.172,80
	SRD4T1	53	45,79	1,07E+13	55.496,45
	BRH1T2	7	6,08	2,14E+10	5.488,70
	PRH2T2	52	45,19	1,35E+13	94.592,80
	CFD3T1/T2	14	12,11	1,00E+11	33.591,00
	CWCT1/T2	77	66,61	6,49E+10	74.892,16
	OCT1/T2	82	71,23	3,93E+10	116.038,39
	AD2D1T2	7	6,08	7,37E+08	7.479,00
	I	40	4,40	1,11E+08	24.762,50
Ukupno		501	403,89	2,49E+13	695.300,71
Paket RAO u 200 l bačvi	EBD5	1	0,21	4,14E+08	383,00
	SRD4	345	71,76	8,07E+12	164.702,00
	CFD3	50	10,40	1,75E+11	39.556,30
	CFH2	2	0,40	1,56E+11	2.071,00
	AD2D1	35	7,28	5,92E+09	10.093,91
Ukupno		433	90,05	8,40E+12	216.806,21
Procjena TTC paketa nakon obrade	OCT2	3	2,61	1,24E+11	2.755,39
	AD2D1T2	5	4,35	4,62E+09	5.349,23
	OD1T2	1	0,87	7,58E+12	429,65
Ukupno		9	7,82	7,71E+12	8.534,27
Ukupno		**943**	**501,76**	**4,10E+13**	**920.641,19**

Paketi otpada koji su određeni za Fond i ARAO unutar svake ćelije raspoređeni su na različitim pozicijama (redovi, stupci i visine). Posljedično, tijekom postupka preuzimanja bit će potrebno premještanje određenog broja paketa otpada. Stoga će se pražnjenje ćelija organizirati na način da se paketi otpada namijenjeni Fondu i ARAO-u najprije sustavno premjeste i grupiraju u ispražnjene ćelije (poput ćelija F, G i H, koje su ispražnjene u Fazama 1 i 2), kako bi se olakšao postupak preuzimanja.

5.3 Podjela i preuzimanje operativnog NSRAO-a proizvedenog od 2024. do kraja produženog životnog vijeka

U Poglavlju 3.1.1 navedene su procijenjene količine paketa otpada (WP) za koje se očekuje da će nastati do kraja produženog životnog vijeka (Tablica 3-4 za razdoblje 2024. – 2043. godine i Tablica 3-5 za razdoblje 2024. – 2063. godine). Predložena je generalna podjela koja uključuje podjelu predviđenog broja paketa, s pripadajućom ukupnom masom i aktivnošću, razvrstane po grupama paketa otpada, kako je prikazano u Tablica 5-99 za razdoblje 2024.-2043. i Tablica 5-2 za razdoblje 2024.-2063. Budući da ti paketi otpada tek trebaju nastati, podjela se u budućnosti može dodatno doraditi kako bi se postigli točniji i optimiziraniji rezultati.

Tablica 5-9 Podjela paketa otpada (WP) koji će nastati u razdoblju 2024.-2043.

2024. – 2043.									
	Inventar				Podjela				
Paket RAO	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (t)		Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (t)
DCH1T2 DSH1T2	134	116,45	7,31E+11	134,681	Fond	67	58,22	3,65E+11	67,341
					ARAO	67	58,22	3,65E+11	67,341
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
PRH2T2	74	64,31	1,91E+13	134,669	Fond	37	32,15	9,57E+12	67,335
					ARAO	37	32,15	9,57E+12	67,335
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
CFH2T2	80	69,52	5,63E+11	213,662	Fond	40	34,76	2,81E+11	106,831
					ARAO	40	34,76	2,81E+11	106,831
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
CWCT2	60	52,14	1,74E+10	54,031	Fond	30	26,07	8,70E+09	27,016
					ARAO	30	26,07	8,70E+09	27,016
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
OCT2	140	121,66	3,50E+10	188,094	Fond	70	60,83	1,75E+10	94,047
					ARAO	70	60,83	1,75E+10	94,047
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
AD2D1T2	140	121,66	1,59E+10	149,778	Fond	70	60,83	7,95E+09	74,889
					ARAO	70	60,83	7,95E+09	74,889
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
OD1T2	60	52,14	1,67E+11	47,732	Fond	30	26,07	8,33E+10	23,866
					ARAO	30	26,07	8,33E+10	23,866
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
UKUPNO	688	597,87	2,07E+13	922,648	Fond	344	298,94	1,04E+13	433,530
					ARAO	344	298,94	1,04E+13	433,530
					Razlika	0	0,00	0,00E+00	0,00
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%

Projekcija količina RAO-a koje će nastati nakon 60 godina rada nije baš pouzdana, pogotovo ako se uzme u obzir da se predviđa za razdoblje od 20 godina i dalje u budućnost. Osim toga, provest će se opsežni radovi na modernizaciji i zamjeni opreme u pripremi za rad od 60 do 80 godina, uz inovacije u tehnikama obrade RAO-a. Uzimajući u obzir sve navedeno, ova projekcija (Tablica 5-2) može se smatrati samo okvirnom.

Tablica 5-2 Podjela paketa otpada (WP) koji će nastati u razdoblju 2024.-2063.

2024. – 2063.									
Inventar					Podjela				
Paket RAO	Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (t)		Broj paketa	Volumen (m^3)	Aktivnost (Bq)	Masa (t)
DCH1T2 DSH1T2	268	232,9	1,46E+12	269,362	Fond	134	116,44	7,3E+11	134,682
					ARAO	134	116,44	7,3E+11	134,682
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
PRH2T2	148	128,62	3,82E+13	269,338	Fond	74	64,3	1,914E+13	134,670
					ARAO	74	64,3	1,914E+13	134,670
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
CFH2T2	160	139,04	1,13E+12	427,324	Fond	80	69,52	5,62E+11	213,662
					ARAO	80	69,52	5,62E+11	213,662
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
CWCT2	120	104,28	3,48E+10	108,062	Fond	60	52,14	1,74E+10	54,032
					ARAO	60	52,14	1,74E+10	54,032
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
OCT2	280	243,32	7,00E+10	376,188	Fond	140	121,66	3,50E+10	188,094
					ARAO	140	121,66	3,50E+10	188,094
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
AD2D1T2	280	243,32	3,18E+10	299,556	Fond	140	121,66	1,59E+10	149,778
					ARAO	140	121,66	1,59E+10	149,778
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
OD1T2	120	104,28	3,34E+11	95,464	Fond	60	52,14	1,666E+11	47,732
					ARAO	60	52,14	1,666E+11	47,732
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%
UKUPNO	1376	1195,76	4,13E+13	1,845,294	Fond	688	597,88	2,08E+13	867,060
					ARAO	688	597,88	2,08E+13	867,060
					Razlika	0	0	0	0
					Razlika (%)		0,00%	0,00%	0,00%

5.4 Podjela i preuzimanje dekomisijskog NSRAO-a

Kompletan materijal koji će biti izdvojen tijekom razgradnje NE Krško i SFDS-a prikazan je u Poglavlju 3.1.2. Količine i aktivnosti materijala za razgradnju donekle ovise o scenarijima razgradnje (osnovni scenarij 0 ili 1 i dodatni scenarij A i B).

Predmet podjele i preuzimanja je dekomisijski NSRAO (nastao u razdoblju od 2043.-2058.) i pripremljen za odlaganje, procijenjene količine od 2500,0 t do 2682,1 t ovisno o analiziranom scenariju kao što je prikazano u Tablica 5-3. Ovaj NSRAO će se podijeliti i kondicionirati u spremnicima (N2d ili RCC) za odlaganje u odlagališta NSRAO-a.

Kriteriji za podjelu dekomisijskog NSRAO-a uzimaju u obzir specifičnosti dekomisijskog NSRAO-a i pakiranja u različite vrste spremnika (N2d i RCC). Treba uzeti u obzir sljedeće karakteristike dekomisijskog NSRAO-a:

- Kategorija otpada (primarni i sekundarni otpad);
- Vrsta NSRAO pakiranih u posebne spremnike (RCC i N2d);
- Masa NSRAO-a pakiranog u određene spremnike;
- Ukupna aktivnost NSRAO-a pakiranog u određene spremnike.

Tablica 5-3 Inventar dekomisijskog NSRAO-a [20 i 22]

Kategorija dekomisijskog NSRAO	Osnovni scenarij 0 (BC 0)	Osnovni scenarij 1 (BC 1)	Dodatni scenarij A&B (SC A&B)
	Masa za odlaganje (t)		
Primarni NSRAO	2173,4	2012,4	2173,4
Sekundarni NSRAO	508,6	487,6	508,6
Ukupno	**2682,1**	**2500,0**	**2682,1**

Podjelu treba temeljiti na specifičnim vrstama NSRAO-a i odgovarajućem konceptu pakiranja. Prema PDP Rev. 7 [20]. Pakiranje treba organizirati na način da se približno jednaka količina (masa i aktivnost) svakog pojedine vrste otpada pakira u N2d i RCC spremnike, s obzirom na organizaciju aktivnosti i procesa razgradnje, kao i načela ALARA. Cilj je zadovoljiti kriterij od ≤ 5 % razlike u masi i aktivnosti pakirane vrste otpada [22]. Prijedlog podjele dekomisijskog NSRAO-a naveden je u tablicama ispod (Tablica 5-4 i Tablica 5-5) i mora biti potvrđen u konačnom detaljnom planu razgradnje.

Tablica 5-4 Broj N2d i RCC spremnika za Osnovni scenarij 0 (BC 0) i Dodatne scenarije A i B (SC A&B)

Kategorija NSRAO	N2d (ARAO)		RCC (Fond)	
	BC 0 & SC A&B		BC 0 & SC A&B	
	Zapakirana masa (t)	Broj N2d	Zapakirana masa (t)	Broj RCC
Primarni NSRAO	1087	130	1087	408
Sekundarni NSRAO	254	47	254	141
Ukupno	**1341**	**176**	**1341**	**549**

Tablica 5-5 Broj N2d i RCC spremnika za Osnovni scenarij 1 (BC 1)

Kategorija NSRAO	N2d (ARAO)		RCC (Fond)	
	BC 1		BC 1	
	Zapakirana masa (t)	Broj N2d	Zapakirana masa (t)	Broj RCC
Primarni NSRAO	1006	122	1006	390
Sekundarni NSRAO	244	43	244	129
Ukupno	**1250**	**165**	**1250**	**519**

Očekuje se da će ukupna aktivnost dekomisijskog NSRAO-a NE Krško (4,76x10 ^{12} Bq, odnosno 4,47x10 ^{12} Bq za BC 1) biti ravnomjerno raspoređena, tj. da će svaka strana primiti aktivnost od približno 2,38×10 ^{12} Bq (ili 2,24×10 ^{12} Bq za BC 1) [22].

PDP Rev. 7 pretpostavlja da će se na lokaciji NE Krško izgraditi postrojenje za kondicioniranje (cementiranje) i imobilizaciju NSRAO-a iz razgradnje. NSRAO-a će se puniti u N2d i RCC spremnike u skladu s WAC-om dotičnih postrojenja (slovensko odlagalište Vrbina i buduće hrvatsko odlagalište), kao i nacionalnim i međunarodnim propisima za siguran transport radioaktivnog materijala. N2d i RCC spremnici koji sadrže cementirani NSRAO iz razgradnje pripremit će se za prijevoz i utovariti na kamione.

Očekivani broj cementiranih spremnika koje treba puniti i cementirati godišnje ovisi o proizvodnji i obradi NSRAO-a iz razgradnje.

Teoretski godišnji broj N2d i RCC-a prema procjeni u PDP-u, rev. 7 [20] nalazi se u tablicama ispod (Tablica 5-6 i Tablica 5-7).

Tablica 5-6 Godišnji teoretski broj spremnika za osnovni scenarij 0 i 1 [20]

Godina	N2d spremnik		RCC	
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1
2044	0	0	0	0
2045	4.7	1.7	12.2	4.1
2046	9.4	14.7	23.5	38
2047	16.2	6.6	41.9	16.9
2048	4.2	0.6	11	1.9
2049	0.9	0.9	2.6	2.2
2050	1	11.2	2.2	25.6
2051	10.8	29.1	24.8	97.4
2052	37.9	13.8	117.5	32.9
2053	5.2	18.2	13.5	134.2
2054	19.3	5.7	137.1	18.1
2055	5.1	35.8	16.3	84.2
2056	37.3	13.3	87.6	32.2
2057	11.6	13.3	28.3	31.4
2058	12.8		30	
Ukupno	**176**	**165**	**549**	**519**

Tablica 5-7 Godišnji teoretski broj spremnika za dodatne scenarije A i B [20]

Godina	N2d spremnik		RCC	
	Dodatni scenarij A	Dodatni scenarij B	Dodatni scenarij A	Dodatni scenarij B
2064	0	0	0	0
2065	4.8	4.8	12.4	12.4
2066	9.3	9.3	23.3	23.3
2067	16.3	16.3	42.1	42.1
2068	4.1	4.1	10.8	10.8
2069	0.9	0.9	2.6	2.6
2070	1	1	2.2	2.2
2071	10.8	10.8	24.7	24.7

Godina	N2d spremnik		RCC	
	Dodatni scenarij A	Dodatni scenarij B	Dodatni scenarij A	Dodatni scenarij B
2072	37.9	37.9	117.6	117.6
2073	5.2	5.2	13.5	13.5
2074	19.3	19.3	137.1	137.1
2075	5.1	5.1	16.3	16.3
2076	37.4	37.4	87.7	87.7
2077	11.6	11.6	28.3	28.3
2078	12.8	12.8	30	30
Ukupno	**177**	**177**	**549**	**549**

Formalni proces preuzimanja odvijat će se na granici radiološki kontroliranog područja (RCA) NE Krško i transportirati u određena odlagališta. Dinamika preuzimanja bit će definirana u skladu s Konačnim planom razgradnje i Nacionalnim programima.

Razgradnja SFDS-a i RU-a započet će 2103. godine (Osnovni scenarij 0 i 1, Dodatni scenarij A), te 2123. godine za Dodatni scenarij B, odnosno u vrijeme kada će odlagališta NSRAO-a u Sloveniji i Hrvatskoj već biti zatvorena. Dakle, NSRAO koji će nastati razgradnjom SFDS-a i RU-a nije predmet podjele i preuzimanja, jer će se odlagati u zajedničkom DGO-u za ING i VRAO. Navedeno je u skladu sa zaključcima 16. sastanka MDP-a [55].

Očekivana količina VRAO-a iz razgradnje (140 t) neće se dijeliti. Ovaj otpad će se skladištiti u SFDS objektu dok DGO ne bude dostupan (Poglavlje 4).

5.5 Vremenski plan podjele i preuzimanja NSRAO-a

Sukladno uputama Koordinacijskog odbora od 22. srpnja 2025. godine, Nuklearnoj elektrani Krško (NEK) dodijeljen je zadatak izrade prijedloga vremenskog rasporeda utovara paketa nisko i srednje radioaktivnog otpada u transportne i N2d spremnike, kao i plana uklanjanja tih spremnika s lokacije NE Krško. Raspored treba biti strukturiran na tjednoj osnovi te obuhvatiti razdoblje od 2028. do 2030. godine, isključujući tjedne predviđene za remont u jesen 2028. i proljeće 2030. godine u NE Krško.

Prilog 13.1 ovom dokumentu sadrži detaljnu tablicu s predloženim tjednim planom podjele, utovara i preuzimanja paketa NSRAO-a, izrađenu u skladu s faznim pristupom podjele i preuzimanja paketa NSRAO-a kako je definirano u Poglavlju 5.2. Riječ je o preliminarnom vremenskom rasporedu koji će podlijegati izmjenama, ovisno o:

- raspoloživosti i prihvatnim kapacitetima ugovorenog postrojenja za kondicioniranje NSRAO-a (Republika Hrvatska) te
- prihvatnim kapacitetima za pakete otpada u odlagalištu NSRAO-a Vrbina (Republika Slovenija).

6 Zbrinjavanje NSRAO-a u Hrvatskoj

6.1 Uvod

Zbrinjavanje radioaktivnog otpada, uključujući NSRAO, iskorištene zatvorene radioaktivne izvore (II) i ING, ključna je komponenta hrvatske politike zbrinjavanja RAO-a i ING-a. Odgovornost za zbrinjavanje dio je strukturiranog sustava propisanog nacionalnim zakonodavstvom i usklađenog s međunarodnim konvencijama i direktivama Europske unije. U ovom uvodu ocrtavaju se strateški i operativni okviri uspostavljeni za sigurno zbrinjavanje i odlaganje radioaktivnog otpada u Hrvatskoj.

Dana 17. listopada 2014. Hrvatski je sabor donio Strategiju zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva. Ova strategija, izrađena u skladu s hrvatskim Zakonom o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, usklađena je s Direktivom 2011/70/Euratom i drugim relevantnim međunarodnim konvencijama. Strategija nudi sveobuhvatan pristup, definirajući kratkoročne (2 godine), srednjoročne (10 godina) i dugoročne (iznad 10 godina) ciljeve za zbrinjavanje RAO-a i ING-a. Za Strategiju ključna je uspostava Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada (CZRAO), osmišljenog tako da obuhvaća sve potrebna postrojenja za sigurno skladištenje i kasnije zbrinjavanje institucionalnog radioaktivnog otpada (IRAO) i iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora (II) te NSRAO-a iz Nuklearne elektrane Krško (NEK).

Slijedom Strategije, Vlada RH je 18. studenoga 2018. donijela Nacionalni program provedbe Strategije, kao i njegove izmijene i dopune 2022. godine. Ovaj Program za razdoblje do 2025. s pogledom do 2060. godine, ocrtava detaljne radnje za jačanje regulatornog okvira i uspostavljanje potrebne infrastrukture za provedu hrvatskih obveza zbrinjavanja radioaktivnog otpada. Bivši vojno-skladišni kompleks Čerkezovac određen je kao poželjna lokacija za CZRAO, koji će služiti i kao skladište i kao centar za informiranje javnosti.

Izgradit će se dugoročno skladište za operativni NSRAO proizveden do 2023. godine. Prema osnovnom scenariju, skladište bi trebalo postati operativno do 2028. godine, dok se početak rada odlagališta planira do 2051. godine. Odlagalište će biti pripovršinskog tipa, u kojem će se koristiti armiranobetonske kazete za odlaganje ojačanih betonskih spremnika (RCC), čime će se osigurati izolacija od biosfere i spriječiti onečišćenje okoliša.

Financijski aspekti zbrinjavanja NSRAO-a, uključujući obradu, kondicioniranje, transport, skladištenje i odlaganje, detaljno su opisani. Procijenjeni troškovi prikazani su u Tablica 6-7, uključivo i nepredviđene troškove i porez na dodanu vrijednost (PDV). Analiza osjetljivosti naglašava potencijalne rizike i varijacije troškova, i osigurava da je financijsko planiranje robusno i prilagodljivo promjenjivim uvjetima.

Hrvatska strategija zbrinjavanja NSRAO-a i ostalog radioaktivnog otpada iz NE Krško daje dobro definiran, višefazni pristup. Naglašava sigurnost, usklađenost s propisima, angažman javnosti i financijsku razboritost. Strategija osigurava da Hrvatska ispunjava svoje međunarodne obveze uz očuvanje javnog zdravlja i okoliša.

6.2 Nacionalna strategija i program

Dana 17. listopada 2014. Hrvatski je sabor donio hrvatsku *Strategiju zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva* (Strategiju). Strategija se temelji na zahtjevima navedenim u hrvatskom Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti te je izrađena u skladu s međunarodnim konvencijama i direktivama EU (primarna Direktiva 2011/70/Euratom [6]). Definira strateške ciljeve i smjernice za zbrinjavanje RAO-a i ING-a te postavlja kratkoročne, srednjoročne i dugoročne ciljeve. Strategija predviđa i uspostavu Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada koji će obuhvaćati sve objekte potrebne za sigurno skladištenje IRAO-a i DS-a kao i dugoročno skladištenje NSRAO-a iz NE Krško.

Strategijom su definirani kratkoročni (2 godine), srednjoročni (10 godina) i dugoročni ciljevi (za razdoblje duže od 10 godina). Ukratko, Strategija bi se mogla prezentirati u Tablica 6-1.

Tablica 6-1 Hrvatska pregledna matrica zbrinjavanja IRAO-a, DS-a, NSRAO-a i ING-a kako je predstavljena u 7. nacionalnom izvješću o provedbi obveza iz Zajedničke konvencije [56], ažurirano

	Dugoročna politika zbrinjavanja	Financiranje obveza	Trenutne prakse/ postrojenja	Planirana postrojenja
Istrošeno gorivo	Suho skladište na lokaciji NE Krško (zajednički program sa Slovenijom) nakon čega slijedi odlaganje.	NE Krško do konačnog prestanka rada. Nacionalni fond nakon prestanka rada.	Mokro skladištenje u NE Krško Suho skladište na lokaciji NE Krško (SFDS).	Zajednički DGO (Hrvatska i Slovenija) ili izvoz u međunarodni DGO.
Otpad iz ciklusa nuklearnog goriva	Dugoročno skladištenje (40 godina) nakon čega slijedi odlaganje u pripovršinsko odlagalište.	Hrvatski fond	Skladište na lokaciji NE Krško.	Objekt za dugoročno skladištenje.
Neenergetski radioaktivni otpad	Dugoročno skladištenje nakon čega slijedi odlaganje.	Korisnici	Dva privremena skladišta (zatvorena).	Središnje nacionalno skladište.
Razgradnja	Trenutna razgradnja NE Krško s izuzetkom SFDS-a i RU-a (zajednički program sa Slovenijom). Odgođena razgradnja za ostale objekte.	Nacionalni fondovi, korisnici i država za postrojenja za neenergetski otpad.	Nema postrojenja u razgradnji.	Nema planiranih postrojenja.
Iskorišteni zatvoreni izvori	Ponovna uporaba, repatrijacija i dugoročno skladištenje.	Korisnici	Ponovna uporaba, repatrijacija i dva privremena skladišta (zatvorena).	Središnje nacionalno skladište.

Nastavno na Strategiju, Vlada RH je 18. studenoga 2018. donijela Nacionalni program provedbe Strategije (Program za razdoblje do 2025. s pogledom do 2060.) [8] i dopunjen 2022. [9]. Ovim programom razrađuju se aktivnosti za jačanje regulatornog okvira i uspostavljanje potrebne infrastrukture za ispunjavanje obveza Hrvatske prema međunarodnim ugovorima. Uključuje korake za

osiguranje pravovremenog i usklađenog rada nadležnih tijela za zbrinjavanje hrvatske polovice NSRAO-a iz NE Krško. Nacionalni program precizira da je bivši vojno-skladišni kompleks Čerkezovac preferentna lokacija za Centar. Ova će lokacija služiti i kao žarišna točka za informiranje javnosti i obrazovanje o zbrinjavanju RAO-a u Hrvatskoj. Proces potvrđivanja lokacije Čerkezovac uključuje sudjelovanje javnosti u donošenju odluka, prostornom planiranju, postupku procjene utjecaja na okoliš uključujući procjenu prekograničnog utjecaja Centra.

Nacionalni program izmijenjen je u ožujku 2022. Promjene su uključivale prijenos nadležnosti za radiološku i nuklearnu sigurnost s dosadašnjeg Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost na Ministarstvo unutarnjih poslova od 2019. godine, ažuriranje plana provedbenih aktivnosti i rokova za uspostavu Centra za potrebe skladištenja institucionalnog RAO-a i II-a te reviziju provedbenih aktivnosti dugoročnog skladištenja i zbrinjavanja NSRAO-a iz NE Krško. Nadalje, uključivale su ažuriranje zbrinjavanja ING-a i pokazatelja uspješnosti te pregled planiranih aktivnosti istraživanja i razvoja.

6.3 Inventar

U Poglavlju 3.1 ovog dokumenta prikazana su svojstva i ukupne količine NSRAO-a nastale radom i razgradnjom NE Krško, a detalji podjele i preuzimanja razrađeni su u Poglavlju 5. Tablica 3-11 sažima količine NSRAO-a koje će hrvatska i slovenska strana ravnomjerno podijeliti u skladu s Međudržavnim ugovorom za osnovni scenarij, a Tablica 6-2 hrvatsku polovicu. Procijenjene količine NSRAO-a za scenarij produženog životnog vijeka NE Krško (ELSC) sažete su u Tablica 3-12.

Tablica 6-2 Hrvatska polovica NSRAO-a iz NE Krško

Period generiranja NSRAO	Porijeklo NSRAO	Izvor podataka	Volumen (m^3)	Masa (t)	Aktivnost* (Bq)	Zbrinjavanje nakon podjele i preuzimanja
1983. – 2023.	**Operativni**	**Inventar**	1.192,1	2.463,97	$4{,}141\times10^{13}$	Prijevoz i obrada s kondicioniranjem u RCC.
2024. – 2043.		**Procjena**	298,94	461,33	$1{,}04\times10^{13}$	Kondicioniranje u RCC. Prijevoz i obrada s kondicioniranjem u RCC u trećoj zemlji.
2043. – 2058.	**Dekomisijski**		736,45	1.341,05	$2{,}38\times10^{12}$	WMF na lokaciji. Obrada i kondicioniranje u RCC. Prijevoz u odgovarajuće NSRAO odlagalište u Hrvatskoj nakon 2050. godine.
		Ukupno	**2.227,49**	**2.925,3**	**$5{,}42\times10^{13}$**	

***** Izvor podataka z operativni i dekomisijski NSRAO je Druga revizija Studije podjele i preuzimanja [23], PDP, rev 7 [20] i PR, rev 4 [22]. Aktivnost ne uključuje radioaktivni raspad.

RAO koji će nastati tijekom razgradnje SFDS-a i RU-a u razdoblju 2103.–2107. (procijenjeno na 35 m^3, 274,75 t s ukupnom aktivnosti od $4{,}86 * 10^{11}$ Bq) nije uključeno u ovu tablicu, budući da nije namijenjeno podjeli, već će biti odloženo u dubokom geološkom odlagalištu zajedno sa ING-om i VRAO-om.

Nakon podjele i preuzimanja, ovaj će inventar zbrinuti hrvatska strana. Sve procjene kapaciteta i troškova za obradu, kondicioniranje, transport, skladištenje i odlaganje NSRAO-a dalje u ovom poglavlju temelje se na količinama prikazanim u Poglavlju 5.

6.4 Koncepti i planovi zbrinjavanja NSRAO-a NE Krško

Scenarij zbrinjavanja NSRAO-a Nuklearne elektrane Krško osmišljen je i financijski optimiziran na temelju Strategije i Nacionalnog programa, pri čemu su uzeti u obzir hrvatski propisi, najbolje sigurnosne prakse i međunarodne preporuke. Scenarij opisuje sve aktivnosti, postrojenja koja je potrebno uspostaviti i postupke potrebne za sigurno gospodarenje hrvatskom polovicom NSRAO-a iz NE Krško u predviđenom vremenskom okviru.

Izvorno je planirano da se nakon preuzimanja iz skladišta u NE Krško NSRAO obradi i kondicionira u prikladni oblik za daljnje postupke, kao što su rukovanje, transport, skladištenje i odlaganje [57]. Postupci obrade i kondicioniranja obavljat će se u namjenskom postrojenju za zbrinjavanje otpada. Međutim, važna prekretnica vezana uz rokove preuzimanja NSRAO-a iz NE Krško dogodila se na 17. sjednici MDP-a održanoj u Krškom 2. listopada 2023. godine [18]. MDP je na toj sjednici odlučilo da je novi rok za preuzimanje NSRAO-a iz NE Krško početak 2028. godine, a Fond je zadužen da do tog datuma provede sve potrebne radnje kako bi se osiguralo funkcioniranje Centra. Do tada će NE Krško osigurati dovoljan skladišni kapacitet. Dodatno, prema zaključku o kondicioniranju na lokaciji NPP Krško [50] koji je odobrio KO na 14. sastanku [49], kondicioniranje na lokaciji NPP Krško neće biti moguće. Također je odlučeno da će Fond i ARAO morati preuzeti sav otpad između 2028. i 2030. godine [58]. Stoga je, u svjetlu najnovijih događaja vezanih uz kondicioniranje na lokaciji NPP Krško, Fond pokrenuo postupak javne nabave za prijevoz, obradu i kondicioniranje hrvatske polovice LILW-a u odgovarajućem postrojenju. LILW će se kondicionirati u betonske spremnike (RCC) kako je opisano u Poglavlju 6.5.1. RCC-ovi će se skladištiti u postrojenju za dugoročno skladištenje koje će se uspostaviti na lokaciji Čerkezovac (s početkom rada 2028. godine) i kasnije odložiti u odgovarajuće odlagalište LILW-a također u Hrvatskoj (s početkom rada 2051. godine).

Međutim, za obradu i kondicioniranje otpada iz razgradnje, kao i za obradu i kondicioniranje operativnog NSRAO-a koji će nastati nakon 2023. godine, 4. revizija Programa razgradnje NE Krško [24] (Poglavlje 8.3.1. Zbrinjavanje otpada za projekt D&D) pretpostavlja da će na lokaciji NE Krško tijekom razgradnje elektrane, raditi postrojenje za obradu i kondicioniranje. Stoga se pretpostavlja da će se hrvatska polovica NSRAO-a iz razgradnje obrađivati i kondicionirati na lokaciji i zatim prevoziti u Hrvatsku.

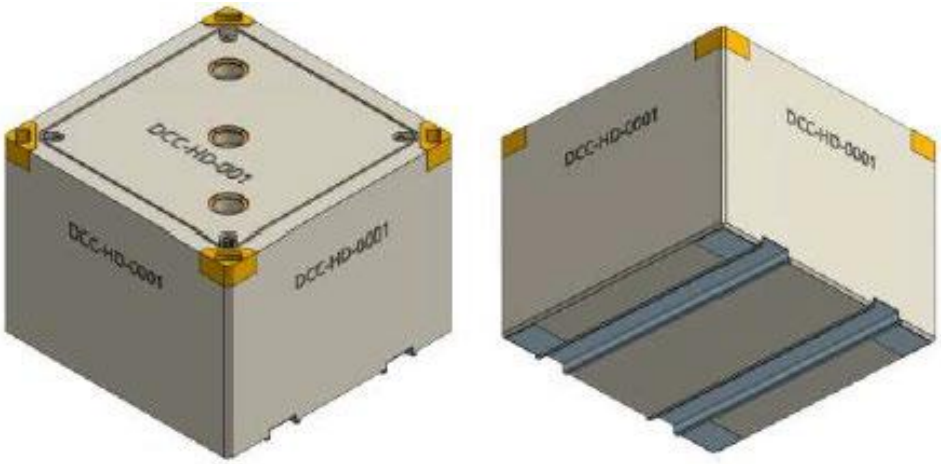
Prikazani pristup podjeli, preuzimanju, obradi, kondicioniranju, transportu, dugoročnom skladištenju i odlaganju operativnog i dekomisijskog NSRAO-a u roku predviđenom Nacionalnim programom predstavlja osnovni scenarij (BC) za zbrinjavanje hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško.

6.5 Tehničko-tehnološka rješenja za zbrinjavanje NSRAO-a NE Krško

U sljedećem potpoglavlju bit će opisana tehnička i tehnološka rješenja primijenjena u obradi i kondicioniranju, transportu, skladištenju i odlaganju hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško. Opis se temelji na nekoliko pratećih studija [59, 60], [62, 63].

6.5.1 Armiranobetonski spremnici

Za prijevoz, skladištenje i odlaganje hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško upotrebljavat će se betonski spremnici sa čeličnom armaturom (RCC). Slika 6-1 prikazuje model RCC spremnika.



Slika 6-1 Model armiranobetonskog spremnika (RCC)

NSRAO iz NE Krško će se kondicionirati u odgovarajućim RCC betonskim spremnicima, a pojedini paketi NSRAO-a će se po potrebi dodatno obraditi prije kondicioniranja.

U ovom trenutku Fond nije definirao točne specifikacije karakteristika RCC-a. U tu svrhu Fond će ugovoriti projektiranje, licenciranje i izradu RCC-a. Ova aktivnost bit će planirana na način da će RCC dobiti licencu, a proizvodnju uspostaviti prije roka preuzimanja 2028. godine. Cilj izrade projektne dokumentacije je definiranje optimalnog kapaciteta RCC-a za tip bačvi u kojima se trenutno skladišti NSRAO na lokaciji NE Krško, uz osiguranje dovoljne radiološke zaštite i mehaničke stabilnosti. Također, definirat će se sva ispitivanja i metode dokazivanja usklađenosti s regulatornim zahtjevima. Osnovni tehnički podaci o RCC-u navedeni su u Tablica 6-3.

Tablica 6-3 Osnovni tehnički podaci i svojstva RCC spremnika

Parametar	Vrijednost/karakteristike
Oblik i vanjske dimenzije	Kocka, 1,7 x 1,7 x 1,7 m
Unutarnje dimenzije	1,43 x 1,45 x 1,45 m
Masa NSRAO-a koja se može postaviti u spremnik	~ 5000 kg
Masa betonskog spremnika	Do 7.500 kg
Maksimalna masa RCC spremnika napunjenih otpadom	15.000 kg
Korisni volumen	2,85 m^3
Trajnost	300 godina
Ojačanje	Čelična armatura
Mogućnost slaganja	3 sloja
Prijevoz	Prikladno za prijevoz

6.5.2 Obrada, kondicioniranje i transport

Za donošenje odluka i planiranje naknadnih aktivnosti zbrinjavanja, kao što su odabir tehnologije obrade i kondicioniranja bitni su podaci o karakterizaciji otpada, kao i planiranje mjera zaštite od zračenja, definiranje osobne zaštite itd. Na temelju dostupnih podataka smatra se da nekoliko vrsta otpada i paketa NSRAO-a koji se sada nalaze u privremenom skladištu NSRAO-a u NE Krško (Postrojenje za skladištenje krutog radioaktivnog otpada, SRSF) ne zadovoljava preliminarne WAC-eve za prihvat NSRAO-a u dugoročno skladište Centra ili odlagalište NSRAO-a u Hrvatskoj. U Tablica

6-4 je dan pregled nestabilnih vrsta i paketa otpada kao i odgovarajući preliminarni WAC-evi koji moraju biti zadovoljeni prije smještanja u Centar. NSRAO koji ne zadovoljava WAC-eve potrebno je obraditi prije kondicioniranja. Zbrinjavanje uključuje sve one postupke koji su namijenjeni povećanju sigurnosti i/ili smanjenju troškova zbrinjavanja promjenom karakteristika RAO-a.

Tablica 6-4 Vrste i paketi NSRAO-a koji ne zadovoljavaju WAC

Vrsta/paket NSRAO-a	Neželjene karakteristike	Preliminarni WAC
IDDS produkti koji su rezultat obrade koncentrata i taloga u rezervoarima.	Vrsta otpada je vrlo korozivana zbog sadržaja borne kiseline.	Korozivnost NSRAO-a mora se smanjiti na najnižu praktički dohvatljivu razinu. Za pH vrijednost vrste NSRAO-a predlaže se raspon $4 \leq pH \leq 9$.
IDDS produkti dobiveni obradom primarnih i sekundarnih ionskih smola.	Vrsta otpada je higroskopna i u prisutnosti vlage bubri (zbog povećanja volumena puca forma otpada) što rezultira unutarnjim pritiskom unutar odlagališta.	Stvaranje unutarnjeg pritiska unutar odlagališta NSRAO-a je nepoželjno, pa je ovaj proces potrebno svesti na najnižu praktički ostvarivu razinu.
Paketi NSRAO-a koji sadrže filtere, otpreske i posude od 200 litara.	Ambalaža sadrži šupljine, tj. NSRAO je nehomogen. Visok sadržaj šupljina remeti mehaničku čvrstoću, omogućuje nakupljanje plinova, ubrzava migraciju radionuklida iz odlagališta itd.	NSRAO mora biti ravnomjerno raspoređen u metalne i betonske spremnike. Količinu praznina u formi NSRAO-a potrebno je smanjiti koliko god je to moguće.

U tim okolnostima, radi ispunjavanja obveza definiranih Međuvladinim sporazumom i zaključkom o NPP-u Krško odobrenim od strane ICC-a na 14. sastanku [49], planira se transport hrvatske polovice operativnog LILW-a na obradu i kondicioniranje u RCC-u u namjenskom postrojenju za zbrinjavanje otpada. Potrebna obrada i kondicioniranje LILW-a detaljno su opisani u pratećim studijama [61, 62].

Operativni NSRAO podijelit će se u dvije pošiljke: Prva pošiljka odnosi se na preuzimanje NSRAO-a proizvedenog do 2023. godine, dok će operativni NSRAO nastao nakon 2023. godine biti predmet preuzimanja tijekom razgradnje NE Krško.

Prva serija RCC spremnika s NSRAO-om prevest će se u dugoročno skladište u Centru u Hrvatskoj te će ondje ostati do otvaranja odlagališta NSRAO-a, dok će se druga serija RCC spremnika s NSRAO-om prevesti izravno u odlagalište NSRAO-a u Hrvatskoj koje će početi raditi 2051. godine.

Dekomisijski NSRAO će se puniti u RCC-e i propisno cementirati na lokaciji NE Krško. Prvi paketi otpada s dekomisijskim NSRAO-om bit će pripremljeni 2050. godine. RCC s hrvatskom polovicom dekomisijskog NSRAO-a zatim će se transportirati iz NE Krško izravno u odlagalište NSRAO-a u Hrvatskoj.

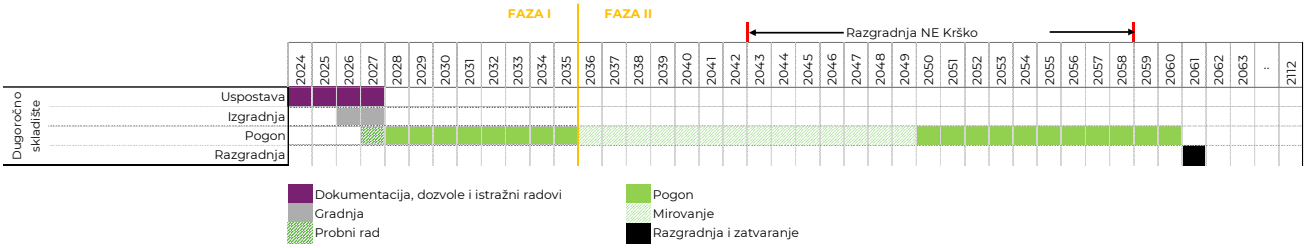
6.5.3 Dugoročno skladištenje

Scenarij zbrinjavanja NSRAO NE Krško pretpostavlja da će se u dugoročno skladište smjestiti operativni NSRAO proizveden do 2023. godine. Nakon podjele i preuzimanja, hrvatski dio NSRAO-a će se transportirati u treću zemlju na obradu i kondicioniranje u RCC-e. Prema trenutnim procjenama [63] operativni NSRAO proizveden do 2023. bit će smješten u najviše 2450 RCC-a (konzervativni

pristup).

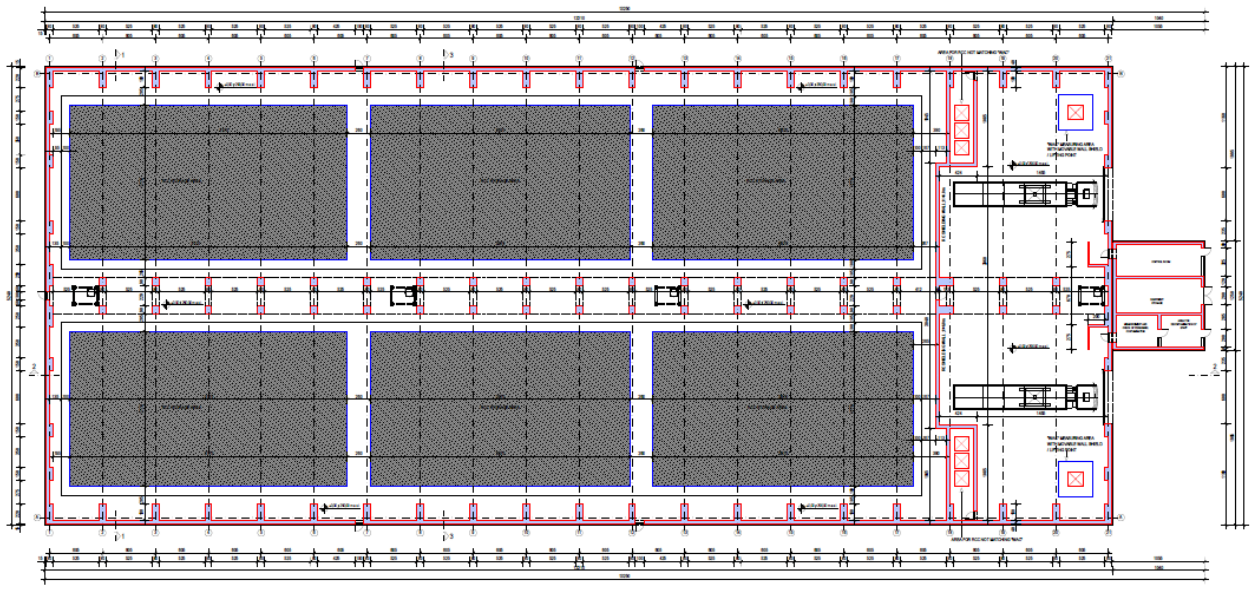
Uspostava Centra i uspostava, rad i razgradnja dugoročnog skladišta temelje se na vremenskom planu prikazanom na Slika 6-2. U tijeku je izrada dokumentacije, lokacija je prethodno temeljito istražena, a sve potrebne dozvole bit će ishođene do kraja 2027. godine. Za izgradnju je predviđena godina dana, nakon koje će uslijediti testno razdoblje koje završava 2027. godine. Rad dugoročnog skladišta može se podijeliti u tri razdoblja: od 2028. do 2035. godine Dugoročno skladište prima RCC-e iz NE Krško i/ili iz postrojenja za obradu i kondicioniranje; od 2036. do 2049. godine Dugoročno skladište je u fazi mirovanja; od 2050. do 2059. godine Dugoročno skladište se prazni, a RCC-i e se prevoze u hrvatsko odlagalište koje će biti u pogonu 2051. godine. Nakon što se svi RCC-i transportiraju u odlagalište, 2061. godine, Dugoročno skladište će se razgraditi.

Hrvatska polovica operativnog NSRAO-a proizvedenog nakon 2023. godine, kao i NSRAO iz razgradnje, preuzet će se s lokacije NE Krško i transportirati izravno u hrvatsko odlagalište koje će biti u pogonu nakon 2050. godine.

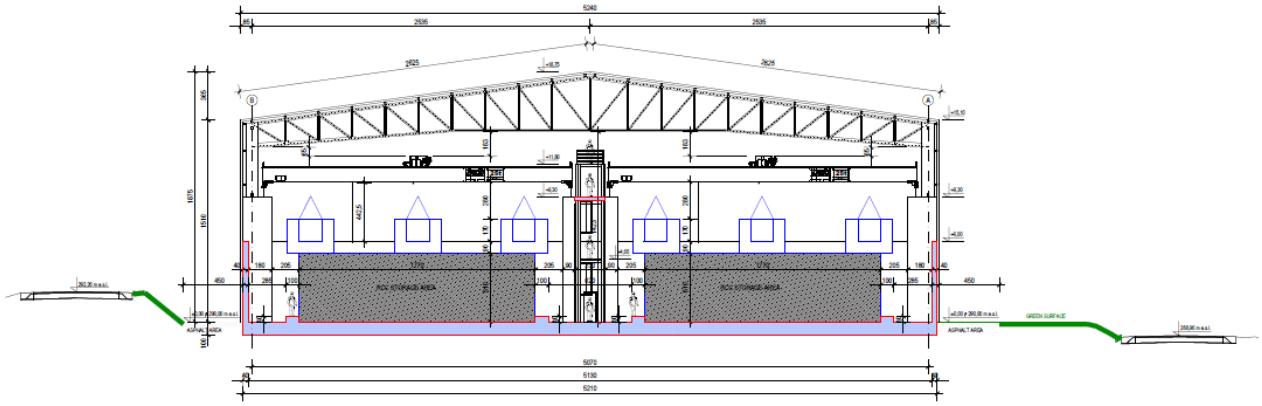


Slika 6-2 Vremenski okvir dugoročnog skladištenja

Nacrti za projektiranje skladišta prikazani su na Slika 6-3 i Slika 6-4 [60]. Dugoročno skladište je tlocrtnih dimenzija 121,80 x 52,10 m, sa ugrađenim pomoćnim prostorijama. Korisna površina od cca. 6.330 m^2 imat će skladišni kapacitet za 2.450 RCC-a, pohranjenih u tri razine. Točna količina skladišnih spremnika znat će se tek nakon konačnog odabira tipa RCC-a, ali kako su svi spremnici sličnih dimenzija, brojke neće puno odstupati. Pomoćni prostori sastoje se od kontrolne prostorije, prostora za mjerenje i provjeru kontaminacije osoblja, prostora za dekontaminaciju osoblja i spremišta opreme. Ispred skladišta je predviđena prometna površina za prilaz kamiona koji dovoze RCC-e. Kamion ulazi u skladište stražnjim dijelom tako da je potpuno pozicioniran unutar skladišnog prostora.



Slika 6-3 Dugoročno skladište – tlocrt



Slika 6-4 Dugoročno skladište – pogled sprijeda

Sigurnosne funkcije instalirane u dugoročnom skladištu sprječavaju negativne radiološke posljedice normalnog rada i sprječavaju ili ublažavaju radiološke posljedice nesreća. Sigurnosne funkcije izvedene u obliku zaštitnih barijera osiguravaju izolaciju pohranjenog radioaktivnog materijala od ljudi i okoliša. Najvažnije sigurnosne funkcije ispunjavaju se primjenom pasivnih inženjerskih barijera kao što su fizikalna i kemijska svojstva kondicioniranog otpada, spremnici u kojima se otpad skladišti i robusna građevinska konstrukcija samog dugoročnog skladišta. Osim pasivnih, planira se koristiti aktivne sigurnosne funkcije koje poboljšavaju sigurnost pohrane. Zaštita od zračenja za dugoročno skladištenje provodi se sustavom pasivnih sigurnosnih funkcija ili inženjerskih barijera:

- Prva inženjerska barijera je betonsko punjenje za kondicioniranje RAO-a unutar skladišnog paketa.
- Druga inženjerska barijera je stjenka armirano-betonskog spremnika (RCC);
- Treću inženjersku barijeru čine fiksne i pomične pregrade unutar skladišta, fasadni zid skladišnog objekta i nepropusna podna ploča.

Potpunu zaštitu postiže već skladišni spremnik (RCC), koji da bi zadovoljio uvjete transporta mora imati brzinu doze manju od 0,1 mSv/h na udaljenosti od 1 m, odnosno 2 mSv/h na kontaktu. Ograničenje brzine doze osigurano je zadovoljenjem kriterija prihvata otpada (WAC) te specifikacijama paketa otpada (WPS).

Za cijeli kompleks Centra izgradit će se upravna zgrada koja će biti opremljena za trajno korištenje. U sklopu upravne zgrade nalazit će se informacijski centar i prostori za zaštitare. Rad skladišta bit će podržan pomoćnim sustavima (električna energija, voda, odvodnja oborinske vode i sanitarne vode iz upravne zgrade, telekomunikacijski sustav i sustav zaštite od udara munje).

Prijem RCC-a vršit će se unutar skladišne zgrade u kojoj će biti rezerviran prostor za prihvat tegljača sa spremnicima. Nakon istovara RCC-a mosnom dizalicom izvršit će se vizualni pregled, mjerenje jačine doze na površini RCC-a i detekcija površinske kontaminacije. Također će se provjeriti i dokumentacija pošiljatelja. Ako specifikacija pakiranja otpada (WPS) RCC-a ispunjava WAC kriterije skladištenja, RCC će biti smješten u skladište. Lokacija RCC-a bit će zabilježena i pohranjena zajedno s dokumentacijom pošiljatelja.

Tijekom rada Dugoročnog skladišta provodit će se periodični pregledi spremnika: vizualno, kamerom ili odabirom određenog RCC-a koji bi se mosnom dizalicom mogao ukloniti sa skladišnog mjesta i potom pregledati npr. cjelovitost.

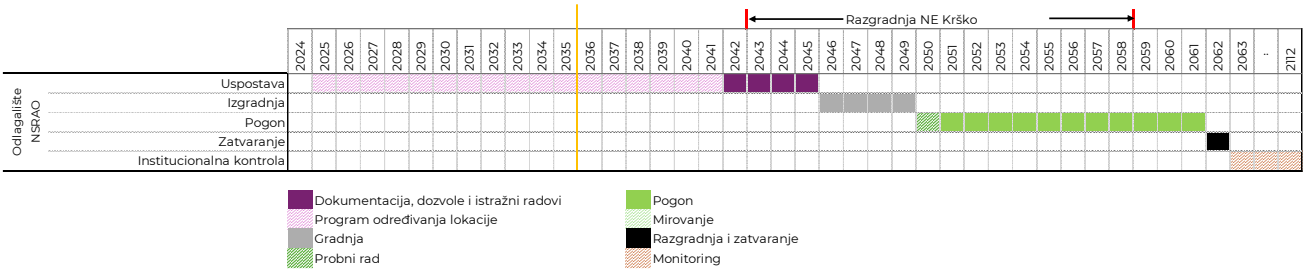
Tijekom probnog rada Dugoročnog skladišta koristit će se mali broj RCC-a. To će omogućiti testiranje i validaciju procesa vezanih uz prijem RCC-ova i njihovu manipulaciju u skladištu.

Za dugoročno skladište predviđeno je 5 radnika na 17,5 godina (prihvatni rok za RCC-ove dovezene s obrade i kondicioniranja plus dodatnih 5 godina za smještaj, evidenciju i manipulaciju). Za ostatak razdoblja skladištenja (21 godinu) predviđa se 30 % manji angažman zaposlenika.

Razgradnja dugoročnog skladišta NSRAO planirana je za 2061. godinu, a dovršetak se planira u roku od godine dana, uz pretpostavku da postrojenje neće biti značajno onečišćeno. U slučaju da se tijekom razgradnje otkriju kontaminirani građevinski materijali, materijal će se odvojiti, kondicionirati u RCC-u i odložiti u odlagalište NSRAO-a [57, 63].

6.5.4 Odlagalište NSRAO-a

U ovom dijelu navode se informacije o odlagalištu NSRAO-a koje će se uspostaviti na još uvijek nedefiniranoj lokaciji u Hrvatskoj. Slijedi opis procesa uspostave odlagališta NSRAO-a, njegovog rada, zatvaranja odlagališta i institucionalne kontrole lokacije koja će se provoditi nakon zatvaranja odlagališta. Uspostava odlagališta NSRAO-a temelji se na vremenskoj skali prikazanoj na Slika 6-5.



Slika 6-5 Vremenski raspored odlagališta za hrvatsku polovicu NSRAO-a NE Krško

Uspostava odlagališta NSRAO-a za hrvatsku polovicu NE Krško započinje 2025. godine izradom Programa istraživanja i razvoja za odabir lokacije, karakterizaciju lokacije i pokretanje različitih procesa za dobivanje potrebnih dozvola u skladu s propisima, počevši od lokacijske dozvole. Lokacijska dozvola izdat će se do 2044. godine, a do kraja 2046. godine i građevinska dozvola. Dozvola za probni rad bila bi izdana 2050. godine, a redoviti rad na odlagalištu započeo bi 2051. godine. Odlagalište NSRAO-a bilo bi u funkciji sljedećih 10 godina nakon čega se planira njegovo zatvaranje. Procesi dobivanja različitih dozvola tijekom uspostave odlagališta bit će slični onima za dugoročno skladištenje.

Preliminarna istraživanja lokacije provodit će se tijekom prve faze projekta i tijekom cijelog postupka ishođenja lokacijske dozvole. Cilj tih istraživanja lokacije bit će lociranje mikrolokacije za odlagalište unutar makrolokacije i stvaranje geoloških i hidrogeoloških baza podataka s parametrima potrebnim za modeliranje toka i brzine podzemne vode, odnosno za određivanje mogućeg podzemnog transporta radionuklida migracijom i difuzijom.

Preliminarna istraživanja lokacije obuhvatit će područje od približno 10 km^2 u blizini željene lokacije odlagališta NSRAO-a. U drugoj fazi provest će se detaljni istražni radovi (koji obuhvaćaju 1 km^2 oko odabrane lokacije odlagališta) kako bi se provjerile sve značajke i rezultati dobiveni preliminarnim istraživanjima. Glavna svrha druge faze istraživanja nalazišta je analiza dugoročne sigurnosti odlagališta. Detaljna istraživanja druge faze usmjerena su na konkretnu mikrolokaciju na kojoj će biti smješteno buduće odlagalište NSRAO-a. Završetak druge faze istraživanja koincidirao bi sa završetkom procesa dobivanja građevinske dozvole za odlagalište NSRAO-a.

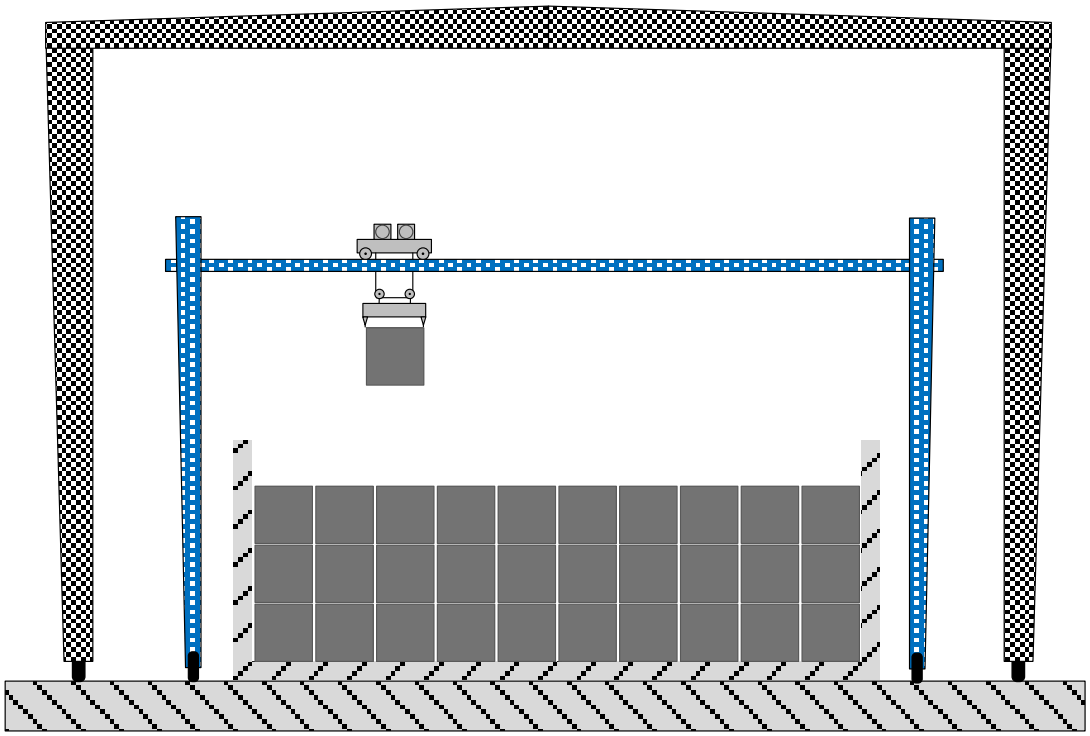
Za potrebe ishođenja lokacijske dozvole izradit će se prethodna sigurnosna studija i izvješće o sigurnosnoj studiji prema propisima će biti na snazi u vrijeme podnošenja zahtjeva za izdavanje lokacijske dozvole [64]. Ova dokumentacija je dio podloga kojima se dokazuje prikladnost lokacije i sigurnost objekta u sklopu postupka procjene utjecaja na okoliš koji uključuje i javne rasprave. Konačna sigurnosna studija i izvješće o sigurnosnoj studiji izradit će se po završetku izgradnje odlagališta u svrhu ishođenja dozvola za probni i redoviti rad. Regulatorno će tijelo pregledavati sigurnosne dokumente i izdavati suglasnosti za probni i redoviti rad odlagališta NSRAO-a na temelju Izvješća sigurnosne studije/procijene sigurnosti (SAR) za svaku fazu razvoja odlagališta NSRAO-a.

Nakon odobrenja konačnog SAR-a dobit će se dozvola za redoviti rad odlagališta NSRAO-a. Pretpostavlja se da će probni rad odlagališta NSRAO-a trajati godinu dana. Redoviti rad odlagališta NSRAO-a započet će 2051. godine.

Tijekom životnog vijeka odlagališta provodit će se stalni nadzor okoliša, kao i praćenje razine radioaktivnosti unutar odlagališta i okoline objekta radi zaštite zaposlenika i stanovništva koje živi u blizini. Operativni nadzor počinje probnim radom odlagališta [65, 66, 68].

Odlagalište NSRAO-a bit će pripovršinskog tipa (engl. *near-surface*), s armirano-betonskim kasetama (engl. *vaults*) za skladištenje RCC spremnika s NSRAO-om. Kasete ili odlagališne jedinice izgradit će se od armiranog betona. Jedinica odlagališta se sastoji od temeljne ploče i četiri bočne stijenke. Gornja površina temeljne ploče izgrađena je s nagibom prema drenažnim izlazima. Debljina stijenki i temeljne ploče ovisit će o karakteristikama konkretne lokacije i rezultatima sigurnosne analize. Na vrhu pogonske jedinice u procesu odlaganja RCC-a bit će postavljena zaštitna konstrukcija u obliku kliznog

krova na tračnicama. Krovna konstrukcija će se premjestiti na sljedeću jedinicu nakon što prethodna jedinica bude puna (Slika 6-6). Kompletna cjelina je zatvorena armirano betonskom pločom i zaštitnim premazom. Precizno postavljanje RCC-a postiže se portalnom dizalicom nosivosti 20 t smještenom unutar zaštitne konstrukcije s obzirom da će maksimalna težina punog RCC-a biti 15 tona.



Slika 6-6 Tehnologija odlaganja u jednoj jedinici odlagališta NSRAO-a – bočni prikaz

Ispod odlagališta izgradit će se sustav odvodnje kao dodatna mjera zaštite. Sustav odvodnje prikuplja svu procjednu vodu unutar odlagališne jedinice prije i nakon postavljanja trajnog betonskog pokrova na vrh jedinice i bit će spojen na spremnik od 100 m^3 koji će skupljati tekućinu iz svih jedinica. Spremnik će biti opremljen mjernim uređajem za radioaktivnost procjednih voda i senzorom razine tekućine koji će omogućiti kontrolu nad procjednim vodama koje se mogu zadržati ili osloboditi od regulatornog nadzora.

Sustav oborinske kanalizacije projektiran je na način da se oborinska voda skuplja u posebnim bazenima. Dimenzije bazena bit će dovoljne za prikupljanje ukupne godišnje količine oborine na lokaciji odlagališta NSRAO-a. Nakon radiološke kontrole oborinske vode će se ispuštati u komunalnu kanalizaciju ukoliko budu zadovoljeni kriteriji za ispuštanje.

Tijekom redovnog rada odlagališta NSRAO-a predviđen je sustavni nadzor lokacije odlagališta i njegove okoline. Predviđeni su sustavi fizičke i tehničke zaštite, sustav protupožarne zaštite i sustav radiološkog nadzora.

Proces odlaganja započet će transportom RCC-a iz Dugoročnog skladišta do kasete u odlagalištu NSRAO-a. Kamion s RCC-om bit će postavljen ispod zaštitne konstrukcije, a pomoću portalne dizalice spremnik će se podići iz kamiona i postaviti u jedinicu.

Prije nego što se RCC trajno postavi u jedinicu, provjerava se površinska doza i moguća kontaminacija spremnika. Dobiveni podaci unose se u bazu podataka i pohranjuju zajedno s točnim mjestom skladištenja unutar jedinice.

U svrhu probnog rada koristit će se nekoliko praznih RCC-a (5 – 10). Oni će se koristiti za simulaciju cjelokupnog procesa transporta od Dugoročnog skladišta do odlagališta NSRAO-a i smještaj spremnika u jedinice odlagališta. Cilj probnog rada provjeriti je sustave i pokazati da se proces prijevoza odvija u skladu s regulatornim zahtjevima i propisanim radnim postupcima te u skladu s mjerama sigurnosti i zaštite od zračenja.

Zatvaranje odlagališta počinje nakon što su sve jedinice u odlagalištu u potpunosti ispunjene RCC-ima, ograđene armiranobetonskom pločom i zaštićene vodonepropusnim sintetičkim materijalima kako bi se završio redoviti rad odlagališta. Jedinice za odlaganje prekrivene su slojevima prirodnih materijala koji čine dodatnu inženjersku barijeru. Struktura pokrova odlagališta ovisi o rezultatima istraživanja geološkog okoliša i drugim karakteristikama odlagališta. Najčešće se koriste šljunčani i pjeskoviti materijali, kao i razne vrste gline. Pokrov treba projektirati tako da ograniči prodor vode do betonskih konstrukcija odlagališta kako bi se spriječilo moguće ispiranje i migracija radionuklida, pa se oblikuje naizmjeničnim slojevima nepropusnih materijala i materijala koji omogućavaju dobru drenažu.

Nakon zatvaranja odlagališta potrebno je nastaviti sustavno praćenje stanja odlagališta NSRAO-a i okoliša odlagališta u skladu s propisima. Potrebna je aktivna institucionalna kontrola, uključujući inspekcije odlagališta, prikupljanje i upravljanje podacima te izvješćivanje regulatornog tijela kako bi se dobilo odobrenje za konačno zatvaranje odlagališta i oslobađanje od regulatornog nadzora. Aktivna institucionalna kontrola predviđena je u trajanju prema propisima koji će biti na snazi u vrijeme zatvaranja odlagališta s ciljem praćenja radi li odlagalište kako je projektirano, odnosno da je odloženi NSRAO izoliran od biosfere. Kada se to postigne, počinje razdoblje pasivnog institucionalnog nadzora.

Pasivni institucionalni nadzor mora osigurati očuvanje zapisa i dokumenata o odlagalištu koji uključuju: lokaciju odlagališta, detaljne informacije o sadržaju odlagališta, posebno inventar i karakteristike odlagališta, izgradnju odlagališta, projekt odlagališta i reviziju projekta, plan zatvaranja, rezultate ispitivanja, evidenciju o radu odlagališta, regulatorne dokumente, opće informacije vezane uz javnu raspravu, kako bi podaci bili dostupni i razumljivi budućim generacijama. Mora se osigurati da podaci o odlagalištu NSRAO-a budu sastavni dio državnih i lokalnih prostornih planova.

6.6 Vremenski plan zbrinjavanja hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško

Vremenski plan aktivnosti zbrinjavanja hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško temelji se na Nacionalnom programu provedbe Strategije (Program za razdoblje do 2025. s pogledom na 2060.) [8], Međudržavnom ugovoru [5], odluci o novom datumu preuzimanja NSRAO-a donesenoj na 17. sjednici MDP-a [18], dokumentima Ekonerga d.o.o. i Enconeta d.o.o. [63, 67, 68] i reevaluaciji novih mogućnosti za prijevoz, obradu, kondicioniranje NSRAO-a iz NE Krško.

Vremenskim rasporedom predviđene su dvije faze: Faza I – od 2024. do 2035. i Faza II – od 2035. nadalje. Faze su razrađene u odgovarajućim tablicama (6-Tablica 5 i Tablica 6-6). Sve aktivnosti su grafički prikazane na Slika 6-7.

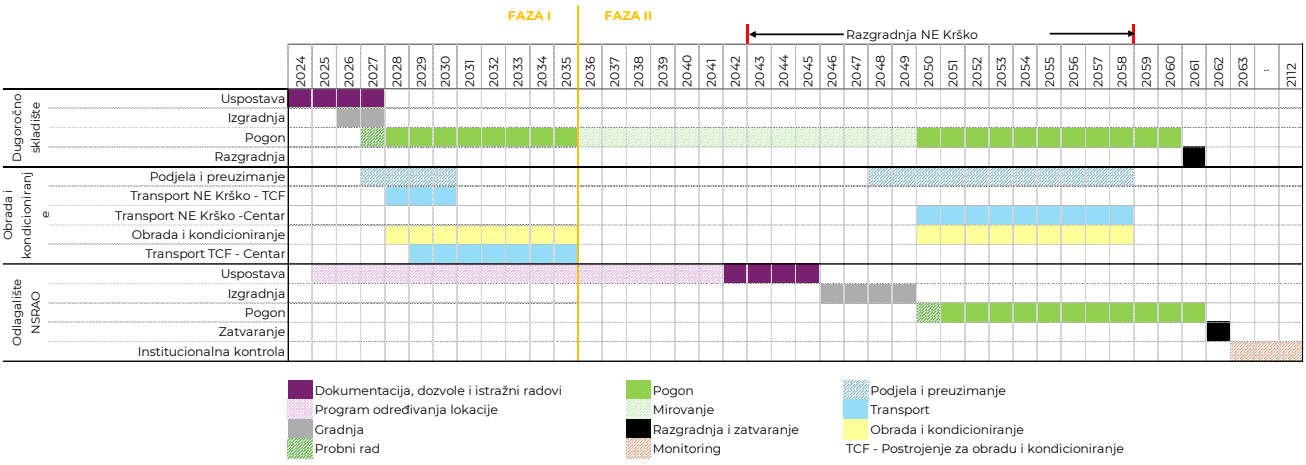
6-Tablica 5 Vremenski raspored za glavne aktivnosti u fazi I: 2024. – 2035. godine

Faza I: 2024. – 2035.		
Početak	**Kraj**	**Aktivnost**
01.01.2024.	Početak 2028.	**Nastavak uspostave Centra** • prostorno planska dokumentacija • analiza sigurnosti • projektiranje • Studija utjecaja zahvata na okoliš i provedba procjene utjecaja na okoliš • lokacijska, građevinska i uporabna dozvola
30.06.2026.	01.11.2027.	**Izgradnja dugoročnog skladišta za NSRAO**
01.11.2027.	31.12.2035.	**Rad dugoročnog skladišta za NSRAO** • probni rad (01.11.-početak 2028.) • redovni pogon (početak 2028. do 31.12.2035. kada počinje razdoblje mirovanja kada se više ne zaprimaju paketi NSRAO-a već se održavaju samo propisani pogonski uvjeti skladišta)
01.01.2028.	31.12.2030.	**Podjela i preuzimanje NSRAO-a iz NE Krško** • podjela • preuzimanje Preuzimanje će se provoditi sukladno odluci o novom datumu preuzimanja NSRAO-a donesenoj na 17. sjednici MDP-a, od 2028. godine nadalje.
01.01.2028.	31.12.2030.	**Prijevoz NSRAO-a iz NE Krško u postrojenje za obradu i kondicioniranje** Prijevoz će se odvijati kampanjski u skladu s uvjetima ugovora s pogonom za preradu i kondicioniranje i prijevoznikom.
01.01.2028.	31.02.2035.	**Obrada i kondicioniranje NSRAO-a iz NE Krško** Otpad će se obrađivati i kondicionirati u skladu s uvjetima ugovora s postrojenjem za obradu i kondicioniranje.
01.01.2029.	31.03.2035.	**Prijevoz NSRAO-a iz postrojenja za obradu i kondicioniranje do lokacije Čerkezovac** Pretpostavlja se da će transport kondicioniranog RCC-a započeti godinu dana nakon transporta NSRAO-a iz NE Krško u postrojenje za obradu i kondicioniranje.

Tablica 6-6 Vremenski raspored za glavne aktivnosti u fazi II: od 2035. godine nadalje

Faza II: 2035. nadalje		
Početak	**Kraj**	**Aktivnost**
01.01.2036.	31.12.2049.	**Razdoblje mirovanja Dugoročnog skladišta NSRAO-a** Razdoblje mirovanja počinje kada se paketi NSRAO-a više ne zaprimaju već se samo održavaju propisani uvjeti rada skladišta
01.01.2050.	31.12.2059.	**Normalan rad Dugoročnog skladišta** Pražnjenje i zatvaranje Dugoročnog skladišta nakon što se svi RCC-i premjeste u odlagalište NSRAO-a.
01.01.2048.	31.12.2058.	**Podjela i preuzimanje NSRAO-a iz NE Krško** Pretpostavlja se da će rad na dokumentaciji završne podjele započeti dvije godine prije preuzimanja te da bi kampanje preuzimanja morale biti usklađene s preuzimanjem NSRAO-a u odlagalištu Vrbina kao i s konačnim planom razgradnje.
01.01.2050.	31.12.2058.	**Odlaganje dekomisijskog i operativnog NSRAO-a iz NE Krško u odlagalište NSRAO-a**

Faza II: 2035. nadalje		
Početak	**Kraj**	**Aktivnost**
01.01.2025.	31.12.2050.	**Uspostava odlagališta NSRAO-a** • preliminarna lokacija (do 31.12.2041.) • završni pregled lokacije (do 31.12.2043.) • prostorno planska dokumentacija • analiza sigurnosti • izvedba • Procjena utjecaja na okoliš (PUO) • lokacijska, građevinska i uporabna dozvolu
01.01.2047.	31.12.2049.	**Izgradnja odlagališta NSRAO-a**
01.01.2051.	31.12.2061.	**Redoviti rad odlagališta NSRAO-a** • probni rad (01.01.2050. – 31.12.2050.) • redovni rad (01.01.2051. – 31.12.2061.)
01.01.2061.	31.12.2061.	**Razgradnja Dugoročnog skladišta za NSRAO-a**
01.01.2062.	31.12.2062.	**Zatvaranje odlagališta NSRAO-a**
01.01.2062.	31.12.2112.	**Institucionalni nadzor odlagališta NSRAO-a**



Slika 6-7 Vremenski raspored glavnih aktivnosti zbrinjavanja NSRAO-a

6.7 Procjena troškova zbrinjavanja NSRAO-a

Ovdje su prikazani troškovi optimiziranog scenarija zbrinjavanja NSRAO-a prikazanog u potpoglavlju 6.4. Oni pokrivaju ulaganja, obradu NSRAO-a, kondicioniranje i transport, rad postrojenja za zbrinjavanje kao i troškove odnosa s javnošću i poticaje lokalnoj zajednici. Procjene nominalnih troškova temelje se na cijenama u eurima (€) za 2023. godinu. Procjena troškova uključuje sljedeće stavke zbrinjavanja NSRAO-a:

1) Obrada i kondicioniranje NSRAO-a, uključujući transport i karakterizaciju,
2) Dugoročno skladištenje, uključujući pripremne radove, izgradnju i opremu, rad i razgradnju,
3) Rad odlagališta NSRAO-a, uključujući pripremne radove, izgradnju i opremanje, rad i zatvaranje,
4) Odnosi s javnošću do zatvaranja odlagališta NSRAO-a (2023. – 2062. godine),

5) Poticaji lokalnim zajednicama do zatvaranja odlagališta NSRAO-a (2023. – 2065. godine).

Svim procijenjenim troškovima dodaju se nepredviđeni troškovi. Nepredviđeni troškovi predstavljaju troškove aktivnosti koje u ovoj preliminarnoj fazi nije bilo moguće utvrditi. Nepredviđeni troškovi se procjenjuju poštujući međunarodne preporuke [27, 47, 48]. U ovakvoj vrsti projekata koriste se tri kategorije nepredviđenih troškova: niski (7 %), srednji (10 %) i visoki (15 %). Nepredviđeni troškovi korišteni u ovoj procjeni troškova kategorizirani su kao srednji (10 %).

Porez na dodanu vrijednost (PDV) uključen je u rashode prema hrvatskom Zakonu o porezu na dodanu vrijednost [69] i podzakonskim propisima.

Lokalni poticaji za rad dugoročnog skladišta definirat će se Uredbom koju treba donijeti Vlada RH. Ovom Uredbom omogućit će se isplata određenog dijela planiranih lokalnih poticaja ovisno o stupnju razvoja dokumentacije Centra, do ukupno predviđeno 1,1 mil. EUR/god tijekom rada Centra. Planirano je isplaćivanje lokalnih poticaja do zatvaranja odlagališta NSRAO-a, 2065. godine.

Troškovi odnosa s javnošću uključuju uspostavu i rad Centra za javno informiranje i edukaciju unutar Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada te druge oblike komunikacije s lokalnom zajednicom i javnošću u Hrvatskoj. Troškovi cestovnog prijevoza i troškovi obrade i kondicioniranja, kao i troškovi RCC-a temelje se na popratnoj studiji [63]. Troškovi usluga u ovim studijama predmet su buduće javne nabave u Hrvatskoj koja bi mogla rezultirati izborom partnera čija bi cijena, uz pretpostavku hrvatskog WAC-a za odlaganje NSRAO-a i za dugoročno skladištenje u Centru, mogla biti prihvatljivija od troškova navedenih u citiranim studijama.

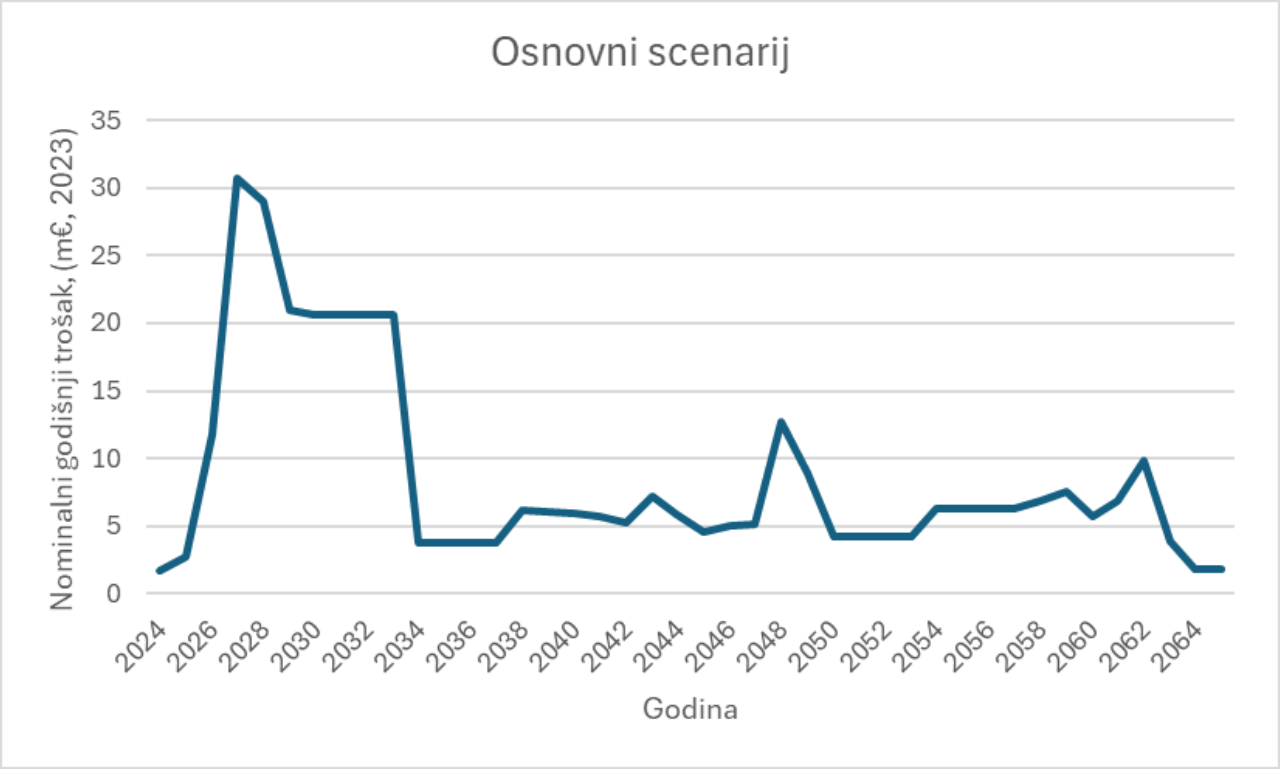
Procjene troškova za dugoročno skladištenje uključujući pripremne radove, izgradnju i opremu, rad i razgradnju i za rad odlagališta NSRAO-a uključujući pripremne radove, izgradnju i opremu, rad i zatvaranje temelje se na popratnoj studiji [68].

Troškovi zbrinjavanja hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško po stavkama troškova prikazani su u Tablica 6-7.

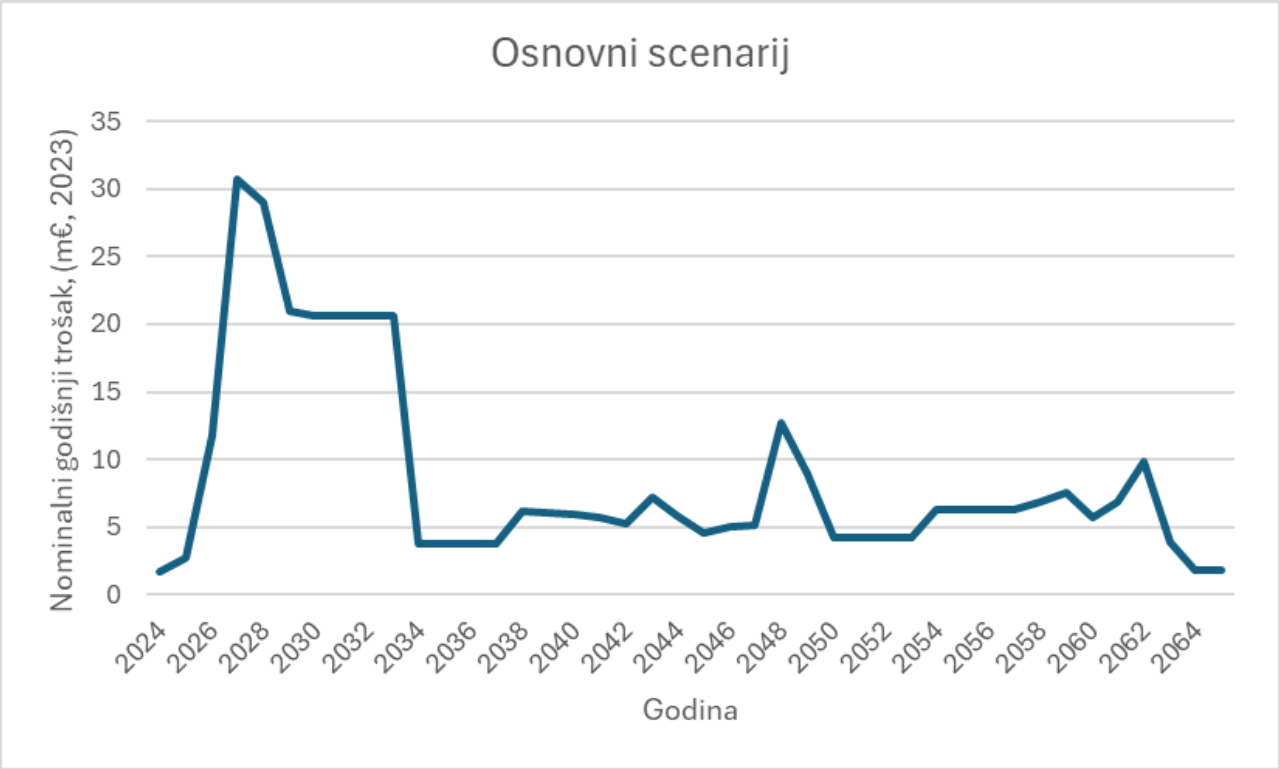
Tablica 6-7 Troškovi po stavkama troškova za zbrinjavanje hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško

Stavka troškova	Nominalni troškovi (Mil. EUR, 2023.)
Obrada i kondicioniranje NSRAO-a, uključujući transport i karakterizaciju	89.650
Dugoročno skladištenje uključujući pripremne radove, izgradnju i opremu, rad i razgradnju	67.030
Rad odlagališta NSRAO-a uključujući pripremne radove, izgradnju i opremanje, rad i zatvaranje	57.701
Troškovi odnosa s javnošću	4.680
Nepredviđeni troškovi	21.600
Ukupno	**240.661**
PDV	53.260
Ukupno + PDV	**293.921**
Lokalni poticaji	73.600
SVEUKUPNO	**367.521**

Godišnja raspodjela nominalnih troškova prikazana je na



Slika 6-8.



Slika 6-8 Godišnja raspodjela nominalnih troškova za hrvatsku polovicu NSRAO-a NE Krško

6.8 Analiza osjetljivosti troškova s registrom rizika

Na ukupni trošak povezan sa scenarijem zbrinjavanja NSRAO-a utječu različite stavke troškova. Te se stavke izračunavaju na temelju niza pretpostavki ili parametara uključenih u scenarij, kao što je broj postrojenja za zbrinjavanje otpada, njihove dimenzije i radna razdoblja, jedinične cijene rada i veličina nepredviđenih troškova u izračunima ukupnih troškova. Utjecaj jedne pretpostavke ili parametra na ukupne troškove je složen jer promjene mogu utjecati na više troškovnih stavki, a također se odražavaju u različitim nepredviđenim troškovima i PDV-u.

Osjetljivost ukupnih troškova za scenarij zbrinjavanja NSRAO-a ocijenjena je ispitivanjem utjecaja pojedinih parametara i varijacija u broju i vijeku trajanja dugoročnih skladišta. Svrha ove analize bila je istaknuti pretpostavke i parametre koji značajno utječu na ukupne troškove te istražiti kako promjene u tim čimbenicima utječu na troškove.

Ispitane su sljedeće pretpostavke i parametri:

a) Varijacije u inventaru NSRAO-a
b) Nepostojanje postrojenja za obradu i kondicioniranje na lokaciji NE Krško tijekom procesa razgradnje
c) Povećani troškovi radiološkog nadzora za dugoročno skladištenje, odlagalište NSRAO-a i tijekom razdoblja institucionalne kontrole odlagališta
d) Potreba za izgradnjom dodatnog dugoročnog skladišta zbog odgode početka rada odlagališta NSRAO-a
e) Promjene površine za dugoročno skladištenje, koje zahtijevaju slaganje RCC-a u dva sloja umjesto u tri
f) Povećanje nepredviđenih troškova (s 10 % na 15 % za cestovni prijevoz, obradu i kondicioniranje, ulaganja i operativne troškove Dugoročnog skladišta te s 15 % na 20 % za ulaganja i operativne troškove odlagalište NSRAO-a)

Prema rezultatima analize većina promjena u pretpostavkama i parametrima ima beznačajan utjecaj (≤ 1 % na sveukupne nominalne troškove), uz dvije iznimke: (1) povećanje količina NSRAO-a moglo bi povećati troškove za 1,7 %, i (2) nepostojanje postrojenja za obradu i kondicioniranje na lokaciji NE Krško tijekom razgradnje moglo bi značajno povećati ukupne troškove za 4,7 %. Dodatni troškovi izgradnje još jednog dugoročnog skladišta kompenziraju se smanjenjem operativnih troškova odlagališta, koje bi se kasnije otvorilo i imalo kraće operativno razdoblje, što bi rezultiralo ukupnim povećanjem troškova od 0,9 %.

Analiza osjetljivosti kategorizira rizike za optimalni scenarij u tri razine: nizak rizik (≤ 20 %), srednji rizik (20-50 %) i visoki rizik (> 50 %).

Tablica 6-8 Opis i kategorija rizika povezanih s troškovima zbrinjavanja NSRAO-a za optimalni scenarij

Novi parametar ili pretpostavka	Opis rizika	Kategorija rizika
Povećanje količina NSRAO-a	Povećane količine operativnog NSRAO-a u slučaju nesreće u NE Krško. Produljenje rada NE Krško (do 2063.) Nove revizije Programa razgradnje mogle bi procijeniti veće količine NSRAO-a za razgradnju.	Srednji rizik

Novi parametar ili pretpostavka	Opis rizika	Kategorija rizika
Nepostojanje postrojenja za obradu na lokaciji NE Krško tijekom procesa razgradnje	Vlasnici NE Krško trenutno ne predviđaju postrojenje za obradu na lokaciji NE Krško. Ako se tijekom razgradnje pojavi potreba za obradom određenih vrsta otpada, može se dogovoriti obrada tih vrsta otpada u inozemstvu.	Srednji rizik
Dugoročno skladište nije u funkciji 2028. (u vrijeme kada bi trebali biti primljeni prvi RCC spremnici)	Kašnjenje s donošenjem prostornog plana u RH. Prekoračenje predviđenog vremena za lokacijske, građevinske i uporabne dozvole.	Visok rizik
Povećanje troškova nadzora dugoročnog skladišta	Novi propisi, zahtjevi javnosti ili rezultati studija procjene utjecaja na okoliš mogli bi zahtijevati veći opseg nadzora.	Srednji rizik
Povećanje troškova nadzora odlagališta NSRAO-a	Novi propisi, zahtjevi javnosti ili rezultati studija procjene utjecaja na okoliš mogli bi zahtijevati veći opseg nadzora.	Srednji rizik
Povećanje troškova institucionalnog nadzora nakon zatvaranja	Novi propisi, zahtjevi javnosti ili rezultati studija utjecaja na okoliš mogu zahtijevati veći opseg ili dulje razdoblje nadzora.	Visok rizik
Dodavanje drugog dugoročnog skladišta i kasnije otvaranje odlagališta NSRAO-a	Otvaranje odlagališta NSRAO-a moglo bi kasniti zbog duljeg razdoblja za istraživanje mikrolokacije odlagališta ili zbog dugoročnih pregovora s lokalnom zajednicom.	Nizak rizik
Skladištenje RCC-a u 2 razine u dugoročnom skladištu	Seizmički zahtjevi mogli bi promijeniti sadašnje dugoročne planove skladištenja, npr. regulator bi mogao zahtijevati da se slaganje RCC-a na 3 razine zamijeni slaganjem na 2 razine s dodatnim konstrukcijskim rješenjima zgrade skladišta, transporta unutar skladišta itd.	Nizak rizik
Povećanje nepredviđenih troškova za cestovni promet	Sadašnje procjene troškova odnose se na cestovni promet u dalekoj budućnosti. Za tako daleko razdoblje u odnosu na sadašnjost, korištenje sadašnjih troškova goriva i transportnog osiguranja je nepouzdano. Nepredviđeni troškovi korišteni u sadašnjim procjenama troškova mogli bi biti nedostatni za pokrivanje budućih povećanja troškova.	Srednji rizik
Povećanje nepredviđenih troškova za obradu i kondicioniranje	Troškovi obrade i kondicioniranja mogli bi porasti zbog sveobuhvatnijih zahtjeva obrade otpada ili novih poremećaja u gospodarstvu koji bi mogli dovesti do povećanja troškova energije, materijala, rada i inflacije.	Srednji rizik
Povećanje nepredviđenih troškova za dugoročno skladištenje, pripremne radove, izgradnju i opremu	Troškovi pripremnih i građevinskih radova za dugoročno skladište mogli bi povećati gospodarske poremećaje koji bi mogli dovesti do povećanja troškova energije, materijala, rada i inflacije.	Srednji rizik
Povećanje nepredviđenih troškova odlagališta NSRAO-a za pripremne radove, izgradnju i opremu	Zbog činjenice da odabir lokacije za odlagalište NSRAO-a još nije započeo, još uvijek ostaje puno neizvjesnosti u procesu odabira lokacije. Promjene u društvenim i političkim strukturama mogle bi dovesti do skupljeg i produljenog procesa uspostave odlagališta NSRAO-a.	Visok rizik

6.9 Usporedba s PO Rev.3

U odnosu na PO Rev.3, koncept zbrinjavanja NSRAO-a NE Krško nije se mijenjao. Cilj je i dalje uspostaviti Centar u kojem će se skladištiti operativni NSRAO iz NE Krško nastao do 2023. godine

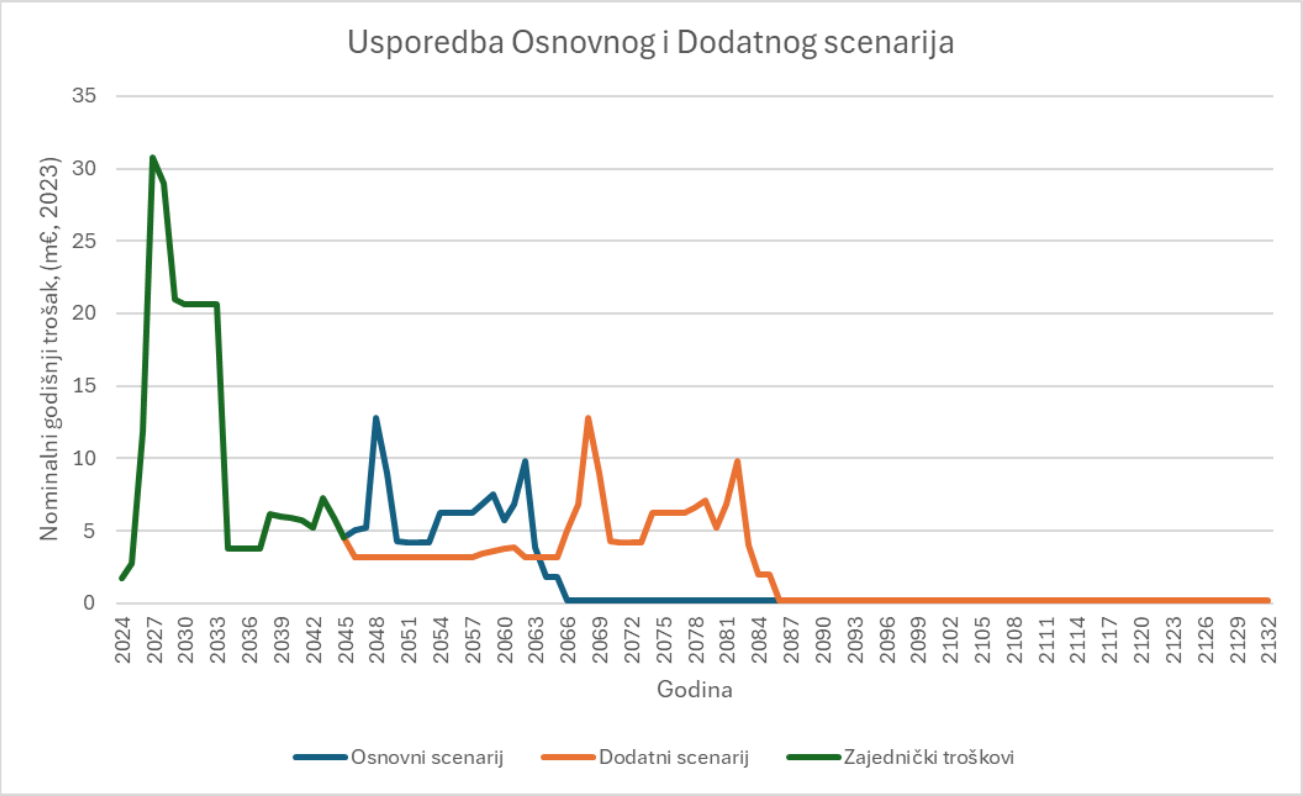
do uspostave odlagališta u kojem će se trajno odlagati sav otpad iz dugoročnog skladišta Centra, operativni otpad nastao nakon 2023. godine, kao i otpad iz razgradnje.

Izmjene u odnosu na PO Rev.3 odnose se na promjenu roka preuzimanja NSRAO-a NE Krško, koji je odlukom MDP-a pomaknut s 2023. na početak 2028. godine.

Promjena se vidi i u ukupnom trošku zbrinjavanja NSRAO-a u Republici Hrvatskoj koji je povećan sa 230 na 367 mil. EUR ukupno (PDV uključen). Zbog nepredvidivih poremećaja na tržištu, značajno su porasle cijene materijala, energije i rada, što se negativno odrazilo na ukupne troškove zbrinjavanja NSRAO-a u Republici Hrvatskoj. Nadalje, povećanju troškova pridonio je i konzervativniji pristup procjeni ukupne količine finalnih paketa operativnog otpada nastalih do 2023. godine koji će se skladištiti u Centru, pri čemu je procjena iz PO Rev. 3 od 685 finalnih paketa otpada porasla na konzervativnu procjenu od 2.450 finalnih paketa otpada, što se, osim potrebe za većim brojem RCC-a, također ogledalo u većim dimenzijama dugoročnog skladišta.

6.10 Utjecaj produljenog rada NE Krško na troškove zbrinjavanja NSRAO-a

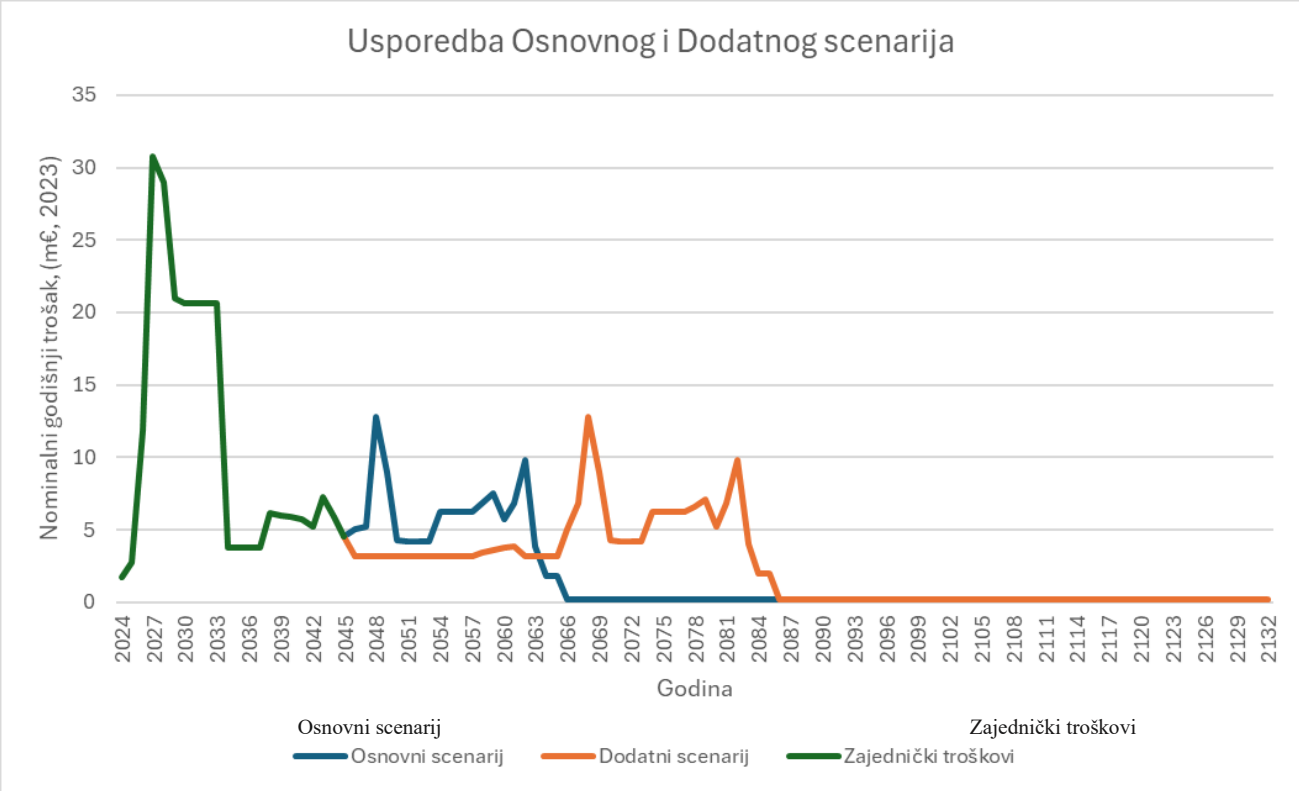
Prilikom razmatranja dodatnog scenarija koji se odnosi na zbrinjavanje NSRAO-a iz NE Krško u sklopu ove 4. revizije, analizira se produljenje rada NEK-a za 20 godina (od 2043. do 2063. godine) i kako ovaj produljeni rad utječe na planirane troškove. U odnosu na osnovni scenarij, procjena ukupnog povećanja troškova iznosi 65 milijuna eura, što je prikazano u Tablica 6-9, a raspored troškova za oba scenarija prikazan je na



Slika 6-9.

Tablica 6-9 Usporedba troškova po stavkama troškova za osnovni i dodatni scenarij za zbrinjavanje hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško

Stavka troškova	Nominalni troškovi za osnovni scenarij (Mil. EUR, 2023.)	Nominalni troškovi za dodatni scenarij (Mil. EUR, 2023.)
Obrada i kondicioniranje NSRAO-a, uključujući transport i karakterizaciju	89.650	89.650
Dugoročno skladištenje uključujući pripremne radove, izgradnju i opremu, rad i razgradnju	67.028	88.531
Rad odlagališta NSRAO-a uključujući pripremne radove, izgradnju i opremanje, rad i zatvaranje	57.705	58.180
Troškovi odnosa s javnošću	4.680	7.440
Nepredviđeni troškovi	21.600	24.074
Ukupno	**240.663**	**267.875**
PDV	53.262	58.846
Ukupno + PDV	**293.925**	**326.721**
Lokalni poticaji	73.600	105.600
SVEUKUPNO	**367.525**	**432.321**



Slika 6-9 Usporedba troškova osnovnog scenarija i dodatnog scenarija

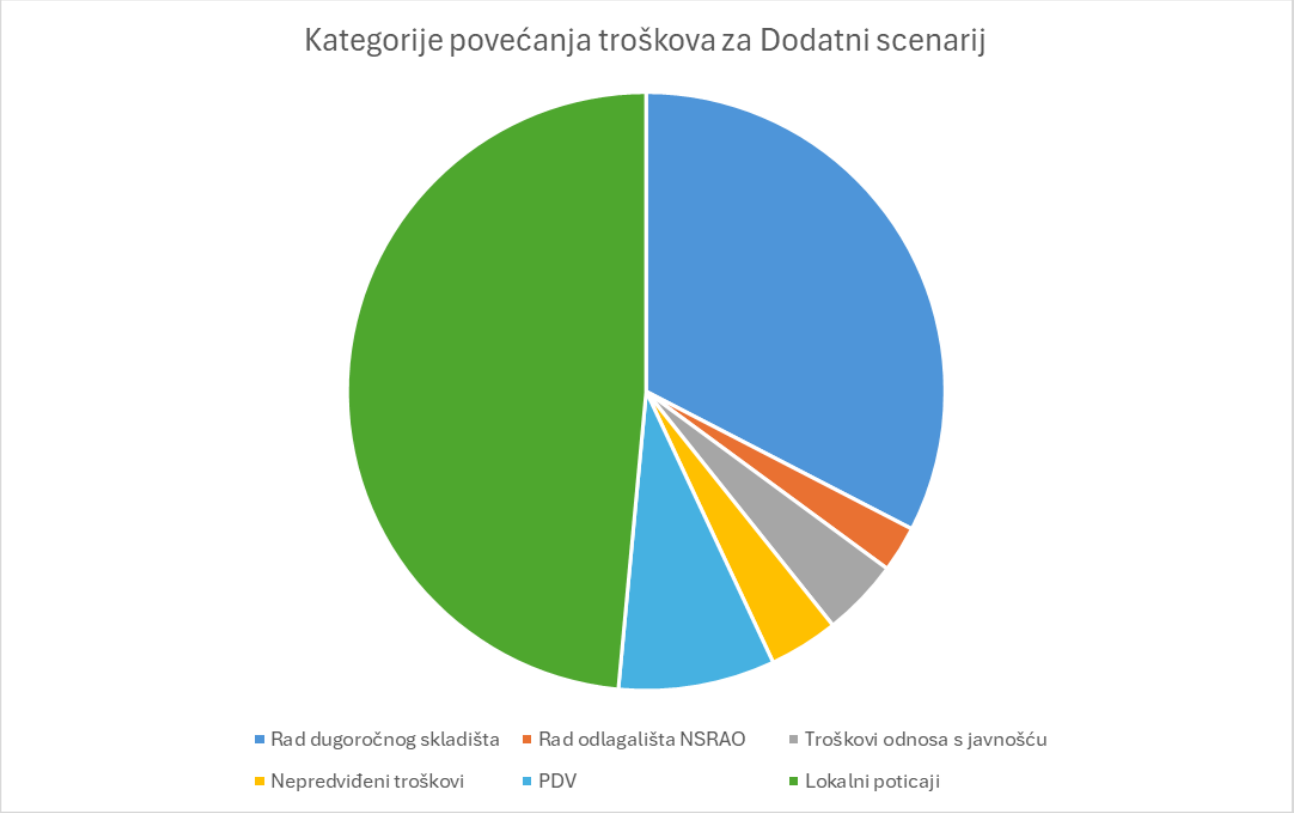
U scenariju produljenog rada NE Krško za 20 godina, prema projekcijama danim u tablicama 3-11 i 3-12, proizvest će se 598 m^3 NSRAO-a za cijelo vrijeme produljenog rada. To će se prvenstveno odnositi na povećani broj finalnih paketa otpada koji će se odlagati, a temeljem konzervativne procjene [61, 62, 63] da je potrebno 2.450 RCC-ova za 1.200 m^3 operativnog otpada proizvedenog do kraja

2023. godine, za produljeni životni vijek od 20 godina procjenjuje se (opet konzervativna) brojka od 1.020 novih konačnih paketa otpada. Slijedom navedenog, povećani broj paketa otpada zahtijevat će proširenje kapaciteta odlagališta, odnosno izgradnju novih odlagališnih jedinica. Nadalje, produljenje životnog vijeka NE Krško do 2063. godine utjecat će na potrebu duljeg rada Centra sa svim pripadajućim troškovima, aktivnostima odnosa s javnošću i duljim razdobljem za lokalne poticaje.

S obzirom na utjecaj koji će produženi rad NE Krško imati na ukupne troškove zbrinjavanja NSRAO-a u Republici Hrvatskoj, procijenjeno povećanje može se podijeliti u dvije kategorije troškova:

- Povećanje troškova uzrokovano proizvodnjom novog otpada
- Povećanje troškova zbog duljeg rada Centra

Grafički prikaz ove dvije kategorije troškova prikazan je na Slika 6-10.



Slika 6-10 Kategorije povećanja troškova za dodatni scenarij

Kako se može zaključiti iz Slika 6-10, najveći utjecaj na povećanje troškova ima dulje razdoblje isplate naknada/poticaja lokalnoj zajednici (32%, odnosno povećanje troškova od 32 mil. €), odmah zatim slijedi povećanje troška zbog duljeg rada Centra za zbrinjavanje RAO (22%, odnosno povećanje troškova od 21,5 milijuna €) dok ostale četiri kategorije svaka doprinose povećanju troškova u iznosu od 5% ili manje.

7 Zbrinjavanje NSRAO-a u Sloveniji

7.1 Uvod

Ovaj tekst pripremljen je u svrhu procjene troškova za odlagalište NSRAO-a Vrbina u Sloveniji na temelju tehničke studije *Investicijski program za odlagališče NSRAO*, Vrbina Krško (Program ulaganja) [70] koji je u ožujku i svibnju 2024. potvrdio ministar nadležan za okoliš, klimu i energiju [71], [72]. Procjena troškova i rokovi iz Programa ulaganja usklađeni su s već potpisanim ugovorima za proizvodnju i isporuku spremnika za odlaganje N2d, izgradnju odlagališnog dijela odlagališta sa silosom, tehnološke zgrade i drugih građevina, opreme i infrastrukture. Opis tehnološkog dijela odlagališta i rješenja zbrinjavanja prikazan je na temelju tehničke dokumentacije za izradu Izvješća o sigurnosti za odlagalište NSRAO-a Vrbina pripremljene za izdavanje suglasnosti URSJV-a o nuklearnoj i radiološkoj sigurnosti i zahtjeva za građevinsku dozvolu [73], [74]. Odobreni program ulaganja temelj je odluke o ulaganju, a njegova izrada uređena je Uredbom o jedinstvenoj metodologiji za izradu i postupanje s investicijskom dokumentacijom u području javnih financija (DUM) [75]. Program ulaganja [70] ima obvezne sadržaje prema DUM-u, kao što su ciljevi ulaganja, stručne i tehnološke podloge, prikaz procijenjenih troškova ulaganja i predviđene financijske konstrukcije s definiranim udjelom sufinanciranja te zbirni prikaz rezultata izračuna i obrazloženja prihvatljivosti investicijskog projekta.

Ovo poglavlje razmatra tehničko i tehnološko zbrinjavanje i odlaganje polovice ukupne količine RAO-a od rada i razgradnje NE Krško u RS. Sve procjene troškova prikazane su u cijenama u eurima za siječanj 2024. kao nominalni troškovi. Procjene troškova su u skladu sa slovenskim propisima o PDV-u i uključuju nepredviđene troškove i troškove naknada lokalnoj zajednici, kako je prikazano u zbirnim tablicama.

Ovo poglavlje sadrži vremenski raspored planiranih aktivnosti prema Rezoluciji o slovenskom nacionalnom programu za zbrinjavanje RAO-a i ING-a (ReNPROIG23-32) [10] i rubnim uvjetima za Četvrtu reviziju kako je definirano u PZ-u [17]. Glavne prekretnice razvoja odlagališta, njegove izgradnje, rada i zatvaranja su usklađene sa statusom projekta, odlukama MDP-a, KO-a te dosadašnjim i budućim razvojem projekta.

U skladu s općim ciljem Četvrte revizije o procjeni troškova zbrinjavanja RAO-a i ING-a i osiguranje potrebnih sredstava, fokus u ovom poglavlju je više na procjeni troškova odlagališta NSRAO-a, a manje na tehnološkim rješenjima, inventaru odlaganja otpada i drugim aspektima jer je to detaljnije razrađeno u drugim poglavljima Četvrte revizije, njegovim popratnim studijama ili dokumentaciji razvijenoj za postupak licenciranja Vrbine [73].

Troškovi se generiraju za osnovni scenarij (BC) koji odražava trenutnu politiku rada NE Krško (do 2043. godine) i ključne datume za početak aktivnog rada na programu odlaganja NSRAO-a.

U skladu s PZ-om [17], također su razrađeni troškovi za Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (ELSC), koji razmatra mogućnost produljenog vijeka rada NE Krško, do 2063. godine, kao i produljenog operativnog razdoblja suhog skladišta istrošenog goriva, do 2123. godine. Za ELSC to znači da su određene dodatne izmjene vremenskog plana, očekivanog inventara NSRAO-a i procjene troškova pripremljene na temelju Programa ulaganja [70] koji se bavi samo osnovnim scenarijem.

7.2 Nacionalna strategija i program

Donošenjem Uredbe o nacionalnom prostornom planu odlagališta NSRAO-a [76] potvrđeni su lokacija i koncept odlagališta. Odabrani koncept odlagališta predviđa zbrinjavanje NSRAO-a pakiranjem u odgovarajuće spremnike i odlaganjem u pripovršinske odlagališne jedinice – silose. Lokacija i dizajn odlagališta omogućuju daljnje proširenje izgradnjom dodatnih silosa [73], [10].

Polovica NSRAO-a iz NE Krško i sav ostali slovenski NSRAO koji zadovoljava kriterije prihvatljivosti za odlaganje bit će odložen u odlagalište NSRAO-a. Izgradnja odlagališta (jedan silos za odlaganje, sva tehnološka i druga postrojenja, te pomoćna infrastruktura) će prema ReNPROIG23-32 [10] provodi se od 2023. do 2026. U drugoj polovici 2026. godine odlagalište će započeti s probnim radom u trajanju od najviše 12 mjeseci, kada će se provesti predpogonska ispitivanja isporuke, preuzimanja, registracije i odlaganja spremnika [10]. Izgradnja infrastrukturnog dijela odlagališta započela je sredinom 2023. godine, a završena u svibnju 2024. godine. U lipnju 2024. započela je izgradnja odlagališnog dijela odlagališta.

Sav "slovenski" operativni otpad treba zbrinuti u razdoblju 2027.-2029. Odlagalište 2030. godine ulazi u privremenu fazu pripravnosti do ponovnog početka rada 2050. godine. Tijekom ponovnog početka rada u odlagalište će se odlagati preostali "slovenski" operativni otpad koji nastaje u NE Krško i otpad koji nastaje tijekom razgradnje NEK-a do 2058. godine. Nakon zbrinjavanja cjelokupnog otpada zatvorit će se silos i cijelo odlagalište te započeti dugotrajni nadzor i održavanje odlagališta [10].

Do danas postoji oko 1 godina kašnjenja u početku probnog rada odlagališta u usporedbi s datumima određenim u ReNPROIG23-32. Sada se planira početak probnog rada do kraja 2027. godine.

U odlagalište Vrbina će se smjestiti polovica NSRAO-a iz NE Krško (tj. NSRAO nastao tijekom rada i razgradnje NE Krško te drugi NSRAO, kao što je zamijenjena ili uklonjena oprema). Osim toga, u odlagalište će se smjestiti i NSRAO iz Središnjeg skladišta radioaktivnog otpada (CSF) u Brinju, NSRAO nastao razgradnjom CSF-a i reaktora TRIGA Mark II, kao i NSRAO nastao tijekom rada, razgradnje i zatvaranja odlagališta.

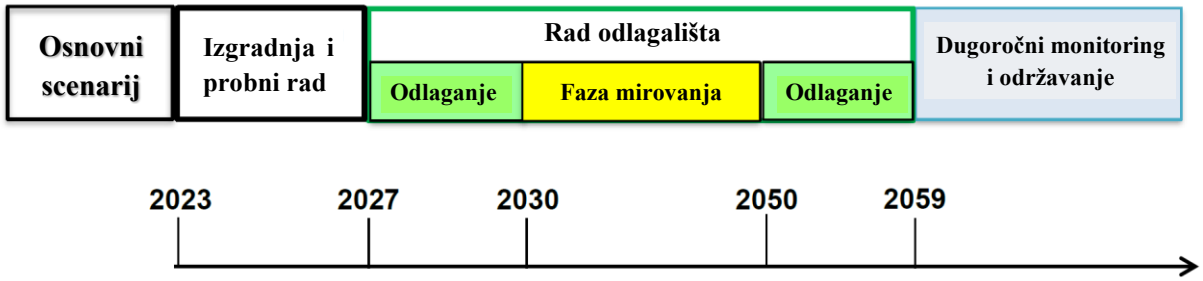
Odlagalište je izvedeno za odlaganje bilo koje vrste NSRAO-a proizvedenog u Sloveniji. Sukladno tome, izrađeni su kriteriji za prihvat i zbrinjavanje NSRAO-a u odlagalište, koji određuju maksimalnu specifičnu aktivnost alfa emitera u paketu radioaktivnog otpada, u odlagališnoj jedinici (silosu) i odlagalištu u cjelini, u skladu s važećim slovenskim propisima, a uključeni su u sigurnosno izvješće za odlagalište [73] [74]. Jedina iznimka su male količine dugoživućeg ili drugog radioaktivnog otpada koje bi zahtijevale nerazmjerno kompliciranо i skupo kondicioniranje prije odlaganja kako bi se ispunili kriteriji prihvatljivosti za odlaganje. Drugo izuzeće je NSRAO koji će nastati razgradnjom suhog skladišta u NE Krško. Rješenje za njihovo zbrinjavanje tražit će se prilikom zbrinjavanja VRAO-a i istrošenog goriva.

U NE Krško treba se puniti NSRAO u spremnike za odlaganje [73] [10] [55] [18], dok će se ispuna praznina u N2d spremnicima cementnom matricom provesti na lokaciji odlagališta Vrbina.

Nacionalna strategija izgradnje i rada odlagališta NSRAO-a definirana je u ReNPRRO23-32 pod strategijom br. 4 i osigurava izgradnju odlagališta NSRAO-a i zbrinjavanje postojećeg inventara NSRAO-a u odlagalište u najkraćem mogućem roku.

U odlagalište bi se trebala smjestiti polovica NSRAO-a iz NE Krško i cjelokupni slovenski NSRAO iz drugih izvora. Glavne ključne točke odlagališta nakon izgradnje su [10]:

1. Probni rad odlagališta trebao bi se provesti u drugoj polovici 2026. godine. Tijekom probnog rada ARAO počinje odlagati spremnike s NSRAO-om, pri čemu se osigurava da se maksimalno 198 odloženih N2d spremnika s NSRAO-om (2 sloja spremnika) može ukloniti iz odlagališta i vratiti odlagalište u prvobitno stanje.
2. Odlagalište bi trebalo redovito raditi od 2027. do 2029. godine, u kojem bi se zbrinjavala polovica cjelokupnog operativnog NSRAO-a iz NE Krško i otpad iz CSF-a. Do kraja 2029. godine trebalo bi biti zbrinuto cca 500 spremnika N2d ili 80 % slovenskog udjela operativnog NSRAO-a iz NE Krško, te 24 spremnika N2d ili 60 % predviđenog otpada iz CSF-a i jedan spremnik N2d s NSRAO-om nastalim tijekom kondicioniranja za odlaganje.
3. Faza pripravnosti odlagališta trebala bi trajati od 2030. do 2050. godine kada se neće prihvaćati otpad.
4. U 2050. godini odlagalište treba pripremiti za ponovni prihvat i zbrinjavanje NSRAO-a, odnosno preostalog operativnog i dekomisijskog NSRAO-a NE Krško, preostalog institucionalnog radioaktivnog otpada iz CSF-a i njegove razgradnje, razgradnje istraživačkog reaktora TRIGA Mark II te otpada iz rada, razgradnje i zatvaranja odlagališta.
5. Odlagalište će raditi do 2058. godine, a iste godine treba se provesti razgradnja neodlagališnih zgrada.
6. Ovisno o analizi potrebe zbrinjavanja, odlagalište će nastaviti s radom nakon 2059. godine ili će se 2059. godine zatvoriti i započeti dugotrajni nadzor i održavanje.



Slika 7-1 Shematski prikaz glavnih ključnih točaka Strategije 4 iz ReNPROIG23-32 [10]

7.3 Inventar

U Poglavlju 3.1 ovog dokumenta prikazana su svojstva i ukupne količine NSRAO-a nastale radom i razgradnjom NE Krško, a detalji podjele i preuzimanja razrađeni su u Poglavlju 5. Tablica 3-11 sažima količine NSRAO-a koje će hrvatska i slovenska strana ravnomjerno podijeliti u osnovnom scenariju u skladu s Međudržavnim ugovorom, a Tablica 7-1 Slovensku polovicu. Procijenjene količine NSRAO-a za scenarij ELSC prikazane su u Tablica 3-12. Treba napomenuti da NSRAO iz razgradnje SFDS-a nije predmet podjele, već će se odlagati u zajedničkom DGO-u kako je razrađeno u Poglavlju 4.3.

Tablica 7-1 Slovenska polovica NSRAO-a iz NE Krško

Period nastanka NSRAO-a	Tip NSRAO	Izvor podataka	Volumen (m^3)	Masa (t)	Aktivnost(1) (Bq)	Zbrinjavanje nakon podjele i preuzimanja
1983 - 2023	**Operativni**	**Inventar**	1.192,96	2.455,15	$4{,}14\times10^{13}$	Stavljanje paketa otpada u N2d u NE Krško. Transport i odlaganje u odlagalištu NSRAO Vrbina.
2024 - 2043		**Procjena**	298,94	461,32	$1{,}03\times10^{13}$	Stavljanje paketa otpada u N2d u NE Krško. Transport i odlaganje u odlagalištu NSRAO Vrbina.
2043 - 2058	**Dekomisijski**		736,45	1.341,05	$2{,}38\times10^{12}$	WMF na lokaciji(2). Obrada i kondicioniranje u N2d. Transport i odlaganje u odlagalištu NSRAO Vrbina.
2103 - 2106			35,00	274,75	$4{,}86\times10^{11}$	Obrada i kondicioniranje na lokaciji. Ovaj NSRAO će se odložiti u odlagalište VRAO.
		Ukupno	**2.263,35**	**4.532,28**	**$5{,}47\times10^{13}$**	

(1) Aktivnost je na dan mjerenja (nije preračunata).
(2) Predviđeno je u Četvrtoj reviziji Programa razgradnje NE Krško [24].

NSRAO iz NE Krško koji će se morati odložiti u odlagalište Vrbina je sljedeći:

- NSRAO nastao tijekom rada i razgradnje NE Krško, uključujući zamijenjenu i uklonjenu opremu iz pogona;
- NSRAO koji će nastati u NE Krško tijekom kondicioniranja NSRAO-a za odlaganje i tijekom razgradnje postrojenja za kondicioniranje.

Aktivnostima kondicioniranja NSRAO-a u NE Krško te demontažom i dekontaminacijom postrojenja za kondicioniranje, kao i radom i razgradnjom odlagališta nastat će cca 52,2 t NSRAO-a koji će se pripremiti i kondicionirati za odlaganje u NE Krško kao i ostali otpad [58], [70].

Osim navedenog, u odlagalište će se smjestiti i NSRAO koji zadovoljava kriterije prihvatljivosti otpada za zbrinjavanje iz Centralnog skladišta (CSF) u Brinju i njegovu razgradnju (40 N2d spremnika) te NSRAO iz razgradnje istraživačkog reaktora TRIGA (36 N2d spremnika) [58], [72]. Ovaj NSRAO prema PZ-u za Četvrtu reviziju [17] nije predmet ove revizije Programa odlaganja RAO-a i ING-a iz NE krško i stoga nije predstavljen niti dalje razrađen u ovom dokumentu.

Tablica7-2 Procjena N2d spremnika za odlaganje NSRAO-a iz NE Krško u odlagalište Vrbina

NSRAO iz NE Krško	Broj odlagališnih spremnika N2d	Broj odlagališnih spremnika: do 2030 / nakon 2030
Operativni NSRAO iz NE Krško	674[13]	506 / 168[14]
Dekomisijski NSRAO iz NE Krško	176	0 / 176
NSRAO iz procesa kondicioniranja, rada i razgradnje odlagališta	15[15]	1 / 14
Ukupno	**865**	**507 / 358**

7.4 Koncepti, planovi i tehnička rješenja

Donošenjem Uredbe o nacionalnom prostornom planu u prosincu 2009. godine [76], koncept zbrinjavanja je određen odlaganjem otpada u odlagališne silose koji su izgrađeni s površine, ali smješteni u slojevima mulja niske propusnosti u zasićenoj zoni ispod razine podzemnih voda. Tim se konceptom objedinjuju svojstva površinskih odlagališta (odlaganje na površini) i svojstva podzemnih odlagališta (postavljanje odlagališnih jedinica u zasićene geološke formacije niske propusnosti) [73].

Položaj i dizajn odlagališta omogućuju proširenje dodatnim silosima. Odlagalište NSRAO-a uključuje sve konstrukcije, sustave i komponente potrebne za rad samodostatnog nuklearnog postrojenja i odlaganje NSRAO-a [76].

Koncept odlagališta Vrbina Krško temelji se na sustavu s više barijera i sustavu u kojem pojedinačne komponente odlagališta omogućuju višestruke sigurnosne funkcije. Važan dio uloge izolacije otpada temelji se na pravilno obrađenom i kondicioniranom otpadu, konačnim odlagališnim paketima (jedinicama) i projektiranom sustavu barijera odlagališta [70].

Razvoj i status projekta odlagališta Vrbina

U travnju 2019. godine, nakon pregleda i dopune dokumentacije za odlagalište NSRAO-a, koja je uključivala izvješće o utjecaju na okoliš, nacrt izvješća o sigurnosti, idejni projekt, projektne osnove, stručno mišljenje ovlaštenog stručnjaka za radiološku i nuklearnu sigurnost i druge referentne dokumente, URSJV je izdala nacrt prethodne suglasnosti za nuklearnu i radiološku sigurnost. Krajem 2019. godine pokrenut je postupak prekogranične procjene utjecaja na okoliš koji se provodio tijekom 2020. i prve polovice 2021. godine te je uspješno okončan u lipnju 2021. godine. Nakon javne objave dokumentacije 2020. godine i javne rasprave, projekt odlagališta NSRAO-a dobio je okolišnu suglasnost odlukom Slovenske agencije za okoliš [77] od 30. lipnja 2021. i dopunske odluke [78] od 5. srpnja 2021. godine.

Odlagalištu NSRAO-a dodijeljen je status nacionalnog infrastrukturnog objekta Uredbom Vlade RS i rješenjem URSJV-a kao tijela nadležnog za nuklearnu sigurnost [79].

[13] Broj N2d spremnika prema PR-u, revizija 4, Prilog 2: Odlaganje operativnog otpada [24].
[14] Na temelju PR-a, revizija 4 (Prilog 2: Odlaganje operativnog otpada), 75% ukupnog operativnog NSRAO-a bit će odloženo do 2029. godine, dok će preostalih 20% biti odloženo u godinama nakon 2043. godine [24].
[15] To uključuje 4 N2d spremnika iz aktivnosti kondicioniranja NSRAO-a u NE Krško, 2 N2d iz rada odlagališta, 8 N2d iz razgradnje postrojenja za kondicioniranje u NE Krško te 1 N2d iz razgradnje odlagališta [58], [72].

U siječnju 2022. godine URSJV je dao suglasnost za izvješće o sigurnosnoj analizi odlagališta NSRAO-a Vrbina, Krško [76], izdavanjem mišljenja o izgradnji odlagališta NSRAO-a [74].

Građevinska dozvola za odlagališni dio (silos za odlaganje, tehnološka zgrada,…) odlagališta NSRAO-a izdana je 27. srpnja 2022. godine, a postala je pravomoćna u srpnju 2023. godine.

Građevinska dozvola za infrastrukturni dio (pristupna cesta, kanalizacija, vodoopskrba, elektro i komunikacijski sustavi, fizičko-tehničko osiguranje,…) odlagališta NSRAO-a izdana je 15. ožujka 2023. godine, a postala je pravomoćna u travnju 2023. godine.

2023. godine izabran je izvođač za proizvodnju betonskih spremnika N2d [80]. Izvođač je započeo s pripremom dokumentacije potrebne za proces i s razvojem betonskih mješavina za izradu betonskog spremnika.

Postupak javne nabave za izgradnju odlagališta podijeljen je u tri faze (infrastrukturni dio, dio iza odlaganje i portalna dizalica).

Nakon što je postupak javne nabave okončan potpisanim ugovorom u lipnju 2023. godine, započela je izgradnja infrastrukturnog dijela (rekonstrukcija ceste, kanalizacija, struja, vodoopskrba, …) koja je završena u svibnju 2024. godine izgradnjom vanjske ograde i uspostavljenim fizičko-tehničkim osiguranjem.

U lipnju 2023. godine ARAO je objavio poziv za nadmetanje za izgradnju odlagališnog dijela odlagališta, koji je uspješno okončan u travnju 2024. godine potpisivanjem ugovora s odabranim izvođačem [81]. Izgradnja je započela u svibnju 2024. godine pripremom gradilišta i nastavila se izgradnjom primarne obloge, koje je uspješno dovršeno krajem 2024. Nakon toga započelo je bušenje bušotina za odvodnju u području silosa, koje služe za ispumpavanje vode i time smanjenje tlaka. Iskopavanje odlagališnog silosa započelo je u travnju 2025. i završeno je u listopadu 2025. godine Istovremeno su u tijeku pripreme za izgradnju sekundarne obloge silosa.

Treća faza je isporuka portalne dizalice. Postupak javne nabave raspisan je u ožujku 2024., a ugovor je potpisan u listopadu 2024.godine. Projektiranje i izrada portalne dizalice je u tijeku.

U 2025. godini dovršeno je istraživanje i ispitivanje o proizvodnji, ugradnji i svojstvima cementa za popunjavanje i brtvljenje odlagališnih spremnika N2d.

7.4.1 Opis odlagališta

7.4.1.1 Koncept odlagališta

Osnovni koncept odlaganja NSRAO-a na lokaciji Vrbina predstavlja odlaganje pravilno pripremljenog i zapakiranog NSRAO-a u skladišne jedinice, odnosno silose smještene ispod razine podzemnih voda na samoj lokaciji. Odlaganje se provodi s površine.

Osnovna namjena odlagališta NSRAO-a spriječiti je migraciju radionuklida u okoliš nizom uzastopnih prirodnih i umjetnih barijera; projektiran je kao složena tehnološka cjelina. Sustav silosa s više barijera sastoji se od sljedećih glavnih barijera: pravilno pripremljenog otpada, metalne bačve, betonskog spremnika, betonskog silosa i geologije/okruženja lokacije odlagališta [73].

Otpad će se pakirati u konačne pakete za odlaganje (spremnika) u NE Krško, [70], [73], [55], transportirati na lokaciju Vrbina gdje će se N2d spremnici zapuniti sa smjesom za punjenje i odlagati u silos.

U silos će se odlagati jedino čvrsti NSRAO, koji neće biti eksplozivan niti zapaljiv, bit će kemijski stabilan, slabo topiv u vodi i sadržavat će izuzetno mali udio organske tvari.

Otpad će se odlagati u metalne bačve koje će se postaviti u N2d betonske spremnike i na vrhu puniti betonskom ispunom koja će ispuniti sav slobodni prostor u spremniku [73].

Odlagalište NSRAO-a projektirano je s objektima koji će omogućiti provedbu svih aktivnosti potrebnih za njegov rad i trajno odlaganje NSRAO otpada.

Odlagalište je prostorno podijeljeno na sljedeće cjeline:

- ulazni dio s praznim vanjskim površinama (izvan ograde užeg područja),
- uže područje odlagališta.

Uže područje odlagališta predviđeno je za administrativne i uslužne djelatnosti, preuzimanje i odlaganje otpada te za osiguranje fizičke sigurnosti odlagališta. Na ovom području se nalaze:

- Zgrada za administrativne i servisne djelatnosti,
- Tehnološka zgrada,
- Silos za odlaganje sa pripadajućom halom iznad,
- Kontrolni bazen.

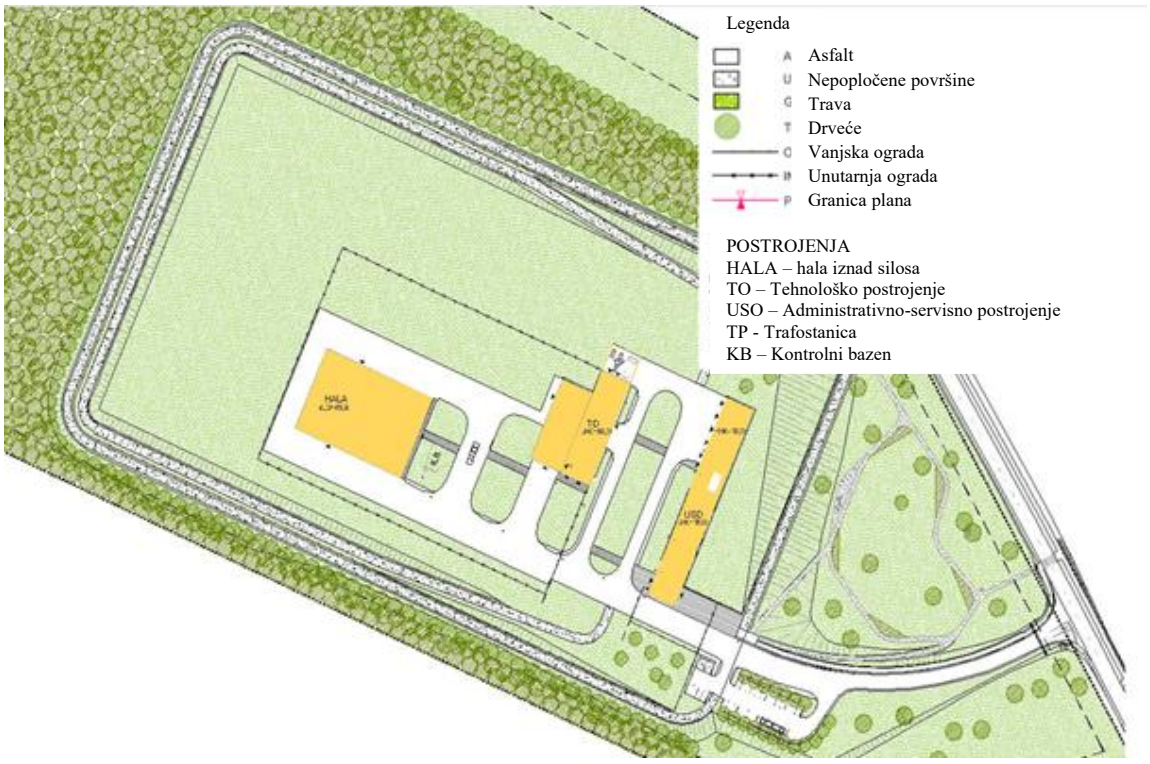
Građevine su smještene na nasipu za zaštitu od poplava radi zaštite od vjerojatnih maksimalnih poplava.

Zgrada za upravu i servisne djelatnosti (ASF) namijenjena je poslovima upravljanja odlagalištem i pratećim uslužnim i administrativnim poslovima, poslovima kontrole ulaska na odlagalište i fizičke zaštite odlagališta.



Slika 7-2 Prikaz prostornog smještaja pojedinih objekata odlagališta: 1 Administrativno-servisno postrojenje, 2 Tehnološko postrojenje, 3 Prostorija iznad silosa [73].

U središnjem dijelu skladišta nalazi se Tehnološka zgrada. Ona je namijenjena za privremeno skladištenje i, ako je potrebno, popravak oštećenih spremnika otpada, osnovna laboratorijska istraživanja, kontrolu tehnoloških procesa i preostale potrebne tehnološke i uslužne funkcije odlagališta kao i funkcije za osiguranje zaštite od zračenja. Tehnološka zgrada je ujedno i ulazno-izlazna točka u kontrolirani prostor odlagališta NSRAO-a (Slika 7-3).



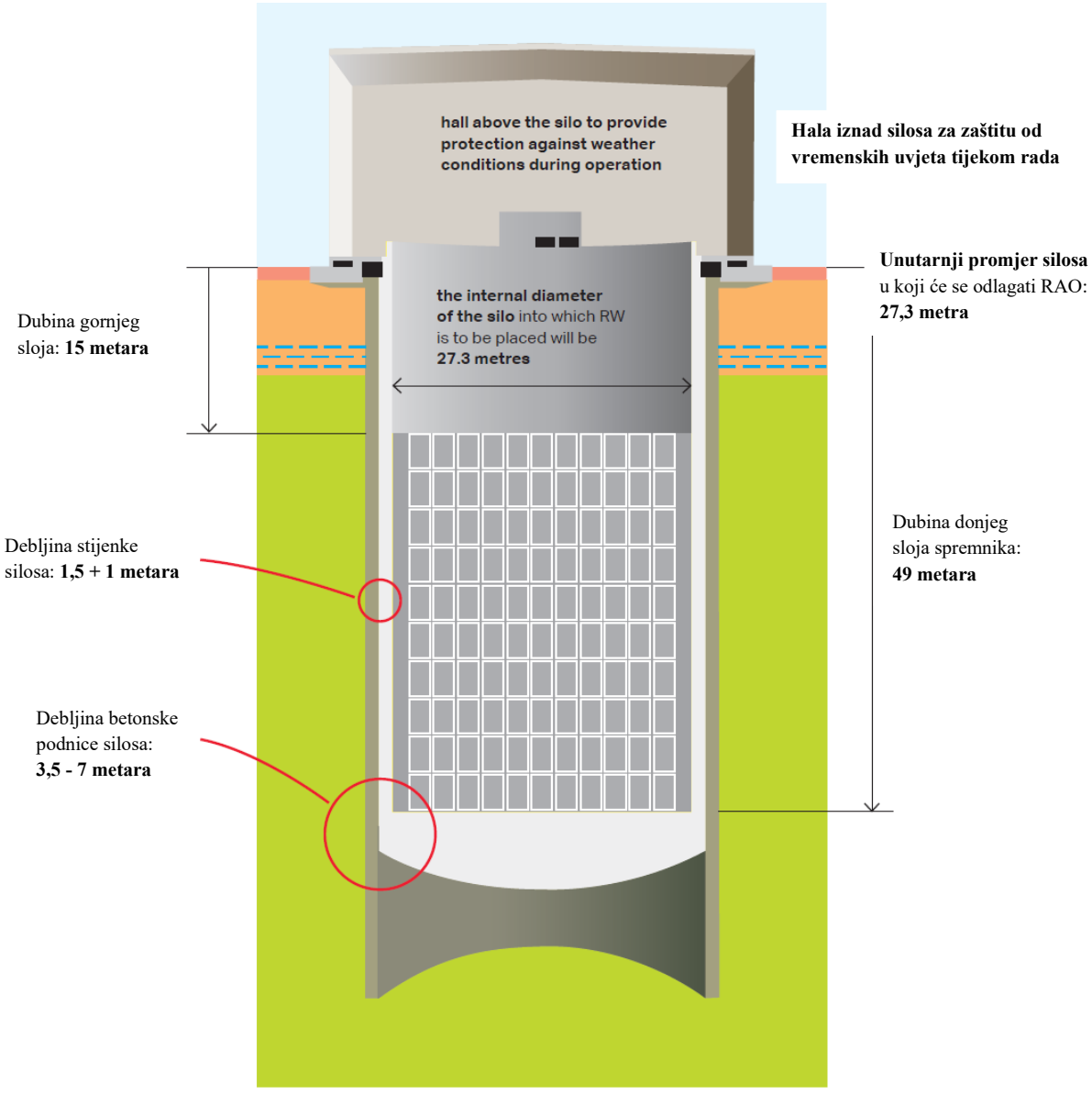
Slika 7-3 Prostorni smještaj pojedinih odlagališnih objekata [73]

7.4.1.2 Odlagališne jedinice

Silos

Silos se izvodi kao cilindrična konstrukcija od armiranog betona s unutarnjim promjerom od 27,3 m. Sastav stjenke silosa uključuje primarnu oblogu od 1,5 m i sekundarnu oblogu, a njihova zajednička debljina iznosi 2,5 m [73].

Na neto površinu silosa može se postaviti 99 spremnika na svakoj razini. Visina i lokacija objekta prilagođavaju se tako da se 10 razina spremnika i planirani nepropusni sloj, tj. ploča od armiranog betona i dio sloja gline nalazi ispod razine postojećeg vodonosnika, a cijeli sloj gline nastavlja se gotovo do površine. Za okomiti komunikacijski kanal planiraju se uzdužni privremeni izlazi koji vode u unutrašnjost silosa i kojima će se olakšati pristup radnim područjima tijekom uporabe odlagališta. Kako će punjenje silosa napredovati, ti će se izlazi postupno prestati upotrebljavati / puniti betonom (Slika 7-4).



Slika 7-4 Prikaz poprečnog presjeka silosa tijekom rada [81]

Namjena silosa je:

- osigurati prostor za odlaganje u primjereno čvrstoj građevini u odnosu na predviđena događanja projekta i zahtijevanu trajnost konstrukcije;
- ograničiti pristup vode odloženom otpadu i širenje onečišćenja u okoliš ograničavanjem protoka podzemnih voda i povoljnim sorpcijskim učincima;
- prikupljanje i zadržavanje vode koja potencijalno prodire kroz stijenku silosa;
- osigurati biološki štit;
- osigurati inženjersku barijeru koja ograničava prodor vode nakon zatvaranja odlagališta [73].

U sigurnosnim analizama silos se smatra jednom od inženjerskih barijera (osim spremnika i primarnog paketa NSRAO-a) [73].

Spremnik

Spremnik N2d je armiranobetonski spremnik namijenjen za odlaganje otpada u odlagalište NSRAO-a i jedan je od najvažnijih inženjerskih elemenata sustava više barijera koji sprječava širenje radioaktivnih tvari s odlagališta u okoliš.

Isključivo taj spremnik će se upotrebljavati za proizvodnju paketa za odlaganje. N2d je 2018. godine dobio Slovensku tehničku suglasnost STS-17/0019, koja će biti obnovljena 2025. godine sukladno potpisanom ugovoru za proizvodnju i isporuku N2d spremnika [80].

Spremnik N2d licenciran je kroz postupak ishođenja građevinske dozvole odlagališta i postupak odobravanja izvješća o sigurnosti odlagališta [73], [74].

Proizvedeni prazni spremnici za odlaganje odvozit će se iz proizvodnog pogona u NE Krško gdje će se puniti prethodno pakiranim ili nepakiranim NSRAO-om.

Predložen je osnovni dizajn spremnika N2d. Trenutačno nisu potrebne niti se planiraju modifikacije spremnika N2d ili varijante spremnika N2d. U završnom položaju unutar silosa spremnik pruža 300-godišnju zaštitu okoliša od opasnosti koju predstavlja NSRAO. To se osigurava upotrebom trajnih materijala, poštivanjem zahtjeva dizajna na tehnološkoj razini u procesu proizvodnje te redovitom provedbom kontrole kvalitete izrađene ambalaže i korištenih materijala. Prema dizajnu, spremnik za odlaganje će zadovoljiti zahtjeve za paket IP-2 [73]. Geometrija, dimenzije i druge važne karakteristike spremnika za otpad N2d navedene su u potpoglavljima u nastavku i Tablica7-3.

Tablica7-3 N2d dimenzije i težine [73].

Dimenzije (mm)	
Širina x duljina x visina Vanjske: Unutrašnje: Visina na vrhu/dnu prije/nakon postavljanja poklopca	 1950 x 1950 x 3300 1490/1490 x 1550/1550 3070/2870
Debljina donje ploče	230
Debljina stjenke (gornje/donje)	230/220
Debljina poklopca	200

Volumen spremnika	
Bruto volumen, vanjske dimenzije	12,28 m^3
Neto volumen nakon postavljanja poklopca	6,31 m^3
Težina	
Prazni spremnik s poklopcem	14,92 t
Poklopac	1,36 t
Maksimalna dopuštena težina spremnika	40 t

Spremnik za odlaganje N2d izveden je za sljedeće kombinacije primarnih i sekundarnih paketa otpada [73]:

- 4 komada cijevnih spremnika (TTC) postavljenih na donju ploču spremnika u uzorku 2 x 2 u uspravnom položaju
- 12 komada bačvi od 200 ili 320 litara koje se izračunavaju ovisno o kombinaciji postavljenih na donju ploču spremnika u uzorku 2 x 3 x 2 u uspravnom položaju
- kombinacija TTC-ova i bačvi od 200 litara i/ili 320 litara čija se najveća ukupna bruto težina izračunava ovisno o kombinaciji
- Nezapakirane vrste NSRAO-a

Najveća ukupna bruto težina koja se izračunava ovisno o kombinaciji i ne smije premašiti 40 tona (prosječna gustoća sadržaja spremnika, otpada i smjese koja se uzima u obzir ne smije premašiti 3974 kg/m^3) [73].



Slika 7-5 3-D prikaz spremnika za odlaganje

7.4.2 Postupci prije odlaganja i odlaganje slovenske polovice NSRAO-a iz NE Krško

Obrada i kondicioniranje

Završno kondicioniranje NSRAO-a ima za cilj proizvodnju odlagališnog paketa koji zadovoljava WAC za odlaganje. Pakiranje NSRAO paketa u N2d će se izvoditi u zgradi za manipulaciju otpadom na lokaciji NE Krško [70].

Nakon dolazne inspekcije, pretkondicionirani otpad u primarnim pakiranjima i natpaketima bit će utovaren u spremnik za odlaganje u skladu s postupcima primjenjivim u postrojenju za konačno kondicioniranje. Nakon toga će se poklopac spremnika montirati na vrh spremnika. Pričvršćuje se na tijelo spremnika pomoću posebnih sidrenih elemenata i vijaka. ARAO će se pobrinuti za transport N2d spremnika iz NE Krško do odlagališta Vrbina. Prijevoz će se obavljati javnim cestama [70], [73]. Preostali slobodni prostor unutar odlagališnog spremnika bit će napunjen ispunom kroz otvore za injektiranje na poklopcu, a razmak između tijela spremnika i poklopca bit će ispunjen smjesom za punjenje [82].

Rukovanje N2d spremnikom unutar odlagališta

Postupci unošenja i zaprimanja otpada provodit će se na mjestu ulaza u odlagalište gdje će se provjeriti usklađenost paketa za odlaganje, vizualnim pregledom, mjerenjem površinskog zračenja i provjerom popratne dokumentacije i oznaka. Ukoliko su svi uvjeti ispunjeni, transport će se nastaviti do hale iznad silosa. U slučaju bilo kakve izvanredne situacije daljnje radnje mogu se poduzeti u tehnološkom postrojenju, gdje se odlagališni paket može istovariti iz poluprikolice radi privremenog skladištenja i popravka.

Paketima za odlaganje može se rukovati bez zaštite osim ako je površinska doza veća od 2 mSv/h, što se može dogoditi samo u iznimnim slučajevima kod isključive uporabe ili uz posebni dogovor [73].

Postavljanje odlagališnih paketa u silos

U hali iznad silosa se svaki pojedinačni spremnik portalnom dizalicom (nosivosti 40 t) odlaže na prethodno određeno mjesto u odlagališnom silosu. Dizalicom će se upravljati daljinski s upravljačke ploče u tehnološkom objektu [73].

Kapacitet jednog silosa je 990 N2d spremnika što odgovara volumenu odlaganja od 12.157 m^3. Spremnici će se u slojevima postavljati tako da između njih ostane razmak od 200 mm. Ovi razmaci omogućuju rukovanje spremnikom posebnim uređajem za hvatanje s okretnim nogama. Na svaki drugi sloj spremnika u silosu postavit će se sloj betona debljine 100 do 300 mm kako bi se uklonile neravnine nastale tijekom procesa postavljanja spremnika [73].

7.5 Vremenski plan za scenarij odlaganja slovenske polovice NSRAO-a NE Krško

Vremenski okviri razdoblja odlagališta uzimaju u obzir životni vijek NE Krško do 2043. godine u osnovnom scenariju (BC) s novim vremenskim rasporedom razgradnje prema PDP rev.7 [20] u kojem se planira završetak razgradnje NE Krško 2058. godine. Dodatno, u skladu s PZ-om [17], uključen je ELSC (scenarij produljenog rada NE Krško).

U režimu faze pripravnosti, odlagalište će biti u stanju "hladnog zaustavljanja". Iako se neće odvijati prihvat i odlaganje NSRAO-a, osigurat će se sve aktivnosti koje nuklearno postrojenje mora obavljati u skladu s nacionalnim zakonodavstvom [31], [83], [84] i očuvati status odlagališta kao nuklearnog objekta.

Izgradnja infrastrukturnog dijela odlagališta završena je u svibnju 2024. godine. U BC scenariju preostaje izgraditi jedan silos, tehnološku i drugu zgradu te pripadajuću infrastrukturu u roku od 3,5 godine za odlaganje slovenske polovice NSRAO-a NE Krško i svih ostalih NSRAO-a proizvedenih u RS-u izvan NEK-a. Tada će započeti maksimalno jednogodišnji probni rad nakon ishođenja dozvole za probni rad, što je uvjet za prihvat radioaktivnog otpada. Prema Pravilniku o faktorima radiološke i nuklearne sigurnosti [83], za odlagalište radioaktivnog otpada suglasnost za probni rad postrojenja smatra se dozvolom za odlaganje radioaktivnog otpada pri čemu mora biti osigurana mogućnost uklanjanja otpada iz odlagališta i vraćanje postrojenja u prvobitno stanje. Tijekom probnog rada provest će se testovi i eksperimenti izgrađenog i za rad spremnog odlagališta kako bi se provjerila i definirala usklađenost rada odlagališta i SSC-a (*System Structure and Components*) s odobrenim projektnim rješenjima i zahtijevanim projektnim uvjetima [73]. Tijekom probnog rada ARAO će početi odlagati N2d spremnike s NSRAO-om, pri čemu se osigurava da se maksimalno 198 odloženih N2d spremnika (2 sloja spremnika) može ukloniti iz odlagališta i vratiti odlagalište u prvobitno stanje [10]. Stoga će prvi sloj betona biti postavljen na prva dva sloja spremnika tek nakon dobivanja uporabne dozvole odlagališta.

Po završetku probnog rada bit će ishođena uporabna dozvola, a temeljem te dozvole početkom 2028. godine odlagalište će biti pušteno u redoviti rad i radit će do 2029. godine, kada će biti zbrinut sav "slovenski" operativni otpad. 2030. godine odlagalište će ući u fazu pripravnosti do ponovnog puštanja u rad 2050. godine.

Tijekom obnovljenog rada u odlagalište će se odlagati preostali "slovenski" operativni otpad nastao u NE Krško, kao i otpad nastao razgradnjom NE Krško do 2058. godine. Nakon zbrinjavanja cjelokupnog otpada i razgradnje neodlagališnog dijela odlagališta (2058. godine), silos i cijelo odlagalište se zatvaraju 2059. godine te se započinje s dugoročnim nadzorom, kontrolom i održavanjem odlagališta [70], [73], [10].

U ELSC scenariju ključne točke za izgradnju odlagališta, probni i redoviti rad te ulazak u fazu pripravnosti iste su kao i za BC scenarij. Glavna razlika je u tome što će prema ELSC-u faza pripravnosti trajati do 2070. godine kada se planira izgradnja drugog silosa za preostali NSRAO iz NE Krško, a odlagalište će ponovno raditi do 2078. godine. Iste godine će se razgraditi neodlagališni dio odlagališta, zatvoriti silos i cijelo odlagalište 2079. godine te će se započeti s dugoročnim nadzorom, kontrolom i održavanjem odlagališta.

U skladu s dinamikom izgradnje, do kraja 2027. godine, odlagalište će započeti s jednogodišnjim probnim radom s prvih 10 spremnika za odlaganje koji će se koristiti za testiranje, ali neće biti odloženi. Nakon toga, tijekom drugog dijela probnog rada, odložit će se prvi i drugi sloj spremnika. 3 godine punog redovnog rada započet će 2028. i završiti do kraja 2030. godine.

U BC-u, 865 N2d spremnika (Tablica7-2) s NSRAO-om iz NE Krško će se odložiti u jedan odlagališni silos [70], [20], s projektiranim kapacitetom od 990 spremnika. Projektna rezerva je 49 spremnika ili cca 5 % kapaciteta silosa, gdje je uključeno i zbrinjavanje 76 spremnika iz CSF-a i Triga istraživačkog

reaktora. Planirano je do kraja 2030. godine zbrinuti 506 spremnika, odnosno 75 % slovenskog udjela NSRAO-a iz NE Krško, 60 % CSF otpada i 1 spremnik iz kondicioniranja NSRAO-a u NE Krško, a odlagalište 2031. godine ulazi u fazu pripravnosti (Tablica7-4). Ostali operativni otpad NE Krško i sav otpad nastao razgradnjom NE Krško bit će zbrinut nakon ponovnog pokretanja rada odlagališta 2050. godine [70], [20].

Za scenarij ELSC, očekuje se da će se produljenim radom NE Krško proizvesti dodatnih 160 N2d spremnika koji će biti odloženi djelomično u prvom silosu (2070. godine), a ostatak u drugom u razdoblju od 2071. do 2078. godine.

Tablica7-4 Vremenski raspored za osnovni scenarij odlagališta s brojem spremnika za odlaganje po godinama [70].

Godina – prije početka razgradnje NE Krško	2023 2/2	2024	2025	2026	2027 1/2	2027 2/2	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Izgradnja																					
Probni rad – "hladno" testiranje						10															
Probni rad (kraj 2027.) i redoviti rad (u 2028.) – punjenje prvog silosa, faza 1							200	200	106												
Prekid odlaganja – faza pripravnosti																					
Popunjenost silosa (%)							20	40	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Godina – nakon početka razgradnje NE Krško	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059				
Razgradnja odlagališta																					
Zatvaranje odlagališta																					
Operativni dio – punjenje prvog silosa, faza 2								40	40	40	40	40	40	40	40	40					
Prekid odlaganja – faza pripravnosti																					
Popunjenost silosa (%)	50	50	50	50	50	50	50	55	59	63	67	71	75	79	83	87	87				

7.6 Procjena troškova i financiranje odlagališta

Svi troškovi navedeni u ovom poglavlju izraženi su u EUR iz siječnja 2024. Troškovi su preuzeti iz Programa ulaganja [70] i njegove prateće dokumentacije te su prilagođeni kako bi adresirali aktivnosti iz PDP [20] i očekivani broj odlagališnih spremnika. Troškovi izgradnje silosa i ostalih građevina i opreme su u skladu s potpisanim ugovorom s izvođačem, a isto vrijedi i za očekivane troškove proizvodnje N2d spremnika za odlaganje. Troškovi administracije, usluga i svi ostali troškovi povezani s radom odlagališta kao što su troškovi održavanja lokacije, nadzor, rad, komunalne usluge, naknade za ograničeno korištenje zemljišta (…) isključivo se temelje na investicijskoj dokumentaciji [70].

Izgradnja i rad odlagališta financirat će se iz slovenskog Javnog fonda za financiranje razgradnje Nuklearne elektrane Krško i odlaganja radioaktivnog otpada Nuklearne elektrane Krško (Javni Sklad NEK) [85] i proporcionalno iz državnog proračuna za radioaktivni otpad koji ne potječe iz NE Krško [70], [10].

Ključ za raspodjelu između oba izvora financiranja do zatvaranja odlagališta je količina odloženog otpada iz NE Krško i iz drugih izvora [70], [10]. Volumen NSRAO-a iz NE Krško procjenjuje se na 90,62 %, a volumen ostalog otpada na 9,38 % [70]. Konačna podjela troškova između Sklada NEK i državnog proračuna izvršit će se na temelju stvarno odloženog volumena radioaktivnog otpada [70], [10].

Trošak aktivnog dugoročnog nadzora i održavanja odlagališta, procijenjen na 11,37 milijuna eura bit financiran će u skladu sa ZVISJV-1, čl. 173. [31] iz državnog proračuna te se stoga ne uzimaju u obzir kao ukupni troškovi Četvrte revizije.

Za ukupan pregled procijenjenih i već uloženih sredstava, uključene su stavke ukupnih troškova investicije za odlagalište Vrbina bez obzira na izvor financiranja (Javni Sklad NEK, državni proračun).

Za potrebe izračuna diskontiranja i anuiteta u ostalim poglavljima ove Četvrte revizije koristi se samo udio izvora financiranja Javnog sklada NEK u Republici Sloveniji.

Troškovi obrade i kondicioniranja (cementiranja) za odlaganje, uključujući prijevoz do odlagališta, uključeni su u troškove odlagališnih spremnika i snosi ih ARAO financiranjem iz Javnog sklada NEK.

Ukupni procijenjeni troškovi odlagališta podijeljeni su u dva glavna dijela [70]:

- Investicijski troškovi za izgradnju i zatvaranje odlagališta, inženjering, oprema, projektna i investicijska dokumentacija, troškovi lokacije i gradilišta, troškovi naknade za ograničeno korištenje zemljišta, troškovi probnog rada, …
- Operativni troškovi izravno povezani s radom odlagališta kao što su troškovi spremnika za odlaganje, troškovi rada, troškovi osiguranja, troškovi nadzora, ...

7.6.1 Troškovi ulaganja

Procjena investicijskih troškova uključuje troškove izravno vezane uz izgradnju i zatvaranje odlagališta te ostale troškove. Svi troškovi temelje se na stalnim cijenama (nominalni troškovi) i isključuju PDV.

Troškovi ulaganja u odlagalište obuhvaćaju i troškove razgradnje nuklearnog dijela neodlagališnih postrojenja u 2059. godini (upravne, servisne i tehnološke zgrade), posebice za dekontaminaciju i demontažu opreme [70].

Troškovi izgradnje i zatvaranja odlagališta

Sažetak troškova izgradnje i zatvaranja prikazan je u Tablica 7-5 s obzirom na već odrađene radove do kraja 2023. godine.

Tablica 7-5 Ukupni očekivani troškovi izgradnje odlagališta, opreme i radova na zatvaranju [70]

Stavka troška (trošak u 000 EUR bez PDV-a, konstantne cijene, siječanj 2024.)	**Već izgrađeno / potrošeno do kraja 2023.**	Vrijednost neizvršenih radova	Procjena udjela nepredviđenih troškova	**Nerealizirani radovi s nepredviđenim troškovima**	**Ukupno**
Platforma	662	329	0.10	362	1.024
Infrastrukturni priključci	820	1.305	0.10	1.436	2.256
Objekti koji nisu namijenjeni odlaganju	-	15.645	0.10	17.210	17.210
Objekti za odlaganje	-	52.380	0.10	57.618	57.618
Mehanički sustavi	-	4.541	0.10	4.995	4.995
Električni sustavi i telekomunikacije	-	2.797	0.10	3.077	3.076
Sustavi tehničke zaštite	-	746	0.10	821	821
Transportni uređaji	-	9.375	0.10	10.313	10.313
Radiologija	-	943	0.10	1.037	1.037
Vanjsko uređenje	533	7.203	0.10	7.923	8.458
Krajobrazna arhitektura	-	915	0.10	1.007	1.006
Ukupno	**2.015**	**96.178**	**0.10**	**105.796**	**107.813**

Prema relativno detaljnim dostupnim podacima iz osnovne projektne dokumentacije, u skladu s međunarodnom praksom [85], visina pretpostavljenih nepredviđenih troškova procijenjena je jedinstvenom stopom od 10 % (jednaka marža od 10 % na sve stavke troškova). U slučaju izgradnje platforme i infrastrukturnih priključaka, nepredviđeni troškovi naplaćuju se samo za dio koji još nije izgrađen (od siječnja 2024.).

Ukupni troškovi izgradnje, opreme i zatvaranja silosa za osnovni scenarij, uključujući nepredviđene troškove, prema [70] procijenjeni su na 107,813 milijuna EUR (bez PDV-a). Ova je procjena prilagođena na temelju ugovora potpisanog u travnju 2024. [81] za izgradnju odlagališta u razdoblju 2024.-2027. Procjena troškova opreme i izgradnje odlagališnog dijela iz [70] je konzervativno povećana za 10% što otprilike predstavlja razliku između potpisane vrijednosti ugovora bez PDV-a (92,78 milijuna EUR) i procijenjene vrijednosti iz [70] (85,04 milijuna EUR). Uz ovu prilagodbu, ukupni troškovi izgradnje, opreme i zatvaranja odlagališta za osnovni scenarij, uključujući nepredviđene troškove, procjenjuju se na 118,793 milijuna EUR (bez PDV-a).

U scenariju ELSC, dodatni silos bit će izgrađen 2070. godine za iste nominalne troškove kao što su procijenjeni za prvi silos (Tablica 7-5), što je rezultiralo procijenjenim ukupnim troškovima izgradnje, opreme i zatvaranja odlagališta, uključujući nepredviđene troškove od 175,073 milijuna EUR (bez PDV-a).

Ostali troškovi ulaganja

Ostali troškovi ulaganja za osnovni scenarij uključuju [70]:

i. nabavu lokacije i gradilišta koja pokriva troškove procesa odabira lokacije, terenskih istraživanja, istraživanja i nadzora te kupnje lokacije odlagališta
ii. troškove suradnje s lokalnim zajednicama i komunikacijskih aktivnosti,
iii. troškove projektne i investicijske dokumentacije, inženjeringa, troškove ARAO-a kao investitora, troškove procedura rada odlagališta, troškove analize PA/SA i
iv. trošak naknade zbog ograničenog korištenja zemljišta.

i. Nabava lokacije i gradilišta dalje se dijeli na:
   (1) Troškove procjene područja pogodnih za odlaganje
   (2) Troškove terenskog ispitivanja, istraživanja i nadzora
   (3) Kupnju lokacije za odlagalište

   Ukupni trošak nabave lokacije i gradilišta iznosi 8,614 milijuna eura s PDV-om, a 7,717 milijuna eura već je uloženo prethodnih godina.

ii. Troškovi suradnje s lokalnim zajednicama i komunikacijskih aktivnosti,

   Ukupni trošak suradnje s lokalnim zajednicama te komunikacijskih aktivnosti i protokola (troškovi šteta i ulaganja u lokalnu infrastrukturu) procijenjen je na 8,715 milijuna eura s PDV-om. Od ukupnog iznosa, 5,077 milijuna eura s PDV-om predviđeno je za aktivnosti komunikacije i suradnje, a 3,637 milijuna eura s PDV-om za protokole. Do 31. 12. 2023. godine već je uloženo 7,208 milijuna eura s PDV-om [70].

iii. **Troškovi projektne i investicijske dokumentacije, inženjeringa**, troškovi ARAO-a kao investitora, troškovi procedura rada odlagališta, troškovi analize PA/SA

   Troškovi dokumentacije, inženjeringa, ulaganja, analiza, PUO-a,... procijenjeni su na 41,325 milijuna eura s PDV-om. Do 31. 12. 2023. uloženo je 27,129 milijuna eura s PDV-om.

iv. Troškovi naknade zbog ograničenog korištenja zemljišta.

   U skladu s Uredbom o naknadi [39] donesenom 2020. godine, godišnja naknada na temelju stvarnih uplata Javnog sklada NEK za 2023. godinu iznosi 7,169 milijuna EUR [70].

   Naknada za ograničeno korištenje zemljišta je bez PDV-a. Godišnji trošak naknade je fiksan i ne ovisi o količini odloženog NSRAO-a, već se korigira samo za razliku u inflaciji (< 1,5% stope inflacije u zemljama članicama Europske unije [86]). Od 2024. do 2026. svake godine predviđena je isplata od ukupno 7,169 milijuna eura.

   Ukupni troškovi ulaganja za naknade za ograničeno korištenje zemljišta za planiranje izgradnje odlagališta, njegove izgradnje i zatvaranja (2059. godine), zajedno s već isplaćenim iznosima naknada do 31. 12. 2023. (84,056 milijuna EUR), iznose 105,713 milijuna EUR.

Ukupni troškovi ulaganja u odlagalište za osnovni scenarij

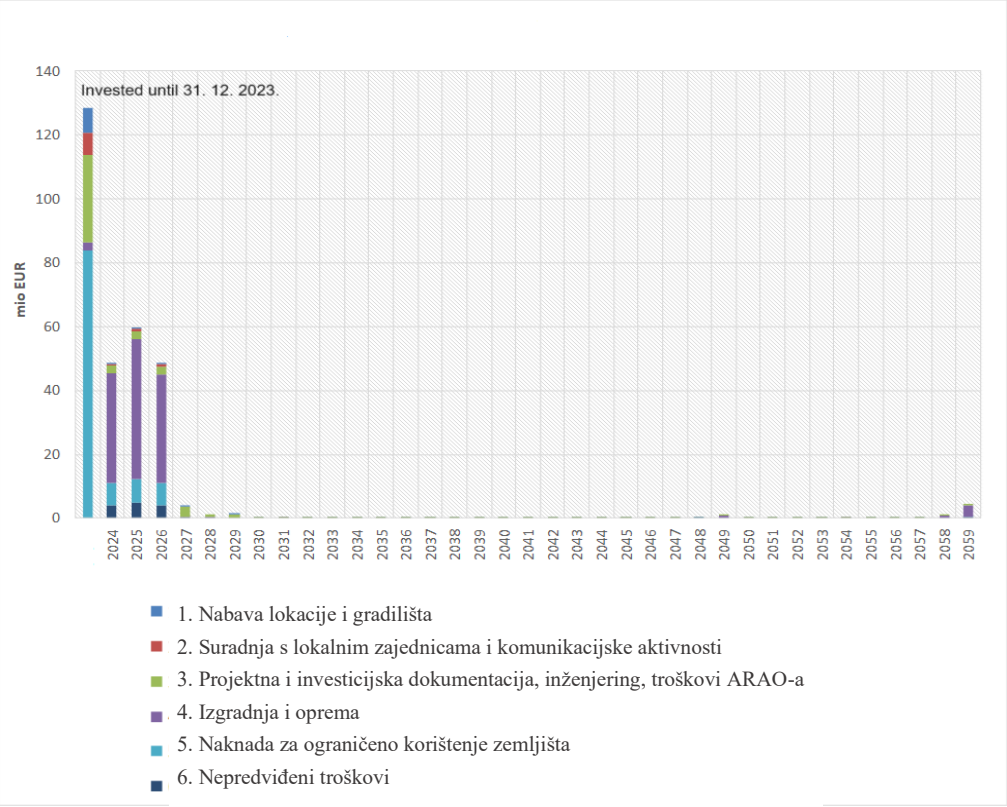
Cjelokupno investicijsko razdoblje za osnovni scenarij kreće se od 1998. do 2059. godine (osim razdoblja mirovanja 2027.-2058.). U vrijednost investicije uključeno je i 128,567 milijuna eura

uloženih prethodnih godina (od 1998. do 31. 12. 2023.). Troškovi ulaganja iskazani su s izdvojenim PDV-om, osim troškova naknade, troškova otkupa zemljišta i troškova vezanih uz ARAO koji su bez PDV-a. Detaljniji troškovi ulaganja po godini navedeni su u [70].

Vrijednost ulaganja u stalnim cijenama za glavne troškovne stavke prikazana je u Tablica7-6. Ukupna vrijednost ulaganja u stalnim cijenama u siječnju 2024. godine iznosi 306,997 milijuna EUR s PDV-om, od čega se investicijski udio koji se financira iz sredstava Javnog sklada NEK procjenjuje na 278,201 milijuna EUR (90,62 % s PDV-om), a udio koji se financira iz državnog proračuna na 28,796 milijuna EUR (9,38 % s PDV-om).

Tablica7-6 Ukupni troškovi ulaganja u odlagalište za BC s investicijskim udjelom Sklada NEK na temelju [65].

Stalne cijene u 000 EUR	Ukupna ulaganja	Ukupna ulaganja do 31.12. 2023. (EUR / %)	Ukupna ulaganja Sklada NEK	Ukupni udio ulaganja Sklada NEK (%)
1. Nabava lokacije i gradilišta	7.624	6.864 / 90,0 %	6.909	2,25 %
2. Suradnja s lokalnim zajednicama i komunikacijske aktivnosti	7.143	5.908 / 82,7 %	6.473	2,11 %
3. Projektna i investicijska dokumentacija, inženjering, troškovi ARAO-a u ulozi investicijskog agenta, troškovi procedura rada odlagališta, troškovi analize PA/SA	35.937	23.709 / 66,0 %	32.566	10,61 %
4. Izgradnja i oprema	107.381	2.014 / 1,9 %	97.309	31,70 %
5. Naknada za ograničeno korištenje zemljišta	105.713	84.056 / 79,5 %	95.797	31,20 %
6. Nepredviđeni troškovi	11.412	0 / 0 %	10.342	3,37 %
7. PDV	31.787	6.015 / 18,9 %	28.805	9.38 %
UKUPNO	**306.997**	**128.567 / 41,9 %**	**278.201**	**90,62 %**



Slika 7-6 Dinamika ulaganja za osnovni scenarij u stalnim cijenama za siječanj 2024. s PDV-om [65]

Najveća troškovna stavka u ukupnoj vrijednosti investicije je izgradnja i oprema koja iznosi 107,381 milijuna eura (bez PDV-a) i čini 31,70 % ukupnih investicijskih troškova Javnog sklada NEK. Druga po veličini stavka su troškovi naknada sa 105,713 milijuna eura koji predstavljaju 31,20 % ukupnih investicijskih troškova Javnog sklada NEK. Otprilike polovicu ukupnih investicijskih troškova čine troškovi koji nisu izravno vezani uz građevinske, tehničke, inženjerske ili druge uvjete odlaganja.

Ukupni troškovi ulaganja u odlagalište za ELSC scenarij

Cjelokupno investicijsko razdoblje za ELSC scenarij kreće se od 1998. do 2079. godine (osim razdoblja mirovanja 2027.-2078.). Vrijednost ulaganja u stalnim cijenama prikazana je za glavne troškovne stavke u Tablica 7-7. Ukupna vrijednost ulaganja u stalnim cijenama iz siječnja 2024. godine iznosi 375,570 milijuna eura (s PDV-om). Ulaganje iznosi 340,342 milijuna eura za investicijski udio koji financira Javni sklad NEK i 35.228 milijuna eura za udio koji se financira iz državnog proračuna.

Tablica 7-7 Ukupni troškovi ulaganja u odlagalište za ELSC s investicijskim udjelom Sklada NEK.

Konstantne cijene u 000 EUR	Ukupna ulaganja	Ukupna ulaganja do 31.12. 2023 (EUR / %)	Ukupna ulaganja Sklada NEK	Ukupni udjel ulaganja Sklada NEK %
1."Nabava" lokacije i zemljišta	7,624	6,864 / 90.0%	6,909	1.84%
2. Suradnja s lokalnim zajednicama i komunikacijske aktivnosti	7,143	5,908 / 82.7%	6,473	1.72%
3. Projektna i investicijska dokumentacija, inženjering, troškovi ARAO kao investitora, troškovi procedura za rad odlagališta, troškovi PA/SA analize	36,116	23,709 / 66.0%	32,728	8.71%
4. Izgradnja i oprema	158,665	2,014 / 1.3%	143,782	38.28%
5. Naknada za ograničenu uporabu zemljišta	105,713	84,056 / 79.5%	95,797	25.51%
6. Nepredviđeni troškovi	16,408	0 / 0%	14,869	3.96%
7. PDV	43,901	6,015 / 13.7%	39,784	10.71%
UKUPNO	**375,570**	**128,567 / 34.2%**	**340,342**	**90.62%**

Najveća troškovna stavka u ukupnoj vrijednosti investicije je trošak izgradnje 2 silosa i ostalih objekata te za nabavu opreme koji iznosi 158,665 milijuna eura (bez PDV-a) i čini 42,25 % ukupnih troškova ulaganja. Druga po veličini stavka su naknade sa 105,713 milijuna eura i predstavljaju 28,15 % ukupnih investicijskih troškova.

7.6.2 Operativni troškovi odlagališta

Operativni troškovi odlagališta izravno su povezani s aktivnostima odlaganja i provedbom svih operativnih aktivnosti kao i aktivnostima tijekom faze pripravnosti. Operativni troškovi za odlagalište NSRAO-a procijenjeni su po pojedinim troškovnim skupinama za pogonsku i fazu pripravnosti kako slijedi [70]:

- troškovi aktivnosti odlaganja,
- troškovi spremnika za odlaganje
- troškovi rada
- troškovi osiguranja,

- komunalne usluge i energetski troškovi,
- održavanje lokacije i materijalni troškovi,
- troškovi nadzora te radioloških i drugih mjerenja,
- naknada za ograničeno korištenje zemljišta,
- ostali operativni troškovi.

Opisi i pretpostavke za pojedine vrste operativnih troškova navedeni su u nastavku, a detaljnije u [70].

Troškovi aktivnosti odlaganja

Pretpostavlja se da je ARAO odgovoran za prijevoz spremnika iz NE Krško do odlagališta [70], [10], [18], [55].

U vrijeme testiranja hladnog pogona za osnovni scenarij i ELSC koristit će se 10 spremnika (bez odlaganja), a troškovi će iznositi 377 tisuća EUR (bez PDV-a) ili 37,7 tisuća EUR po spremniku.

Praznine oko spremnika u silosu (silosima) bit će ispunjene materijalom za punjenje (beton). Trošak materijala za punjenje za jedan sloj spremnika za odlaganje je cca 159 tisuća EUR (bez PDV-a). Tijekom godina intenzivnog odlaganja (kad će se zbrinjavati > 100 spremnika godišnje), bit će potrebna dva punjenja šupljina na svaka dva sloja odloženih spremnika.

U fazi pripravnosti ti se troškovi ne pojavljuju.

Troškovi spremnika za odlaganje

I za BC i ELSC scenarij, trošak proizvodnje praznog spremnika za odlaganje i njegovog transporta do NE Krško je, prema potpisanom ugovoru, 8.890 EUR [80]. Materijalni troškovi materijala za punjenje šupljina u spremniku i materijala za brtvljenje poklopca, uzimajući u obzir očekivanu revalorizaciju troškova od 5 % zbog dugih rokova izrade, trošak po spremniku iznosi 9.859 EUR.

Tablica 7-8 Troškovi ARAO odlagališnih spremnika

Stavka troškova	**Procjena troškova** (1000 EUR, stalne cijene, siječanj 2024., bez PDV-a, bez nepredviđenih troškova)
Spremnik N2d (izrada i transport do NE Krško) sa materijalom za punjenje	**8,89**
Troškovi materijala za punjenje i brtvljenje, revalorizacija	0,97
Procijenjeni troškovi kondicioniranja (ulaganja u zgradu WMB)	3,69
Transport od NE Krško do lokacije Vrbina	2,18
Ukupno	**15,73**

Trošak odlagališnog spremnika iz Tablica 7-8 ne uključuje troškove pripreme za odlaganje NSRAO-a iz NE Krško, troškove podjele i preuzimanja NSRAO-a, pripadajuće postupanje s ambalažom otpada, nabavu potrebne opreme, aktivnosti licenciranja, QA/QC, procedure potvrđivanja WAC-a i drugo. Ti će se troškovi prvi put pojaviti u razdoblju 2026.-2029. i procjenjuju se na 2,890 milijuna EUR, gdje se troškovi nabave opreme na temelju [80] procjenjuje se na 1,589 milijuna EUR, QA/QC aktivnosti na 0,7 milijuna EUR i troškovi rada na 0,6 milijuna EUR.

Gore opisani dodatni troškovi za razdoblje nakon 2050. godine (ponovno pokretanje pakiranja i prihvata NSRAO-a) u ovom trenutku nisu uključeni jer se vjerojatno može primijeniti ista oprema i postupci, a za podjelu i preuzimanje postoji još previše nepoznanica.

Ostali operativni troškovi

Troškovi rada

U scenariju BC i ELSC pretpostavlja se da će 12 ljudi biti zaposleno na operativnim poslovima i srodnim aktivnostima. Radna mjesta popunit će se s najmanje 9 djelatnika iz organizacijske jedinice ARAO-a za odlaganje i 3 radnika vanjskih izvođača ili radnika iz drugih organizacijskih jedinica ARAO-a. Očekivani godišnji troškovi rada tijekom pogona bit će 739 tisuća eura. U fazi pripravnosti predviđeno je smanjenje radne snage od 20 % uz proporcionalno smanjenje troškova. Ukupni troškovi radova bez PDV-a procjenjuju se na 12,669 milijuna EUR za BC i na 19,564 milijuna EUR za ELSC.

Troškovi osiguranja

Godišnji troškovi osiguranja procijenjeni su na 0,5 % svih troškova izgradnje i ulaganja u opremu bez PDV-a i nepredviđenih troškova, ali s 8,5 % poreza za transakcije osiguranja [87]. U fazi pripravnosti, premija osiguranja smanjit će se na 50 % vrijednosti koja vrijedi za redoviti rad, zbog smanjenja mogućnosti kvara stroja i manje vjerojatnosti drugih šteta.

Ukupni godišnji troškovi osiguranja (bez PDV-a) iznose 0,491 milijuna € (50 % u fazi pripravnosti - 0,245 milijuna EUR). Ukupno ti troškovi iznose 11,783 milijuna EUR za BC i 16,693 milijuna EUR za ELSC.

Komunalne usluge i energetski troškovi

Godišnji troškovi komunalnih usluga i potrošnje energije procjenjuju se na 115 tisuća EUR (bez PDV-a) i uključuju troškove struje, vode, lož ulja i komunalnih usluga [70]. Oni će biti značajno smanjeni na 20 % tijekom faze pripravnosti. Ukupno ovi troškovi iznose 1,758 milijuna EUR (bez PDV-a) za BC i 2,136 milijuna EUR za ELSC.

Održavanje lokacije i materijalni troškovi

Godišnje održavanje lokacije i materijalni troškovi procjenjuju se na 1,081 milijuna EUR (bez PDV-a) za redoviti rad i smanjeni su na 20 % u fazi pripravnosti. Ukupno ti troškovi iznose 19,892 milijuna EUR za BC i 23,971 milijuna EUR za ELSC.

Troškovi nadzora i radioloških i drugih mjerenja

Ukupni godišnji troškovi nadzora i radioloških mjerenja tijekom rada procjenjuju se na 294 tisuće EUR (bez PDV-a). Tijekom faze pripravnosti ti su troškovi smanjeni na 80 % godišnjih troškova tijekom rada. Ukupno, troškovi nadzora i mjerenja iznose 8,642 milijuna EUR (bez PDV-a) za BC i 13,346 milijuna EUR (bez PDV-a) za ELSC.

Naknada za ograničeno korištenje zemljišta

U skladu s Uredbom o naknadi [39] za oba scenarija od 2027. nadalje, godišnji trošak naknade od 7,169 milijuna eura uključen je u operativne troškove odlagališta do 2043. godine.

U skladu s Uredbom o naknadi [39], utvrđeno je da se odgovarajući čimbenik za odlagalište NSRAO-a nakon prestanka rada postojeće NE Krško smanjuje s vrijednosti 98 na vrijednost 1. Stoga, kao dio

operativnih troškova [21], [39] za osnovni scenarij predviđena je isplata 254 tisuće eura naknade u razdoblju 2044.-2048. godine, a 156 tisuća eura u razdoblju 2049.-2058. Za ELSC, ta se plaćanja pomiču samo za 20 godina unaprijed. Općina korisnica ima pravo na ovu naknadu za sve godine rada odlagališta, kao i tijekom razdoblja pripravnosti.

Ukupni troškovi kompenzacije u operativnom razdoblju iznose 124,704 milijuna EUR za BC i 268,086 milijuna EUR za ELSC.

Ostali troškovi

Ostali operativni troškovi (uključujući troškove usluga, troškove fizičkog osiguranja, administrativne troškove, troškove suradnje s lokalnim zajednicama i komunikacijskih aktivnosti i ostalo) procjenjuju se na 0,50 % svih investicijskih troškova (bez poreza na dodanu vrijednost), plus 10 % troškova rada i troškova suradnje s lokalnim zajednicama u vrijeme rada odlagališta.

Sveukupno 1,784 milijuna EUR (bez PDV-a) godišnje je predviđeno za redovni rad uz smanjenje na 27 % tijekom faze pripravnosti. Ukupno tijekom cijelog razdoblja poslovanja, bez PDV-a, procjenjuje se 35,401 milijuna EUR za BC i 44,999 milijuna EUR za ELSC.

Ostali operativni troškovi

Ukupni operativni troškovi BC odlagališta Vrbina u razdoblju od 2026. do uključivo 2059. godine (Tablica 7-9) procijenjeni su na 250,369 milijuna EUR (226,909 milijuna EUR za udio NSRAO-a koji se financira iz Javnog sklada NEK). Troškovi dugoročne institucionalne kontrole i održavanja odlagališta (11,373 milijuna EUR od 2060.-2112.) nisu uključeni u skladu sa ZVISJV-1 [31] ovi će troškovi nastati nakon zatvaranja odlagališta i pokrivat će ih državni proračun.

Visina operativnih troškova varira po godinama i ovisi o godišnjoj količini odloženih spremnika, a najviše o troškovima naknada. Godišnji troškovi ovise o tome je li odlagalište potpuno operativno ili je u fazi pripravnosti. Najveći troškovi javljaju se u prvim godinama rada (npr. 16.241 milijuna EUR u 2028.), a zatim se svode na prosječni godišnji trošak u fazi pripravnosti (8,924 milijuna EUR). Od toga je 7,169 milijuna eura isplata naknade, a ostatak svi ostali operativni troškovi.

Tablica 7-9 Ukupni operativni troškovi odlagališta za sav slovenski NSRAO i za 1/2 NSRAO-a iz NE Krško (financira Sklad NEK) - BC

Operativni troškovi 000 EUR	Odlaganje cijelog slovenskog NSRAO-a		1/2 NSRAO iz NE Krško (financirano iz Javnog Sklad NEK)	
	Operativni troškovi (2026-2059)	Udio %	Operativni troškovi financirani iz Sklada NEK	Udjel ukupnih troškova %
Troškovi N2d kontejnera za odlaganje i aktivnosti kondicioniranja/odlaganja	16.990	6,79%	15.396	6,15%
Troškovi komunalnih usluga i energije	1.758	0,70%	1.593	0,64%
Troškovi održavanja lokacije i materijala	19.892	7,95%	18.026	7,20%
Troškovi osiguranja	11.783	4,71%	10.678	4,26%

Operativni troškovi 000 EUR	Odlaganje cijelog slovenskog NSRAO-a		1/2 NSRAO iz NE Krško (financirano iz Javnog Sklad NEK)	
	Operativni troškovi (2026-2059)	Udio %	Operativni troškovi financirani iz Sklada NEK	Udjel ukupnih troškova %
Troškovi monitoringa te radioloških i drugih mjerenja	8.642	3,45%	7.831	3,13%
Troškovi rada	12.669	5,06%	11.481	4,58%
Troškovi naknade	124.704	49,81%	113.007	45,13%
Drugi troškovi	35.401	14,14%	32.420	12,81%
Ukupno bez PDV-a	**231.840**	**92.60%**	**210.093**	**83,90%**
PDV	18.556	7,41%	16.815	6,72%
Ukupno s PDV-om	**250.396**	**100,00%**	**229.909**	**90,62%**

Ukupni troškovi rada odlagališta Vrbina za ELSC u razdoblju od 2026.[16] do uključivo 2079. procjenjuju se na 430,972 milijuna EUR (390,547 milijuna EUR za udio NSRAO-a koji se financira iz Javnog sklada NEK). Velika razlika u usporedbi s BC procjenom uglavnom je posljedica 20 godina duljeg razdoblja plaćanja pune naknade, a mnogo manje zbog dodatnih spremnika ili drugih troškova odlaganja.

7.6.3 Ukupni investicijski i operativni troškovi

Tablica 7-10 prikazuje ukupne nominalne troškove BC-a i ELSC-a za zbrinjavanje NSRAO-a s investicijskim troškovima u rasponu od 1998. do 2028. godine i 2059. godine te s redovitim pogonom koji počinje 2028. do 2030. godine i tzv. fazom pripravnosti. Druga faza punog rada odlagališta počinje za BC 2050. godine (2070. za ELSC) i završava 2058. godine za BC (2078. za ESLC) sa zatvaranjem odlagališta 2059. godine za BC (2079. godine za ELSC).

Prikazani su rezultati za sve grupirane troškovne stavke i dat je njihov udio u ukupnim investicijskim i operativnim troškovima koji su posebno prikazani za troškove koje treba pokriti Javni sklad NEK. U oba scenarija većina nominalnih troškova povezana je s građevinskim i operativnim aktivnostima. Naknade lokalnim zajednicama predstavljaju veliku troškovnu stavku ELSC-a zbog 20 godina duže isplate punog godišnjeg iznosa naknade. Zahtjev za zbrinjavanjem većih količina NSRAO-a ima puno manji utjecaj na ukupne operativne troškove nego troškovi kompenzacije.
Prema Tablica 7-10, od 1. 1. 2024. treba uložiti 388,603 milijuna eura iz Javnog sklada NEK do 2059. za BC i 614,382 milijuna eura do 2079. za ELSC.

[16] Početak redovnog rada planiran je početkom 2028. godine, ali će troškovi za aktivnosti odlaganja (izrada N2d spremnika, transport do NE Krško, nabava opreme za kondicioniranje i drugo) krenuti ranije.

Tablica 7-10 Ukupni BC i ELSC troškovi ulaganja i troškovi rada odlagališta s udjelom troškova financiranim iz Sklada NEK

Nominalni troškovi u 000 EUR	Ukupno		Total financirano iz Javnog Sklada NEK	
	BC (udio %)	ELSC (udio %)	BC	ELSC
Ukupna ulaganja	**306.997**	**375.570**	**278.201**	**340.342**
1.Nabava lokacije i zemljišta	7.624	7.624	6.909	6.909
2.Suradnja s lokalnim zajednicama i komunikacijske aktivnosti	7.143	7.143	6.473	6.473
3. Projektna i investicijska dokumentacija, inženjering, troškovi ARAO kao investitora, troškovi procedura za rad odlagališta, troškovi PA/SA analize	35.937	36.116	32.566	32.728
4. Izgradnja i oprema	107.381	158.665	97.309	143.782
5. Naknada za ograničenu uporabu zemljišta	105.713	105.713	95.797	95.797
6. Nepredviđeni troškovi	11.412	16.408	10.342	14.869
7. PDV	31.787	43.901	28.805	39.783
Operativni troškovi	**250.396**	**430.972**	**226.909**	**390.547**
1.Troškovi ARAO NSRAO kontejnera za odlaganje, uključujući materijal ispune	16.990	19.077	15.396	17.288
2.Troškovi komunalnih usluga i energije	1.758	2.136	1.593	1.936
3.Troškovi održavanja lokacije i materijala	19.892	23.971	18.026	21.723
4.Troškovi osiguranja	11.783	16.693	10.678	15.127
5.Troškovi za monitoring te radiološka i druga mjerenja	8.642	13.346	7.831	12.094
6.Troškovi rada	12.669	19.564	11.481	17.729
7.Troškovi naknade	124.704	268.086	113.007	242.940
8.Ostali troškovi	35.401	44.999	32.080	40.778
9.PDV	18.556	23.100	16.815	20.933
Ukupno za ulaganja i operacije	**557.393**	**806.542**	**505.110**	**730.889**
Ukupna ulaganja do 31.12.2023	**128.567** (23.07%)	**128.567** (15.94%)	**116.507**	**116.507**
Ukupna ulaganja nakon 31.12.2023 do 2059 (2079)	**428.826** (76.93%)	**677.975** (84.06%)	**388.603**	**614.382**

7.7 Analiza osjetljivosti i registar rizika

7.7.1 Analiza osjetljivosti

U analizi osjetljivosti ispitano je nekoliko čimbenika za BC koji bi mogli utjecati na nominalne troškove za odlagalište NSRAO-a. Na temelju dostupnih rezultata u različitim studijama i dokumentaciji, kao i na temelju stručne procjene mogućih razvoja projekta odlagališta NSRAO-a odabrani su sljedeći faktori:

- iznos investicijskih troškova,
- iznos operativnih troškova,
- visina diskontne stope.

Rezultati analize osjetljivosti za investicijske troškove prikazani su u Tablica 7-11 pri čemu je kao orijentacijska vrijednost za analize, navedena cijena odlaganja u EUR/m^3. Ako vrijednost investicije smanjimo/povećamo za 40 %, postotak smanjenja/povećanja ukupne cijene zbrinjavanja EUR/m^3 je puno manji (oko 14 %). To je donekle i očekivano budući da se većina investicijskih troškova odnosi na troškove izgradnje i opreme (34,98 %) i naknade (34,43 %) koji su već uspješno optimizirani tijekom razvoja projekta Vrbina (proces odobrenja građevinske dozvole, javni natječaji, potpisani ugovori, gotovi radovi, …) ili već uloženi s velikim udjelima kao što su isplate naknada (79,5 % vidi Tablica7-6).

Tablica 7-11 Analiza osjetljivosti za visinu investicijskih troškova [70].

Promjena podataka %	Ulaganje u 000 EUR	Cijena odlaganja (bez diskontiranja) EUR/m^3
-40%	178.686	46.018
-30%	208.467	47.800
-20%	238.247	49.581
-10%	268.028	51.363
0%	**297.809**	53.145
10%	327.590	54.926
20%	357.371	56.708
30%	387.152	58.489
40%	416.933	60.271

Rezultati analize osjetljivosti za operativne troškove prikazani su u Tablica 7-12. Ako vrijednost investicije smanjimo/povećamo za 40 %, postotak smanjenja/povećanja ukupne cijene zbrinjavanja EUR/m^3 je puno manji (oko 19 %). Ova promjena je nešto osjetljivija u odnosu na iznos investicijskih troškova (14 %) koji je očekivan zbog većeg udjela kompenzacijskih troškova u razdoblju rada odlagališta.

Tablica 7-12 Opcionalna analiza za visinu operativnih troškova [70].

Promjena podataka %	Operacija u 000 EUR	Troškovi odlaganja (bez diskontiranja) EUR/m^3
-40%	155.328	43.259
-30%	181.216	45.730
-20%	207.104	48.202
-10%	232.992	50.673
0%	**258.880**	**53.145**
10%	284.767	55.616
20%	310.655	58.087
30%	336.543	60.559
40%	362.431	63.030

Osim financijskih, značajan utjecaj na ulaganje i rad imaju i vremenski parametri (dinamika projekta), posebice trajanje razdoblja u kojem odlagalište ima status nuklearnog postrojenja za odlaganje, trajanje

razdoblja redovitog rada i faze pripravnosti te vrijeme početka izgradnje i rada odlagališta. Praktično, svi izvedivi i dostupni scenariji su verificirani u prethodnim fazama projekta, scenariji korišteni i prikazani u ovom dokumentu na temelju razmatranih rubnih uvjeta stoga se smatraju optimalnim scenarijima [70], [10].

Provedena je i analiza visine diskontne stope koja je detaljnije razrađena u [70]. Razina diskontne stope obrađena je u okviru opsežne analize za ukupne troškove zbrinjavanja RAO-a i ING-a u sklopu Poglavlja 8 i stoga se ovdje dalje ne obrađuje.

Utjecaj promjena volumena NSRAO-a

Mogući utjecaj promjena volumena NSRAO-a na procjene troškova istražen je za ELSC kako je prikazano u Tablica 7-7 i koristeći rezultate za ELSC u Poglavlju 7.6.2.

Najkonzervativniju usporedbu moguće je napraviti kroz učinak većih promjena volumena NSRAO-a usporedbom varijante izgradnje samo jednog silosa (BC) kapaciteta 990 spremnika i dva silosa kapaciteta 1.980 spremnika (ELSC).

Nema značajno većeg učinka na troškove ni u slučaju povećanja broja spremnika s 990 na 1.980, što uključuje i izgradnju dodatnog silosa sa svim pripadajućim troškovima. Povećanje troškova ulaganja primjećuje se uglavnom za troškove izgradnje i opreme i s time povezane nepredviđene troškove i PDV-a za izgradnju dodatnog silosa. Ostale promjene troškova ulaganja su male ili zanemarive jer su troškovi pribavljanja lokacije fiksni, a lokacija dopušta izgradnju 4 silosa, ako je potrebno. Povećanje troškova projektne i investicijske dokumentacije, inženjeringa i ostalih troškova je malo jer je većina tih troškova fiksna, i već je uložena te ne ovisi puno o inventaru NSRAO-a. Povećanje operativnih troškova, kao posljedica rada 2 silosa za odlaganje, povećava se za kupnju većeg broja spremnika ili gdje je predviđeno više usluga, materijala, potrošnje energije i troškova osiguranja. Cijena jednog, N2d spremnika spremnog za odlaganje je 15,73 tisuća eura (Tablica 7-8). Ako bi dodatnih 990 N2d spremnika trebalo odložiti u 2. silos, to će koštati približno 15,57 milijuna EUR samo za odlagališne spremnike spremne za odlaganje. Ova procjena je usporediva s vrijednošću troškova naknade koja će se platiti u 2 godine.

Unatoč dvostrukom povećanju inventara, ukupno povećanje investicijskih i operativnih troškova iznosi samo 27,5 % i to je uglavnom izravno povezano s izgradnjom i radom 2. silosa i troškovima spremnika za odlaganje.

7.7.2 Upravljanje rizikom

Rizici su posebno prikazani za fazu izgradnje (Tablica7-13) i rada (Tablica7-14) odlagališta. Analiza rizika izrađena je na temelju [70] i dopunjena u skladu s trenutnim statusom projekta uzimajući u obzir uspješno završenu izgradnju i druge aktivnosti za infrastrukturni dio odlagališta, završene javne natječaje i potpisan ugovor za odlagališni dio odlagališta i ostalo. Za svaki rizik, a posebno za rizike s najvećim procjenama, poduzimaju se mjere za otklanjanje i ublažavanje rizika.

Vjerojatnost nastanka (LO) i težina posljedica (SC) kojima se ocjenjuje "razina rizika" definirane su u postupku stručnog odlučivanja, uzimajući u obzir smjernice za ocjenjivanje. Vjerojatnost pojave se vrednuje kao: 1 (malo vjerojatno), 2 (nije sigurno), 3 (vjerojatno), 4 (vrlo vjerojatno) i 5 (gotovo sigurno). Stupanj ozbiljnosti posljedica boduje se od 1 do 5, a temelji se na utjecajima rizika na

troškove, postignutim ključnim točkama (rokovima) projekta, specifikacijama rezultata projekta i nuklearnoj sigurnosti te utjecaju na zadovoljstvo ključnih dionika. Maksimalan broj bodova za razinu rizika je 25.

Tablica7-13 Prikaz najvažnijih rizika projekta odlagališta Vrbina za razdoblje izgradnje [70]

	Opis rizika	Opis posljedice	Vjerojatnost pojave (LO)	Stupanj težine posljedica (SC)	Razina rizika (=LOxSC)	Moguće mjere za smanjenje rizika
Faza izgradnje i uspostave odlagališta						
1	Nedostatak stručnosti osoblja ARAO-a	Negativan utjecaj na kvalitetu projektne dokumentacije, procedure probnog i redovnog rada, trajanje projekta, troškove	4	5	20	Odgovarajuće definiranje uloge projektnog vijeća i osiguranje odgovarajućeg financiranja, kadrovskog popunjavanja i programa obuke.
2	Nedostatak kompetencija i iskustva izvođača radova	Negativan utjecaj na kvalitetu projekta i trajanje izgradnje, troškove	3	4	12	Većinom su rizici već bili filtrirani i ublaženi zahtjevima i uvjetima natječaja. Potrebno je aktivno raditi s izvođačima, posebno za nuklearni dio aktivnosti.
3	Nedovoljan angažman inženjera	Problemi u vođenju projekta, kašnjenje u aktivnostima iz opsega posla inženjera, neobavljanje poslova iz opsega posla inženjera.	3	4	12	Potrebno je provesti aktivan rad s inženjerom, specifičan za nuklearni dio aktivnosti.
4	Neprovođenje bitnih natječaja	Kašnjenje u potpisivanju ugovora	2	4	8	Uspješna su provedena 3 velika natječaja (proizvodnja N2d spremnika, izgradnja infrastrukture i odlagališnog dijela odlagališta) i potpisani ugovori. U tijeku je posljednji veliki natječaj za portalnu dizalicu.

U fazi izgradnje i uspostave odlagališta, rizicima se upravlja sustavnim vođenjem projekta i kontrolom provedbe, kako troškovno tako i rokova. ARAO je uspostavio mehanizme za upravljanje procesom provedbe koji će se po potrebi mijenjati.

Tablica7-14 Prikaz najvažnijih rizika projekta odlagališta Vrbina za vrijeme rada [70].

	Opis rizika	Opis posljedice	Vjerojatnost pojave (LO)	Stupanj težine posljedica (SC)	Razina rizika (=LOxSC)	Moguće mjere za smanjenje rizika
Faza rada odlagališta						
1	Odstupanje od rasporeda rada odlagališta.	Kašnjenje u pokretanju rada odlagališta.	4	4	16	Detaljno praćenje projekta i provedba korektivnih mjera.
2	Odstupanje od projektnih zahtjeva i radnih specifikacija.	Nepravilan rad objekta.	2	5	10	Detaljno praćenje projekta i provedba korektivnih mjera.

Najvažniji rizici u fazi rada odlagališta uglavnom se odnose na dostupnost tehnoloških mogućnosti te troškove upravljanja i održavanja.

8 Procjena troškova

Financijski granični uvjeti za procjenu troškova prikazani su u Poglavlju 2.4.2, pod odjeljkom B.

8.1 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško

Ovo poglavlje predstavlja nominalne troškove, diskontirane troškove i prijedlog financijskih implikacija (izračun anuiteta i ciljanog IRR-a) za sljedeće scenarije:

1) Osnovni scenarij (BC 0): Rad NE Krško do 2043. godine i rad SFDS-a do 2103. godine
2) Dodatni scenarij A (SC A): Rad NE Krško do 2063. godine i rad SFDS-a do 2103. godine
3) Dodatni scenarij B (SC B): Rad NE Krško do 2063. godine i rad SFDS-a do 2123. godine

Tablica 8-1 Ukupni nominalni trošak zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško po scenariju, s PDV-om

Mil. EUR	BC 0	SC A	SC B
RD&D program za DGO	151,16	151,16	183,35
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	1.590,40	1.859,83	1.859,83
Zbrinjavanje NSRAO-a u RH	367,52	432,32	432,32
Zbrinjavanje NSRAO-a u RS	388,60	614,38	614,38
UKUPNO	**2.497,69**	**3.057,70**	**3.089,89**

Detaljni financijski izračuni i izračuni uplata provode se za BC 0 i SC B, što predstavlja scenarije niskih i visokih nominalnih troškova.

8.1.1 Struktura nominalnih troškova

Nominalni troškovi uključuju izravne (nominalne tehničke) troškove provedbe pojedinih skupina aktivnosti, troškove naknade lokalnoj zajednici (Naknada), nepredviđene troškove i porez na dodanu vrijednost (PDV).

PDV se primjenjuje u skladu sa slovenskim i hrvatskim poreznim propisima (u 2024. godini stopa PDV-a bila je 22% u Sloveniji i 25% u Hrvatskoj).

Za izračun ukupnih nominalnih i diskontiranih troškova, kao i budućih uplata u nacionalne fondove, PDV je primijenjen kako slijedi:

- za razgradnju NE Krško - slovenski PDV (22%)
- za rad i razgradnju suhog skladišta ING-a na lokaciji – slovenski PDV (22 %)
- za odlaganje polovice NSRAO-a u odlagalište Vrbina u Sloveniji - slovenski PDV (22 %)
- za zbrinjavanje polovice NSRAO-a u Hrvatskoj – hrvatski PDV (25 %)
- za duboko geološko odlagalište – slovenski PDV (22 %)
- za zajednički program istraživanja i razvoja za odlaganje ING-a/VRAO-a u dubokim geološkim formacijama - slovenski i hrvatski PDV u omjeru 50:50 %

Trošak institucionalne kontrole za DGO od 2110. do 2160. za BC, te od 2130. do 2180. za SC B iznosi ukupno 78,76 mil. EUR. Taj je iznos ravnopravno podijeljen (39,38 mil. EUR) između dviju zemalja,

pri čemu svaka doprinosi s 39,38 milijuna EUR. Napominje se da će hrvatski udio biti plaćen iz Fonda, a slovenski iz državnog proračuna. Stoga je samo hrvatski dio uključen u ukupni trošak i u izračun isplate anuiteta, kao što je prikazano u tablicama i slikama.

Troškovi podjele i preuzimanja NSRAO-a, uključujući pretpostavku da će osoblje ARAO-a i Fonda aktivno sudjelovati u ovim aktivnostima, uključeni su u aktivnosti zbrinjavanja NSRAO-a i za RH i za RS.

Prikaz troškova zbrinjavanja NSRAO-a standardiziran je za obje države, koristeći iste kategorije kako bi se osigurala usporedivost.

Do 31.12.2023. ukupna investicija Javnog sklada NEK u slovenski program zbrinjavanja NSRAO-a iznosi 119,28 mil. EUR, dok je ukupna investicija u hrvatski NSRAO program 6,09 mil. EUR.

Pregled nominalnih troškova zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za **osnovni scenarij** je prikazan u Tablica 8-2. Troškovi su zaokruženi na najbliži mil. EUR u vrijednostima iz 2023.

Tablica 8-2 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za osnovni scenarij

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	UKUPNO
RD&D program za DGO	126,23	0,00	13,59	11,34	**151,16**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	906,67	81,15	330,42	272,16	**1.590,40**
Zbrinjavanje NSRAO u RH	219,06	73,60	21,60	53,26	**367,52**
Zbrinjavanje NSRAO u RS	205,46	132,63	10,34	40,17	**388,60**
Ukupno	**1.457,42**	**287,38**	**375,95**	**376,94**	**2.497,69**

Pregled nominalnih troškova za **dodatni scenarij A** prikazan je u Tablica 8-3. Troškovi su zaokruženi na najbliži mil. EUR u vrijednostima iz 2023.

Tablica 8-3 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za dodatni scenarij A

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	UKUPNO
RD&D program za DGO	126,23	0,00	13,59	11,34	**151,16**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	1.060,60	97,00	384,34	317,89	**1.859,83**
Zbrinjavanje NSRAO u RH	243,80	105,60	24,07	58,85	**432,32**
Zbrinjavanje NSRAO u RS	281,68	262,57	14,87	55,27	**614,38**
Ukupno	**1.712,31**	**465,16**	**436,87**	**443,34**	**3.057,70**

Pregled nominalnih troškova za **dodatni scenarij B** prikazan je u Tablica8-4. Troškovi su zaokruženi na najbliži mil. EUR u vrijednostima iz 2023.

Tablica8-4 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za dodatni scenarij B

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	UKUPNO
RD&D program za DGO	144,10	0,00	27,70	11,56	**183,35**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	1.060,60	97,00	384,34	317,89	**1.859,83**
Zbrinjavanje NSRAO u RH	243,80	105,60	24,07	58,85	**432,32**
Zbrinjavanje NSRAO u RS	281,68	262,57	14,87	55,27	**614,38**
UKUPNO	**1.730,18**	**465,16**	**450,99**	**443,56**	**3.089,89**

8.1.2 Ukupni nominalni troškovi uključujući razgradnju NE Krško

U ovom poglavlju prikazani su ukupni troškovi, uključujući nominalni trošak iz prethodnog poglavlja, koji pokrivaju zbrinjavanje RAO-a i ING-a, uz dodatak troškova razgradnje NE Krško. Troškovi su prikazani zasebno za svaku zemlju.

Osnovni scenarij (BC)

Sljedeća tablica prikazuje ukupne troškove za osnovni scenarij za Republiku Sloveniju.

Tablica 8-5 Ukupni trošak osnovnog scenarija za RS

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
Razgradnja NE Krško	218,77	31,63	0,00	30,84	**281,24**
RD&D Program za DGO	63,11	0,00	6,79	5,67	**75,58**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	443,84	40,58	158,57	132,53	**775,51**
Zbrinjavanje NSRAO	205,46	132,63	10,34	40,17	**388,60**
UKUPNO	**931,18**	**204,84**	**175,70**	**209,22**	**1.520,94**

Sljedeća tablica prikazuje ukupne troškove za osnovni scenarij za Republiku Hrvatsku.

Tablica 8-6 Ukupni trošak osnovnog scenarija za RH

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
Razgradnja NE Krško	218,77	31,63	0,00	30,84	**281,24**
RD&D Program za DGO	63,11	0,00	6,79	5,67	**75,58**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	462,83	40,58	171,86	139,63	**814,89**
Zbrinjavanje NSRAO	219.06	73.60	21.60	53.26	**367.52**
UKUPNO	**963.77**	**145.81**	**200.25**	**229.41**	**1,539.24**

Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom B (SC B)

Sljedeća tablica prikazuje ukupne troškove za dodatni scenarij B za Republiku Sloveniju.

Tablica 8-7 Ukupni trošak dodatnog scenarija B za RS

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
Razgradnja NE Krško	215,86	31,63	0,00	30,20	**277,69**
RD&D Program za DGO	72,05	0,00	13,85	5,78	**91,68**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	520,81	48,50	185,53	155,39	**910,23**
Zbrinjavanje NSRAO	281,68	262,57	14,87	55,27	**614,38**
UKUPNO	**1.090,40**	**342,70**	**214,24**	**246,64**	**1.893,98**

Sljedeća tablica prikazuje ukupne troškove za dodatni scenarij B za Republiku Hrvatsku.

Tablica 8-8 Ukupni trošak dodatnog scenarija B za RH

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
Razgradnja NE Krško	215,86	31,63	0,00	30,20	**277,69**
RD&D Program za DGO	72,05	0,00	13,85	5,78	**91,68**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	539,80	48,50	198,82	162,49	**949,61**
Zbrinjavanje NSRAO	243.80	105,60	24,07	58,85	**432,32**
UKUPNO	**1.071,50**	**185,73**	**236,74**	**257,32**	**1.751,30**

8.1.3 Vremenska raspodjela nominalnih troškova bez razgradnje

Ovo poglavlje predstavlja vremensku raspodjelu nominalnih troškova odlaganja za osnovni scenarij (BC) i dodatni scenarij B (SC B) za obje zemlje. Odabrani scenariji BC i SC B predstavljaju konzervativne i ekstremne scenarije, a izračunate uplate za te scenarije odražavat će minimalne i maksimalne vrijednosti. Dodatni scenarij A je kombinacija prethodno spomenutih scenarija, a uplate za ovaj scenarij bit će između onih BC i SC B.

8.1.3.1 Osnovni scenarij

Republika Slovenija

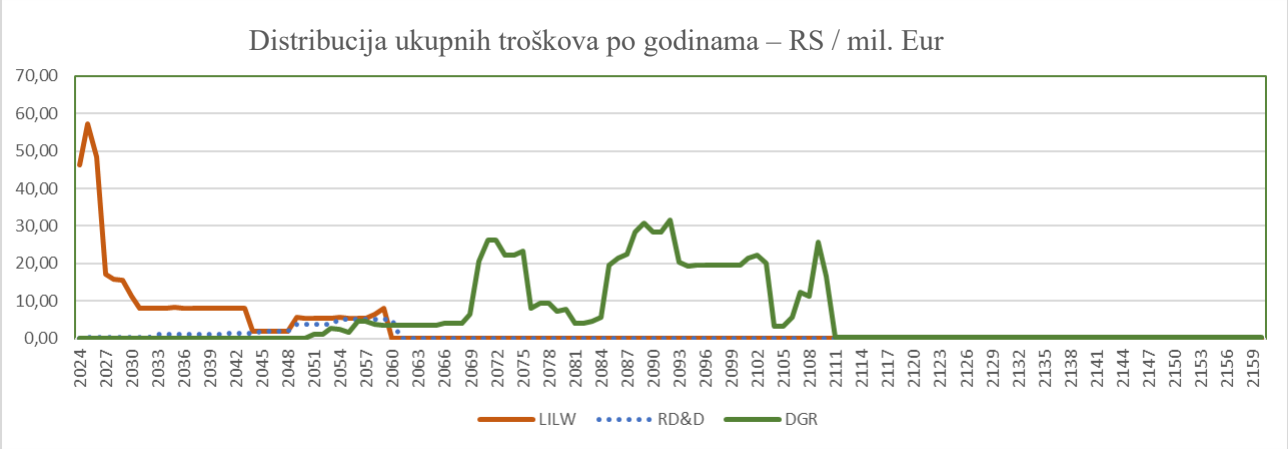
Slijedi

Tablica 8-9 koja sažima ukupne troškove odlaganja za **Republiku Sloveniju**, podijeljene na troškove istraživanja i razvoja za odlaganje DGO-a, VRAO-a i ING-a i nominalne troškove zbrinjavanja NSRAO-a od 2024. do 2110. godine.[17]

Tablica 8-9 Ukupni troškovi osnovnog scenarija za RS (bez razgradnje NE Krško)

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
RD&D Program za DGO	63,11	0,00	6,79	5,67	**75,58**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	443,84	40,58	158,57	132,53	**775,51**
Zbrinjavanje NSRAO	205,46	132,63	10,34	40,17	**388,60**
UKUPNO	**712,41**	**173,21**	**175,70**	**178,37**	**1.239,69**

Sljedeća Slika 8-1 prikazuje godišnju distribuciju ukupnih troškova zbrinjavanja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a za Sloveniju od 2024. do 2110.[17]



Slika 8-1 Ukupna godišnja raspodjela troškova RS /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško)

Ukupna ulaganja (uključujući Naknadu) u program zbrinjavanja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a za Sloveniju iznose 1.239,69 mil. EUR.

Republika Hrvatska

Slijedi Tablica 8-10 u kojoj se sažimaju ukupni troškovi odlaganja za **Republiku Hrvatsku**, podijeljeni na troškove istraživanja i razvoja za odlaganje DGO-a, VRAO-a i ING-a i nominalne troškove zbrinjavanja NSRAO-a od 2024. do 2160. godine.

[17] Kao što je prethodno objašnjeno u poglavlju 8.1.1, slovenska polovica postoperativnih troškova nadzora za DGO od 2110. do 2160. za BC i od 2130. do 2180. za SC B platit će se iz slovenskog državnog proračuna.

Tablica 8-10 Ukupni troškovi osnovnog scenarija za RH (bez razgradnje NE Krško)

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
RD&D Program za DGO	63,11	0,00	6,79	5,67	**75,58**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	462,83	40,58	171,86	139,63	**814,89**
Zbrinjavanje NSRAO	219,06	73,60	21,60	53,26	**367,52**
UKUPNO	**745,00**	**114,18**	**200,25**	**198,56**	**1.258,00**

Sljedeća Slika 8-2 prikazuje godišnju raspodjelu ukupnih troškova odlaganja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a za Hrvatsku od 2024. do 2160.



Slika 8-2 Ukupna godišnja raspodjela troškova RH /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško)

Ukupna ulaganja (uključujući Naknadu) u program zbrinjavanja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a za Hrvatsku iznose 1.187,49 mil. EUR.

8.1.3.2 Dodatni scenarij B

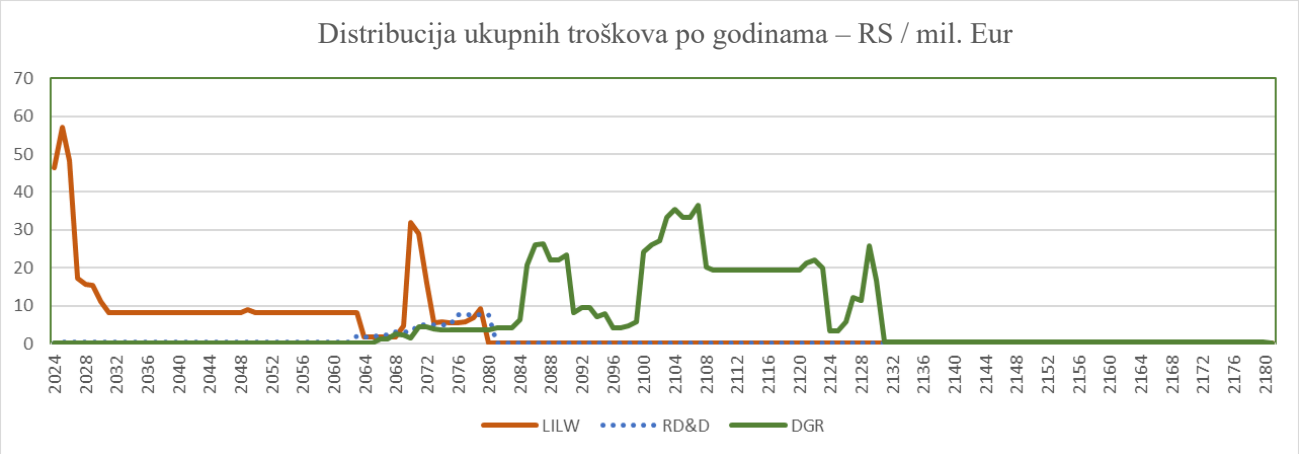
Republika Slovenija

Slijedi Tablica 8-11, koja sažima ukupne troškove zbrinjavanja za **Republiku Sloveniju**. Ovi troškovi su podijeljeni na troškove RD&D-a za DGO, troškove za odlaganje ING-a i VRAO-a te nominalne troškove zbrinjavanja NSRAO-a, koji pokrivaju razdoblje od 2024. do 2130. godine.[17]

Tablica 8-11 Ukupni troškovi dodatnog scenarija B za RS (bez razgradnje NE Krško)

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
RD&D Program za DGO	72,05	0,00	13,85	5,78	**91,68**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	520,81	48,50	185,53	155,39	**910,23**
Zbrinjavanje NSRAO	281,68	262,57	14,87	55,27	**614,38**
UKUPNO	**874,54**	**311,06**	**214,24**	**216,44**	**1.616,28**

Sljedeća Slika 8-3 prikazuje godišnju distribuciju ukupnih troškova zbrinjavanja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a za Sloveniju od 2024. do 2130.[17]



Slika 8-3 Ukupna godišnja raspodjela troškova RS /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško)

Ukupna ulaganja (uključujući Naknadu) u program zbrinjavanja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a u dodatnom scenariju B za Republiku Sloveniju iznose 1.616,28 mil. EUR.

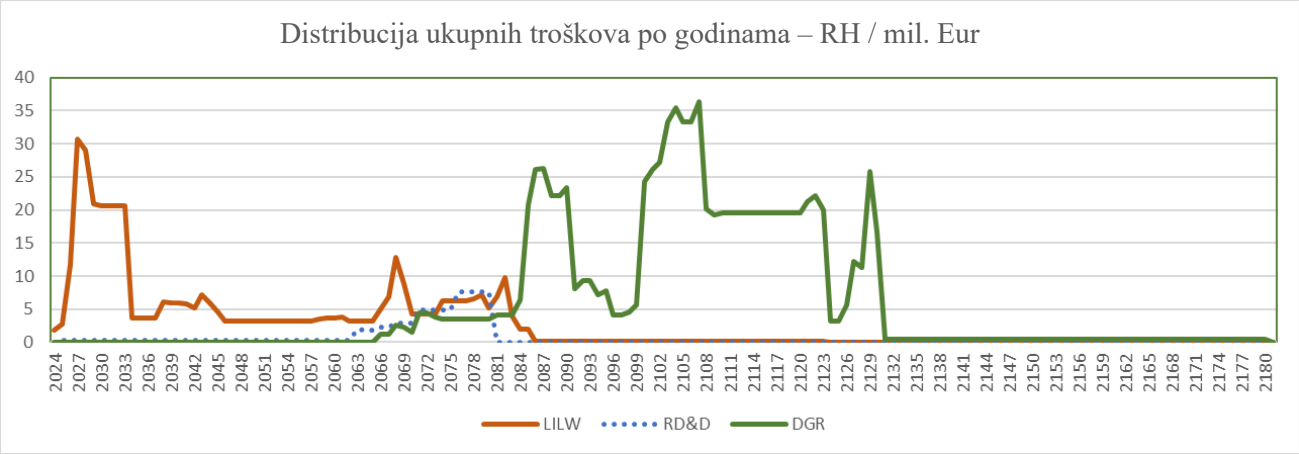
Republika Hrvatska

Slijedi Tablica 8-12, koja sažima ukupne troškove zbrinjavanja za **Republiku Hrvatsku**. Ovi troškovi su podijeljeni na troškove RD&D-a za DGO, troškove za odlaganje ING-a i VRAO-a te nominalne troškove za zbrinjavanje NSRAO-a koji pokrivaju razdoblje od 2024. do 2180. godine.

Tablica 8-12 Ukupni troškovi dodatnog scenarija B za RH (bez razgradnje NE Krško)

mil. EUR	Tehnički	CLC	Nepredviđeni troškovi	PDV	Ukupno
RD&D Program za DGO	72,05	0,00	13,85	5,78	**91,68**
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	539,80	48,50	198,82	162,49	**949,61**
Zbrinjavanje NSRAO	243,80	105,60	24,07	58,85	**432,32**
UKUPNO	**855,64**	**154,10**	**236,74**	**227,12**	**1.473,60**

Sljedeća Slika 8-4 prikazuje godišnju distribuciju ukupnih troškova zbrinjavanja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a za Hrvatsku od 2024. do 2180.



Slika 8-4 Ukupna godišnja raspodjela troškova RH /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško)

Ukupna ulaganja (uključujući Naknadu) u program zbrinjavanja ING-a, VRAO-a i NSRAO-a u dodatnom scenariju B za Republiku Hrvatsku iznose 1.391,27 mil. EUR.

8.2 Diskontirani troškovi

8.2.1 Metodologija i parametri diskontiranja

Za određivanje godišnjih iznosa (anuiteta) koje oba vlasnika moraju platiti u nacionalni fond za razgradnju, pretpostavlja se interna stopa povrata (IRR).

IRR predstavlja potrebnu stopu prinosa koja osigurava solventnost fonda, omogućujući mu da pokrije buduće troškove razgradnje, upravljanja i odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva.

U matematičkom i financijskom smislu, IRR je diskontna stopa koja izjednačava sadašnju vrijednost imovine fonda (sadrži neto vrijednost imovine fonda i buduće uplate fondu) sa sadašnjom vrijednošću fondovih obveza (budući troškovi).

Pretpostavlja se da je imovina fonda obračunata, a njegove obveze diskontirane, po istoj IRR na prosječnoj godišnjoj razini.

Ispod je matematička formula za izračunavanje IRR-a:

$$V_0 + \sum_{t=0,25}^{25} \frac{P_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=1}^{94} \frac{I_t}{(1+IRR)^t}$$

$$I_t = I_t^{2023}(1+i)^t$$

Pri čemu je:
IRR - Interna stopa povrata,
V_0 - Neto vrijednost imovine fonda (NAV) na kraju razdoblja (2023.)

P_t - Tromjesečne uplate Fondu,
I_t - Procijenjene obveze Fonda
i - Stopa inflacije

Pretpostavlja se da će oba fonda primati tromjesečne anuitete do 2043. godine, kada je planirano gašenje NE Krško (ili do 2063. u oba dodatna scenarija). Pretpostavlja se da će se anuiteti isplaćivati na kraju svakog tromjesečja, počevši s prvom isplatom početkom 2024. i zaključno sa posljednjom isplatom na kraju 2043. ili 2063. godine. U izračunu su uzeti u obzir službeno prijavljeni iznosi akumulirani u fondu na kraju 2023. godine.

Nominalni troškovi (utvrđeni u EUR iz 2023.) raspoređeni su tijekom vremena prema rasporedu odgovarajućih radnji. Ovi su troškovi izraženi na godišnjoj osnovi i pretpostavlja se da će biti plaćeni do kraja svake godine. Svaki trošak je diskontiran od odgovarajuće godine do početne referentne točke, tj. do 2023. godine.

Opća stopa inflacije procjenjuje se na temelju prognoze Europske središnje banke (ECB) za dugoročnu stopu inflacije od 2 % [88].

Interna stopa povrata (godišnji prinos) izračunata je pomoću Microsoft Excela, alata za proračunske tablice i analizu podataka, na temelju modela koji je razvio Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska [88].

Budući da se IRR mora izračunati na temelju svih očekivanih troškova, potrebno je uključiti i troškove razgradnje, kako je procijenjeno u dokumentu " 4. Revizija Programa razgradnje NE Krško, NIS, veljača 2024." [24].

8.2.2 Izračun godišnjeg prinosa

Slijedi izračun IRR-a, koji predstavlja godišnji prinos svakog fonda neophodan za pokrivanje ukupnih troškova, uključujući pretpostavljeni(e) prihod(e) od odgovarajućih režija.

Ukupan trošak obuhvaća troškove razgradnje, te zbrinjavanje RAO-a i ING-a. Izračuni IRR-a prikazani su po scenariju, uključujući osnovni scenarij i dodatni scenarij B, i navode se zasebno za obje zemlje.

Republika Slovenija

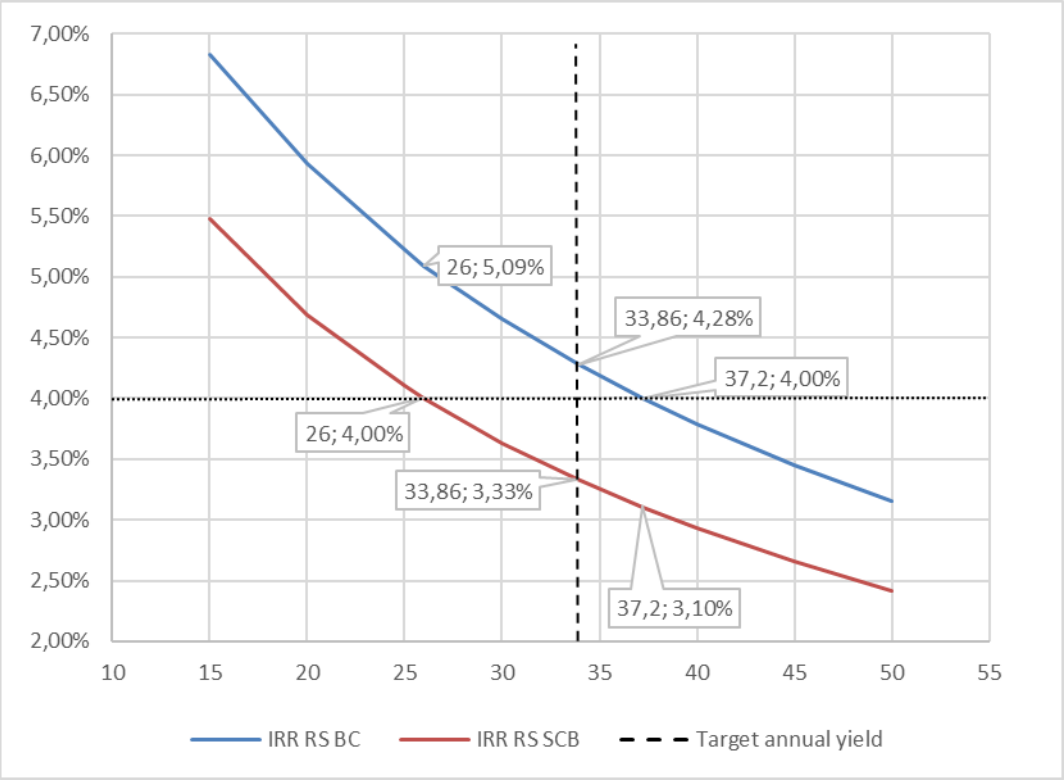
Za osnovni scenarij, uz pretpostavku GEN-ovih godišnjih uplata kako je predstavljeno u dokumentu *"Poslovna politika Javnega sklada Republike Slovenije za financiranje razgradnje NEK in odlaganja radioaktivnih odpadkov in izrabljenega goriva iz NEK, Predlog št. 5*" [89] od rujna 2023. godine, u prosječnom iznosu od 33,86 milijuna eura do 2043., ukupni rashodi ARAO-a u iznosu od 1.520,93 milijuna eura, te procijenjena eskalacija troškova (inflacija) po godišnjoj stopi od 2 %, godišnji prinos izražen kao interna stopa povrata (IRR) za slovenski Javni Sklad NEK iznosi 4,28 %.

Za dodatni scenarij B, s istim anuitetima iz GEN-a do 2063., očekivani IRR je 3,33 %. Ukupni rashodi slovenskog fonda iznose 1.893,98 milijuna eura.

Tablica 8-13 Izračun IRR-a za slovenski Javni Sklad NEK (BC i SC B)

		Osnovni scenarij	Dodatni scenarij B
Razgradnja	mil. EUR	281,24	277,69
Zbrinjavanje NSRAO-a	mil. EUR	388,6	614,38
RD&D	mil. EUR	75,58	91,68
Odlaganje ING-a	mil. EUR	775,51	910,23
Ukupni nominalni trošak	**mil. EUR**	**1.520,93**	**1.893,98**
Godišnje uplate (prosječne)	mil. EUR/godina	33,86	
Javni Sklad NEK Neto vrijednost imovine 31.12.2023.	mil. EUR	238,57	
Opća stopa inflacije	%	2%	
IRR	**%**	**4,28 %**	**3,33 %**

IRR je izračunat s obzirom na anuitete u prosječnom iznosu od 33,86 mil. EUR/godina za sve scenarije. Za osnovni scenarij uplate se izračunavaju do 2043., za dodatni scenarij B do 2063. Moguća odstupanja od osnovnog anuiteta i učinak takvog odstupanja na IRR prikazani su u sljedećem grafikonu.



Slika 8-5 Grafikon IRR-a za Javni Sklad NEK u odnosu na različite anuitete za GEN

Tablica 8-14 IRR za Javni sklad NEK naspram raznih anuiteta za GEN za oba scenarija

Anuiteti koje plaća GEN (EUR mil.)	IRR RS BC	IRR RS SC B
15	6,83%	5,48%
20	5,93%	4,69%
25	5,22%	4,10%
26,00	5,09%	**4,00%**
30	4,65%	3,63%
33,86	**4,28%**	**3,33%**
37,20	**4,00%**	3,10%
40	3,79%	2,93%
45	3,45%	2,66%
50	3,16%	2,42%

U slučaju prosječne IRR s vrijednošću od 4,00%, kako je predloženo u Poslovnoj politici Javnega sklada Republike Slovenije [89] i DUM-u [75], godišnja isplata za BC iznosi 37,20 milijuna EUR. To je usporedivo s trenutnim važećim godišnjim uplatama od 36,15 milijuna eura od strane GEN Energije, pod pretpostavkom da se u NE Krško godišnje proizvede oko 6.025 GWh električne energije. Za scenarij SC B, s IRR-om od 4,00 %, godišnja uplata iznosi 26,00 milijuna EUR.

Republika Hrvatska

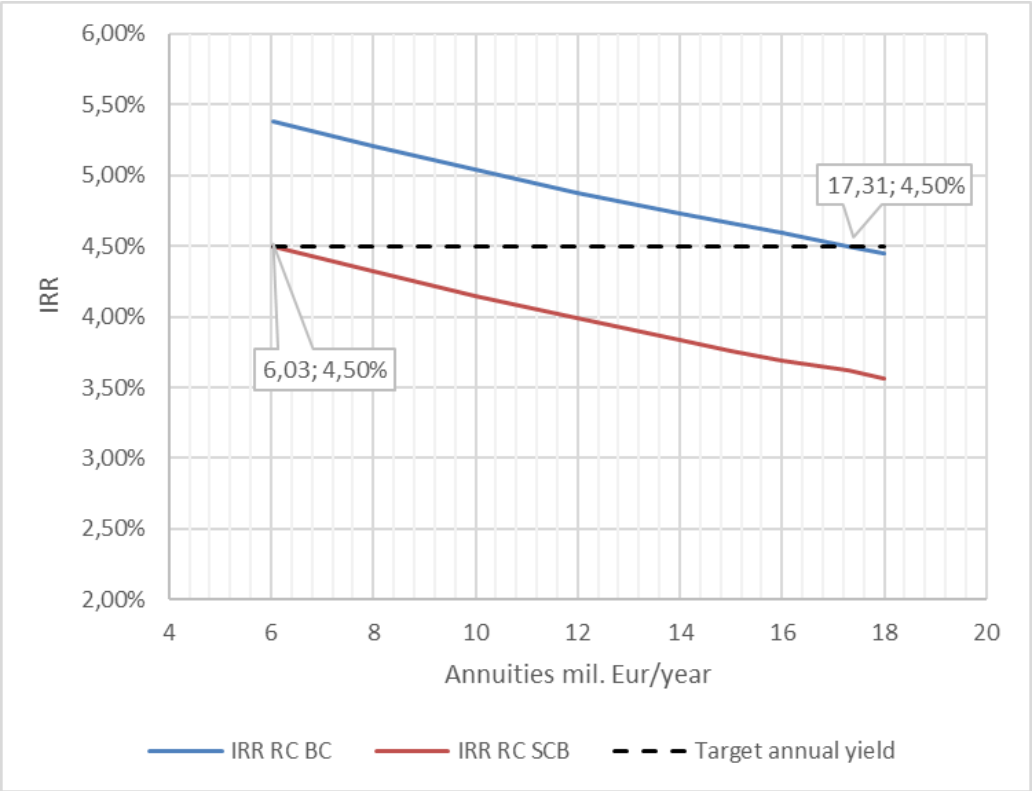
Za osnovni scenarij, uz pretpostavku da će HEP-ova godišnja uplata iznositi 12,00 milijuna eura do 2043., ukupne fondovske izdatke od 1.468,73 milijuna eura i procijenjenu eskalaciju troškova (inflaciju) po godišnjoj stopi od 2 %, godišnji prinos, izražen kao interna stopa povrata (IRR), za hrvatski FOND NEK iznosi 4,50 %.

Za dodatni scenarij B očekuje se isti IRR od 4,50 %, uz pretpostavku da će HEP-ova godišnja uplata iznositi 2,4 milijuna eura do 2063. godine. Ukupni rashodi fonda iznose 1.668,97 milijuna eura.

Tablica 8-15 Izračun godišnjih uplata HEP-a u Hrvatski fond (BC i SC B)

		Osnovni scenarij	Dodatni scenarij B
Razgradnja	mil. EUR	281,24	277,69
Zbrinjavanje NSRAO-a	mil. EUR	367,52	432,32
RD&D	mil. EUR	75,58	91,68
Odlaganje ING-a	mil. EUR	814,89	949,61
Ukupni nominalni trošak	**mil. EUR**	**1.539,24**	**1.751,30**
Godišnje uplate	mil. EUR/godina	**17,31**	**6,03**
FOND Neto vrijednost imovine 31.12.2023.	mil. EUR	392	
Opća stopa inflacije	%	2%	
IRR	**%**	**4,50 %**	

Anuitet za HEP izračunat je na temelju realno ostvarive interne stope povrata (IRR) od 4,5 % za sve scenarije. Moguća odstupanja od IRR-a od 4,50 % i njihov učinak na anuitet prikazani su u sljedećem grafikonu.



Slika 8-6 Grafikon IRR-a za FOND u odnosu na različite anuitete za HEP

Tablica 8-16 Anuiteti za uplate HEP-a Hrvatskom fondu u odnosu na različite IRR za Fond za oba scenarija

Anuiteti koje plaća HEP (EUR mil.)	IRR RH BC	IRR RH SC B
4	5,56%	4,70%
6,03	5,38%	**4,50%**
8	5,21%	4,32%
10	5,04%	4,15%
12	4,88%	3,99%
14	4,73%	3,84%
15	4,66%	3,76%
16	4,59%	3,69%
17,31	**4,50%**	3,62%
18	4,45%	3,56%
19	4,38%	3,49%
20	4,32%	3,43%

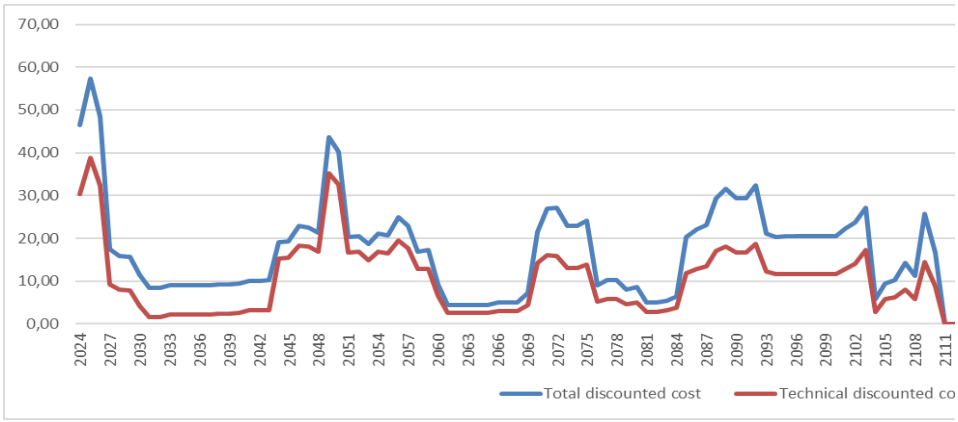
8.2.3 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova

Na temelju izračuna za svaku zemlju (anuitet za Hrvatsku i IRR za Sloveniju) izračunati su diskontirani troškovi za svaku zemlju. Ovi diskontirani troškovi uključuju trošak razgradnje i trošak zbrinjavanja.

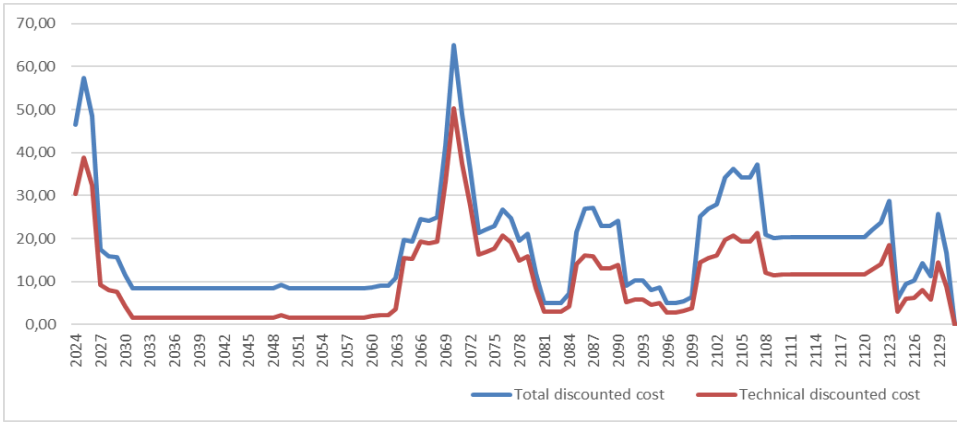
Troškovi su diskontirani za Hrvatsku od 2160. za osnovni scenarij i od 2180. za dodatni scenarij B, a za Sloveniju od 2110. za osnovni scenarij i od 2130. za dodatni scenarij B. Slovenski udio u troškovima operativnog nadzora za DGO, od 2110. do 2160. za BC i od 2130. do 2180. za SC B, platit će se iz slovenskog državnog proračuna.

Tablica 8-17 Izračun diskontiranog troška za različite faktore diskontiranja za RS

Diskontna stopa	Ukupni diskontirani troškovi Osnovni scenarij /mil. EUR	Ukupni diskontirani trošak Dodatni scenarij B /mil. EUR
2%	**1.520,94**	**1.893,98**
3%	1.028,83	1.137,51
4%	745,04	753,23
5%	572,90	545,24



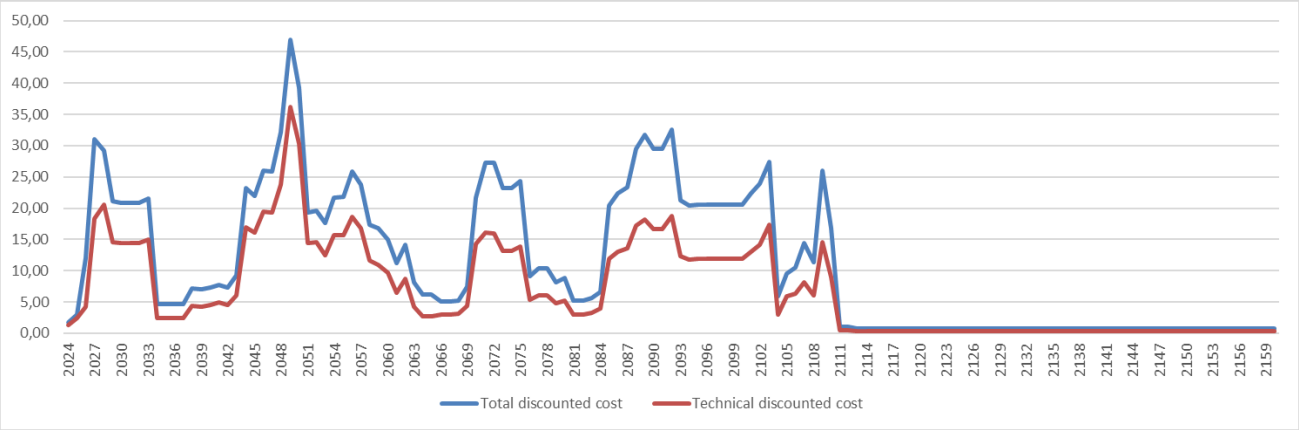
Slika 8-7 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u osnovnom scenariju za RS (dis. Faktor 2 %)



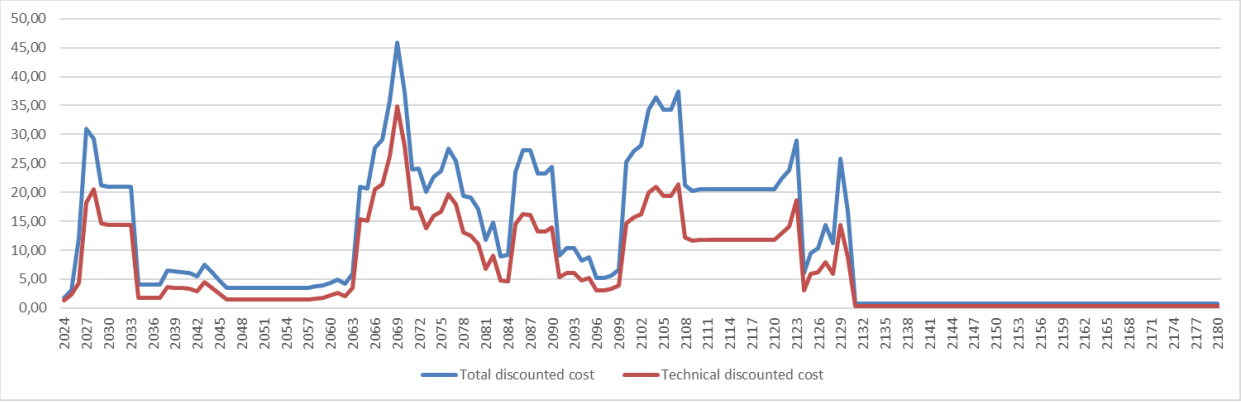
Slika 8-8 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u dodatnom scenariju B za RS (disk. Faktor 2 %)

Tablica 8-18 Izračun diskontiranog troška za različite faktore diskontiranja za RH

Diskontna stopa	Ukupni diskontirani trošak Osnovni scenarij /mil. EUR	Ukupni diskontirani trošak Dodatni scenarij B /mil. EUR
2%	**1.539,24**	**1.751,30**
3%	1.003,32	990,22
4%	699,08	617,08
5%	511,96	421,45



Slika 8-9 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u osnovnom scenariju za RH (dis. faktor 2 %)



Slika 8-10 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u dodatnom scenariju B za RH (dis. faktor 2 %)

8.2.4 Usporedba rezultata obračuna troškova PO-a Rev.4 i PR-a Rev.4 s DDP-om Rev.3

Ovo poglavlje predstavlja usporedbu procjena troškova između Treće i Četvrte revizije programa razgradnje i odlaganja.

Troškovne razlike proizlaze iz nekoliko čimbenika, od kojih je najznačajniji porast opće stope inflacije u zemljama EU-a, uključujući Sloveniju i Hrvatsku. Ukupna inflacija između dvije revizije (lipanj 2018. - lipanj 2023.) iznosila je 21,6 % za slovensko gospodarstvo i 23,6 % za hrvatsko gospodarstvo. Izvori za te stope su web stranice *Statističnog urada Republike Slovenije* i *Zavoda za statistiku Republike Hrvatske*. Iako čimbenici ukupne inflacije ne predstavljaju stvarni porast cijena unutar

građevinskog i uslužnog sektora relevantnog za programe razgradnje i odlaganja, oni daju opću indikaciju da su cijene značajno porasle tijekom ovog razdoblja. Povećanja cijena u relevantnim sektorima su veća, što je uračunato u procjene ove revizije.

Na povećanje ukupnih troškova utjecala je i preciznija procjena troškova odlaganja ING-a i VRAO-a, korištenjem "*bottom app*" metodologije i EURAD strukture razrade rada (engl*.: Work Breakdown Structure,* WBS) za procjenu pojedinih komponenti ili elemenata troškova. Treba napomenuti da troškovi u Četvrtoj reviziji uključuju i troškove provedbe RD&D Programa za zajedničko odlaganje ING-a i VRAO-a u dubokom geološkom odlagalištu u RH odnosno RS, koji je prvi put izrađen u skladu s obvezama koje su obje zemlje preuzele iz Direktive o otpadu [6]. Konačno, trošak obrade LILW-a u inozemstvu, što je strategija za Hrvatsku, znatno je porastao od Treće revizije.

Tablica 8-19 Usporedba ukupnih nominalnih troškova u trećoj i četvrtoj reviziji

Milijuni EUR	3. Revizija	4. Revizija (BC)	Razlika
Razgradnja NE Krško	510,56	562,49	10,2%
Odlaganje ING-a (DGO u glini)*	1.136,88	1.741,56	53,2%
Zbrinjavanje NSRAO-a	472,54	756,13	60,0%
UKUPNO	**2.119,98**	**3.060,17**	**44,4%**

*Troškovi odlaganja ING-a u 4. reviziji uključuju troškove istraživanja i razvoja, u 3. reviziji taj trošak nije uključen

S obzirom na više procjene troškova u ovoj reviziji, neizbježno je da se prihod oba fonda mora povećati kako bi se osigurala sposobnost pokrivanja svih troškova razgradnje i odlaganja. Povećanje prihoda može biti u obliku povećanja anuiteta, povećanja prinosa ili kombinacije oba, ovisno o investicijskim politikama dotičnih fondova i sposobnosti vlasnika NE Krško da povećaju uplate.

Vlade su odgovorne za financiranje projekta, stoga će, ako budu potrebna dodatna sredstva nakon što uplate prestanu, biti potrebno da vlade interveniraju.

9 Zaključci i preporuke

9.1 Zaključci

9.1.1 Zbrinjavanje NSRAO-a

Na svojoj 13. sjednici [19], MDP (Ad 3.2) je zaključilo da zajedničko rješenje između Slovenije i Hrvatske u pogledu odlaganja NSRAO-a nije izvedivo. Sukladno ovoj odluci, svaka država treba zbrinuti polovicu otpada koji nastaje radom i razgradnjom NE Krško.

Četvrta revizija je originalno pretpostavila da će se NSRAO kondicionirati u odgovarajućem postrojenju na lokaciji NEK-a. Iznimke uključuju vrste i pakete otpada koji trebaju daljnju obradu u odgovarajućem postrojenju u inozemstvu. Međutim, zaključak NPP Krško, koji je ICC odobrio na 14. sastanku [49], bio je da se na lokaciji ne provodi kondicioniranje te su i Fond i ARAO morali pronaći druge opcije. To je dovelo do značajnih promjena u tehničkom pristupu i proračunu.

Plan podjele i preuzimanja NSRAO-a je revidiran i optimiziran s ciljem da bude realniji, praktičniji i logistički izvediviji u odnosu na generički prijedlog iz Treće revizije, ali skuplji zbog prethodno opisanog porasta budžeta. Plan je također u skladu s odlukama Međudržavnog povjerenstva sa 17. sjednice. Dogovoreni kriteriji podjele ispoštovani su u najvećoj mogućoj mjeri, uzimajući u obzir logistička i prostorna ograničenja u NE Krško, kao i ona koja nameću spremnici N2d i RCC.

Svaka će država gospodariti svojom polovicom NSRAO-a u skladu sa svojim nacionalnim programima zbrinjavanja RAO-a, uz konačno odlaganje NSRAO-a u nacionalnim odlagalištima koja se nalaze na njezinom teritoriju.

U skladu sa slovenskom politikom i strategijom, polovica NSRAO-a iz NE Krško, zajedno sa svim ostalim slovenskim NSRAO-om koji udovoljava kriterijima prihvatljivosti za odlaganje, bit će odložen u odlagalište NSRAO-a u Vrbini, koje je trenutno u izgradnji. Probni rad planira se u 2027. godini, a redoviti rad trebao bi početi 2028. godine.

U skladu s hrvatskom Strategijom i Nacionalnim programom, za polovicu NSRAO-a NE Krško izgradit će se dugoročno skladište u Centru za zbrinjavanje radioaktivnog otpada. Prema osnovnom scenariju, dugoročno skladište bi trebalo postati operativno do 2028. godine, s planovima za odlagalište do 2051. godine.

9.1.2 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a

Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a zajednički je projekt: ING će se skladištiti u suhom skladištu na lokaciji NE Krško te će se, sukladno važećoj strategiji, kasnije zbrinjavati u odlagalište ING-a bilo na području RS ili RH, ili po mogućnosti u neko regionalno ili multinacionalno odlagalište.

Suho skladište u funkciji je od ožujka 2023. godine i predstavlja značajno sigurnosno unapređenje. Premještanje prvih 592 istrošenih gorivnih elemenata u postrojenje dovršeno je u rujnu 2023. godine. Sljedeća kampanja premještanja dodatna 592 istrošena gorivna elementa planirana je za 2029. godinu, a završna kampanja predviđena je za 2048.- 2050. godinu kada će u suho skladište biti premještena preostalih do 1184 istrošenih gorivnih elemenata.

Obje zemlje zajednički će provoditi aktivnosti navedene u RD&D Programu, koji je prvi put razvijen u okviru Četvrte revizije.

Analizirana su dva glavna koncepta izravnog odlaganja ING-a za opcije BC i ELSC: odlaganje u formacije čvrstih stijena i odlaganje u formacije sedimentnih stijena (gline). Uz koncept rudničkog DGO-a, analizirana je i alternativna tehnologija odlaganja ING-a u duboke bušotine, sukladno preporukama iz Treće revizije Programa odlaganja NE Krško. Za procjenu troškova uzeto je u obzir odlaganje u glini, budući da su sedimentne geološke formacije pronađene i proučavane u obje zemlje, kako je prethodno objašnjeno u poglavljima 4.3.6 i 4.4.3.

9.1.3 Procjena troškova

Procjena troškova u Četvrtoj reviziji Programa odlaganja obuhvaća: izravne (nominalne tehničke) troškove provedbe pojedinih skupina aktivnosti razgradnje NE Krško i zbrinjavanja RAO-a i ING-a, troškove poticaja ili naknada lokalnoj zajednici, nepredviđene troškove i PDV.

Ukupni nominalni troškovi u ovoj reviziji (uključujući i razgradnju) iznose 3.060,17 mil. EUR, što je 44,4 % više od procjene u 3. reviziji. Glavni razlozi povećanja troškova su visoka inflacija, razrada RD&D aktivnosti i njihovih troškova, detaljnija analiza troškova za projekte odlaganja NSRAO-a i ING-a u RS i RH te povećanje troškova obrade i kondicioniranja NSRAO-a u inozemstvu. Tijekom pripreme ove revizije identificirane su mogućnosti značajnog smanjenja troškova i primijenjene na početnu procjenu troškova.

S obzirom na povećanje ukupnih troškova, obje strane moraju razmotriti veće doprinose svojim fondovima kroz kombinaciju povećanih anuiteta i viših očekivanih prinosa fondova.

9.2 Preporuke

Ovo poglavlje predstavlja i raspravlja o preporukama i izazovima temeljenim na rezultatima Četvrte revizije, pratećim studijama, najnovijim iskustvima u provedbi projekata za skladištenje i odlaganje NSRAO-a i korištenju međunarodne prakse za osiguranje geološkog odlaganja VRAO-a i ING-a, kao i "Izvješće o završetku misije za Stručnu misiju o Nacrtu četvrte revizije Programa odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško" [90].

9.2.1 Zbrinjavanje NSRAO-a

Za zbrinjavanje inventara NSRAO-a dostupna je značajna količina podataka i iskustvo. Međutim, potrebne su dodatne aktivnosti kako bi se podržao daljnji razvoj i osigurala usklađenost s WAC-evima, kao i za reviziju procjene sigurnosti za odlagalište Vrbina i skladište Čerkezovac.

Optimizirani plan podjele i preuzimanja NSRAO-a pretpostavlja da će D6 paketi biti prebačeni u zgradu za dekontaminaciju i kasnije preuzeti od strane Fonda. Prebacivanje D6 započelo je u drugoj polovici 2024. godine i time će se osloboditi dodatni skladišni prostor u internoj skladišnoj zgradi (SRSF) NE Krško.

Postupci odabira lokacije i licenciranja u obje zemlje dugi su i izazovni procesi. I ARAO i Fond, sukladno odluci MDP-a [18], moraju provesti sve potrebne radnje kako bi osigurali funkcioniranje odlagališta Vrbine i Centra te osigurali potrebne preduvjete za uspješan početak preuzimanja NSRAO-a 2028. godine.

Kao budući operater odlagališta NSRAO Vrbina, ARAO mora pomno pratiti njegovu izgradnju i montažu opreme. Paralelno se mora pripremiti sva potrebna dokumentacija za početak probnog (2027.) i redovnog rada (2028.) odlagališta. Izvješće o sigurnosnoj analizi i WAC moraju se pregledati i ažurirati, a prema potrebi treba izvršiti karakterizaciju NSRAO-a. Svi operativni postupci moraju biti dobro planirani i dokumentirani. Posebnu pozornost treba posvetiti daljnjem jačanju i zapošljavanju ljudskih resursa, osnaženju njihovih sposobnosti i kompetencija te u skladu s tim osigurati obuku.

Za dobivanje svih potrebnih dozvola za Centar (ustrojstvena jedinica Fonda), Fond treba nastaviti s izradom projektne dokumentacije, procjene sigurnosti i sigurnosne studije te provesti procjenu utjecaja na okoliš za licenciranje Centra. Nadalje, potrebno je revidirati preliminarne WAC-eve i specifikacije pakiranja na temelju dodatne karakterizacije NSRAO-a, predloženih tehnoloških rješenja i rezultata procjena sigurnosti. Za siguran rad Centra moraju biti razvijeni i dokumentirani svi procesi, postupci i upute. Kako bi razvijao i održavao kompetentnost osoblja, Fond treba uspostaviti i provoditi godišnji plan obrazovanja i osposobljavanja u skladu sa zahtjevima propisanim regulativom i najboljom praksom.

Temelj branjive podjele je točan inventar otpada. Preporučuju se daljnji napori za poboljšanje pouzdanosti i točnosti inventara, posebno za pakete kojima će se rukovati u prvoj fazi preuzimanja.

Bit će potreban kvalificirani tim stručnjaka kako bi se osiguralo da je otpad ispravno karakteriziran i u skladu s primjenjivim WAC-evima, kao i za provjeru paketa otpada prije pakiranja i cementiranja u RCC-e i preuzimanja.

Moglo bi biti korisno dodatno istražiti skladištenje malih količina dugoživućeg srednje radioaktivnog otpada (SRAO) zajedno s VRAO-om iz razgradnje, budući da bi moglo biti teško ispuniti WAC-eve za planirana postrojenja za te male količine dugoživućeg SRAO-a.

U NE Krško će se razviti i licencirati postupci za konačno pakiranje za transport te skladištenje ili odlaganje NSRAO-a u obje zemlje. NE Krško je već nabavila dio opreme za rukovanje i transport paketa RAO-a i spremnicima za skladištenje/odlaganje. Može biti potrebno uvesti dodatnu opremu, zajedno s praktičnim i optimiziranim rješenjima, kao i logističkim promjenama ili dopunama, ako će biti potrebno i dogovoreno između Fonda, ARAO-a i NE Krško.

9.2.2 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a

NEK će provesti izmještanje 592 gorivna elementa u 2029. godini te osigurati da kapacitet bazena ING-a i SFDS-a bude dovoljan za rad elektrane do kraja životnog vijeka (očekivano 2043. godine).

Predlaže se da se u sljedećoj reviziji Programa odlaganja izradi revidirani cjeloviti Program odlaganja ING-a kao samostalni Program. Ovaj bi program trebao sadržavati sve potrebne dijelove, kao što je "RD&D program" razvijen do konačne faze odabira lokacije, detaljan program uključivanja dionika od početnog odabira lokacije do zatvaranja DGO-a, detaljniji prijedlog koncepta odlaganja DGO-a s analizom preferiranih lokacija(e) i planom razvoja, te s potpunom procjenom troškova. Ove bi aktivnosti trebao koordinirati jedan projektni tim. U odgovarajuće vrijeme u kasnijim fazama odabira lokacije, mogla bi se planirati uspostava jedinstvene organizacije.

Budući da je ovo prvi RD&D Program koji je razvijen, trebat će ga prilagoditi u skladu sa promjenama vremenskog okvira, troškova, pristupa, tehnologija, detaljnih aktivnosti, konačnoj potvrdi lokacije itd. Ukoliko RD&D Program i Program odlaganja ING-a ostanu zajednički i za RH i za RS, preporučuje

se pokretanje međudržavnih rasprava za usklađivanje regulatornih dokumenata obiju država. Dionici u obje zemlje trebali bi biti uključeni u razvoj kriterija za odabir lokacije i postupno upoznati s razradom dokumenta. Treba ih detaljno upoznati s kriterijima, uključujući razloge i načela koja stoje iza njihova odabira. Ovaj bi proces također trebao uključivati daljnji razvoj procesa odabira lokacije, s ranim testiranjem na generičkim ili hipotetskim podacima kako bi se potvrdila praktičnost i stručnjaci stekli potrebno iskustvo. Osim toga, tamo gdje je to prikladno i potrebno trebaju biti uključene posebne stručne organizacije (kao što su organizacije za tehničku podršku, organizacije za istraživanje i razvoj ili privatne tvrtke).

Načelo "pristupa temeljenog na dobrovoljnosti i pristanku" treba biti ugrađeno u budući regulatorni okvir, a ne samo u zaključcima i preporukama RD&D Programa. Vremenski okvir unutar kojeg se općine mogu dobrovoljno prijaviti (volontirati) ili povući iz Programa, kao i trenutak u kojoj povlačenje više nije dopušteno, moraju biti jasno definirani i usklađeni u relevantnim ugovorima ili sporazumima.

Geološka osnova za scenarije odlaganja, bilo u rudničkom DGO-u ili DBDF-u, pretpostavlja prisutnost kristaliničnih ili sedimentnih (glina) formacija u Sloveniji ili Hrvatskoj. Stoga, su na potencijalnim lokacijama potrebna i kabinetska i terenska istraživanja kako bi se poduprle ove pretpostavke, smanjile nesigurnosti i ublažili rizici troškova.

Dok sve mogućnosti odlaganja ING-a i VRAO-a trebaju ostati otvorene, u budućim procjenama posebnu pozornost treba posvetiti sedimentnim formacijama (npr. glina). Čini se da je odlaganje u tim formacijama ekonomski povoljnije, a prikladna područja postoje i u Sloveniji i u Hrvatskoj. Međutim, iako trenutne studije daju prednost glinovitim formacijama zbog njihove isplativosti treba nastaviti razvijati koncepte odlaganja i u čvrstim i u sedimentnim stijenama.

Morat će se provesti detaljnija usporedba koristi i rizika povezanih s različitim opcijama dubokog odlaganja kako bi se podržao budući odabir koncepta. Referentne scenarije za odlaganje VRAO-a i ING-a treba revidirati kako bi se ponovno procijenila tehnološka spremnost, uključilo međunarodno iskustvo u radu prvih DGO-ova i uskladilo to s nacionalnim politikama i strategijama. Planiranje koncepta odlaganja, zajedno s izgradnjom i radom DGO-a na više područja treba doraditi uključivanjem više detalja u RD&D Program do konačne potvrde lokacije i dalje. To uključuje ažuriranje podataka o inventaru VRAO-a i ING-a, preciziranje procjene sigurnosti i sigurnosne studije te procjenu utjecaja razvoja tehnologije i spremnosti. Svi ovi čimbenici moraju se razmotriti i analizirati kako bi se omogućila buduća usporedba između koncepata odlaganja, bilo u DGO-u, DBDF-u bilo u multinacionalno odlagalište.

9.2.3 Procjena troškova

Zbog povećanja procjene troškova u ovoj reviziji u odnosu na prethodnu, obje bi strane trebale razmotriti reviziju ulaznih uplata i godišnjih prinosa kako bi se osiguralo dovoljno pokriće troškova razgradnje i odlaganja.

Slovenskom Javnom Skladu NEK preporuča se cilj ostvarivanja očekivanog godišnjeg prinosa od najmanje 4,00 %, dok bi Gen Energija trebala nastaviti doprinositi približno istim iznosom kao i dosad, s anuitetima od 37,2 mil. EUR ili 12,3 EUR po MWh.

Preporuka je da hrvatski Fond usvoji očekivani godišnji prinos na razini od 4,50 %, dok bi HEP trebao povećati svoje anuitete uplata na 17,31 milijuna EUR.

Trebalo bi provesti daljnja istraživanja o odgovarajućim diskontnim stopama za financiranje dugoročnih projekata (onih koji se protežu na više od 30 godina u budućnost) kako bi se osiguralo da se primjenjuju odgovarajuće vrijednosti.

Potrebno je izračunati troškove šireg raspona scenarija dubokog odlaganja kako bi i ARAO i Fond jasno razumjeli cijeli spektar mogućih troškova. Budući da se opcija odlaganja ING-a u kristalinične stijene i dalje razmatra, procjene troškova za ovaj koncept treba zadržati i prezentirati donositeljima odluka. U svrhu usporedbe, može se pripremiti studija dodatnih troškova, uključujući mogućnost nacionalnih odlagališta.

Napredak u području odlaganja u dubokim bušotinama treba pomno pratiti kako bi se prikupili potrebni podaci za preciznije procjene troškova.

10 Kratice

Kratica	Opis	Description
A	Pepeo (produkti spaljivanja)	Ash (incineration products)
AB	Pomoćna zgrada (NEK)	Auxiliary Building
ACC	Superkompaktirani aktivni ugljen (otpresci)	Supercompacted charcoal (pellets)
ADR	Europski sporazum o međunarodnom cestovnom prijevozu opasnih tvari	European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
ALARA	Što je niže razumno moguće	As Low As Reasonably Achievable
AR	Uz reaktor; Područje za skladištenje ING-a na lokaciji reaktora	At-Reactor; SNF Storage area at the site of reactor
ARAO	Agencija za radioaktivni otpad	Agency for Radwaste Management, Slovenia (Slovenian: Agencija za radioaktivne odpadke)
BU ili MU	Ugovor između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Narodne novine – Međudržavni ugovori 9/2002; Sl. list RS 23/2003) (Bilateralni ugovor ili Međudržavni ugovor)	Engl: Agreement between the Government of the Republic of Slovenia and the Government of the Republic of Croatia on the Regulation of the Status and Other Legal Relations Regarding the Investment, Exploitation and Decommissioning of the Krško NPP (Bilateral or Intergovernmental Agreement) Slovenski: Pogodba med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v Nuklearno elektrarno Krško, njenim izkoriščanjem in razgradnjo (BRHNEK)
B.B.B	Osnovni scenarij DBD i DGO na istoj lokaciji	Base Case DBD + DGR scenario (one site) (DBD for SNF inventory and DGR pro HLW and LILW-LL inventory)
B.B.S	Osnovni scenarij DBD i DGO na zasebnim lokacijama	Base Case DBD + DGR scenario (separate sites) (DBD for SNF inventory and DGR pro HLW and LILW-LL inventory)
B.D.H	Osnovni scenarij DGO-a u čvrstoj stijeni	Base Case DGR in hard rock scenario
B.D.S	Osnovni scenarij DGO-a u sedimentnoj stijeni	Base Case DGR in sediment (argillaceous) formations scenario
B.M.S.H.	Osnovni scenarij zajedničkog MNR-a u čvrstoj stijeni	Base Case shared MNR in hard rock scenario
B.M.S.S.	Osnovni scenarij zajedničkog MNR-a u sedimentnoj stijeni	Base Case shared MNR in sediment (argillaceous) formations scenario
BC (BCS)	Osnovni scenarij	Base Case (Base Case Scenario)
BR	Osušene ispuhane smole iz sustava sekundarnog pročišćavanja	Dried blow-down resins from secondary purification system (IDDS product)
BSS	Osnovni sigurnosni standardi	Basic Safety Standards
Kampanja	Skup transfera SNF iz bazena iskorištenog goriva u DSB i pripadajuće aktivnosti.	A set of SNF transfer from spent fuel pit to the DSB and corresponding activities.
Centar	Centar za zbrinjavanje RAO, CZRAO	Radioactive Waste Management Centre - RWM Centre
CF	Filtarski ulošci u cementnoj matrici	Filter cartridges in cemented matrix
CLA	Područje za utovar spremnika	Cask Loading Area; area in FHB near the spent fuel pool, where loading of MPC in HI-TRAC takes place

Kratica	Opis	Description
CLC	Naknada lokalnoj zajednici (poticaji)	Compensation to the local community (incentives) - CLC
CPW	Kompresibilni (stlačivi) otpad	Compressible Waste
CS	Ugljični čelik	carbon steel
CTF	Objekt za prijenos spremnika unutar zgrade suhog skladišta	Cask Transfer Facility within Dry Storage Building
CW	Kompaktirani (prešani) otpad	Compacted waste (transitional waste form - can be supercompacted)
CWC	Superkompaktirani otpad (otpresci)	Supercompacted compressible waste (pellets)
CZRAO	Centar za zbrinjavanje RAO, Centar	Radioactive Waste Management Centre - RWM Centre
D&D	Dekontaminacija i razgradnja	Decontamination and Decommissioning
DB	Zgrada za dekontaminaciju	Decontamination Building
DBD	Odlaganje u duboke bušotine	Deep Borehole Disposal
DBDF	Duboko bušotinsko odlagalište	Deep Borehole Disposal Facility
DC	Isušeni koncentrati evaporatora (IDDS produkti)	Dried concentrates (IDDS* product)
DDP	Program razgradnje NE Krško i odlaganja NSRAO-a i ING-a	Program of NPP Krško Decommissioning and SNF & Low and Intermediate Level Waste Disposal / The Krško NPP Decommissioning and SNF & LILW Disposal Program
DGO	Duboko geološko odlagalište	Deep Geological Repository (DGR)
DS	Isušeni rezervoarski talozi (IDDS produkt)	Dried sludges (IDDS product)
DSB	Zgrada suhog skladišta (ING-a)	Dry Storage Building
E.D.H	Dodatni scenarij s DGO-om u čvrstoj stijeni	ELSC DGR in hard rock scenario
E.D.S	Dodatni scenarij s DGO-om u sedimentnoj stijeni	ELSC DGR in sediment (argillaceous) formations scenario
EB	Evaporirani koncentrati solidificirani u vermikulitno-cementnoj matrici	Evaporator bottom solidified in vermiculite-cemented matrix
EBC	Superkompaktirani evaporirani koncentrati (otpresci)	Supercompacted evaporator bottom (pellets)
EBS	Inženjerski sustav barijera	Engineered Barrier System
EC	Koncentrat evaporatora i rezervoarski talozi	Evaporator Concentrates and Tank Sludges
ECB	Europska Centralna Banka	European Central Bank
EDF	Francuska državna elektroenergetska kompanija	Electricite de France
ELSC	Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom (SC)	Extended Lifetime Sensitivity Case
EPD	Najranije moguće odlaganje	Earliest Possible Disposal
EU	Europska Unija	European Union
F	Istrošeni filtarski ulošci	Spent Filters
FA (SFA)	Gorivni elementi (elementi istrošenog goriva)	Fuel Assemblies (Spent Fuel Assemblies)
FHB	Zgrada za rukovanje gorivom	Fuel Handling Building
Fond	Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško	Fund for financing the decommissioning of the Krško Nuclear Power Plant and the disposal of NEK radioactive waste and spent nuclear fuel, Croatia - Fund
GIS	Geografski informacijski sustav	Geographic Information System
HEP	Hrvatska elektroprivreda	-

Kratica	Opis	Description
HF	Kompaktirani filtarski ostaci	Compacted filter debris
HI-STORM	Vrsta zaštitnog spremnika za skladištenje ING-a	Storage overpack that receives and contains the sealed MPC; provides gamma and neutron shielding, ventilation passages, missile protection, and protection against natural phenomena and accidents for the loaded MPC
HI-TRACK	Privremeni zaštitni spremnik koji se koristi za sigurno rukovanje, obradu i transport višenamjenskog spremnika (MPC-a) tijekom ključnih faza obrade ING-a	Transfer overpack used to house the MPC during fuel loading, drying, sealing and transfer from FHB to the DSB
HR	Hrvatska	Croatia – CRO, RC
I	Ingoti (produkti taljenja)	Ingots (melting product)
IAEA	Međunarodna agencija za atomsku energiju	International Atomic Energy Agency
IDDS	sustav sušenja u bačvi	In Drum Drying System
II	iskorišteni radioaktivni izvori	Disused Sealed Radioactive Sources (Disused Sources) - DSRS (DS)
ING	istrošeno nuklearno gorivo	Spent Nuclear Fuel - SNF
IRAO	Institucionalni radioaktivni otpad (otpad koji nije nastao u energetici)	Institutional Radioactive Waste - IRW
IRR	Interna stopa povrata	Internal Return Rate
IT	informacijska tehnologija	Information Technology
KBS-3V	Koncept vertikalnog odlaganja spremnika s kapsuliranim istrošenim nuklearnim gorivom u kristaliničnoj stijeni (višebarijerni koncept) razvijen od švedskog SKB-a	The concept of vertically disposing of canisters containing encapsulated spent nuclear fuel in crystalline rock (multi-barrier concept) developed by SKB, Sweden
KO	Koordinacijski odbor za provedbu projekta	Project Implementation Coordination Committee - ICC
MCDA	višekriterijska analiza odlučivanja	Multi-Criteria Decision Analysis
MCDS	višekriterijska potpora odlučivanju	Multi-Criteria Decision Support
MDP	Međudržavno povjerenstvo	Intergovernmental Commission - IC
MNR	multinacionalno odlagalište	Multinational Repository
MPC	Višenamjenski spremnik	Multi-Purpose Canister; sealed canister consisting of a fuel basket for spent nuclear fuel storage, containing in a cylindrical canister shell; confinement boundary for storage conditions
MPC FB	košara za gorivne elemente unutar MPC spremnika	MPC Fuel Basket; honeycombed neutron absorbing welded structure with square openings (in MPC) which can accept a fuel assembly
MU	Međudržavni ugovor (BU)	Intergovernmental Agreement - IGA
N2d	Slovenski licencirani spremnik za odlaganje NSRAO-a	Slovenian licenced container for disposing LILW
NAV	neto vrijednost imovine	Net Asset Value
NCW	Nekompresibilni otpad	Non-compressible waste
NE	Nuklearna elektrana	Nuclear Power Plant - NPP
NEK, NE Krško	Nuklearna elektrana Krško	Krško Nuclear Power Plant (Slovenian: Jedrska elektrarna Krško, JEK) - Krško NPP (KNPP, NPP Krško)

Kratica	Opis	Description
NFWC	Spremnik za otpad koji ne sadrži nuklearno gorivo	Non-Fuel Waste Canister
NSRAO	Nisko i srednje radioaktivni otpad	Low and Intermediate Level (Radioactive) Waste - LILW
NVO	Nevladina organizacija	Non-Governmental Organization - NGO
O	Kruti nekompresibilni (ostali) otpad	Solid non-compressible (other) waste (other waste can be intended for additional treatment or conditioning)
OC	Superkompaktirani O otpad	Supercompacted other compressible waste (pellets)
OPA	Formacija Opalinus gline	Opalinus Clay
PA/SA	Procjena izvedbe / Procjena sigurnosti	Performance Assessment / Safety Assessment
PDP Rev.7	Preliminarni dekomisijski plan za NE Krško	The Krško NPP Preliminary Decommissioning Plan, revision 7 (2024)
PDV	Porez na dodanu vrijednost	Value Added Tax - VAT
PO	Program odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog goriva iz NE Krško	The Krško NPP Radioactive Waste and Spent Fuel Disposal Program - DiP
PPP	Paritet kupovne moći	Purchasing Power Parity
PR	Program razgradnje NE Krško	The Krško NPP Decommissioning Program - DP
PR	Isušene primarne istrošene ionske smole	Dried primary resins (IDDS product)
PRO	Program razgradnje i odlaganja	Decommissioning and Disposal programme (DDP)
PSR3	Treća periodična sigurnosna provjera	Third Periodic Safety Review
PUO	Procjena utjecaja na okoliš	Environmental Impact Assessment - EIA
PZ	projektni zadatak	Terms of Reference - ToR
PWR	Tlakovodni reaktor	Pressurised Water Reactor
R&D	istraživanje i razvoj	Research and Development
RAO	radioaktivni otpad	radioactive waste - RW
RCC	Armirano betonski spremnik	Reinforced concrete container
RD&D Program	Program istraživanja, razvoja i demonstracije	Research, Development and Demonstration Program
ReNPRRO 23-32	Slovenska Rezolucija o Nacionalnom programu za upravljanje radioaktivnim otpadom i istrošenim nuklearnim gorivom 2023.-2032., SL RS, br. 31/16	Resolution on the National Programme for Managing Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel 2023-2032, Off. Gaz. of the RS, Nr. 31/16
RH	Republika Hrvatska	The Republic of Croatia - RC
RPV	Reaktorska posuda	Reactor Pressure Vessel
RRS 2009	Revidirani referentni scenarij 2009	Revised Reference Scenario 2009
RS	Republika Slovenija	the Republic of Slovenia
RS 2004	Referentni scenarij 2004	Reference Scenario 2004
RS 2018	Referentni scenarij 2018	Reference Scenario 2018
RU	Jedinica za izvlačenje goriva	Retrieval unit
SAR	Izvješće o sigurnosnoj analizi	Safety Analysis Reports
SC	Dodatni scenarij (ELSC)	Sensitivity Case (ELSC)
SF (F)	Istrošeni filtarski ulošci	Spent Filters
SFDS	Suho skladište istrošenog goriva u NE Krško	Spent fuel dry storage at Krško NPP
SFP	Bazen istrošenog goriva (mokro skladište istrošenog goriva)	Spent fuel pool (wet storage of spent fuel)

Kratica	Opis	Description
SG	parogeneratori	steam generators
SIR	Istrošene ionske izmjenjivačke smole	Spent Ion Exchange Resins
SKB	Švedska tvrtka za zbrinjavanje ING-a i RAO-a	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co
Sklad NEK	Fond za financiranje razgradnje NE Krško i odlaganje radioaktivnog otpada, Krško, Slovenija	Fund for Financing the Decommissioning of the Krško Nuclear Power Plant and the Disposal of Radioactive Waste from the Krško NPP, Krško, Slovenia
SLO	Slovenija	Slovenia (RS)
SR	Primarne istrošene ionske smole solidificirane u vermikulit-cementnoj matrici	Spent resins solidified in vermiculite-cemented matrix
SRAO	Srednje radioaktivni otpad	Intermediate Level (Radioactive) Waste - ILW
SRSF	Skladište krutog radioaktivnog otpada (interno skladište NSRAO-a na lokaciji NE Krško)	Solid Radwaste Storage Facility (Interim LILW storage at the Krško NPP site)
SS	Nehrđajući čelik	stainless steel
SW	Specifični otpad	Specific waste
tHM	Tone teškog metala	tonnes of heavy metal
TTC	Cjevasti spremnik	tube type container
URCF (URF)	Podzemni objekt za karakterizaciju stijena i inženjersku demonstraciju	Underground Rock Characterisation and Engineering Demonstration Facility (Underground Testing Facility)
URF, URL	Podzemni istraživački objekt, Podzemni istraživački laboratorij	Underground Research Facility, Underground Research Laboratory
URSJV	Uprava Republike Slovenije za nuklearnu sigurnost (Slovenski: Uprava Republike Slovenije za jadrsko varnost)	Slovenian Nuclear Safety Administration - SNSA
USAR	Ažurirani izvještaj o sigurnosnoj analizi	Updated Safety Analysis Report
VRAO	Visoko radioaktivni otpad	High Level (Radioactive) Waste (HLW)
WAC	Kriteriji prihvatljivosti otpada	waste acceptance criteria
WBS	Struktura razrade rada	Work Breakdown Structure
WMB	Zgrada za manipulaciju otpadom	Waste Manipulation Building
WP	Paket otpada	Waste Package
WPS	Specifikacije paketa otpada	Waste Package Specification

11 Popis tablica i slika

Popis tablica

Tablica 1-1 Inventar radioaktivnog otpada NE Krško - Osnovni scenarij (prestanak rada NEK-a 2043.) 5
Tablica 1-2 Sažetak predložene podjele i preuzimanja NSRAO-a [23] 7
Tablica 1-3 Ukupni nominalni trošak zbrinjavanja ING-a i RAO-a NE Krško po scenariju, s PDV-om 8
Tablica 3-1 Grupe i pripadajuće vrste operativnog otpada uskladišteni u privremenom skladištu NE Krško 19
Tablica 3-2 Spremnici otpada korišteni za skladištenje operativnog NSRAO 20
Tablica 3-3 Operativni NSRAO uskladišten u NE Krško do 31. prosinca 2023. [23] 20
Tablica 3-4 Projekcija inventara operativnog NSRAO-a, 2024.-2043. (osnovni scenarij, prema Poglavlju 2.5) 23
Tablica 3-5 Projekcija inventara operativnog NSRAO-a, 2024.-2063. (Dodatni scenarij, prema Poglavlju 2.5) 23
Tablica 3-6 Materijalna bilanca razgradnje NE Krško za Osnovni scenarij 0 25
Tablica 3-7 Materijalna bilanca razgradnje NE Krško za Osnovni scenarij 1 25
Tablica 3-8 Materijalna bilanca razgradnje NE Krško za Dodatne scenarije A & B 25
Tablica 3-9 Operativni radioaktivni otpad i dekomisijski radioaktivni otpad SFDS-a/RU-a [20, 24] 26
Tablica 3-10 Dekomisijski VRAO-a /SRAO-a NE Krško [24, 27] 26
Tablica 3-11 Projekcija ukupnih količina radioaktivnog otpada iz NE Krško (za rad NE Krško do 2043. godine) 27
Tablica 3-12 Projekcija ukupnih količina radioaktivnog otpada iz NE Krško (za rad NE Krško do 2063. godine) 27
Tablica 3-13 Postrojenje za pakiranje i DGR – operativni i dekomisijski radioaktivni otpad [27] 28
Tablica 3-14 Inventar istrošenoga nuklearnog goriva u bazenu i suhom skladištu za ING u prosincu 2023. godine 29
Tablica 3-15 Inventar istrošenoga nuklearnog goriva NE Krško 29
Tablica 4-1 Trenutni i očekivani inventar ING-a NE Krško za osnovni scenarij (BC) i dodatne scenarije (SC A&B) 35
Tablica 4-2 Ukupni troškovi skladištenja ING-a i VRAO-a 40
Tablica 4-3 1. skupina kriterija: Geološki kriteriji: procesi, svojstva i hazardi. 41
Tablica 4-4 2. skupina kriterija: Iskorištavanje prirodnih resursa i mogući antropogeni utjecaji. 43
Tablica 4-5 3. skupina kriterija: Ekološki i društveni kriteriji. 43
Tablica 4-6 Predloženi vremenski plan osnovnog scenarija 49
Tablica 4-7 Sažeta tablica odvojenih troškova u EUR za pojedinačne nadležne organizacije za pripremnu fazu projekta (2025. – 2032.) za osnovni scenarij 59
Tablica 4-8 Tablica troškova u EUR za program odabira lokacije prema osnovnom scenariju uključujući zajedničke troškove za RH i RS za pripremnu fazu (2025. – 2032.) i sve ostale troškove do faze predodabira dviju predloženih lokacija. 59
Tablica 4-9 Sažeta tablica troškova u EUR za pojedinačne odgovorne organizacije za pripremnu fazu projekta (2025. – 2062.) za Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom. 61
Tablica 4-10 Ukupni troškovi u EUR za Dodatni scenarij s produljenim životnim vijekom, uključujući zajedničke troškove za pripremnu fazu (2025. – 2032.) i sve ostale troškove do faze predodabira dviju predloženih lokacija. 61
Tablica 4-11 Usporedba troškova u EUR za dva razmatrana scenarija bez troškova za pojedinačne odgovorne organizacije u "Pripremnoj fazi". 63
Tablica 4-12 Glavne aktivnosti i ključne točke scenarija s rudničkim DGR-om (prilagođeno iz [43]) 64
Tablica 4-13 Broj istrošenih gorivnih elemenata ING-a za svaki glavni scenarij s brojem spremnika potrebnih za odlaganje. 67

Tablica 4-14 Volumen iskopane stijene – Usporedba za Osnovni scenarij (BC) [27]. 72
Tablica 4-15 Vremenski čimbenici od posebne važnosti za procjenu troškova [41]. 73
Tablica 4-16 Ukupni troškovi za osnovni scenarij s naknadama i PDV-om (SLO i HR), B.D.H [27]. 77
Tablica 4-17 Ukupni troškovi s nepredviđenim troškovima i PDV-om za ELSC u čvrstoj stijeni (E.D.H) [27]. 78
Tablica 4-18 Ukupni troškovi s naknadama i PDV-om, osnovni scenarij za DGR u sedimentnoj stijeni (B.D.S) [27]. 79
Tablica 4-19 Ukupni troškovi s nepredviđenim troškovima i PDV-om za ELSC u sedimentnoj stijeni (E.D.S) [27]. 80
Tablica 4-20 Usporedba troškova za oba osnovna scenarija s najvećim razlikama u troškovima. 81
Tablica 4-21 Usporedba ukupnih troškova (bez PDV-a) u analiziranim scenarijima. 82
Tablica 5-1 Podjela konačnih paketa otpada (FWP) u spremnike T1, T2 i D6 [23] 88
Tablica 5-2 Podjela paketa otpada (WP) koji će nastati u razdoblju 2024.-2063. 96
Tablica 5-3 Inventar dekomisijskog NSRAO-a [20 i 22] 97
Tablica 5-4 Broj N2d i RCC spremnika za Osnovni scenarij 0 (BC 0) i Dodatne scenarije A i B (SC A&B) 97
Tablica 5-5 Broj N2d i RCC spremnika za Osnovni scenarij 1 (BC 1) 97
Tablica 5-6 Godišnji teoretski broj spremnika za osnovni scenarij 0 i 1 [20] 98
Tablica 5-7 Godišnji teoretski broj spremnika za dodatne scenarije A i B [20] 98
Tablica 6-1 Hrvatska pregledna matrica zbrinjavanja IRAO-a, DS-a, NSRAO-a i ING-a kako je predstavljena u 7. nacionalnom izvješću o provedbi obveza iz Zajedničke konvencije [], ažurirano 101
Tablica 6-2 Hrvatska polovica NSRAO-a iz NE Krško 102
Tablica 6-3 Osnovni tehnički podaci i svojstva RCC spremnika 104
Tablica 6-4 Vrste i paketi NSRAO-a koji ne zadovoljavaju WAC 105
6-Tablica 5 Vremenski raspored za glavne aktivnosti u fazi I: 2024. – 2035. godine 112
Tablica 6-6 Vremenski raspored za glavne aktivnosti u fazi II: od 2035. godine nadalje 112
Tablica 6-7 Troškovi po stavkama troškova za zbrinjavanje hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško 114
Tablica 6-8 Opis i kategorija rizika povezanih s troškovima zbrinjavanja NSRAO-a za optimalni scenarij 116
Tablica 6-9 Usporedba troškova po stavkama troškova za osnovni i dodatni scenarij za zbrinjavanje hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško 118
Tablica 7-1 Slovenska polovica NSRAO-a iz NE Krško 123
Tablica7-2 Procjena N2d spremnika za odlaganje NSRAO-a iz NE Krško u odlagalište Vrbina 124
Tablica7-3 N2d dimenzije i težine [73]. 129
Tablica7-4 Vremenski raspored za osnovni scenarij odlagališta s brojem spremnika za odlaganje po godinama [70]. 134
Tablica 7-5 Ukupni očekivani troškovi izgradnje odlagališta, opreme i radova na zatvaranju [70] 136
Tablica7-6 Ukupni troškovi ulaganja u odlagalište za BC s investicijskim udjelom Sklada NEK na temelju [65]. 138
Tablica 7-7 Ukupni troškovi ulaganja u odlagalište za ELSC s investicijskim udjelom Sklada NEK. 139
Tablica 7-8 Troškovi ARAO odlagališnih spremnika 140
Tablica 7-9 Ukupni operativni troškovi odlagališta za sav slovenski NSRAO i za 1/2 NSRAO-a iz NE Krško (financira Sklad NEK) - BC 142
Tablica 7-10 Ukupni BC i ELSC troškovi ulaganja i troškovi rada odlagališta s udjelom troškova financiranim iz Sklada NEK 144
Tablica 7-11 Analiza osjetljivosti za visinu investicijskih troškova [70]. 145
Tablica 7-12 Opcionalna analiza za visinu operativnih troškova [70]. 145
Tablica7-13 Prikaz najvažnijih rizika projekta odlagališta Vrbina za razdoblje izgradnje [70] 147
Tablica7-14 Prikaz najvažnijih rizika projekta odlagališta Vrbina za vrijeme rada [70]. 148
Tablica 8-1 Ukupni nominalni trošak zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško po scenariju, s PDV-om. 149

Tablica 8-2 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za osnovni scenarij 150
Tablica 8-3 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za dodatni scenarij A 150
Tablica8-4 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za dodatni scenarij B 151
Tablica 8-5 Ukupni trošak osnovnog scenarija za RS.....151
Tablica 8-6 Ukupni trošak osnovnog scenarija za RH.....151
Tablica 8-7 Ukupni trošak dodatnog scenarija B za RS.....152
Tablica 8-8 Ukupni trošak dodatnog scenarija B za RH.....152
Tablica 8-9 Ukupni troškovi osnovnog scenarija za RS (bez razgradnje NE Krško) 153
Tablica 8-10 Ukupni troškovi osnovnog scenarija za RH (bez razgradnje NE Krško).....154
Tablica 8-11 Ukupni troškovi dodatnog scenarija B za RS (bez razgradnje NE Krško) 154
Tablica 8-12 Ukupni troškovi dodatnog scenarija B za RH (bez razgradnje NE Krško).....155
Tablica 8-13 Izračun IRR-a za slovenski Javni Sklad NEK (BC i SC B).....158
Tablica 8-14 IRR za Javni sklad NEK naspram raznih anuiteta za GEN za oba scenarija 159
Tablica 8-15 Izračun godišnjih uplata HEP-a u Hrvatski fond (BC i SC B).....159
Tablica 8-16 Anuiteti za uplate HEP-a Hrvatskom fondu u odnosu na različite IRR za Fond za oba scenarija 160
Tablica 8-17 Izračun diskontiranog troška za različite faktore diskontiranja za RS 161
Tablica 8-18 Izračun diskontiranog troška za različite faktore diskontiranja za RH 162
Tablica 8-19 Usporedba ukupnih nominalnih troškova u trećoj i četvrtoj reviziji 163

Popis slika

Slika 3-1 Aktivnost pojedinih radionuklida u operativnom NSRAO-u (na dan mjerenja, te preračunati na 31. prosinca 2023. i na 31. prosinca 2027. godine).....22
Slika 4-1 Lokacija Suhog skladišta (DSB) unutar lokacije Nuklearne elektrane Krško [].....32
Slika 4-2 Suho skladište (DSB), izvor NEK.....32
Slika 4-3 Suho skladište, izvor NEK.....33
Slika 4-4 HI-STORM s MPC (MPC-37) sustavom za suho skladištenje [] 33
Slika 4-5 Višenamjenski spremnik za 37 PWR istrošenih gorivnih elemenata (MPC-37) u poprečnom presjeku (lijevo) i MPC-37 PWR košara za gorivo (37 skladišnih ćelija) u perspektivi (desno) [36] 34
Slika 4-6 Pojednostavljeni "Vremenski plan predloženog scenarija", s važnim ključnim točkama.....47
Slika 4-7 Dionici/zainteresirane strane.....56
Slika 4-8 Tri stupa komunikacijske strategije 56
Slika 4-9 Shematski prikaz korištene metodologije obračuna troškova [27]. 77
Slika 5-1 Raspodjela i broj paketa otpada u SRSF-u po tipu WP-a, SIR WP-a te broj paketa u WMB-u i DB-u 90
Slika 6-1 Model armiranobetonskog spremnika (RCC) 104
Slika 6-2 Vremenski okvir dugoročnog skladištenja.....106
Slika 6-3 Dugoročno skladište – tlocrt 107
Slika 6-4 Dugoročno skladište – pogled sprijeda 107
Slika 6-5 Vremenski raspored odlagališta za hrvatsku polovicu NSRAO-a NE Krško 108
Slika 6-6 Tehnologija odlaganja u jednoj jedinici odlagališta NSRAO-a – bočni prikaz 110
Slika 6-7 Vremenski raspored glavnih aktivnosti zbrinjavanja NSRAO-a 113
Slika 6-8 Godišnja raspodjela nominalnih troškova za hrvatsku polovicu NSRAO-a NE Krško 115
Slika 6-9 Usporedba troškova osnovnog scenarija i dodatnog scenarija.....118
Slika 6-10 Kategorije povećanja troškova za dodatni scenarij.....119
Slika 7-1 Shematski prikaz glavnih ključnih točaka Strategije 4 iz ReNPROIG23-32 [10]. 122

Slika 7-2 Prikaz prostornog smještaja pojedinih objekata odlagališta: 1 Administrativno-servisno postrojenje, 2 Tehnološko postrojenje, 3 Prostorija iznad silosa [73]. 127
Slika 7-3 Prostorni smještaj pojedinih odlagališnih objekata [73] 127
Slika 7-4 Prikaz poprečnog presjeka silosa tijekom rada [81] 128
Slika 7-5 3-D prikaz spremnika za odlaganje.....130
Slika 7-6 Dinamika ulaganja za osnovni scenarij u stalnim cijenama za siječanj 2024. s PDV-om [65] .138
Slika 8-1 Ukupna godišnja raspodjela troškova RS /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško) 153
Slika 8-2 Ukupna godišnja raspodjela troškova RH /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško) 154
Slika 8-3 Ukupna godišnja raspodjela troškova RS /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško) 155
Slika 8-4 Ukupna godišnja raspodjela troškova RH /mil. EUR (bez razgradnje NE Krško) 156
Slika 8-5 Grafikon IRR-a za Javni Sklad NEK u odnosu na različite anuitete za GEN.....158
Slika 8-6 Grafikon IRR-a za FOND u odnosu na različite anuitete za HEP 160
Slika 8-7 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u osnovnom scenariju za RS (dis. Faktor 2 %) .161
Slika 8-8 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u dodatnom scenariju B za RS (disk. Faktor 2 %) 161
Slika 8-9 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u osnovnom scenariju za RH (dis. faktor 2 %) .162
Slika 8-10 Vremenska raspodjela diskontiranih troškova u dodatnom scenariju B za RH (dis. faktor 2 %)162

12 Literatura

1 3570-6/2009/32, Produljenje dozvole, URSJV, dana 20. lipnja 2012.

2 Zapisnik 10. Sjednice MSP-a, od 10 srpnja 2010. godine, Krško

3 Okoljevarstveno soglasje, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana, Št.: 35428-4/2021-2550-96, 13. 01. 2023

4 Odločbo v upravni zadevi "Odobritev tretjega občasnega varnostnega pregleda (PSR3)", Ministarstvo za naravne vire in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost, st. 3570-13/2021/74, 4.12.2023.

5 Zakon o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Narodne novine – Međunarodni ugovori 9/2002; Službeni list RS 23/2003)

6 Direktiva Vijeća 2011/70/Euratom od 19. srpnja 2011. o uspostavi okvira Zajednice za odgovorno i sigurno gospodarenje istrošenim gorivom i radioaktivnim otpadom (engleski: *Council Directive 2011/70/Euratom of 19 July 2011 establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste (OJ L 199, 2.8.2011, p. 48–56)*)

7 Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva (NN br. 125/14)

8 Nacionalni program provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva - Program za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine (Odluka o donošenju, NN 100/18)

9 Izmjene i dopune Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva - Program za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine (Odluka o donošenju NN 156/22)

10 Rezolucija o Nacionalnom programu zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga goriva za razdoblje 2023.-2032. (Resolucija o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom za obdobje 2023–2032 (ReNPROIG23–32)), Službeni list RS 14/23

11 Program razgradnje NE Krško i odlaganja NSRAO i ING, ARAO, T-1123/03, Ljubljana, 2004, APO Ltd., Environmental Services, 25-04-1348/06, Zagreb, 2004. (DDP, rev 1)

12 Zapisnik 8. sjednice MDP-a, od 3. listopada 2008., Krško

13 Zapisnik 11. sjednice MDP-a, od 21. studenog 2017., Krško

14 Zapisnik 14. sjednice MDP-a, od 14. lipnja 2020., Zagreb

15 Third Revision of the Krško NPP Radioactive Waste and Spent Fuel Disposal Program (text version 1.3), ARAO-Agency for Radwaste Management, Ljubljana and Fund for financing the decommissioning of the Krško NPP, Zagreb, September 2019, (DP, rev 3)

16 Uredba o iznosu, roku i načinu uplate sredstava za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško (“Narodne novine”, br. 156/22)

17 Projektni zadatak (PZ) za Četvrtu reviziju Programa odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva NE Krško (engleski: *Terms of reference (ToR) for Fourth Revision of the Krško NPP Radioactive Waste and Spent Fuel Disposal Program (Krško NPP RW and SF Disposal Program*), Fond i ARAO, siječnja 2022

18 Zapisnik 17. sjednice MDP-a, datiran 2. listopada 2023, Krško

19 Zajednički zapisnik 13. sjednice Međudržavnog povjerenstva, koja je održana 30. rujna 2019. godine na Bledu - Odluka AD. 3.1.

20 Preliminary Decommissioning Plan for Krško NPP, Rev. 7, Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft, February 2024 (PDP Rev. 7)

21 NEK Baza podataka (NSRAO uskladišten do 31. prosinca 2023), Poročilo – Aktivnosti na 31.12.2024.

22 The Analysis of the Possible Division and Takeover of the Operational and Decommissioning RW from Krško NPP, Revision 1 (Enconet Ltd, January 2024)

23 "The Analysis of the Possible Division and Takeover of the Operational and Decommissioning RW from Krško NPP", Revision 2 (Enconet Ltd, October 2025)

24 4th Revision of the NPP Krsko Decommissioning Program (Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft, February 2024)

25 Technical Report on Radioactive Waste Management in Krško NPP "Gospodarenje z radioaktivnimi odpadki v NE Krško", NEK ESD-TR-03/97, Rev.12, NEK, 2025

26 Final Report of Sample Analysis of two Old Steam Generators at the Krško Nuclear Power Plant, ÚJV Řež, a.s., Řež, August 2024

27 Costing Study for Disposal of Spent Fuel and High-level Radioactive Wastes from the Krško Nuclear Power Plant, IBE, NAGRA, May 2024

28 Nuclear Power Plant Krško Updated Safety Analysis Report; Revision 30, Chapter 4 – Reactor, NEK, Krško, 2017

29 Annual Report 2022 on Radiation and Nuclear Safety in the Republic of Slovenia, SNSA, 2023

30 Stanje inventarja NSRAO in IG na presečni datum 31.12.2023 - Inventar goriva 2023., NEK, 29.01.2024.

31 Ionizing Radiation Protection and Nuclear Safety Act Off. Gaz. of the 76/17, 26/19, 172/21 and 18/23 – ZDU-1O.

32 3rd Revision of the NPP Krško Decommissioning Program, NIS, Ingenieurgesellschaft mbH, Document No.: 4520 / CA / F 010640 5 / 07, June 2019

33 Resolution on the National Programme for Managing Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel 2016-2025 (ReNPRRO16-25), Off. Gaz. of the RS, Nr. 31/16

34 Odločba URSJV št. 3570-9/2011/2, Odločba o izvedbi izrednega občasnega varnostnega pregleda Nuklearne elektrarne Krško, z dne 30. 5. 2011

35 Nuklearna elektrarna Krško, Suho skladišče izrabljenega goriva; Idejna Zasnova, NEKDSB-1V/01A, IBE, Ljubljana, 2018

36 Final Safety Analysis Report on the HI-STORM FW MPC Storage System'; Revi-sion 5, HI-2114830, Holtec International, Camden, 2017

37 Uredba o sevalnih dejavnostih (UV1). (Uradni list RS, št. 19/18)

38 Direktiva Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom (engleski: *Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom a, Official Journal of the EU, Volume 57, january 2014*.)

39 Decree on the Criteria for Determining the Compensation Rate due to the Restricted Use of Areas and Intervention Measures in Nuclear Facility Areas, Off. Gaz. RS 92/14, 46/15, 76/17 – ZVISJV-1 and 8/20.

40 RD&D Program for joint SF and HLW Disposal in Deep Geological Repository in RC or in RS (Croatian Geological Survey; Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb; Consensus d.o.o.; Slovenian National Building and Civil Engineering Institute; Geological Survey of Slovenia; Czech Geological Survey, June 2024)

41 Deep borehole disposal for spent fuel from the Krško NPP: Cost Study, Deep Isolation Limited, March 2024

42 Reference Scenario For Geological Disposal Facility In Hard Rock With Cost Estimation For Its Implementation, ARAO- NRVR---0X/02B, IBE, Ljubljana, veljača 2019.

43 Terms of Reference (ToR) for the Deep Geological Repository – Multinational Repository Study (DGR-MNR Project), ARAO and Fund, March 2023

44 Terms of Reference (ToR) for the Deep Borehole Disposal Study (DBD Project), ARAO and Fund, March 2023

45 Geological data and preliminary catalogue of argillaceous formations for deep geological disposal of radioactive waste, revision 1, ZAG, GeoZS, 2007

46 Perković, D., Matoš, B., Veinović, Ž.: Preliminarna analiza mogućnosti i regulatorne osnove po pitanju potencijalnih geoloških sredina za izgradnju dubokog geološkog odlagališta. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2021.

47 EURAD Deliverable 12.4, Guidance on Cost Assessment and Financing Schemes of Radioactive Waste Management Programmes, Work Package 12, 2022

48 AACEI, AACE International Recommended Practice 18R-97, Cost Estimate Classification System – As Applied in Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries, March 2016

49 Zapisnik da 14. sastanka KO, Gen energija Krško, 27. svibnja 2025.

50 Zapisnici sa sastanaka radne grupe NEK-ARAO-Fund održanih 16. travnja i 20. svibnja 2025. i e-mail NEK-a od 6. lipnja 2025. godine "Konkretni razlogi zakaj zalivanje odlagalinih zabojnikov s polnilno malto v NEK ni možno".

51 Smjernice Koordinacijskog odbora za nastavak aktivnosti na pripremi 4. revizije Proograma odlaganja RAO i ING NE Krško (E-mail “Nastavak aktivnosti u pripremi Četvrte revizije programa zbrinjavanja RAO i ING - aktivnosti NEK, ARAO i FONDA NEK”), KO, 22 srpnja 2025.

52 Praktični fazni koncept strategije podjele, pakiranja i preuzimanja (Izvješće Koordinacijskog odbora za Međudržavno povjerenstvo, prezentirano na 16 sastanku MDP-a, 4. travnja 2022.)

53 Technical Specification for Revision of the study "Analysis of the Possible Division and Takeover of the Operational and Decommissioning RW from Krško NPP", SP-ES 1418, Krško NPP, Revision 1, August 2025

54 Matjaž Gričar, e-mail message: Revizija študije delitve NSRAO: Kick-off-meeting (Zapisnik vhodnega sestanka (Kick-off meeting): Revision of the study „Analysis of potential division and takeover of operational and decommissioning RW from the Krško NPP“), September 12, 2022

55 Zapisnik 16. sjednice MDP-a, 4. travnja 2022, Rijeka

56 7th National Report on implementation of the obligations in accordance with Article 32 of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 2022

57 Ekoteh, Enconet: Razrada koncepta zbrinjavanja RAO u RH s novom procjenom troškova, 2019

58 Siempelkamp NIS: Service of study of best industry practice and necessary technology changes/upgrades needed at NEK’s RWSB and WMB for LILW package preparation and transport to Slovenian and

Croatian central disposal / long-term storage, rev 5 (Document No.: 4520 / CA / F 011042 4 / 05), November 2025.

59 Idejno rješenje - Izgradnja Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, I-06-1473-IR-R0_C, Ekonerg, listopad 2022. (Conceptual Solution – Internal Document)

60 Idejni projekt - Izgradnja Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, I-06-1473-SP, Ekonerg, Zagreb, ožujak, 2024. (Conceptual Design – Internal Document)

61 Feasibility study - Waste reconditioning and cementation, ORANO, August 2022

62 Feasibility study - Analysis of processing options for the Croatian half of the LILW from the Krško NPP, RWM Solutions, October 2022

63 Studija izvodljivosti, ST-FDK-389/20-DSK01-R0, Enconet Zagreb, Javys Bratislava i Ekonerg Zagreb, ožujak 2023. (Feasibility Study, Internal document)

64 Pravilnik o zbrinjavanju radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora (NN 18/22) (Ordinance on the radioactive waste and disuse sources management, Official gazette, NN No 18/22)

65 International Atomic Energy Agency, Near surface disposal facilities for radioactive waste, (IAEA safety standards series, ISSN 1020–525X ; no. SSG-29), Vienna, 2014

66 International Atomic Energy Agency, Disposal of radioactive waste (IAEA safety standards series, ISSN 1020–525X ; no. SSR-5), Vienna, 2011

67 Ekonerg, Osnove Terminskog mrežnog plana, 2017. godine

68 Enconet, Zbrinjavanje nisko i srednje radioaktivnog otpada iz NE Krško u Republici Hrvatskoj, 2016. godine.

69 Zakon o porezu na dodanu vrijednost (NN 73/13, 99/13, 148/13, 153/13, 143/14, 115/16, 106/18, 121/19, 138/20, 39/22, 113/22, 33/23, 114/23, 35/24)

70 Investicijski program, Rev. F, Odlagališče NSRAO, Vrbina, Krško, IBE d.d., januar 2024.

71 Sklep o potrditvi novelacije Investicijskega programa za odlagališče NSRAO Vrbina v občini Krško, revizija F, št. 35400-181/2023-2570 - 20, 22.3.2024, Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo

72 Sklep o potrditvi novelacije Investicijskega programa za odlagališče NSRAO Vrbina v občini Krško, revizija F, št. 35400-181/2023-2570 - 30, 10.5.2024, Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo

73 Safety report for the Vrbina LILW Repository, Krško, No NSRAO2-POR-038, ARAO, November 2021

74 Opinions of the SNSA on the construction of a low- and intermediate-level waste repository, No 3510-3/2019/162, January 2022(Uradni list RS, št. 60/06, 54/10 in 27/16)

75 Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ. (Uradni list RS, št. 60/06, 54/10 in 27/16)

76 Decree on the National Spatial Plan for a LILW Repository (Official Gazette of the Republic of Slovenia, Nr. 114/09 and 50/12)

77 Decision on environmental approval No. 35402-29/2017-169, Slovenian Environment Agency, 30 June 2021.

78 Supplementary decision on environmental approval, No. 35402-29/2017-172, Slovenian Environment Agency, 5 July 2021.

79 Odločba URSJV št. 3510-1/2021/13, 27. 1. 2022; na podlagi sklepa Vlade RS št. 35402-1/2021/3

80 Pogodba ARAO št. P040/2023, sklenjena med ARAO in vodilnim partnerjem izvajalskega konzorcija, družbo CGP, d.o.o. 30. 5. 2023.

81 Pogodba ARAO št. P034/2024 o izvedbi gradnje objektov odlagališča NSRAO Vrbina, Krško, sklenjena med ARAO in vodilnim partnerjem izvajalskega konzorcija, družbo Riko, d.o.o. 23. 4. 2024.

82 ARAO publication about our projects and radioactive waste management, https://arao.si/ogleeglu/ARAO-ANG-NET-1.pdf

83 Rules on Radiation and Nuclear Safety Factors, Off. Gaz. of the Republic of Slovenia, No. 74/16 and 76/17 – ZVISJV-1

84 Rules on the Safety Assurance of Radiation and Nuclear Facilities (Official Gazette RS, No. 27/24)

85 Zakon o Javnem skladu Republike Slovenije za financiranje razgradnje Nuklearne elektrarne Krško in odlaganja RAO in IG iz Nuklearne elektrarne Krško (ZSFR-1), Uradni list RS, št. 130/22

86 Costing methods and Funding Schemes for Radioactive Waste Disposal Pro-grammes, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.25, 2020

87 Zakon o davku od prometa zavarovalnih poslov (Uradni list RS, št, 96/05 – uradno prečiščeno besedilo in 90/14)

88 Revizija studije određivanja diskontne stope Fonda NEK a modelom novčanih tokova, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, travnja 2024. godine.

89 Poslovna politika Javnega sklada Republike Slovenije za financiranje razgradnje NEK in odlaganja radioaktivnih odpadkov in izrabljenega goriva iz NEK, Predlog št. 5., Sklad NEK, September 2023.

90 End of Mission Report for the Expert Mission to discuss the Draft Fourth revision of the Krško NPP RW and SF Disposal Program, IAEA, November 2024.

13 Prilozi

13.1 Vremenski okvir za podjelu i preuzimanje operativnog NSRAO proizvedenog do 31. prosinca, 2023 [58]

Time period	Organization	Transport package (number/container)	Week 1 (number of N2d/w)	Week 2 (number of IP2/w)	Week 3 (number of N2d/w)	Week 4 (number of IP2/w)	Phase
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
17.01 - 11.02.2028	Fond	D/H type -48 in IP2		4		4	Phase 1
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
14.02 - 10.03.2028	Fond	D/H type -48 in IP2		4		1	Phase 1
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
13.03 - 07.04.2028	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
10.04 - 05.05.2028	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
08.05 - 02.06.2028	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
05.06 - 30.06.2028	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
03.07 - 28.07.2028	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
31.07 - 25.08.2028	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
15.01 - 09.02.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 2
12.02 - 09.03.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 4
12.03 - 06.04.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 4
09.04 - 04.05.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 4
07.05 - 01.06.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 4
04.06 - 29.06.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 4
02.07 - 27.07.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - 4 in one N2d	10		10		Phase 4
30.07 - 24.08.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	TTC - DH type -12 in one N2d	10		10		Phase 4
27.08 - 21.09.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2		2		2	Phase 3
	ARAO	ingots	10		5		Phase 4
24.09 - 19.10.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
22.10 - 16.11.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
19.11 - 14.12.2029	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
28.01 - 22.02.2030	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
03.06 - 28.06.2030	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
01.07 - 26.07.2030	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
29.07 - 23.08.2030	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
26.08 - 20.09.2030	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2	2	2	Phase 3
	ARAO						
23.09 - 18.10.2030	Fond	TTC - 8 in one IP2	2	2		1	Phase 3
	ARAO						
21.10 - 15.11.2030	Fond	D/H type -48 or 27 in IP2	4		4		Phase 3
	ARAO						
18.11 - 22.11.2030	Fond	D/H type -48 or 27 in IP2, ingots	4				Phase 3

FUND FOR FINANCING
THE DECOMMISSIONING
OF THE KRŠKO NPP

Fond za financiranje razgradnje NEK
Ulica Vjekoslava Heinzela 70A, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

arao

ARAO- Agencija za radioaktivni odpad
Litostrojska cesta 58a, 1000 Ljubljana, Slovenija

Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK

veljača 2026.

ARAO – Agencija za radioaktivni otpad, Ljubljana
Fond za financiranje razgradnje NEK, Zagreb

Sažetak Četvrte revizije Programa razgradnje Nuklearne elektrane Krško (NEK) i Četvrte revizije Programa odlaganja radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenoga nuklearnog goriva (ING) NEK

Sadržaj

1 Uvod 3

2 Četvrta revizija Programa razgradnje NEK 4
2.1 Inventar dekomisijskog otpada 5
2.2 Pregled troškova razgradnje NEK 6
2.3 Zaključci i preporuke Programa razgradnje NEK 7

3 Četvrta revizija Programa odlaganja RAO-a i ING-a NEK 7
3.1 Inventar radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva NEK 8
3.1.1 Inventar radioaktivnog otpada NEK 8
3.1.2 Inventar istrošenoga nuklearnog goriva NEK 10
3.2 Zbrinjavanje istrošenog nuklearnog goriva i visokoradioaktivnog otpada NEK 10
3.2.1 Zbrinjavanje i skladištenje istrošenoga nuklearnog goriva prije odlaganja 10
3.2.2 Odlaganje ING i VRAO 11
3.2.2.1 RD&D Program 11
3.2.2.2 Duboko geološko odlaganje i scenariji odlaganja 13
3.3 Zbrinjavanje nisko i srednje radioaktivnog otpada NEK 16
3.3.1 Podjela i preuzimanje NSRAO-a 16
3.3.2 Zbrinjavanje NSRAO-a u Republici Hrvatskoj 18
3.3.3 Zbrinjavanje NSRAO-a u Republici Sloveniji 22
3.4 Pregled troškova zbrinjavanja RAO-a i ING-a NEK 28
3.5 Zaključci i preporuke Programa odlaganja RAO-a i ING-a NEK 29
3.5.1 Zaključci Programa odlaganja RAO-a i ING-a NEK 29
3.5.1.1 Zbrinjavanje NSRAO 29
3.5.1.2 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a 29
3.5.2 Preporuke Programa zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško 30
3.5.2.1 Zbrinjavanje NSRAO 30
3.5.2.2 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a 30
3.5.2.3 Procjena troškova 31

4 Ukupni troškovi Četvrte revizije 32
4.1 Ukupni troškovi za provedbu Četvrte revizije za Republiku Sloveniju 32
4.2 Ukupni troškovi za provedbu Četvrte revizije za Republiku Hrvatsku 33
4.3 Usporedba s troškova s prethodnom revizijom 33
4.4 Proračuni diskontiranih troškova 34

5 Popis kratica 35

6 Literatura 36

1 Uvod

Nuklearna elektrana Krško (dalje: NE Krško, NEK) smještena na lokaciji Vrbina u Sloveniji. Izgradnja elektrane započela je 1974. godine (dobavljač je bila tvrtka Westinghouse, SAD). 1981. godine stavljen je prvi gorivni element u reaktor i elektrana je sinkronizirana na elektroenergetsku mrežu. Komercijalni rad NEK je počeo 1983. godine. Elektrana je u vlasništvu slovenskih i hrvatskih državnih energetskih tvrtki (GEN energija d.o.o. i Hrvatska elektroprivreda d.d.) u omjeru 50% : 50%. Postrojenjem upravlja Nuklearna elektrana Krško d.o.o. Sav radioaktivni otpad (RAO) i istrošeno nuklearno gorivo (ING), nastali radom elektrane skladište se na lokaciji postrojenja. Radioaktivni otpad kondicionira se i pakira u čelične posude koje se skladište u internom skladištu čvrstog radioaktivnog otpada. Istrošeno nuklearno gorivo skladišti se u bazenu, a od 2023. godine i u suhom skladištu za ING na lokaciji elektrane.

Ugovorom između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško iz 2003. godine (Narodne novine - Međunarodni ugovori br. 9/02 i Službeni glasnik Republike Slovenije, Međunarodni ugovori, br. 5/03.; u daljnjem tekstu "Međudržavni ugovor") [1] regulirani su međusobni odnosi u vezi sa statusom NEK-a, iskorištavanjem, razgradnjom i zbrinjavanjem RAO-a i ING-a NEK. Sukladno Međudržavnom ugovoru obje su strane podjednako odgovorne za osiguranje svih materijalnih uvjeta, a za nadzor nuklearne i radiološke sigurnosti odgovorna je isključivo Republika Slovenija.

Ugovorne stranke suglasne su da će osigurati učinkovito zajedničko rješenje za razgradnju te za odlaganje RAO-a i ING-a, kako s gospodarskog stajališta tako i sa stajališta zaštite okoliša. Ugovorom je predviđeno da će se razgradnja i zbrinjavanje ING-a i RAO-a iz pogona i razgradnje provoditi u skladu s Programom razgradnje i Programom odlaganja koje odobrava Međudržavno povjerenstvo, a Program razgradnje također i upravni organ Republike Slovenije nadležan za nuklearnu sigurnost. Programe treba revidirati najmanje svakih pet godina [1].

Međuvladinim ugovorom također je propisano da će stranke tražiti rješenja sporazumno i financirati ih u jednakim udjelima. Ako ugovorne stranke ne postignu dogovor o zajedničkom rješenju odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva do kraja redovnog životnog vijeka, obvezuju se da će najkasnije dvije godine nakon tog roka završiti s preuzimanjem i odvoženjem RAO-a i ING-a s lokacije NEK i to svaka po polovicu. Daljnje preuzimanje i odvoženje odvijat će se sukladno Programu odlaganja i Programu razgradnje [1].

Uprava za nuklearnu sigurnost Republike Slovenije odobrila je, 2012. godine, produljenje rada NEK-a do 2043. godine, pod uvjetom uspješnog periodičnog pregleda sigurnosti 2023. i 2033. godine. Međudržavno povjerenstvo je 2015. godine na 10. sjednici prihvatilo odluku o produljenju rada NEK-a do 2043. godine [2].

Prema Međudržavnom ugovoru, izradu Programa razgradnje te Programa odlaganja RAO-a i ING-a – uključujući njihove revizije – provode stručne institucije u suradnji s NEK d.o.o. Četvrta revizija Programa razgradnje NE Krško (PR, rev. 4), koju je pripremio Simpelkamp NIS [3] i Programa odlaganja RAO-a i ING-a iz NE Krško (PO, rev. 4) [4], koju su pripremili ARAO i Fond za financiranje razgradnje NE Krško (u daljnjem tekstu: Fond), izrađene su u skladu s Projektnim zadacima [5, 6] usvojenim na 16. sjednici Međudržavnog povjerenstva, održanoj 4. travnja 2022. godine [7]. Na 15. sjednici, MDP je imenovalo Koordinacijski odbor za koordiniranje dogovora u vezi sa servisiranjem

preuzimanja nisko i srednje radioaktivnog otpada (NSRAO) iz NEK u razdoblju 2023. - 2025. godine od strane ARAO i Fonda te praćenje pripreme PR, rev.4 i PO, rev.4 (KO).

Četvrta revizija Programa razgradnje NE Krško [3] nadovezuje se na prethodnu, Treću reviziju, koja je razmatrala dva scenarija razgradnje temeljena na strategiji brzog rastavljanja i različitom trajanju rada suhog skladišta za istrošeno gorivo (SFDS). U skladu s rubnim uvjetima [5], u ovoj su reviziji scenariji dodatno razrađeni i prošireni – uvode se četiri scenarija (dva osnovna: BC 0, BC 1 i dva dodatna: SC A i SC B) koji se razlikuju prema trajanju rada SFDS-a te uzimaju u obzir i mogućnost produljenja rada NE Krško nakon 2043. godine

U Četvrtoj reviziji Programa odlaganja poseban je naglasak stavljen na podjelu nisko i srednje radioaktivnog otpada (NSRAO) i scenarije njegovog odvojenog zbrinjavanja, u skladu s rubnim uvjetima [6] i odlukom donesenom na 13. sjednici Međudržavnog povjerenstva (MDP) [8]. Za razliku od Treće revizije [9], koja je podjelu i preuzimanje temeljila na strogo definiranim teorijskim pretpostavkama, Četvrta revizija predlaže fazni pristup podjele za NSRAO nastao do kraja 2023. godine.

Također, u okviru Četvrte revizije po prvi put je izrađen Program istraživanja, razvoja i demonstracija (RD&D program) za zajedničko odlaganje istrošenog nuklearnog goriva (ING) i visoko radioaktivnog otpada (VRAO) u duboka geološka odlagališta u Republici Hrvatskoj ili Republici Sloveniji [10].

U sklopu programa zbrinjavanja ING-a razmatrana su dva osnovna koncepta izravnog odlaganja za osnovne (BC) i dodatne SC scenarije: duboko geološko odlaganje u čvrstim stijenama i u glinovitim sedimentima, kao i alternativni pristup - odlaganja u duboke bušotine u skladu s rubnim uvjetima [6].

2 Četvrta revizija Programa razgradnje NEK

U skladu s rubnim uvjetima [5], predviđena strategija razgradnje je „neposredno rastavljanje“, ali se pri tome uvažavaju potreba za korištenjem bazena za istrošeno gorivo (mokro skladište) 5 godina nakon obustave rada NE Krško, te rad suhog skladišta ING nakon prestanka rada elektrane. Prvi period razgradnje obuhvaća razgradnju svih sustava elektrane osim onih koji su neophodni za rad suhog skladišta ING-a. Po završetku radova na razgradnji elektrane, lokacija se proglašava tzv. *brownfield* lokacijom (industrijska namjena), jer će se na njoj još uvijek nalaziti suho skladište ING-a (SFDS) i sustavi potrebni za njegovo održavanje (koji uključuju i jedinicu za izvlačenje goriva koja će se izgraditi prije početka postupka razgradnje, RU). Druga faza razgradnje započinje nakon što SFDS i RU završe s radom. Po završetku rastavljanja i rušenja preostalih zgrada, lokacija postaje *greenfield* lokacija, neograničene namjene.

Četvrta revizija Programa razgradnje NE Krško [3] obuhvaća nekoliko scenarija razgradnje: dva osnovna scenarija, BC 0 i 1, te dva dodatna scenarija SC A i B (Tablica 2-1). Scenariji se razlikuju po datumu konačne obustave rada, jer se u oba dodatna scenarija predviđa produljenje operativnog razdoblja Nuklearne elektrane Krško za 20 godina, te operativnom razdoblju SFDS-a i RU-a. Prema osnovnim i dodatnom scenariju A, očekuje se da će SFDS i RU ostati u funkciji do 2103. godine, dok dodatni scenarij B predviđa produljenje njihova rada do 2123. U osnovnom scenariju 1 razmatra se mogućnost da se stari parogeneratori (SG) između 2026. i 2027. godine otpreme u Sjedinjene Američke Države, sukladno postojećoj ponudi. U osnovnom scenariju 0 te u dodatnim scenarijima, uklanjanje starih parogeneratora planira se kao dio pripremnih aktivnosti nakon trajnog gašenja postrojenja.

Tablica 2-1 Analizirani scenariji rada i razgradnje NE Krško i suhog skladišta ING-a na lokaciji NE Krško

Scenarij	NE Krško		Suho skladište ING-a (SFDS)	
	Operativni period	Razgradnja	Operativni period	Razgradnja
BC 0 - Osnovni scenarij	1983.-2043.	2043.-2058.	2023.-2103.	2103.-2107.
BC 1 - Osnovni scenarij s ranijom razgradnjom starih SG	1983.-2043.	2043.-2058. (2026.-2027.)	2023.-2103.	2103.-2107.
SC A - Dodatni scenarij A	1983.-2063.	2063.-2078.	2023.-2103.	2103.-2107.
SC B - Dodatni scenarij B	1983.-2063.	2063.-2078.	2023.-2123.	2123.-2127.

BC – osnovni scenarij (engleski: *base case*), SC – dodatni scenarij (engl. *sensitivity case*), SG – parogeneratori (engl. *steam generators*)

Također, svi scenariji ostavljaju otvorenu opciju da funkciju RU-a preuzme Zgrada za manipulaciju gorivom (FHB).

U Tablica 2-2 prikazan je pregled glavnih faza i operativnih razdoblja suhog SFDS-a za različite scenarije razgradnje.

Tablica 2-2 Glavne faze i operativna razdoblja za scenarije razgradnje [3]

Razdoblja konačne obustave i rada SFDS-a				
Faza	**Vremenski okvir**			
	Osnovni scenarij 0	**Osnovni scenarij 1**	**Dod. scenarij A**	**Dod. scenarij B**
Početak pripreme i licenciranja	2040.		2060.	
Konačna obustava rada NE Krško	2043.		2063.	
Početak prijenosa FA-a do SFDS-a	2048.		2068.	
Kraj prijenosa FA-a do SFDS-a	2050.		2070.	
Kraj rada SFDS-a	2103.			2123.

SFDS – suho skladište istrošenoga nuklearnog goriva *(engl. spent fuel dry storage*); FA – gorivni element *(engl. fuel assembly*)

Radioaktivni otpad iz razgradnje SFDS-a odložit će se u odlagalište visokoradioaktivnog otpada (VRAO), jer se postrojenja za odlaganje NSRAO neće ponovno otvarati, što znači da će se na kraju rada SFDS-a sav otpad koji nastane razgradnjom odlagati zajedno s VRAO-om, u skladu s rubnim uvjetima [6].

2.1 Inventar dekomisijskog otpada

U Tablica 2-3 prikazane su ukupne mase koje se uzimaju u obzir u PR, rev. 4. Podaci su revidirani i ažurirani, posebno kada je riječ o novoizgrađenim (suho skladište za istrošeno nuklearno gorivo, zgrada za manipuliranje otpadom i centar za operativnu podršku) i planiranim zgradama (RU).

Tablica 2-3 Fizički inventar NE Krško [11, 3]

Vrsta komponente	**Masa [t]**							**Ukupna masa [t]**		
	Kontrolirano područje		**Područje nadziranja**			**Područje unutar ograde**		**NE Krško**		
	BC 0 i 1	**SC A i B**	**BC 0**	**BC 1**	**SC A i B**	**BC 0 i 1**	**SC A i B**	**BC 0**	**BC 1**	**SC A i B**
Konstrukcija zgrade	147.527		160.130		173.310	128.289		435.946		449.126
Beton u zaštitnoj zgradi	7.000							7.000		
Biološki štit	1.600							1.600		
Uređaji	8.080		9.569	8.925	9.829	4.460		22.109	21.465	22.369
Ukupno	**164.207**		**169.699**	**169.055**	**183.139**	**132.749**		**466.654**	**466.010**	**480.094**

BC – osnovni scenarij *(engl. base case*), SC – dodatni scenarij *(sensitivity case*)

Pregledom radiološke procjene i pristupa zbrinjavanju otpada dobivene su količine ovisno o načinu zbrinjavanja koje su prikazane u Tablica 2-4 s obzirom na ažurirani inventar i sekundarne mase. Troškovi obrade i kondicioniranja otpada su obračunati u Programu odlaganja RAO-a i ING-a.

Tablica 2-4 Primarne i sekundarne mase otpada ovisno o načinu zbrinjavanja (obrade i odlaganja) [11,3]

Način zbrinjavanja	**Masa [t]**		
	Osnovni scenarij 0 (BC 0)	**Osnovni scenarij 1 (BC 1)**	**Dod. scenariji A i B (SC A i B)**
Odlaganje u odlagalište VRAO-a	140,0		
Odlaganje u odlagalište VRAO-a za NSRAO iz SFDS-a/RU-a	549,5		769,3
Odlaganje u odlagalište NSRAO-a	2682,1	2500,0	2682,1
Otpuštanje za odlaganje/recikliranje	19.121,2	18.414,5	19.121,2
Konvencionalni otpad za odlaganje/recikliranje	448.661,6		461.881,6
Ukupna masa za odlaganje (bez gorivnih elemenata)	**471.154,3**	**470.265,6**	**484.594,1**

SFDS – suho skladište istrošenog goriva, RU – jedinica za izvlačenje goriva

Nisko i srednje radioaktivni otpad pakira se u N2d kontejnere (50 % mase) i RCC kontejnere (50 % mase). Broj potrebnih pakiranja i posljedični volumeni za odlaganje prikazani su u Tablici 2-5.

Tablica 2-5 Predviđene količine dekomisijskog radioaktivnog otpada i potreban broj spremnika za odlaganje [11, 3]

Vrsta spremnika	**Zapakirana masa [t]**			**Broj pakiranja**			**Volumen odlagališta [m^3]**		
	BC 0	**BC 1**	**SC A i B**	**BC 0**	**BC 1**	**SC A i B**	**BC 0**	**BC 1**	**SC A i B**
Spremnik Holtec HI-SAFE		140			7			237	
Spremnik N2d	1341	1250	1341	176	165	176	2166	2025	2166
RCC	1341	1250	1341	549	519	549	2696	2551	2696
N2d za odlagalište VRAO*	275		385	28		39	341		478
RCC za odlagalište VRAO*	275		385	62		86	304		425
Ukupno	**3372**	**3190**	**3591**	**822**	**781**	**857**	**5744**	**5458**	**6002**

*Za otpad od razgradnje SFDS-a (po prestanku rada) koji će se odlagati zajedno s VRAO-om, tip spremnika trenutačno nije definiran.

2.2 Pregled troškova razgradnje NEK

Rezultati evaluacije i procjene troškova projekta razgradnje i demontaže NEK u smislu troškova rada i troškova aktivnosti razgradnje za osnovne scenarije (0 i 1) i dodatne scenarije (A i B) prikazani su u Tablica 2-6 (ukupni troškovi). Za oba scenarija računa se porez na dodanu vrijednost (PDV) u iznosu od 22% s izuzetkom troškova radne snage i naknada na koje se ne zaračunava PDV.

Tablica 2-6 Pregled troškova i radne snage po scenarijima [3]

NE Krško Scenarij razgradnje	**Troškovi bez slovenskog PDV-a [izraženi u milijunima eura]***	**Troškovi sa slovenskim PDV-om [izraženi u milijunima eura]***	**Radna snaga [Čovjek-godina]**
Osnovni scenarij 0	469,7	531,4	5524
Osnovni scenarij 1	505,5	576,5	5354
Dodatni scenarij A	443,6	503,3	5069
Dodatni scenarij B	463,9	524,3	5534

*Kompenzacija lokalnoj zajednici za rad SFDS nije uključena u tablicu. Procjenjuje se na 31,63 milijuna €.

2.3 Zaključci i preporuke Programa razgradnje NEK

Planiranje razgradnje NE Krško u potpunosti usklađeno s aktualnim međunarodnim standardima. Postavljeni su čvrsti temelji za buduću provedbu projekta, a izrađene podloge potvrđuju da ne postoje tehnički problemi koji bi u ovoj fazi predstavljali zapreku, niti se na temelju dostupnih podataka očekuju takvi problemi u budućnosti.

Preporuke Programa razgradnje [3]:

- Praćenje međunarodne prakse: Preporučuje se redovito praćenje svjetskih trendova i iskustava u području razgradnje nuklearnih postrojenja te njihova pravovremena primjena.
- Revizija programa: Program razgradnje treba povremeno ažurirati u skladu s novim saznanjima, tehnologijama i regulativama.
- Stručni kapaciteti i oprema: Potrebno je osigurati dostupnost kvalificiranog tehničkog osoblja i specijalizirane opreme za provedbu specifičnih zadataka tijekom razgradnje.
- Operativna spremnost: Plan razgradnje treba ostati fleksibilan i prilagodljiv kako bi se moglo pravodobno odgovoriti na eventualne tehničke izazove bez dodatnog financijskog opterećenja.

3 Četvrta revizija Programa odlaganja RAO-a i ING-a NEK

U Projektnom zadatku za izradu Četvrte revizije PO-a [6] definirani su općeniti ciljevi revizije:

a) revidirati postojeći Program odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško, temeljen na strategijama odlaganja i radu NE Krško do 2043. (osnovni scenarij) i mogućnosti dodatnog produljenja životnog vijeka NE Krško do 2063. (dodatni scenarij), količine RAO-a i ING-a, doze i troškove za razgradnju procijenjene u Četvrtoj reviziji Programa razgradnje NE Krško i razmatranjem svih novih okolnosti koje su se dogodile od posljednje revizije.

b) Na temelju tehničkog i tehnološkog okvira revizije PO-a, nedavnog razvoja i napretka nacionalnih projekata zbrinjavanja radioaktivnog otpada u Republici Sloveniji (RS) i Republici Hrvatskoj (RH) i uzimajući u obzir granične uvjete revizije, predložiti poboljšane scenarije zbrinjavanja RAO-a i ING-a.

c) Vodeći se razvijenim scenarijima iz točke b), troškove zbrinjavanja/odlaganja RAO-a i ING-a NE Krško treba procijeniti u eurima (€) za 2023. godinu (nominalni trošak). Nominalni trošak zbrinjavanja / odlaganja za svaku zemlju zajedno s polovicom izračunatih troškova Programa razgradnje NE Krško također treba diskontirati za dogovoreni raspon diskontiranih vrijednosti, zasebno za svaku zemlju. Izračune treba temeljiti na stanju raspoloživih sredstava u RS i RC na dogovoreni datum.

Projektnim zadatkom definirani su opći i financijski rubni (granični) uvjeti te posebni rubni uvjeti za zbrinjavanje RAO-a i ING-a [6]. Rubni uvjeti definiraju i scenarije za procjenu troškova u skladu sa scenarijima razgradnje iz PR, rev 4. Osnovni elementi scenarija obrazloženi su i prikazani u prethodnom poglavlju (Tablica 2-1).

Zajednička rješenja za zbrinjavanje i odlaganje RAO-a i ING-a ograničena su i određena nacionalnim strategijama zbrinjavanja RAO-a i ING-a u Hrvatskoj i Sloveniji te nacionalnim zakonodavstvom koje je u objema zemljama usklađeno s mjerodavnim direktivama EU-a. Hrvatska nacionalna Strategija za zbrinjavanje RAO-a, iskorištenih izvora i ING-a odobrena je u Hrvatskom saboru 2014. godine [12],

a Nacionalni program provedbe strategije za razdoblje do 2025. godine i pogledom do 2026. godine odobrila je Hrvatska vlada 2018. godine [13], a izmjene 2022. godine [14]. Slovenski Nacionalni program zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva za razdoblje 2023. – 2032. odobrio je Slovenski parlament 2023. godine [15].

Rad NE Krško je produžen do 2043. godine pod uvjetom uspješnog završetka periodičnog sigurnosnog pregleda 2033. godine. U Četvrtoj reviziji razmatra se i utjecaj mogućeg dodatnog produljenja rada NE Krško do 2063. godine pod uvjetom ishođenja potrebnih odobrenja i dozvola.

U ovoj reviziji nisu razmatrani mogući utjecaji izgradnje novog reaktora na lokaciji Krško na ukupne troškove.

Planirano je da se ING i VRAO koji nastaju razgradnjom zbrinjavaju zajedno, prvo u suhom skladištu ING-a na lokaciji NEK, a zatim se odlažu u zajedničko odlagalište. Na temelju postojećega Međudržavnog ugovora između Slovenije i Hrvatske i zaključaka sa 10. sjednice MDP-a [16], NEK može upravljati postrojenjem suhog skladišta ING-a na lokaciji elektrane do završetka rada elektrane (2043. godine), a daljnji rad suhog skladišta ING-a na toj lokaciji podliježe dodatnim pregovorima i mogućem novom ugovoru između slovenske i hrvatske vlade.

NSRAO koji nastaje radom i razgradnjom NE Krško zbrinjava se i odlaže zasebno. Obje strane dijele i preuzimaju NSRAO koji se zatim zbrinjava i odlaže u nacionalna skladišta / odlagališta. Izuzetak je radioaktivni otpad iz razgradnje suhog skladišta ING-a koji će nastati nakon obustave rada nacionalnih odlagališta NSRAO-a i odložit će se u zajedničko odlagalište ING-a/VRAO-a u skladu s rubnim uvjetima [6]. Podjela postojećega operativnog NSRAO-a u skladištu NE Krško te njegovo preuzimanje i uklanjanje s lokacije NE Krško započet će najkasnije početkom 2028. godine, u skladu s odlukama Međudržavnog povjerenstva sa 17. sjednice, održane 2. listopada 2023. godine u Krškom [17].

3.1 Inventar radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva NEK

3.1.1 Inventar radioaktivnog otpada NEK

S obzirom na različite izvore i karakteristike radioaktivnog otpada u NE Krško postoji 6 grupa operativnog niskog i srednjeg radioaktivnog otpada (NSRAO) s jednom ili više vrsta radioaktivnog otpada (Tablica 3-1), a pakirani su u osnovne spremnike (bačve) i natpakete.

Tablica 3-1 Grupe i pripadajuće vrste operativnog otpada uskladištenog u privremenom skladištu NEK-a [4]

Grupa otpada (*Waste stream*)		**Vrsta otpada (*Waste form*)**	
EC	Koncentrati iz isparivača i muljevi iz spremnika	**EB**	Čvrsti ostaci iz isparivača solidificirani u vermikulitno-cementnoj matrici
		EBC	Superkompaktirani ostaci iz isparivača (peleti)
		DC	Osušeni koncentrati (IDDS produkti)
		DS	Osušeni muljevi (IDDS produkti)
SIR	Istrošene ionske smole	**SR**	Istrošene smole učvršćene u vermikulitno-cementnoj matrici
		BR	Osušene smole iz otpusta pare iz sekundarnog sustava pročišćavanja (IDDS produkti)
		PR	Osušene primarne smole (IDDS produkti)
SF(F)	Potrošeni filteri	**CF**	Filterske patrone u cementnoj matrici
CPW	Stlačivi (kompresibilni) otpad	**CWC**	Superkompaktirani stlačivi otpad (peleti)
		OC	Superkompaktirani drugi stlačivi otpad (peleti)
		CW	Kompaktirani otpad (prijelazni oblik otpada – može se dodatno superkompaktirati)

Grupa otpada (*Waste stream*)		**Vrsta otpada (*Waste form*)**	
NCW	Ne stlačivi otpad	**A**	Pepeo (proizvod spaljivanja)
		I	Ingoti (proizvod taljenja)
		O	Ostali čvrsti nestlačivi otpad (ostali otpad može biti namijenjen dodatnoj obradi ili kondicioniranju)
		HF	Kompaktirani ostaci zračnih filtera
SW	Specijalni otpad	**ACC**	Superkompaktirani ugljen (peleti)

IDDS – *in drum drying system* (sustav sušenja otpada u bačvi)

NSRAO je pakiran u 200-litarske bačve (D1, D2, D3, D4, D5, D7, H1, H2 i H3), 320-litarske bačve (D6) te cjevaste spremnike (T1 i T2), pri čemu se D6, T1 i T2 koriste kao paketi ili natpaketi za otpreske i/ili 200-ltarske bačve. T1 je stariji tip cjevastog spremnika sa zavarenim poklopcem, a T2 noviji tip na kojemu je poklopac pričvršćen vijcima.

Ukupne količine uskladištenog inventara NSRAO-a i procijenjene buduće količine nastale radom, održavanjem i razgradnjom NE Krško kao i razgradnjom suhog skladišta istrošenoga goriva (SFDS) i Jedinice za izvlačenje goriva (RU) za osnovni (BC) i dodatne scenarije (SC A i B) prikazane su u nastavku. Tablica 3-2 daje i procjene količina VRAO-a koje će nastati razgradnjom NEK.

U slučaju dodatnog scenarija, predviđa se da će u razdoblju od 2044. do 2063. godine nastati dodatnih 598 m^3 operativnog NSRAO-a, dok se količine RAO-a iz razgradnje NEK neće povećavati. Međutim, produljenjem rada suhog skladišta ING-a, nastati će dodatnih 28 m^3 NSRAO-a (Tablica 3-2).

Tablica 3-2 Projekcija ukupnih količina radioaktivnog otpada NE Krško (rad NEK do 2043. i do 2063.) [4]

Tip radioaktivnog otpada (vrijeme generiranja otpada)	**Osnovni scenarij – rad NEK do 2043.**			**Dodatni scenariji – rad NEK do 2063.**		
	Volumen (m^3)**	**Masa (t)**	**Aktivnost (Bq)***	**Volumen (m^3)****	**Masa (t)**	**Aktivnost (Bq)***
Operativni NSRAO (1.1.1983. – 31.12.2023.)	2.438,06	4.938,29	8,28E+13	2.438,06	4.938,29	8,28E+13
Operativni NSRAO (2024.-2043./2024.-2063.)	597,98	922,65	2,07E+13	1.195,74	1.834,30	4.14E+13
Dekomisijski NSRAO (2044.-2058./2064.-2078.)	1.472,90	2.682,10	4,76E+12	1.472,9	2.682,10	4,76E+12
NSRAO iz razgradnje SFDS i RU (2104.-2107./2124.-2127.)	70,00	549,50	9,75E+11	98,0	769,30	1,37E+12
Ukupno NSRAO	**4.578,83**	**9.092,54**	**1,09E+14**	**5.176,70**	**10.015,19**	**1,30E+14**
Dekomisijski VRAO (2044.-2053./2064.-2078.)	17,7	140,0	2,46E+16	17,7	140,0	2,46E+16

*Aktivnost je na dan mjerenja (nije uzet u obzir radioaktivni raspad).

**Prikazan je volumen otpada, odnosno primarnih paketa otpada, a ne odlagališnih spremnika.

Osim prethodno navedenog, procjenjuje se da će tijekom rada odlagališta ING-a i VRAO-a nastati oko 2 - 4 m^3 NSRAO-a, a tijekom rada i razgradnje postrojenja za pakiranje ING-a 172 m^3 NSRAO-a (206 m^3 za dodatne scenarije), koje se kako je prethodno obrazloženo planira odložiti u odlagalište za ING/VRAO, obzirom da se očekuje da će nacionalna odlagališta NSRAO-a u to vrijeme već biti zatvorena.

3.1.2 Inventar istrošenoga nuklearnog goriva NEK

Krajem 2023. godine inventar ING-a čini ukupno 1.435 istrošenih gorivnih elemenata, od koji je 843 u mokrom skladištu (bazenu za ING) i 592 u suhom skladištu ING-a. Uz nastavak 18-mjesečnog ciklusa nuklearnog goriva do 2043. godine predviđa se ukupno 2.282 gorivnih elemenata koji sadrže 926,5 t teškog metala (tHM). U dodatnim se scenarijima očekuje dodatnih 900 gorivnih elemenata, odnosno ukupno 3.182 gorivnih elemenata do 2063. godine koji sadrže 1291,9 tHM.

U okviru Četvrte revizije nije razmatran scenarij prerade/recikliranja istrošenog goriva te nisu procijenjene moguće količine VRAO-a koje bi nastale preradom ING-a.

3.2 Zbrinjavanje istrošenog nuklearnog goriva i visokoradioaktivnog otpada NEK

Kako bi se postigao specifični cilj gospodarenja ING-om, mora se osigurati sigurno rukovanje, čuvanje i skladištenje ING-a u svim fazama njegovog postojanja. To treba biti praćeno odgovarajućim trajnim rješenjima odlaganja u prikladnom odlagalištu, koje predstavlja međunarodno priznat siguran završni korak za ING ili VRAO.

Gospodarenje ING-om i VRAO-om iz NE Krško provodi se kao zajednički projekt: ING će biti pohranjen u suhom skladištu na lokaciji NE Krško, a zatim će, u skladu s važećom strategijom, biti odložen u odlagalištu za ING-a na lokaciji negdje unutar teritorija Republike Slovenije ili Republike Hrvatske, ili, ako bude moguće, u regionalnom ili multinacionalnom odlagalištu.

3.2.1 Zbrinjavanje i skladištenje istrošenoga nuklearnog goriva prije odlaganja

Rad skladišta ING-a u NE Krško i vremenski okvir

NE Krško koristi i mokro i suho skladištenje ING-a. Mokro skladištenje odvija se u bazenu za istrošeno gorivo s kapacitetom od 1.709 mjesta za pohranu, od kojih je 1.512 dostupno za ING zbog operativnih ograničenja. Suho skladištenje, uvedeno od ožujka 2023. godine, koristi sustav za suho skladištenje Holtec International HI-STORM FW unutar suhog skladišnog objekta, sposobnog za pohranu 2.590 gorivnih elemenata u 70 HI-STORM spremnika, iako je za predviđenih 2.282 ING sklopova trenutno potrebno samo 62 spremnika (osnovni scenarij). Sustav suhog skladišta za ING povećava sigurnost zahvaljujući pasivnom sustavu hlađenja i smanjuje inventar u bazenu za istrošeno nuklearno gorivo.

Nadzor i praćenje HI-STORM sustava za suho skladištenje tijekom njegovog radnog vijeka uključuju rutinsku inspekciju vanjskih dijelova vanjskog zaštitnog spremnika te periodičnu vizualnu provjeru da su ventilacijski prolazi spremnika čisti i bez prepreka. Dodatno, HI-STORM FW sustav dizajniran je za jednostavno vađenje višenamjenskih spremnika (Multi-Purpose Canisters – MPC) iz vanjskog zaštitnog spremnika, što omogućuje detaljnije inspekcije i eventualne popravke spremnika po potrebi.

Premještanje ING-a u suho skladište započelo je 2023. godine s 592 gorivnih elemenata, uz planirane daljnje kampanje 2029. godine (592 gorivna elemenata) te 2048.–2050. godine (1.184 gorivna elementa) u osnovnom scenariju (BC). U dodatnom scenariju (SC) očekuje se dodatnih 900 elemenata u razdoblju 2068.–2070. Sustav suhog skladišta projektiran je za rad do 2103. godine (BC) ili 2123. godine (SC), nakon čega će ING i VRAO biti prebačeni u duboko geološko odlagalište (DGO). Bazen za istrošeno gorivo bit će ispražnjen i dekontaminiran nakon 2050. godine, a planirana je i alternativna lokacija za eventualno ponovno pakiranje spremnika.

Rastavljanje i razgradnja suhog skladišta za istrošeno gorivo, skladišnog objekta i RU-a u NE Krško provest će se nakon što sav ING i VRAO pohranjen u objektu bude prenesen za konačno odlaganje.

Aktivnosti rastavljanja i razgradnje neće započeti prije 2104. godine u osnovnom scenariju i u dodatnom scenariju A, odnosno prije 2124. godine u dodatnom scenariju B.

VRAO iz razgradnje NE Krško

Tijekom razgradnje NE Krško očekuje se nastanak približno 140 tona VRAO-a, zapakiranog u 7 Holtec HI-SAFE spremnika, s volumenom skladištenja od 237 m³ u suhom skladištu za istrošeno gorivo. Zajedno će se također zbrinuti i dodatni NSRAO i VRAO nastali tijekom rada i razgradnje suhog skladišta, u ukupnom volumenu od 650 m³ (BC) do 900 m³ (SC).

Troškovi skladištenja ING-a & VRAO-a

Troškove izgradnje i rada suhog skladišta za ING do 2043. godine (ili do 2063. za SC) pokrivaju operativni troškovi NE Krško. Troškovi tijekom redovnog rada suhog skladišta uključuju troškove potrošnog materijala, fizičke zaštite, električne energije i komunikacijskih priključaka. Ovi troškovi uključeni su u Četvrtu reviziju Programa razgradnje NE Krško i za sve analizirane scenarije iznose približno 0,5 milijuna EUR godišnje. Troškovi razgradnje u dodatnim scenarijima uzimaju u obzir prošireno suho skladište i dodatne spremnike za privremeno skladištenje ING-a.

Naknada isplaćena lokalnim zajednicama provodi se u skladu sa slovenskim zakonodavstvom za skladištenje ING-a u suhom skladištu. Troškovi nakon prestanka rada, uključujući transport goriva, rad suhog skladišta i razgradnju, procjenjuju se na 135,27 milijuna EUR za osnovni scenarij (BC), 117,57 milijuna EUR za dodatni scenarij A (SC A), i 140,85 milijuna EUR za dodatni scenarij B (SC B), uključujući naknade lokalnim zajednicama prema slovenskom zakonodavstvu.

Tablica 3-3 Ukupni troškovi za skladištenje ING-a & VRAO-a

VRAO&ING troškovi skladištenja Mil. EUR	**Nominalni troškovi**	**PDV**	**Troškovi naknade** 2059 (2079) - 2107 (2127)	**Ukupno**
Osnovni scenarij 0	89.1	15.1	31.07	**135.27**
Dodatni scenarij A	73.0	13.5	31.07	**117.57**
Dodatni scenarij B	83.3	13.8	43.75	**140.85**

3.2.2 Odlaganje ING i VRAO

Obje će države zajednički provoditi aktivnosti planirane programom istraživanja, razvoja i demonstracije (RD&D Program), koji je po prvi puta pripremljen u sklopu Četvrte revizije.

Analizirana su dva glavna koncepta odlaganja ING-a za osnovni i dodatne scenarije: odlaganje u duboko geološko odlagalište (DGO) u čvrstoj stijeni i DGO u sedimentnim formacijama (glini). Osim dubokog geološkog odlagališta, analizirani su i alternativni koncepti odlaganja u duboke bušotine s skladu s preporukama iz Treće revizije Programa odlaganja.

3.2.2.1 RD&D Program

Zajednički RD&D program ima za cilj razvoj dubokog geološkog odlagališta za odlaganje ING-a i VRAO-a, u skladu s Direktivom Vijeća 2011/70/Euratom. Program obuhvaća pregled dosadašnjih istraživanja, razvoj kriterija za odabir lokacije, prijedlog tehnologija te procjenu troškova. Ključne preporuke uključuju uspostavu jedinstvene provedbene organizacije u određenoj fazi, rano započinjanje uključivanja dionika te primjenu mrežno utemeljenog geografskog informacijskog sustava (GIS) za potrebe odabira lokacije i upravljanja podacima.

Odabir lokacije provodi se kroz šest koraka: početni pregled državnog teritorija, sužavanje na podregije, preliminarno vrednovanje područja, odabir potencijalnih lokacija, izbor lokacija kandidata (po jedna u Hrvatskoj i Sloveniji) te konačni odabir lokacije. Kriteriji su grupirani u geološke (npr. geodinamičke promjene, hidrogeološka obilježja), kriterije povezane s eksploatacijom resursa te okolišne i društvene čimbenike (npr. gustoća naseljenosti, zaštićena područja). Kriteriji, izvedeni iz smjernica IAEA-e i nacionalnih propisa, podijeljeni su na isključujuće i usporedne, uz planirano daljnje unaprjeđivanje.

Komunikacijska potpora i uključivanje dionika

RD&D program naglašava potrebu za snažnom strategijom uključivanja dionika kako bi se osigurala uspješna provedba projekta odlaganja VRAO-a i ING-a, koji zajednički provode Slovenija i Hrvatska. Karta dionika identificira ključne skupine te ih razvrstava prema razini utjecaja i interesa, što služi kao temelj za komunikacijske aktivnosti: dionici s velikim utjecajem i velikim interesom zahtijevaju aktivno uključivanje, dok one s manjim utjecajem, ali velikim interesom, treba redovito informirati.

Komunikacijska strategija temelji se na tri stupa, a provodi je interdisciplinarni tim koji uključuje stručnjake za odnose s javnošću, društvene znanosti i psihologiju, s naglaskom na proučavanje javnog mnijenja. Poruke posebno ističu zajedničku odgovornost obiju država, transparentnost i primjenu naprednih tehnologija, s ciljem izgradnje povjerenja. Preporučuje se uspostava jedinstvenog provedbenog tijela radi pojednostavljenja aktivnosti i jačanja povjerenja dionika, uz potporu posebne službe za odnose s javnošću i osposobljene "kontakt osobe" za komunikaciju s javnošću. Planira se i poseban Program uključivanja dionika, koji će detaljno definirati postupke, rokove i odabir tima za odnose s javnošću, uzimajući u obzir izazove poput različitih nacionalnih percepcija i potrebe suradnje s nevladinim organizacijama.

Vremenski okvir

RD&D program mijenja osnovni scenarij tako da započinje ranije, čime se omogućuje više vremena za uključivanje dionika i prilagodbu programa. Ključne prekretnice uključuju prihvaćanje RD&D programa i razvoj kriterija za odabir lokacije do 2026. godine te početak rada DGO-a u razdoblju 2093.–2103. (osnovni scenarij, BC) odnosno 2108.–2123. (dodatni scenarij, SC). U SC-u se aktivnosti odgađaju zbog produljenog rada nuklearne elektrane, dok se raniji osjetljivi scenarij s početkom 2025. smatra izazovnim zbog kadrovskih i regulatornih ograničenja.

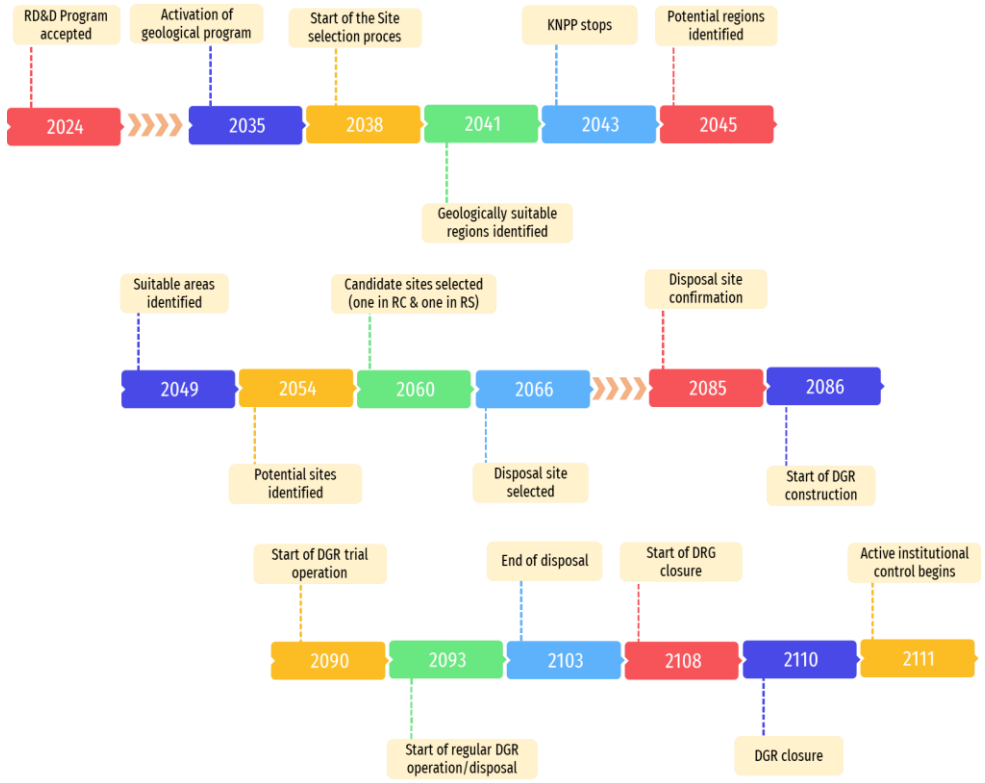
Procjena troškova RD&D programa

Procjena troškova strukturirana je prema strukturiranoj raščlambi poslova (*Work Breakdown Structure*, WBS) i obuhvaća tri glavne kategorije: provedbenu organizaciju, uključivanje dionika te vanjske tehničke i geološke poslove, s daljnjom razradom na troškove osoblja, najma, usluga, ulaganja, te PDV-a, nepredviđenih troškova i rizika.

Osnovni scenarij, s početkom 2026. i ciljem identifikacije dviju lokacija kandidata do 2060., procjenjuje ukupne troškove na 139,816 milijuna EUR (bez PDV-a) odnosno 151,160 milijuna EUR (s PDV-om), uključujući 2,983 milijuna EUR za pripremnu fazu (2025.–2032.). U toj fazi sudjeluju organizacije obje države (ARAO u Sloveniji i Fond u Hrvatskoj) sve do uspostave jedinstvenog provedbenog tijela nakon 2032.

Dodatni scenarij (SC), koji odgađa početak programa do 2063. zbog produljenog rada NE Krško te dovršava odabir lokacije u 18 godina, nominalno je skuplji, s ukupnim troškovima od 171,797 milijuna

EUR (bez PDV-a) odnosno 183,352 milijuna EUR (s PDV-om), uz pripremnu fazu (2025.–2062.) od 15,520 milijuna EUR. Veći troškovi proizlaze iz duljeg pripremnog razdoblja koje zahtijeva kontinuirano održavanje programa, uključujući uključivanje dionika i revizije programa, unatoč kraćoj aktivnoj fazi. Oba scenarija naglašavaju važnost uključivanja dionika i izazove u procjeni troškova, pri čemu nepredviđeni troškovi odražavaju razinu nesigurnosti.



Slika 3-1 Pojednostavljeni vremenski slijed predloženog scenarija s ključnim prekretnicama

3.2.2.2 Duboko geološko odlaganje i scenariji odlaganja

Koncept dubokog geološkog odlaganja (DGO)

Za DGO smješten u Sloveniji ili Hrvatskoj razmatraju se dva koncepta: kristalinična stijena (tvrda stijena) prema konceptu KBS-3V (Švedska/Finska) te sedimentna stijena - glina prema konceptu OPA (Opalinus Clay) razvijenom u Švicarskoj, uz primjenu generičkih geoloških podataka i referentnih podataka iz tih zemalja. U osnovnom scenariju (BC) potreban je 571 spremnik za 2.282 gorivna elementa, dok je u dodatnom scenariju (SC) potrebno 796 spremnika za 3.182 gorivna elementa.

Glavni scenariji odlaganja

Razmatraju se dva osnovna slučaja s podscenarijima:

1. Osnovni scenarij (BC): NE Krško radi do 2043., a suho skladište (SFDS) do 2103./2107.
    - Scenariji DGO-a (ING, VRAO i dugovječni NSRAO u jednom DGO-u u Sloveniji ili Hrvatskoj):
        - DGO u tvrdoj stijeni: koncept KBS-3V
        - DGO u sedimentnoj stijeni: koncept Opalinus Clay
2. Dodatni scenarij produljenog rada (SC): NE Krško radi do 2063., a SFDS do 2123./2127.

- Scenariji DGR-a:
  - DGR u tvrdoj stijeni: koncept KBS-3V
  - DGR u sedimentima: koncept Opalinus Clay

Svi scenariji BC-a prilagođeni su i vremenskom okviru SC-a.

Ključne pretpostavke za procjenu troškova DGR-a

1. ING se odlaže izravno (bez dodatne prerade).
2. DGO uključuje podzemne (servisne i odlagališne prostore) i nadzemne objekte, povezane pristupnom rampom.
3. Podzemni istraživački objekt služi za karakterizaciju lokacije i projektiranje.
4. Postrojenje za pakiranje ING-a nalazi se uz DGO, unutar radijusa od 200 km od NE Krško, uz prijevoz pomoću sustava HI-STAR.
5. VRAO i dugovječni NSRAO prepakiraju se u SFDS-u prije prijevoza i odlaganja u DGO.
6. ING ostaje u suhom skladištu u Krškom od 2023. do premještanja u DGO (do 2102. za BC, odnosno 2122. za SC).
7. DGO započinje s radom 2093. (BC) ili 2108. (SC) te se zatvara nakon smještaja cjelokupnog otpada (2110. za BC, 2130. za SC).
8. Raspored i dimenzije DGO-a predloženi su za potrebe procjene troškova.
9. Zona odlaganja nalazi se na dubini od 500 m za sve vrste otpada.

Alternativne opcije odlaganja

Razmatra se odlaganje u duboke bušotine (DBD) za ING, u kombinaciji s DGO-om za VRAO i NSRAO. Scenariji DBD-a uključuju horizontalno odlaganje u sedimentnoj stijeni na lokaciji Krško ili generičkoj lokaciji te vertikalno odlaganje u kristaliničnoj stijeni. Također se razmatraju opcije multinacionalnog odlagališta (MNO), u kojima inventar NE Krško čini 10–50 % zajedničkog objekta.

Duboko geološko odlaganje u tvrdoj stijeni

DGO se temelji na švedsko-finskom konceptu KBS-3V i primjenjuje višestruku barijernu zaštitu za izolaciju ING-a, VRAO-a i dugovječnog NSRAO-a. Na lokaciji odlagališta osiguravaju se sve građevine, sustavi i komponente potrebni za samostalan rad nuklearnog objekta.

ING se pakira u korozijski otporne bakrene spremnike, okružene zbijenom bentonitnom glinom (zaštitni sloj) radi stabilizacije i zaštite od pomaka stijenske mase. Odlagalište koristi odlagališne tunele iskopane bušenjem i miniranjem, s vertikalnim odlagališnim bušotinama (7,6 m dubine, 1,8 m promjera, razmak 9 m) izbušenima u podovima tunela za smještaj spremnika.

DGO se sastoji od nadzemnog i podzemnog dijela koji uključuje pristupnu rampu (7 × 7 m), servisno okno (promjera 5 m), ventilacijsko okno (3 m), servisno područje s komorama te područje odlaganja. U osnovnom scenariju 28 odlagališnih tunela prihvaća 571 spremnik, dok u dodatnom scenariju 38 tunela prihvaća 796 spremnika.

Nadzemni dio podijeljen je na neograđeno područje, industrijsko područje, tehnološko nadzemno područje i podzemne prostore, uključujući postrojenje za pakiranje ING-a kapaciteta 60 spremnika godišnje.

Rad DGO-a obuhvaća nadzemne aktivnosti (prijevoz i prihvat spremnika) i podzemne aktivnosti (rukovanje i smještaj spremnika). Operativna faza započinje nakon izdavanja dozvole za rad i puštanja objekata u pogon (2093.). Pretpostavlja se trajanje rada od 10 godina (BC) odnosno 15 godina (SC).

Nakon smještaja svih spremnika, uklanjaju se instalacije (ventilacija, rasvjeta, električni i cjevovodni sustavi), a tuneli se zatvaraju. Razgradnja započinje nakon odlaganja cjelokupnog SNF-a, a zatvaranje obuhvaća zatrpavanje i brtvljenje tunela, hodnika, okana i rampe. Aktivni institucionalni nadzor nakon zatvaranja traje 50 godina, nakon čega slijedi pasivni dugoročni nadzor.

Duboko geološko odlaganje u sedimentima

Za DGO u glini razmatra se švicarski inženjerski koncept OPA, razvijen od strane Nagre. Skladištenje i prijevoz ING-a, kao i broj spremnika, jednaki su kao u konceptu odlaganja u tvrdu, kristaliničnu stijenu, ali je proces pakiranja prilagođen čeličnim spremnicima bez bakrene obloge.

Dubina odlaganja jednaka je kao kod kristalinične stijene. U osnovnom scenariju se područje odlaganja sastoji od šest „slijepih“ tunela iskopanih tunelskim bušaćim strojem, s horizontalnim smještajem spremnika na razmaku od 3 m. Faze, kriteriji projektiranja i nadzemni objekti jednaki su kao kod koncepta odlaganja u tvrdoj stijeni.

Pristup podzemnom istraživačkom objektu i odlagalištu bit će isti kao i kod koncepta za tvrde stijene, dok će istraživački objekt (kasnije preuređen u servisno područje) i dio za odlaganje biti prilagođeni glinenim geološkim i geomehaničkim svojstvima.

Organizacija aktivnosti i vremenski okvir operacije provest će se na isti način kao i kod koncepta za tvrdu stijenu. Spremnici za odlaganje prenosit će se iz površinskih objekata do odlagališta duž pristupne rampe, servisnog područja i operativnog tunela.

Uklanjanje nadzemnih objekata, zatvaranje odlagališta i aktivnosti praćenja i institucionalne kontrole predviđeni su kao i u slučaju koncepta za tvrdu stijenu.

Glavne razlike između scenarija

U usporedbi s kristaliničnom stijenom, izgradnja DGO-a u glini zahtijeva veća ojačanja i manji presjek tunela. Ključna razlika je količina iskopanog materijala, izravno povezana s odabranim konceptom (KBS-3V naspram OPA).Dodatne razlike koje značajno utječu na troškove:

1. Čelični spremnici za glinu znatno su jeftiniji od bakrom obloženih spremnika za tvrdu stijenu.
2. Izgradnja pristupnih objekata u sedimentima je oko 20 % jeftinija nego u tvrdoj stijeni.

Troškovi

Za izradu procjene troškova zbrinjavanja VRAO-a i ING-a korištena je EURAD WBS struktura, kojom se procjenjuju pojedine komponente odnosno elementi troškova, organizirani u 12 glavnih skupina.

Program daje procjene troškova za dva osnovna scenarija:

1. Osnovni scenarij (BC): Pretpostavlja rad NE Krško do 2043. godine, uz početak rada dubinskog geološkog odlagališta (DGR) 2093. godine te razgradnju postrojenja za suho skladištenje istrošenog goriva (SFDS) nakon 80 godina pogona (do 2103./2107.). Početak operativnog rada DGR-a predstavlja ključnu prekretnicu povezanu s radnim vijekom SFDS-a.
2. Dodatni scenarij (SC): Produžuje rad NE Krško do 2063. godine te rad SFDS-a do 2123./2127., uz odgovarajuće pomicanje aktivnosti vezanih uz DGR.

Troškovi DGO-a u osnovnom scenariju iznose 1,644 milijarde EUR za odlagalište u tvrdoj stijeni i 1,351 milijardu EUR za odlagalište u glini, a s uključenim slovenskim PDV-om 1,987 milijardi EUR odnosno 1,630 milijardi EUR. U dodatnom scenariju troškovi rastu zbog dodatnih količina ING-a i produljenog rada te iznose 1,956 milijardi EUR (tvrda stijena) i 1,574 milijarde EUR (glina), dok s uključenim slovenskim PDV-om dosežu 2,365 milijardi EUR odnosno 1,899 milijardi EUR.

Procijenjeni troškovi DGO-a u sedimentnoj stijeni u osnovnom scenariju niži su ponajprije zbog manjih troškova izgradnje i rada postrojenja za pakiranje, nižih troškova pristupnih tunela te ukupno manjih troškova materijala za zatrpavanje i brtvljenje, kao i nižih troškova čeličnih odlagališnih spremnika u glini, koji su znatno jeftiniji od spremnika za odlaganje u tvrdoj stijeni obloženih bakrom.

Troškovi opcije odlaganja u DBD s DGO-om za VRAO na istoj lokaciji iznose 1,265 milijardi EUR, što predstavlja potencijalne uštede od 85,7 do 378,7 milijuna EUR u usporedbi s DGO-om u tvrdoj stijeni. Troškovi uključuju izgradnju, pogon, održavanje i aktivnosti uključivanja dionika, uz nepredvidljive troškove.

3.3 Zbrinjavanje nisko i srednje radioaktivnog otpada NEK

Ukupna količina NSRAO-a koju će podijeliti Hrvatska i Slovenija prikazana je u Tablica 3-2 na temelju inventara skladišta NSRAO-a NE Krško i procjena budućih količina koji će nastati radom NE Krško i razgradnjom elektrane. RAO koji nastaje razgradnjom suhog skladišta ING-a nije predmet podjele i preuzimanja jer će nastati u razdoblju kada će oba nacionalna odlagališta NSRAO-a već biti zatvorena. Taj će se otpad odložiti u zajedničko duboko geološko odlagalište (odlagalište za ING i VRAO).

3.3.1 Podjela i preuzimanje NSRAO-a

Za razliku od Treće revizije [9], u kojoj su moguća podjela i preuzimanje napravljeni teoretski na temelju strogih graničnih uvjeta, Četvrta revizija [4] predlaže optimizirani fazni pristup podjele i preuzimanja NSRAO-a proizvedenog do kraja 2023. godine, u skladu s revidiranim kriterijima za podjelu i preuzimanje. Osnovni kriterij podjele su jednaka raspodjela aktivnosti, mase i volumene, pri čemu su dozvoljena određena odstupanja. Razlike se trebaju nadoknaditi u kasnijim fazama podjele otpada koji će nastati do kraja rada NEK-a, odnosno tijekom razgradnje NEK-a. Uz uvjete koji se odnose na količine i aktivnosti NSRAO-a, razmatrani su i drugi rubni uvjeti, kao što su raspodjela i dostupnost paketa NSRAO-a u privremenom skladištu, ALARA načelo tijekom vađenja, rukovanja i utovara paketa NSRAO-a u IP2, N2d i druge spremnike te druge operativne aktivnosti koje se odvijaju u NEK-u. Fond i ARAO će preuzimanje paketa operativnog NSRAO-a nastalih do 31. prosinca 2023. godine provesti u četiri faze preuzimanja. U skladu s odlukom sa 17. sjednice Međudržavnog povjerenstva [17], početak prijenosa otpada odgođen je za početak 2028. godine. Međutim, kondicioniranje otpada u spremnicima za skladištenje/odlaganje (N2d ili RCC) na lokaciji NPP-a, kako je odobrilo Međudržavnog povjerenstva 16. i 17. sjednici, pokazalo se neizvedivim zbog tehničkih, regulatornih i prostornih ograničenja NEK-a.

Sažetak podjele konačnih paketa otpada nastalih do kraja 2023. godine, zajedno s procijenjenim paketima koji će nastati nakon obrade/kondicioniranja preostalog NSRAO-a i procijenjenog operativnog NSRAO-a do prestanka rada elektrane (u osnovnom i dodatnom scenariju), prikazan je u Tablici 3-4 [18].

Tablica 3-4 Sažetak predložene podjele i preuzimanja NSRAO [18]

NSRAO do 31. 12. 2023.	**FOND**				**ARAO**			
Grupa otpada	Br. paketa	**Volumen (m^3)**	**Aktivnost (Bq) ***	**Masa (t)**	Br. paketa	**Volumen (m^3)**	**Aktivnost (Bq) ***	**Masa (t)**
Koncentrati isparivača i mulj iz spremnika (EC)	818	702,7	9,28E+11	1673,51	813	702,2	9,31E+11	1672,86
Istrošene ionske smole (SIR)	456	168,6	3,23E+13	320,20	457	168,8	3,23E+13	320,28
Potrošeni filtri (SF)	66	22,3	4,23E+11	75,05	66	22,9	4,31E+11	75,22
Kompresibilni otpad (CPW)	741	285,2	1,61E+11	361,03	347	277,3	1,61E+11	344,48
Nekompresibilni otpad (NCW)	40	4,4	1,11E+08	24,77	40	4,4	1,11E+08	24,76
Specifični otpad (SW)	1	0,9	1,22E+06	0,88	11	9,5	4,01E+06	9,01
Ukupno**	**2122**	**1184,1**	**3,38E+13**	**2455,43**	**1734**	**1185,1**	**3,38E+13**	**2446,61**
Razlika	388	-1,1	-1,17E+10	8,81				
Razlika (%)		-0.0903%	-0.0347%	0.3602%				
Projekcije								
Procjena TTC-a nakon obrade (CPW)	9	8	7,71E+12	8,54	9	8	7,71E+12	8.54
Projekcija za 2024.-2043. (sve grupe otpada, TTC-i)	344	299	1,03E+13	461,32	344	299	1,03E+13	461.32
Projekcija za 2044.-2063. (sve grupe otpada, TTC-i)	344	299	1,03E+13	461,32	344	299	1,03E+13	461.32
Ukupno**	**697**	**606**	**2,83E+13**	**931,18**	**697**	**606**	**2,83E+13**	**931.18**
Sveukupno ** Osnovni scenarij (BC)	**2475**	**1491**	**5,18€+13**	**2925**	**2087**	**1492**	**5,18€+13**	**2916**
Sveukupno Dodatni scenarij (SC)**	**2819**	**1790**	**6,21E+13**	**3387**	**2431**	**1791**	**6,21E+13**	**3378**
Razlika (sveukupno)	388	-1	-1,17E+10	9				
Razlika (%)		-0,0597%	-0,0189%	0,2609%				

* Aktivnost je mjerena u vrijeme nastanka paketa (nije uzet u obzir radioaktivni raspad).
** Moguće razlike u ukupnim količinama nastale su zaokruživanjem brojeva na različite decimale.

Procjena količina RAO-a koje će se generirati nakon 60 godina rada nije vrlo pouzdana, osobito s obzirom na to da je predviđanje napravljeno za razdoblje od 20 godina i dalje u budućnost. Osim toga, u pripremi rada od 60 do 80 godina provodit će se opsežni radovi na modernizaciji i zamjeni opreme, zajedno s inovacijama u tehnikama obrade RAO-a. Uzimajući u obzir sve navedeno, ova se procjena može smatrati samo indikativnom.

Pregled podjele radioaktivnog otpada iz razgradnje prikazan je u Tablici 3-5. Pri tome svaka strana prima ukupnu aktivnost od 2,38E+12 Bq.

Tablica 3-5 Broj N2d i RCC spremnika za bazni scenarij (BC 0) i dodatne scenarije (SC A i B)

Kategorija NSRAO	**N2d (ARAO)**		**RCC (Fond)**	
	Zapakirana masa (t)	**Broj N2d**	**Zapakirana masa (t)**	**Broj RCC**
Primarni NSRAO	1,087	130	1,087	408
Sekundarni NSRAO	254	47	254	141
Ukupno	**1,341**	**176**	**1,341**	**549**

Predložena podjela osigurava da obje zemlje dobe jednake količine otpada u skladu s inventarom i najnovijim informacijama od NEK-a. Četvrta revizija detaljno je razradila četiri faze preuzimanja otpada koji je nastao do kraja 2023. godine. Ukratko, faze preuzimanja otpada su sljedeće:

Faza 1 – Fond preuzima 617 D6 paketa otpada s vrstama otpada EBC, CWC i OC (svi paketi su zapremine 320 l). Fond će preuzeti sve pakete otpada u D6 bačvama, tj. 7 EBCD6, 95 OCD6 i 515 CWCD6, bez obzira na površinsku dozu. Paketi s površinskom dozom većom od 2 mSv/h bit će preuzeti, ali će se posebna pozornost posvetiti zaštiti od zračenja tijekom rukovanja i transporta u skladu s načelima ALARA i propisima o transportu. To je otprilike 200 m³ od ukupno 1200 m³ NSRAO-a (hrvatska obveza).

Faza 2 – ARAO preuzima TTC pakete pohranjenih u odjeljcima H, G i F internog radi popunjavanja do 200 spremnika N2d, što odgovara 800 TTC paketa (643 EBCT1, 140 CWCT1, 6 OCT1 i 11 ACCT1), sa sličnim karakteristikama grupe i vrste otpada kao i paketi otpada koje preuzima Fond u Fazi 1; 779 paketa otpada s površinskom dozom za manjom ili jednakom 2 mSv/h i 21 paketa otpada s površinskom dozom višom od 2 mSv/h i manjom ili jednakom 4 mSv/h. To je otprilike 700 m³ od ukupno 1200 m³ NSRAO-a (slovenska obveza).

Faza 3 – Fond preuzima hrvatski dio preostalih NSRAO paketa (ukupni volumen približno 1000 m³).

Faza 4 – ARAO preuzima slovenski dio preostalih NSRAO paketa (ukupni volumen približno 500 m³).

Preuzimanje otpada nastalog do kraja 2023. godine planirano je za razdoblje od 2028. do 2030. godine, u skladu s preliminarnim planom preuzimanja koji je pripremio NEK.

Otpad nastao radom i održavanjem NEK-a od 2024. do kraja radnog vijeka elektrane, kao i otpad iz razgradnje, preuzet će se u razdoblju od 2050. do 2058. godine. S obzirom na to da se strategije zbrinjavanja mogu promijeniti tijekom tog razdoblja (recikliranje, ponovna uporaba, slobodno otpuštanje), radi se o općenitom prijedlogu podjele.

Svaka će strana zbrinjavati svoju polovicu NSRAO-a u skladu s nacionalnim strategijama i programima zbrinjavanja RAO-a, kako je opisano u poglavljima 3.3.2 i 3.3.3.

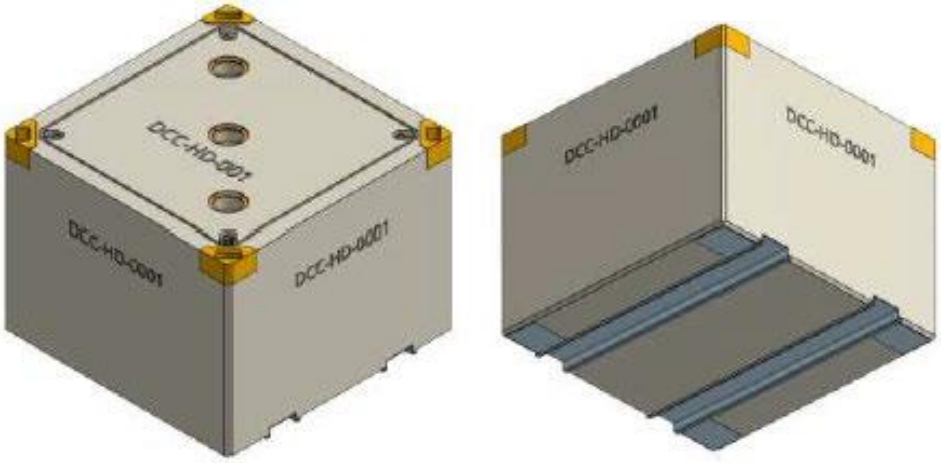
3.3.2 Zbrinjavanje NSRAO-a u Republici Hrvatskoj

Dugoročna politika upravljanja hrvatskom polovicom NSRAO-a nastalog radom i razgradnjom NE Krško propisana je Strategijom zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva [12] i Nacionalnim programom provedbe Strategije za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine (dalje: Nacionalni program) [13, 14]. U važećem Nacionalnom programu planirana je uspostava Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada (dalje: Centar) na lokaciji Čerkezovac, smještenoj u općini Dvor na južnim padinama masiva Trgovske gore. U Centru će se izgraditi i licencirati Dugoročno skladište za NSRAO iz NE Krško i Središnje skladište za institucionalni radioaktivni otpad i iskorištene izvore s potrebnom infrastrukturom, zajedničkom upravnom zgradom i informacijskim centrom. Planirano je da će se sav otpad, prije dovoza u Centar na skladištenje, po potrebi obraditi i kondicionirati u prikladni oblik za daljnje postupke, kao što su rukovanje, transport, skladištenje i odlaganje. Obrada i kondicioniranje se će provesti u odgovarajućem postrojenju za zbrinjavanje radioaktivnog otpada.

Za operativni NSRAO generiran do kraja 2023. godine predviđa se 40-godišnje skladištenje u Dugoročnom skladištu u Centru (u pogonu 2028. godine), te potom odlaganje u pripovršinsko odlagalište u Hrvatskoj (u pogonu 2051. godine). Operativni NSRAO koji nastaje od 2024. godine te

dekomisijski NSRAO će se odložiti u pripovršinsko odlagalište NSRAO-a (bez prethodnog skladištenja). Program istraživanja i razvoja te određivanje lokacije odlagališta NSRAO-a pokrenut će se temeljem nove Strategije zbrinjavanja RAO-a, iskorištenih izvora i ING-a i Nacionalnog programa za razdoblje do 2036. godine.

Za prijevoz, skladištenje i odlaganje hrvatske polovice NSRAO-a koristit će se armirano-betonski spremnici (RCC). Model RCC-a prikazan je na Slika 3.1, a osnovni tehnički podaci u Tablica 3-6.



Slika 3.1 Model armiranobetonskog spremnika (RCC)

Tablica 3-6 Osnovni tehnički podaci i svojstva RCC kontejnera

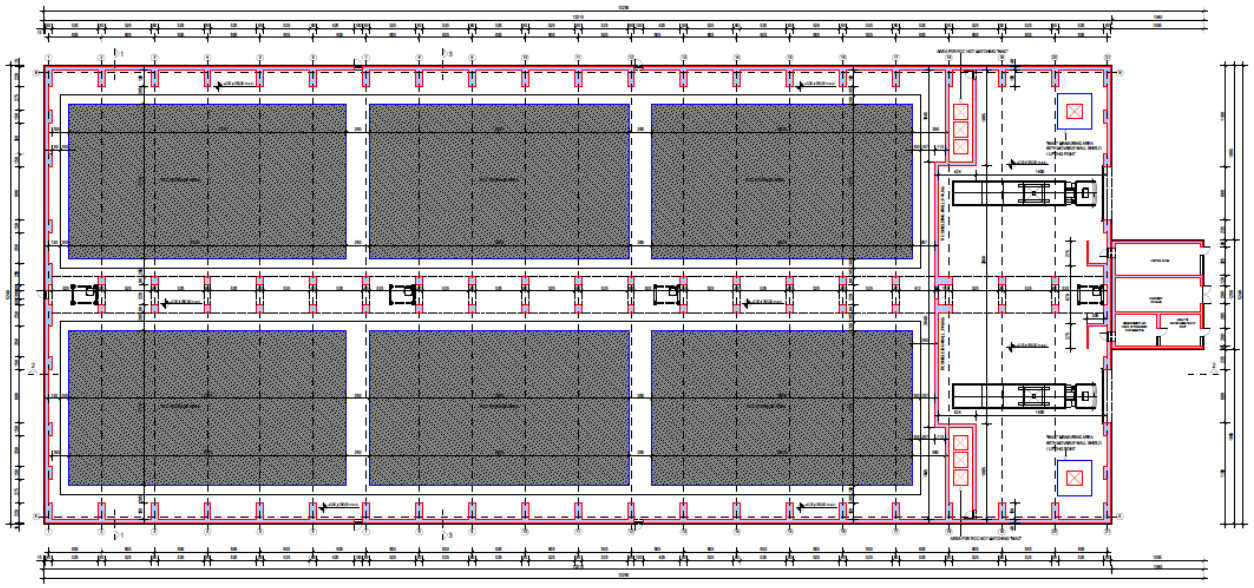
Parametar	**Vrijednost/karakteristike**
Oblik i vanjske dimenzije	Kocka, 1,7 x 1,7 x 1,7 m
Unutarnje dimenzije	1,43 x 1,45 x 1,45 m
Masa NSRAO-a koja se može postaviti u spremnik	~ 5000 kg
Masa betonskog spremnika	Do 7.500 kg
Maksimalna masa RCC spremnika napunjenih otpadom	15.000 kg
Korisni volumen	2,85 m^3
Trajnost	300 godina
Ojačanje	Čelična armatura
Mogućnost slaganja	3 sloja
Prijevoz	Prikladno za prijevoz

Dugoročno skladištenje

Dizajn Dugoročnog skladišta uvjetovan je odabranim načinom skladištenja te vrstom i brojem RCC-a koji će se skladištiti. Polovica operativnog NSRAO-a proizvedenog do 2023. će se kondicionirati u najviše 2.450 RCC-a (konzervativni pristup [19, 20). Planirano je Dugoročno skladište, tlocrtnih dimenzija 121,80 x 52,10 m i korisnom površinom od cca. 6.330 m^2, a imat će skladišni kapacitet za 2.450 RCC-a, pohranjenih u tri razine. Točan broj skladišnih spremnika znat će se tek nakon konačnog odabira tipa RCC-a, te načina kondicioniranja ili obrade i kondicioniranja. Uz Dugoročno skladište projektirani su i pomoćni prostori koje čine kontrolna prostorija, prostor za mjerenje i provjeru kontaminacije osoblja, prostor za dekontaminaciju osoblja i spremište opreme. Ispred skladišta je predviđena prometna površina za prilaz kamiona koji dovoze RCC-e [21]. Kamion ulazi u skladište

stražnjim dijelom tako da je potpuno pozicioniran unutar skladišnog prostora (Slika 3.2).

Sigurnosne funkcije instalirane u dugoročnom skladištu sprječavaju negativne radiološke posljedice normalnog rada i sprječavaju ili ublažavaju radiološke posljedice nesreća. Izvedene u obliku zaštitnih barijera osiguravaju izolaciju radioaktivnog materijala od ljudi i okoliša. Najvažnije sigurnosne funkcije ispunjavaju se primjenom pasivnih inženjerskih barijera kao što su fizikalna i kemijska svojstva kondicioniranog otpada, spremnici u kojima se otpad skladišti i robusna građevinska konstrukcija samog dugoročnog skladišta. Osim pasivnih, planirane su i aktivne sigurnosne funkcije koje poboljšavaju sigurnost pohrane [21].



Slika 3.2 Dugoročno skladište – tlocrt [21]

Napunjen RCC mora zadovoljiti uvjete transporta, kao što su: brzina doze na 1 m udaljenosti mora biti manja od 0,1 mSv/h, a na površini RCC-a 2 manja od mSv/h. Navedeno ograničenje, kao i ostali uvjeti prihvata, propisani su preliminarnim WAC-evima te specifikacija pakiranja otpada.

Tijekom rada Dugoročnog skladišta provodit će se periodični pregledi spremnika: vizualno, kamerom ili izmještanjem određenog RCC-a sa skladišnog mjesta i detaljnim pregledom (npr. cjelovitost).

Planirano je sustavno praćenje stanja radioaktivnosti u okoliša i praćenje stanja skladišta NSRAO-a.

Odlaganje

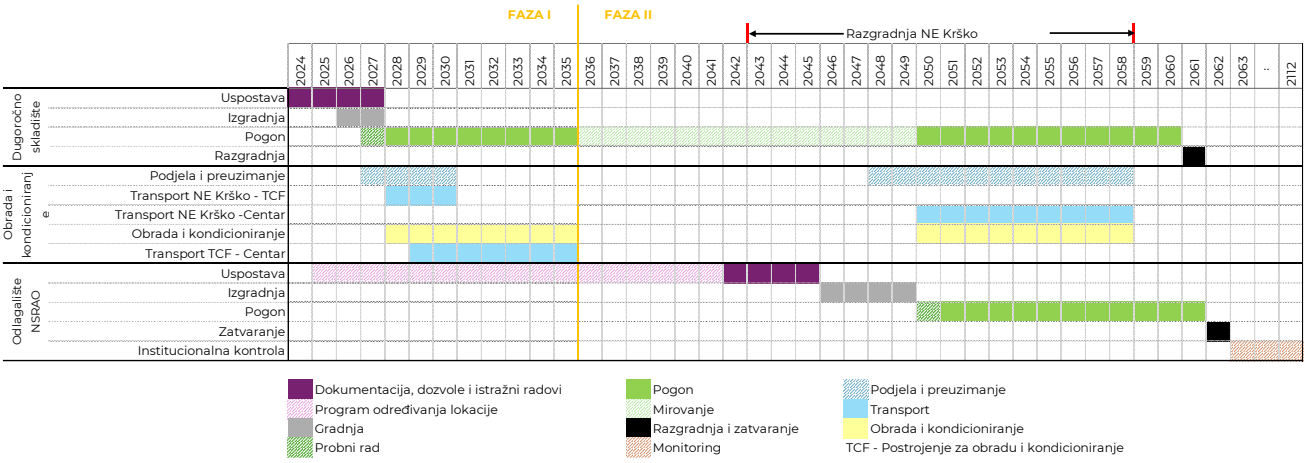
Uspostava odlagališta NSRAO-a za hrvatsku polovicu NE Krško započinje 2026. godine izradom Programa istraživanja i razvoja za odabir lokacije, karakterizaciju lokacije, izradu potrebne dokumentacije te provedbom različitih procesa za dobivanje potrebnih dozvola u skladu s propisima, počevši od lokacijske dozvole. Konceptualno, odlagalište NSRAO-a bit će pripovršinskog tipa, s kasetama za odlaganje RCC spremnika s NSRAO-om. Kasete ili odlagališne jedinice izgradit će se od armiranog betona, a debljina stijenki i temeljne ploče ovisit će o karakteristikama konkretne lokacije i rezultatima sigurnosne analize. Na vrhu pogonske jedinice u procesu odlaganja RCC-a bit će postavljena zaštitna konstrukcija u obliku kliznog krova na tračnicama koja se može premjestiti nakon što je pojedina jedinica napuni. Kompletna cjelina je zatvorena armirano betonskom pločom i zaštitnim premazom. Precizno postavljanje RCC-a postiže se portalnom dizalicom smještenom unutar zaštitne konstrukcije.

Ispod odlagališta izgradit će se sustav odvodnje kao dodatna mjera zaštite. Sva procjedna voda tijekom punjenja i nakon zatvaranja odlagališne jedince, prikupljat će se u posebnom spremniku opremljenom razinomjerom i uređajem za praćenje radioaktivnosti. Zasebno će se prikupljati oborinska voda koja pada na površinu odlagališta, koja se nakon radiološke kontrole planira ispuštati u komunalni sustav odvodnje.

Planira se da će odlagalište NSRAO-a zaprimati RCC-e 10 godina nakon čega se planira njegovo zatvaranje. Jedinice za odlaganje prekrivene su slojevima prirodnih materijala koji čine dodatnu inženjersku barijeru. Struktura pokrova odlagališta ovisi o rezultatima istraživanja geološkog okoliša i drugim karakteristikama odlagališta. Nakon zatvaranja odlagališta provodit će se aktivna institucionalna kontrola te sustavno praćenje stanja odlagališta NSRAO-a i okoliša odlagališta u skladu s propisima. Potom slijedi razdoblje pasivni institucionalnog nadzora kojim se mora osigurati očuvanje zapisa i dokumenata o odlagalištu.

Vremenski okvir

Vremenski plan aktivnosti zbrinjavanja hrvatske polovice NSRAO-a NE Krško temelji se na Nacionalnom programu za razdoblje do 2025. s pogledom na 2060. [13, 14], Međudržavnom ugovoru [1] i odlukama Međudržavnog povjerenstva donesenim na 17. sjednici MDP-a [17] te do sada izrađenim analizama i studijama [20, 22, 23]. Glavne aktivnosti su grafički prikazane na Slika 3.3. Okvirno su predviđene dvije faze: Faza I (od 2024. do 2035. godine) i Faza II (od 2036. godine nadalje).



Slika 3.3 Vremenski raspored glavnih aktivnosti zbrinjavanja NSRAO-a

Procjena troškova

Na temelju tehničko-tehnoloških rješenja i utvrđenih scenarija procijenjeni su troškovi zbrinjavanja hrvatske polovice NSRAO-a za osnovni i dodatni scenarij, uključujući troškove obrade i kondicioniranja, ulaganja u RCC-e, izgradnju i rad skladišta i odlagališta te poticaje lokalnoj zajednici i odnose s javnošću. Uračunati su i odgovarajući nepredviđeni troškovi. PDV je izračunat u skladu s nacionalnim propisima. Ukupni troškovi procijenjeni su na 367,52 milijuna EUR.

Provedena je analiza osjetljivosti ukupnih troškova za zbrinjavanje NSRAO-a za sljedeće pretpostavke i parametre: a) povećanje količine NSRAO-a, b) nepostojanje postrojenja za obradu i kondicioniranje na lokaciji NE Krško tijekom procesa razgradnje, c) povećanje troškova radiološkog nadzora tijekom rada skladišta i odlagališta i institucionalne kontrole odlagališta, d) povećanje kapaciteta skladišta zbog

odgode početka rada odlagališta, e) promjena načina skladištenja RCC-a (2 umjesto 3 razine), f) povećanje nepredviđenih troškova. Sukladno rezultatima analiza, od razmatranih pretpostavki jedino povećanje količina NSRAO-a te nepostojanje postrojenja za obradu i kondicioniranje dekomisijkog otpada na lokaciji NEK utječu na troškove za više od 1%. U okviru analize izrađen je i registar rizika.

Utjecaj produljenog rada NE Krško do 2063. godine na troškove, očituje se u povećanju troškova zbrinjavanja NSRAO-a u Hrvatskoj za 65 milijuna €. Najveći utjecaj na povećanje troškova imaju duže vrijeme potrebno za isplatu kompenzacija lokalnoj zajednici (32%) i duži rad Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada (22%), dok ostale kategorije pojedinačno doprinose povećanju troškova za 5% ili manje.

3.3.3 Zbrinjavanje NSRAO-a u Republici Sloveniji

Nacionalna strategija Republike Slovenije, utvrđena Rezolucijom o Nacionalnom programu gospodarenja radioaktivnim otpadom i istrošenim gorivom 2023. – 2032. (ReNPROIG23-32) [15], daje prioritet što skorijoj izgradnji odlagališta Vrbina radi zbrinjavanja NSRAO-a. Odlagalište će prihvaćati polovicu NSRAO-a iz NE Krško (operativni otpad i otpad nastao razgradnjom) te sav slovenski NSRAO iz drugih izvora, kao što su Središnje skladište u Brinju i istraživački reaktor TRIGA Mark II.

Dokument razmatra dva scenarija: osnovni scenarij (BC), koji pretpostavlja rad NE Krško do 2043. godine, te dodatni scenarij (SC), kojim se rad produžuje do 2063. godine. Odlagalište Vrbina, odobreno Uredbom o državnom prostornom planu [24], primjenjuje sustav višestrukih barijera, pri čemu se odlagališni silosi smještaju u slabo propusne slojeve prahovite gline (silta) ispod razine podzemne vode, čime se kombiniraju obilježja površinskog i podzemnog odlagališta. Odlagalište NSRAO-a obuhvaća sve građevine, sustave i komponente potrebne za njegov rad kao neovisnog nuklearnog postrojenja i za odlaganje NSRAO-a. Važan dio funkcije izolacije otpada temelji se na pravilno obrađenom i kondicioniranom otpadu, konačnim paketima za odlaganje (jedinicama) te inženjerskim barijerama sustava odlagališta. Sustav višestrukih barijera silosa sastoji se od sljedećih glavnih barijera: pravilno pripremljenog otpada, čelične bačve, betonskog kontejnera, betonskog silosa te geoloških svojstava i okoliša lokacije odlagališta.

Otpad će se odlagati u čelične bačve koji će se umetati u betonske spremnike tipa N2d te će se odozgo puniti mortom koji ispunjava sav slobodni prostor u spremniku [25]. Otpad će se pakirati u konačne jedinice za odlaganje (spremnike) u NE Krško, transportirati na lokaciju Vrbina, gdje će se N2d ispuniti smjesom za ispunjavanje (mort) i odložiti u silos.

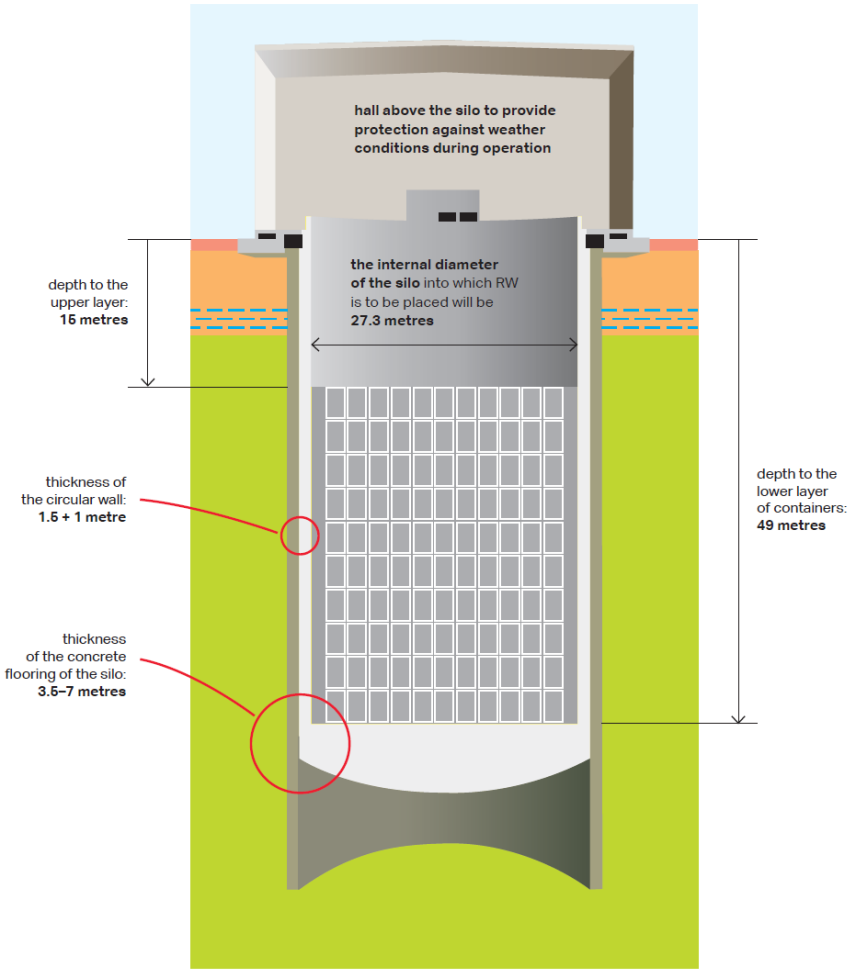
Uži prostor odlagališta namijenjen je administrativnim i servisnim aktivnostima, prihvatu i odlaganju otpada te osiguravanju fizičke zaštite odlagališta. Na tom se području nalaze:

- administrativno-servisna zgrada,
- tehnološka zgrada,
- odlagališni silos s pripadajućom halom iznad silosa,
- kontrolni bazen.

Odlagališni silos

Odlagališni silos projektiran je kao cilindrična armiranobetonska konstrukcija s unutarnjim promjerom od 27,3 m. Konstrukcija stijenke silosa sastoji se od primarne obloge debljine 1,5 m i sekundarne obloge debljine 1,0 m, pri čemu ukupna debljina stijenke iznosi 2,5 m. Neto podna površina silosa omogućuje raspored 99 kontejnera na svakoj razini. Ukupno je planirano 10 razina, čime se osigurava

kapacitet za odlaganje 990 kontejnera tipa N2d, što odgovara ukupnom volumenu za odlaganje od 12.157 m³ [25].



Slika 3-6 Prikaz poprečnog presjeka silosa tijekom rada.

Spremnik za odlaganje

N2d spremnik je armiranobetonski kontejner namijenjen odlaganju otpada u odlagalištu NSRAO-a te predstavlja jedan od najvažnijih inženjerskih elemenata više barijernog sustava. Spremnik N2d je 2018. godine u Republici Sloveniji ishodio slovensko tehničko suglasje STS-17/0019, koje će se obnoviti sukladno potpisanom ugovoru o proizvodnji i isporuci N2d spremnika. N2d spremnik licenciran je u okviru postupka ishođenja građevinske dozvole za odlagalište te u postupku odobravanja izvješća o sigurnosti odlagališta [25].

Prazni, proizvedeni spremnici za odlaganje transportirat će se iz proizvodnog pogona u Nuklearnu elektranu Krško, gdje će se puniti zapakiranim ili nezapakiranim NSRAO-om.

Geometrija, dimenzije i ostala važna svojstva kontejnera za odlaganje N2d navedeni su u Tablici 3.7.

Spremnik za odlaganje N2d projektiran je za sljedeće kombinacije primarnih i sekundarnih paketa otpada [25].

- 4 komada spremnika cjevastog tipa (*Tube Type Container* – TTC), postavljena na donju ploču kontejnera u rasporedu 2 × 2, u uspravnom položaju,

- 12 komada čeličnih bačvi zapremnine 200 litara ili 320 litara (točan broj ovisi o konkretnoj kombinaciji), postavljenih na donju ploču kontejnera u rasporedu 2 × 3 × 2, u uspravnom položaju,
- kombinacija TTC spremnika te metalnih bačava zapremnine 200 i/ili 320 litara, pri čemu se najveća dopuštena ukupna bruto masa određuje ovisno o kombinaciji,
- oblici NSRAO-a bez pakiranja.

Tablica 3-7: N2d dimenzije i masa

Dimenzije (mm)	
Širina x duljina x visina Vanjske dimenzije: Unutarnje dimenzije: Visina dna/vrha prije/poslije postavljanja poklopca	 1950 x 1950 x 3300 1490/1490 x 1550/1550 3070/2870
Debljina donje ploče	230
Debljina stijenke (dno/vrh)	230/220
Debljina poklopca	200
Volumen spremnika	
Bruto volumen – vanjske dimenzije	12.28 m^3
Neto volumen – nakon postavljanja poklopca	6.31 m^3
Masa	
Prazni spremnik s poklopcem	14.92 t
Poklopac	1.36 t
Najveća dopuštena masa spremnika	40 t

Maksimalna ukupna bruto masa određuje se ovisno o odabranoj kombinaciji i ne smije prelaziti 40 tona (prosječna gustoća sadržaja spremnika, otpada i ispune, ne smije prelaziti 3 974 kg/m^3) [25].

Vremenski raspored scenarija zbrinjavanja slovenske polovice NSRAO-a iz NE Krško

Vremenski okviri pojedinih razdoblja rada odlagališta temelje se na pretpostavci životnog vijeka NE Krško do 2043. godine u osnovnom scenariju (BC), uz raspored razgradnje s planiranim završetkom razgradnje 2058. godine. Dodatno se razmatra i dodatni scenarij (SC) rada NE Krško.

U siječnju 2022. godine slovenska Uprava za nuklearnu sigurnost (Uprava za jedrsko varnost – UJV) odobrila je izvješće o sigurnosnoj analizi za odlagalište NSRAO-a Vrbina, Krško, izdavanjem mišljenja o izgradnji odlagališta NSRAO-a [26]. Građevinska dozvola za odlagalište NSRAO-a (odlagališni silos, tehnološka zgrada i dr.) izdana je 27. srpnja 2022. godine te je postala pravomoćna u srpnju 2023. godine. Građevinska dozvola za infrastrukturni dio odlagališta NSRAO-a (pristupna cesta, sustav odvodnje, vodoopskrba, elektroenergetski i komunikacijski sustavi, fizička i tehnička zaštita i dr.) izdana je 15. ožujka 2023. godine te je postala pravomoćna u travnju 2023. godine. Tijekom 2023. i 2024. godine odabrani su izvođači za proizvodnju betonskih spremnika N2d, izgradnju infrastrukturnog dijela i odlagališnog dijela, kao i za proizvodnju i ugradnju portalne dizalice. U lipnju 2023. godine započela je izgradnja infrastrukturnog dijela odlagališta (rekonstrukcija ceste, sustavi odvodnje, elektroenergetski priključci, vodoopskrba i dr.), koja je dovršena u svibnju 2024. godine, uključujući izgradnju vanjske ograde te uspostavu sustava fizičke i tehničke zaštite. Izgradnja odlagališnog dijela započela je u svibnju 2024. godine pripremom gradilišta, a nastavila se izvođenjem primarne obloge, koja je uspješno dovršena krajem 2024. godine. Iskop odlagališnog silosa započeo

je u travnju i dovršen u listopadu 2025. godine. Istodobno su u tijeku pripremni radovi za izgradnju sekundarne obloge silosa.

Vremenski plan provedbe projekta odlagališta strukturiran je kako slijedi:

- **2024. – 2027.**: dovršetak infrastrukturnog dijela (svibanj 2024.); izgradnja odlagališnih građevina u tijeku,
- **2027. – 2028.**: probni rad do kraja godine, uključujući „hladna" ispitivanja s 10 kontejnera (bez odlaganja) te odlaganje 99 kontejnera, uz osiguranu reverzibilnost za najviše 198 kontejnera,
- **2028. – 2029.**: redovni rad odlagališta uz odlaganje 506 kontejnera (75 % operativnog NSRAO-a iz NE Krško te otpad iz Središnjeg skladišta – CSF),
- **2030. – 2050. (BC) / 2030. – 2070. (SC)**: faza mirovanja, uz zadržavanje statusa nuklearnog postrojenja i smanjene operativne troškove (npr. oko 20 % troškova komunalnih usluga). U tom razdoblju neće se provoditi prihvat ni odlaganje NSRAO-a, ali će se osiguravati sve aktivnosti propisane za nuklearno postrojenje, čime se očuva status odlagališta kao nuklearnog objekta,
- **2050. – 2058. (BC) / 2070. – 2078. (SC)**: ponovno pokretanje rada, uz odlaganje 359 kontejnera (BC) odnosno 519 kontejnera (SC, uključujući izgradnju drugog silosa, čime se kapacitet povećava na 1 980 kontejnera), radi zbrinjavanja preostalog operativnog i dekomisijskog NSRAO-a,
- **2059. (BC) / 2079. (SC)**: zatvaranje odlagališta, razgradnja ne odlagališnih dijelova postrojenja te početak dugoročnog nadzora i održavanja.

U osnovnom scenariju (BC) predviđena je izgradnja jednog silosa, tehnološke i ostalih zgrada te pripadajuće infrastrukture za odlaganje slovenske polovice NSRAO-a iz NE Krško i cjelokupnog ostalog NSRAO-a nastalog u Republici Sloveniji izvan NE Krško. Nakon toga, do kraja 2027. godine, započet će probni rad u trajanju do jedne godine, po ishođenju dozvole za probni rad, koja je preduvjet za prihvat radioaktivnog otpada. Tijekom probnog rada ARAO može odlagati spremnike N2d s NSRAO-om, uz uvjet da se najviše 198 odlagališnih spremnika N2d (dvije razine spremnika) može ukloniti iz odlagališta te da se odlagalište može vratiti u prvobitno stanje [15].

Po završetku probnog rada ishodit će se dozvola za rad, na temelju koje će odlagalište početkom 2028. godine prijeći u redovni rad te nastaviti s radom do 2030. godine, kada će sav „slovenski" operativni otpad iz NE Krško biti odložen. Godine 2031. odlagalište ulazi u fazu mirovanja, koja traje do ponovnog pokretanja rada 2050. godine.

Tijekom obnovljenog rada u odlagalište će se odlagati preostali „slovenski" operativni otpad nastao u NE Krško, kao i otpad nastao tijekom razgradnje NE Krško do 2058. godine. Nakon odlaganja cjelokupnog otpada i razgradnje ne odlagališnog dijela (2058.), silos i cjelokupno odlagalište zatvaraju se 2059. godine, čime započinje dugoročni nadzor, kontrola i održavanje odlagališta.

Procjena troškova

Svi troškovi navedeni u ovom poglavlju izraženi su u eurima u stalnim cijenama iz siječnja 2024. godine. Troškovi su preuzeti iz Investicijskog programa [27] i pripadajuće prateće dokumentacije te su tijekom izrade prilagođeni kako bi obuhvatili aktivnosti razgradnje NE Krško [3] i očekivani broj spremnika za odlaganje.

Izgradnja i rad odlagališta financirat će se iz Slovenskog javnog fonda za financiranje razgradnje Nuklearne elektrane Krško i odlaganja radioaktivnog otpada iz NE Krško (Javni sklad NEK) te iz državnog proračuna za dio radioaktivnog otpada koji ne potječe iz NE Krško [26].

Ključ za raspodjelu troškova između ova dva izvora financiranja do zatvaranja odlagališta temelji se na volumenu otpada iz NE Krško i volumenu otpada iz drugih izvora. Procijenjeni volumen NSRAO-a iz NE Krško iznosi 90,62 %, dok se volumen otpada iz drugih izvora procjenjuje na 9,38 % [27]. Konačna podjela troškova između Javnog sklada NEK i državnog proračuna provest će se na temelju stvarno odloženog volumena radioaktivnog otpada [26, 15].

Financiranje aktivnog dugoročnog nadzora i održavanja odlagališta, procijenjeno na 11,37 milijuna EUR, osigurat će se sukladno Zakonu o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i nuklearnoj sigurnosti [28], članak 173., iz državnog proračuna te se stoga ti troškovi ne uzimaju u obzir kao dio ukupnih troškova Četvrte revizije.

Troškovi obrade i kondicioniranja otpada (cementiranja) za odlaganje, uključujući transport do odlagališta, uključeni su u troškove spremnika za odlaganje te ih snosi ARAO putem financiranja iz Javnog sklada NEK.

Ukupni procijenjeni troškovi odlagališta podijeljeni su na dva osnovna dijela [26]:

- **investicijski troškovi** izgradnje i zatvaranja odlagališta, inženjeringa, opreme, projektne i investicijske dokumentacije, otkupa lokacije i gradilišta, naknada za ograničeno korištenje zemljišta, troškova probnog rada i dr.;
- **operativni troškovi**, izravno povezani s radom odlagališta, kao što su troškovi spremnika za odlaganje, troškovi rada, osiguranja, nadzora i dr.

Procjena investicijskih troškova obuhvaća troškove izravno povezane s izgradnjom i zatvaranjem odlagališta, kao i ostale povezane troškove. Investicijski troškovi odlagališta uključuju i troškove razgradnje nuklearnog dijela neodlagališnih objekata 2059. godine (administrativne, servisne i tehnološke zgrade), a osobito dekontaminaciju i demontažu opreme [26].

Cjelokupno investicijsko razdoblje za osnovni scenarij (BC) obuhvaća razdoblje od 1998. do 2059. godine (uz izuzetak međurazdoblja 2027.–2058.). Ukupna vrijednost investicije za BC, u stalnim cijenama iz siječnja 2024., iznosi 306,997 milijuna EUR s uključenim PDV-om, od čega se 278,201 milijuna EUR (90,62 %, s PDV-om) odnosi na dio koji se financira iz Javnog sklada NEK, a 28,796 milijuna EUR (9,38 %, s PDV-om) na dio koji se financira iz državnog proračuna. U investiciju je uključeno i 128,567 milijuna EUR uloženih u prethodnim godinama (od 1998. do 31. prosinca 2023.).

Cjelokupno investicijsko razdoblje za dodatni scenarij (SC) obuhvaća razdoblje od 1998. do 2079. godine (uz izuzetak međurazdoblja 2027.– 2078.). Ukupna vrijednost investicije, u stalnim cijenama iz siječnja 2024., iznosi 375,570 milijuna EUR (s PDV-om), od čega se 340,342 milijuna EUR financira iz Javnog sklada NEK, a 35,228 milijuna EUR iz državnog proračuna.

Operativni troškovi odlagališta izravno su povezani s aktivnostima odlaganja te obuhvaćaju provedbu rada odlagališta i aktivnosti tijekom faze mirovanja. Operativni troškovi odlagališta NSRAO-a procijenjeni su po pojedinim skupinama troškova za fazu rada i fazu mirovanja kako slijedi [26]:

- troškovi aktivnosti odlaganja,
- troškovi spremnika za odlaganje,
- troškovi rada,

- troškovi osiguranja,
- troškovi komunalnih usluga i energije,
- troškovi održavanja lokacije i materijala,
- troškovi nadzora te radioloških i drugih mjerenja,
- naknade za ograničeno korištenje zemljišta,
- ostali operativni troškovi.

Ukupni operativni troškovi odlagališta Vrbina u osnovnom scenariju (BC) za razdoblje od 2026. do 2059. godine procjenjuju se na 250,369 milijuna EUR, od čega se 226,909 milijuna EUR odnosi na dio NSRAO-a financiran iz Javnog sklada NEK. Troškovi dugoročnog institucionalnog nadzora i održavanja odlagališta (11,373 milijuna EUR za razdoblje 2060. – 2112.) nisu uključeni, budući da će se sukladno Zakonu o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i nuklearnoj sigurnosti pojaviti nakon zatvaranja odlagališta i biti pokriveni iz državnog proračuna.

Ukupni operativni troškovi odlagališta Vrbina u dodatnom scenariju (SC) za razdoblje od 2026. do 2079. godine procjenjuju se na 430,972 milijuna EUR, od čega se 390,547 milijuna EUR odnosi na dio NSRAO-a financiran iz Javnog sklada NEK. Značajna razlika u odnosu na procjenu za BC uglavnom je posljedica 20 godina duljeg razdoblja isplate punih naknada, dok dodatni troškovi spremnika ili ostalih aktivnosti odlaganja imaju znatno manji utjecaj.

Ukupni investicijski i operativni troškovi procjenjuju se na 557,393 milijuna EUR za osnovni scenarij (BC), od čega se 505,110 milijuna EUR odnosi na dio NSRAO-a financiran iz Javnog sklada NEK, te na 806,542 milijuna EUR za dodatni scenarij (SC), od čega se 730,889 milijuna EUR odnosi na dio financiran iz Javnog sklada NEK. Do 31. prosinca 2023. već je uloženo 128,567 milijuna EUR, stoga je od 1. siječnja 2024. potrebno uložiti dodatnih 388,603 milijuna EUR iz Javnog sklada NEK do 2059. godine za BC, odnosno 614,382 milijuna EUR do 2079. godine za SC.

Analiza osjetljivosti i upravljanje rizicima

U okviru analize osjetljivosti za osnovni scenarij istraženi su različiti čimbenici koji bi mogli utjecati na nominalne troškove odlagališta NSRAO-a: i) iznos investicijskih troškova, ii) iznos operativnih troškova, iii) razina diskontne stope.

Analiza rizika pripremljena je uzimajući u obzir uspješno dovršene aktivnosti izgradnje i drugih radova na infrastrukturnom dijelu odlagališta, završene postupke javne nabave te potpisane ugovore za odlagališni dio odlagališta i ostale aktivnosti. Za svaki identificirani rizik, a posebno za rizike s najvećim procjenama, poduzimaju se mjere za eliminaciju i ublažavanje rizika.

Najvažniji rizici u razdoblju izgradnje odnose se na nedostatak kompetencija izvođača, osoblja ARAO-a te nedovoljno angažiranje inženjera. Najvažniji rizici u fazi rada odlagališta uglavnom su povezani s dostupnošću tehnoloških kapaciteta, te s troškovima upravljanja i održavanja.

Tijekom faza izgradnje, implementacije i rada odlagališta, rizici se upravljaju sustavnim vođenjem projekta i kontrolom provedbe, kako u pogledu troškova, tako i u pogledu rokova. ARAO je uspostavio mehanizme za upravljanje procesom, koji će se po potrebi prilagođavati i nadopunjavati.

3.4 Pregled troškova zbrinjavanja RAO-a i ING-a NEK

U skladu s rubnim uvjetima, nominalni troškovi izraženi su u eurima iz 2023. sa i bez PDV-a. Nominalni troškovi Programa odlaganja uključuju troškove za: podjelu, preuzimanje i prijevoz NSRAO-a, zbrinjavanje polovice NSRAO-a u RH i odlaganje polovice NSRAO-a u RS, RD&D program, prijevoz, prepakiranje i odlaganje ING-a i VRAO-a, rad suhog skladišta ING-a nakon kraja životnog vijeka NE Krško, odlaganje RAO-a iz razgradnje suhog skladišta ING-a, naknade (poticaje) lokalnim zajednicama, te institucionalnu kontrolu u skladu s nacionalnim propisima.

Troškovi su podijeljeni u 4 kategorije: (1) tehnički troškovi (ulaganja, operativni troškovi), (2) nepredviđeni troškovi, (3) naknade lokalnoj zajednici i (4) porez na dodanu vrijednost (PDV).

Pregled nominalnih troškova za osnovni scenarij (BC 0) dan je u Tablica 3-8, a za dodatne scenarije u Tablica 3-9 (SC A) i Tablica 3-10 (CS B) [4].

Tablica 3-8 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za osnovni scenarij [4]

U milijunima EUR	Tehnički	Naknade lok. zajednici	Nepredviđen i troškovi	PDV	UKUPNO
RD&D program za DGR	126,23	0,00	13,59	11,34	**151,16**
Odlaganje ING-a (DGR u glini)	906,67	81,15	330,42	272,16	**1.590,40**
Zbrinjavanje NSRAO u RH	187,27	46,20	18,36	45,20	**297,02**
Zbrinjavanje NSRAO u RS	205,46	132,63	10,34	40,17	**388,60**
UKUPNO	**1.425,62**	**259,98**	**372,71**	**368,87**	**2.427,18**

Tablica 3-9 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za dodatni scenarij A [4]

U milijunima EUR	Tehnički	Naknade lok. zajednici	Nepredviđeni troškovi	PDV	UKUPNO
RD&D program za DGR	126,23	0,00	13,59	11,34	**151,16**
Odlaganje ING-a (DGR u glini)	1.060,60	97,00	384,34	317,89	**1.859,83**
Zbrinjavanje NSRAO u RH	210,57	68,20	20,75	50,47	**349,99**
Zbrinjavanje NSRAO u RS	281,68	262,57	14,87	55,27	**614,38**
UKUPNO	**1.679,08**	**427,76**	**433,55**	**434,97**	**2.975,37**

Tablica 3-10 Nominalni troškovi zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško za dodatni scenarij B [4]

U milijunima EUR	Tehnički	Naknade lok. zajednici	Nepredviđeni troškovi	PDV	UKUPNO
RD&D program za DGR	144,10	0,00	27,70	11,56	**183,35**
Odlaganje ING-a (DGR u glini)	1.060,60	97,00	384,34	317,89	**1.859,83**
Zbrinjavanje NSRAO u RH	210,57	68,20	20,75	50,47	**349,99**
Zbrinjavanje NSRAO u RS	281,68	262,57	14,87	55,27	**614,38**
UKUPNO	**1.696,95**	**427,76**	**447,66**	**435,18**	**3.007,56**

3.5 Zaključci i preporuke Programa odlaganja RAO-a i ING-a NEK

3.5.1 Zaključci Programa odlaganja RAO-a i ING-a NEK

3.5.1.1 Zbrinjavanje NSRAO

Međudržavno povjerenstvo je ma 13. sjednici [8] zaključilo je da zajedničko rješenje odlaganja između Slovenije i Hrvatske u pogledu zbrinjavanja NSRAO-a nije provedivo. Sukladno toj odluci, svaka je država obvezna zbrinuti polovicu otpada nastalog tijekom pogona i razgradnje NE Krško.

Četvrta revizija izvorno je polazila od pretpostavke da će se NSRAO kondicionirati u odgovarajućem postrojenju na lokaciji NEK-a, uz iznimku paketa otpada koji zahtijevaju dodatnu obradu u odgovarajućem postrojenju u inozemstvu. Međutim, kondicioniranje otpada u skladišno-odlagališnim spremnicima (N2d ili RCC) na lokaciji elektrane pokazalo se neizvedivim zbog tehničkih, regulatornih i prostornih ograničenja, zbog čega su Fond i ARAO dužni pronaći alternativna rješenja. To je rezultiralo značajnim promjenama u tehničkom pristupu i proračunu.

Plan podjele i preuzimanja NSRAO-a revidiran je i optimiziran u skladu s odlukama Međudržavnog povjerenstva donesenima na 17. sjednici, s ciljem da se osigura realističnije, praktičnije i logistički provedivije rješenje u odnosu na prijedlog iz Treće revizije.

Sukladno slovenskoj politici i strategiji, polovica NSRAO-a iz NEK-a, kao i sav ostali slovenski NSRAO koji ispunjava kriterije prihvata za odlaganje, bit će odložen u odlagalište NSRAO-a Vrbina, koje je trenutačno u izgradnji. Probni rad planiran je za 2027. godinu, dok se početak redovitog rada očekuje 2028. godine.

U skladu s hrvatskom Strategijom i Nacionalnim programom, u Centru za zbrinjavanje radioaktivnog otpada izgradit će se dugoročno skladište za polovicu NSRAO-a iz NEK-a. Planirano je da dugoročno skladište započne s radom do 2028. godine, dok je izgradnja odlagališta predviđena do 2051. godine.

3.5.1.2 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a

Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a zajednički je projekt: ING će se skladištiti u suhom skladištu na lokaciji NE Krško, a sukladno važećoj strategiji naknadno će se odložiti u odlagalište ING-a smješteno na području Republike Slovenije ili Republike Hrvatske, odnosno, ako bude moguće, u regionalno ili multinacionalno odlagalište.

Postrojenje za suho skladištenje u pogonu je od ožujka 2023. godine te predstavlja značajno unapređenje sigurnosti. Premještanje prvih 592 elemenata istrošenog nuklearnog goriva u suho skladište dovršeno je u rujnu 2023. godine. Sljedeća kampanja premještanja dodatnih 592 gorivnih elemenata planirana je za 2029. godinu, dok je završna kampanja predviđena za razdoblje 2048.–2050., kada će preostali SNF sklopovi biti premješteni u suho skladište.

Obje države zajednički će provoditi aktivnosti predviđene Programom istraživanja, razvoja i demonstracije (RD&D), koji je po prvi put izrađen u okviru Četvrte revizije. Ovaj prvi RD&D program je pripremljen te će se s vremenom mijenjati i razvijati kroz određeni iterativni postupak. Dvodržavna priroda Programa postavlja posebne izazove, uključujući usklađivanje regulatornih okvira i uključivanje dionika u Sloveniji i Hrvatskoj. U određenoj fazi preporučuje se uspostava jedinstvenog provedbenog tijela radi pojednostavljenja operativnih postupaka. Povjerenje dionika i pristup temeljen na dobrovoljnosti ključni su za uspješan odabir lokacije.

Analizirana su dva glavna koncepta izravnog odlaganja ING-a: odlaganje u čvrstoj stijeni i odlaganje u sedimentnim (glinenim) formacijama. Za procjenu troškova koristio se koncept odlaganja u glinenoj formaciji, budući da su sedimentne geološke formacije pronađene i proučavane u obje zemlje. Osim rudarskog DGO koncepta, analizirana je i alternativna tehnologija odlaganja ING-a u duboke bušotine, u skladu s preporukama iz Treće revizije.

3.5.2 Preporuke Programa zbrinjavanja ING-a i RAO-a iz NE Krško

3.5.2.1 Zbrinjavanje NSRAO

Na raspolaganju je znatna količina podataka i iskustva u upravljanju inventarom NSRAO-a. Međutim, potrebne su dodatne aktivnosti kako bi se podupro daljnji razvoj sustava i osigurala usklađenost s kriterijima za prihvat otpada (WAC), kao i radi dodatne razrade sigurnosnih studija za odlagalište Vrbina i skladište Čerkezovac.

Sukladno odluci Međudržavnog povjerenstva [17], ARAO i Fond moraju provesti sve potrebne aktivnosti za osiguravanje funkcionalnih odlagališta Vrbina i Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, te potrebnih preduvjeta za uspješan početak preuzimanja NSRAO-a u 2028. godini.

Bit će potreban kvalificiran tim stručnjaka kako bi se osiguralo da je otpad pravilno karakteriziran i u skladu s važećim kriterijima prihvata otpada, kao i radi verifikacije paketa otpada prije njihovog pakiranja, cementiranja u RCC kontejnerima i preuzimanja.

Moglo bi biti korisno dodatno razmotriti skladištenje malih količina dugoživućeg srednje radioaktivnog otpada (SRAO) zajedno s dekomisijskim VRAO-om, budući da bi za ove male količine dugoživućeg SRAO-a moglo biti teško ispuniti kriterije za prihvat otpada za planirana postrojenja.

U Nuklearnoj elektrani Krško potrebno je razviti i licencirati postupke za konačno pakiranje otpada za daljnji transport, skladištenje ili odlaganje NSRAO-a u obje države. NEK je već nabavio dio opreme za rukovanje paketima RAO te transportnim i skladišno-odlagališnim spremnicima, ali će možda biti potrebna dodatna oprema, zajedno s praktičnim i optimiziranim rješenjima, kao i eventualne logističke izmjene ili prilagodbe, ako se to pokaže nužnim i ako se o tome postigne suglasnost Fonda, ARAO-a i NE Krško.

3.5.2.2 Zbrinjavanje ING-a i VRAO-a

Predlaže se da se u sljedećoj reviziji Programa odlaganja izradi revidirani cjeloviti Program odlaganja ING-a kao samostalni Program. Taj bi program trebao sadržavati sve potrebne sastavnice, uključujući Program istraživanja, razvoja i demonstracije (RD&D) razrađen do faze konačnog odabira lokacije, detaljan Program uključivanja dionika od početnog razmatranja lokacija do zatvaranja DGO-a, razrađeniji prijedlog koncepta odlaganja u DGO-u s analizom preferiranih lokacija i planom razvoja, kao i cjelovitu procjenu troškova. Navedene aktivnosti trebale bi biti koordinirane od strane jedinstvenog projektnog tima, a uspostava objedinjene organizacije može se planirati u odgovarajućem trenutku u kasnijim fazama odabira lokacije.

S obzirom na to da je riječ o prvom izrađenom RD&D Programu, bit će ga potrebno prilagođavati u skladu s promjenama vremenskog okvira, troškova, pristupa, tehnologija, detaljnih aktivnosti, konačnog odobrenja lokacije i drugih relevantnih čimbenika. Ako RD&D Program i Program zbrinjavanja ING-a ostanu zajednički za Republiku Hrvatsku i Republiku Sloveniju, preporučuje se pokretanje međudržavnih rasprava radi usklađivanja regulatornih dokumenata obiju država. Dionike

u obje države potrebno je uključiti u razvoj kriterija za odabir lokacije te ih postupno upoznavati s dokumentom. Ovaj proces treba uključivati i daljnji razvoj postupka odabira lokacije, uz rano testiranje na generičkim ili hipotetskim podacima radi potvrde njegove praktične primjenjivosti i stjecanja iskustva među stručnjacima.

Načelo "volontiranje i pristup temeljen na pristanku" mora biti ugrađeno u budući regulatorni okvir, a ne samo sadržano u preporukama i zaključcima RD&D programa.

Geološka osnova za scenarije odlaganja, bilo u rudničkom tipu DGO-a ili u dubokoj bušotini, pretpostavlja prisutnost kristaliničnih ili sedimentnih (glinovitih) formacija u Sloveniji ili Hrvatskoj. Stoga će potencijalnim lokacijama biti potrebni kabinetski rad i terenska istraživanja kako bi se potvrdile te pretpostavke, smanjile nesigurnosti i ublažili rizici troškova.

Iako bi sve opcije odlaganja ING-a i VRAO-a trebale ostati otvorene, pri budućim procjenama treba posvetiti posebnu pozornost sedimentnim formacijama (npr. glina). Odlaganje u tim formacijama čini se ekonomski povoljnijim, a prikladne lokacije identificirane su i u Sloveniji i u Hrvatskoj. Međutim, koncepti odlaganja u kristaliničnoj stijeni i sedimentnim stijenama trebali bi se i dalje razvijati, iako trenutne studije zbog isplativosti favoriziraju glinovite formacije.

Potrebno je provesti detaljnije usporedbu benefita i rizika povezanih s različitim opcijama dubokog odlaganja kako bi se podržao budući odabir koncepta. Referentne scenarije odlaganja VRAO-a i ING-a trebalo bi revidirati kako bi se procijenila spremnost tehnologije, uključila međunarodna iskustva u radu prvih DGO-a te uskladile s nacionalnim politikama i strategijama. To uključuje ažuriranje podataka o inventaru VRAO-a i ING-a, usavršavanje procjene sigurnosti i sigurnosne studije te procjenu utjecaja tehnološkog razvoja i spremnosti. Svi ti čimbenici moraju se razmotriti i analizirati kako bi se omogućilo buduće uspoređivanje koncepata odlaganja, bilo u dubokom geološkom odlagalištu, dubokoj bušotini ili opcija multinacionalnog odlagališta.

3.5.2.3 Procjena troškova

Zbog povećanja procijenjenih troškova u ovoj reviziji u odnosu na prethodnu, obje strane trebale bi razmotriti reviziju početnih uplata i očekivanih godišnjih prinosa kako bi se osiguralo dostatno pokriće troškova razgradnje i odlaganja.

Potrebno je provesti dodatna istraživanja o primjerenim diskontnim stopama za financiranje dugoročnih projekata (onih koji se protežu više od 30 godina u budućnost) kako bi se osiguralo da se primjenjuju odgovarajuće vrijednosti.

Potrebno je izračunati troškove šireg raspona scenarija dubokog geološkog odlaganja kako bi i ARAO i Fond imali jasno razumijevanje cjelokupnog spektra mogućih troškova. Budući da opcija zbrinjavanja ING-a u kristaliničnim stijenama i dalje ostaje razmatrana, procjene troškova za ovaj koncept trebali bi zadržati i prezentirati donositeljima odluka. U svrhu usporedbe, može se izraditi studija osjetljivosti troškova, uključujući mogućnost nacionalnih postrojenja.

Napredak u razvoju tehnologije zbrinjavanja u dubokim bušotinama potrebno je pomno pratiti kako bi se prikupili potrebni podaci za izradu preciznijih procjena troškova.

4 Ukupni troškovi Četvrte revizije

Procjena troškova u Četvrtoj reviziji Programa odlaganja obuhvaća: (1) izravne nominalne tehničke troškove provedbe razgradnje NE Krško, zbrinjavanja RAO-a (uključujući podjelu i preuzimanje) te zbrinjavanja ING-a (uključujući istraživanje, razvoj i demonstraciju), (2) troškove naknade (poticaja) lokalnoj zajednici, (3) nepredviđene troškove, i (4) PDV.

Svi nominalni troškovi izražavaju se u eurima iz 2023. Prema nacionalnim poreznim propisima stopa PDV-a u Sloveniji je 22% a u Hrvatskoj 25%. Za potrebe Četvrte revizije, za zbrinjavanje polovice NSRAO-a u Hrvatskoj obračunava se hrvatski PDV, za zbrinjavanje polovice NSRAO-a u Sloveniji i odlaganje ING-a i razgradnju NE Krško obračunava se slovenski PDV, a za provedbu RD&D programa za DGO obračunava se slovenski i hrvatski PDV u omjeru 50% : 50%.

U sljedećoj su tablici prezentirani ukupni troškovi za provedbu Četvrte revizije za osnovni (BC) i dodatne scenarije (SC A i B) u milijunima Eura (2023).

Tablica 4-1 Ukupni troškovi Četvrte revizije za osnovni scenarij (BC 0) i dodatne scenarije (SC A i B)

Troškovi u milijunima Eura (2023)	BC 0	SC A	SC B
Razgradnja NE Krško	562,49	534,39	555,39
RD&D Program za DGO	151,16	151,16	183,35
Odlaganje ING-a (DGO u glini)	1.590,40	1.859,83	1.859,83
Zbrinjavanje NSRAO u RH	367,52	432,32	432,32
Zbrinjavanje NSRAO u RS	388,6	614,38	614,38
UKUPNO	**3.060,17**	**3.592,08**	**3.645,27**

Svi troškovi pokriveni su iz nacionalnih fondova, osim institucionalne kontrole zatvorenih odlagališta, koja se u Sloveniji financira iz državnog proračuna. Procjene troškova ne uključuju sredstva i troškove koji su već nastali. Na dan 31. prosinca 2023. ukupna ulaganja Javnog sklada NEK u slovenski program odlaganja NSRAO-a iznose 119,28 milijuna eura, dok ukupna ulaganja hrvatskog Fonda NEK u hrvatski program zbrinjavanja NSRAO-a iznose 6,09 milijuna eura.

4.1 Ukupni troškovi za provedbu Četvrte revizije za Republiku Sloveniju

Ukupni trošak za Republiku Sloveniju, koji obuhvaća zbrinjavanje polovice NSRAO-a, kao i polovicu troškova razgradnje te polovicu troškova provedbe programa istraživanja i razvoja, izgradnje i rada zajedničkog dubokog geološkog odlagališta prema osnovnom scenariju, iznosi 1.520,94 milijuna eura (Tablica 4-2).

Tablica 4-2 Ukupni nominalni trošak osnovnog scenarija za Republiku Sloveniju [4]

Nominalni troškovi za Republiku Sloveniju					
u mil. EUR	**Tehnički**	**Naknada lok. zajednici**	**Nepredviđeni troškovi**	**PDV**	**Ukupno**
Razgradnja NE Krško (50% troškova)	218,77	31,63	0,00	30,84	**281,24**
RD&D Program za DGO (50% troškova)	63,11	0,00	6,79	5,67	**75,58**
Odlaganje ING-a (DGO u glini) (50% troškova)	443,84	40,58	158,57	132,53	**775,51**
Zbrinjavanje polovice NSRAO u RS	205,46	132,63	10,34	40,17	**388,60**
UKUPNO	**931,18**	**204,84**	**175,70**	**209,22**	**1.520,94**

Procjene troškova ne uključuju sredstva i troškove koji su već nastali.

U slučaju produljenja rada NE Krško za dodatnih 20 godina te produljenja rada suhog skladišta ING-a na lokaciji NE Krško za dodatnih 20 godina (dodatni scenarij B, SC B), ukupni trošak za Republiku Sloveniju iznosi 1.893,98 milijuna eura.

4.2 Ukupni troškovi za provedbu Četvrte revizije za Republiku Hrvatsku

Ukupni trošak za Republiku Hrvatsku, koji obuhvaća zbrinjavanje polovice NSRAO-a (obradu, transport, skladištenje i odlaganje), kao i polovicu troškova razgradnje te polovicu troškova provedbe programa istraživanja i razvoja, izgradnje i rada zajedničkog dubokog geološkog odlagališta prema osnovnom scenariju iznosi 1.539,24 milijuna eura (Tablica 4-3).

Tablica 4-3 Ukupni trošak osnovnog scenarija za Republiku Hrvatsku [4]

Nominalni troškovi za Republiku Hrvatsku					
u mil. EUR	**Tehnički**	**Naknada lok. zajednici**	**Nepredviđeni troškovi**	**PDV**	**Ukupno**
Razgradnja NE Krško (50% troškova)	218,77	31,63	0,00	30,84	**281,24**
RD&D Program za DGO (50% troškova)	63,11	0,00	6,79	5,67	**75,58**
Odlaganje ING-a (DGO u glini) (50% troškova)	462,83	40,58	171,86	139,63	**814,89**
Zbrinjavanje polovice NSRAO u RH	219,06	73,60	21,60	53,26	**367,52**
UKUPNO	**963,77**	**145,81**	**200,25**	**229,41**	**1.539,24**

U slučaju produljenja rada NE Krško za dodatnih 20 godina te produljenja rada suhog skladišta ING-a na lokaciji NE Krško za dodatnih 20 godina (dodatni scenarij B, SC B), ukupni trošak za Republiku Hrvatsku iznosi 1.751,30 milijuna eura.

4.3 Usporedba s troškova s prethodnom revizijom

Ukupni nominalni troškovi u ovoj reviziji (uključujući i razgradnju) za osnovni scenarij iznose 3,060.17 mil. EUR, što je 44,4 % više od procjene u Trećoj reviziji (Tablica 4-4).

Tablica 4-4 Usporedba ukupnih nominalnih troškova u Trećoj i Četvrtoj reviziji

U mil. EUR	**3. Revizija (€ 2018)**	**4. Revizija (BC) (€ 2023)**	**Razlika**
Razgradnja NE Krško	510,56	562,49	10,2%
Odlaganje ING-a (DGR u glini)*	1.136,88	1.741,56	53,2%
Zbrinjavanje NSRAO-a	472,54	756,13	60,0%
UKUPNO	**2.119,98**	**3.060,17**	**44,4%**

*Troškovi odlaganja ING-a u 4. reviziji uključuju troškove istraživanja i razvoja. U 3. reviziji taj trošak nije uključen

Glavni razlozi povećanja troškova su visoka inflacija, razrada RD&D aktivnosti i njihovih troškova, te detaljnija analiza troškova za projekte odlaganja NSRAO-a i ING-a u RS i RH i dodatno, troškovi obrade i kondicioniranja hrvatske polovice NSRAO-a u inozemstvu. Tijekom pripreme ove revizije identificirane su mogućnosti značajnog smanjenja troškova i primijenjene na početnu procjenu troškova.

4.4 Proračuni diskontiranih troškova

Nominalni troškovi (u eurima iz 2023. godine), raspoređuju se kroz vrijeme u skladu s rasporedom pripadajućih aktivnosti (uz pretpostavku da se godišnji iznos isplaćuje na kraju svake godine), a svaki se trošak diskontira iz odgovarajuće godine na početnu referentnu točku (na 2023. godinu, [29]). Opća stopa inflacije procjenjuje se na temelju dugoročne prognoze inflacije Europske središnje banke (ECB).

U Četvrtoj reviziji analizirani su odnosi između različitih razina godišnjih uplata i diskontnih stopa, odnosno interne stope povrate (IRR) za oba nacionalna fonda, na temelju procijenjenih troškova za osnovni scenarij i dodatni scenarij. Sažeti rezultati tih analiza za Republiku Sloveniju, odnosno Republiku Hrvatsku, prikazani su u tablicama 4-5 i 4-6.

Tablica 4-1 Proračun diskontiranih troškova za različite diskontne stope za RS

Diskontna stopa	**Ukupni diskontirani troškovi Osnovni scenarij /mil. EUR**	**Ukupni diskontirani troškovi za Dodatni scenarij B /mil. EUR**
2%	**1,520.94**	**1,893.98**
3%	1,028.83	1,137.51
4%	745.04	753.23
5%	572.90	545.24

Tablica 4-2 Proračun diskontiranih troškova za različite diskontne stope za RH

Diskontna stopa	**Ukupni diskontirani troškovi Osnovni scenarij /mil. EUR**	**Ukupni diskontirani troškovi za Dodatni scenarij B /mil. EUR**
2%	**1,539.24**	**1,751.30**
3%	1,003.32	990.22
4%	699.08	617.08
5%	511.96	421.45

S obzirom na više procijenjene troškove u ovoj reviziji, neizbježno je da se prihodi oba fonda moraju povećati kako bi se osigurala sposobnost pokrivanja svih troškova razgradnje i odlaganja. Povećanje prihoda može se ostvariti kroz više razine anuiteta, veće prinose na ulaganja ili kombinacijom oba pristupa, ovisno o investicijskim politikama pojedinih fondova i sposobnosti vlasnika NE Krško da povećaju svoje uplate.

Preporučuje se da slovenski Javni Sklad NEK cilja na očekivani godišnji prinos od najmanje 4,00%, dok bi GEN Energija trebala nastaviti uplaćivati približno isti iznos kao i dosad, uz anuitete od 37,2 milijuna eura, odnosno 12,3 €/MWh.

Preporučuje se da hrvatski Fond usvoji očekivani godišnji prinos na razini od 4,50%, dok bi HEP trebao povećati iznos godišnjih anuiteta na 17,31 milijuna eura.

Vlade su odgovorne za financiranje projekta; stoga, ako nakon prestanka isplata budu potrebna dodatna sredstva, bit će nužna intervencija države.

5 Popis kratica

Kratica	**Opis**
ALARA	do najmanje razumno dostupne razine (*as low as reasonably achievable*)
ARAO	Agencija za radioaktivne odpadke, Ljubljana, Slovenija
BC	Osnovni scenarij (*Base Case*)
Centar	Centar za zbrinjavanje radioaktivnog otpada
DGO (DGR)	duboko geološko odlagalište istrošenoga nuklearnog goriva/visoko radioaktivnog otpada
ECB	Europska središnja banka
FA	gorivni element
FHB	Zgrada za manipulaciju gorivom
Fond	Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško, Zagreb, Hrvatska
Holtec HI-SAFE	Sustav za skladištenje istrošenoga nuklearnog goriva u suhom skladištu NEK
GIS	geografsko informacijski sustav
IAEA	Međunarodna agencija za atomsku energiju
IDDS	Sustav sušenja u bačvi
ING	istrošeno nuklearno gorivo
IRR	interna stopa povrata
KO	Koordinacijski odbor
MDP	Međudržavno povjerenstvo
N2d	Spremnici za odlaganje u odlagalištu NSRAO Vrbina u Sloveniji
NE Krško	Nuklearna elektrana Krško
NEK	Nuklearna elektrana Krško
NN	Narodne novine
NSRAO	nisko i srednje radioaktivni otpad
PDV	porez na dodanu vrijednost
PO	Program odlaganja
PO, rev. 4	Četvrta revizija Programa odlaganja RAO-a i ING-a NEK
PR	Program razgradnje
PR, rev. 4	Četvrta revizija programa razgradnje NEK
RAO	radioaktivni otpad
RCC	Ojačani betonski spremnici za skladištenje i odlaganje otpada u RH (*Reinforced Concrete Container*)
RD&D Program	Program istraživanja, razvoja i demonstracije
RH	Republika Hrvatska
RS	Republika Slovenija
RU	Jedinica za izvlačenje goriva
ToR	Terms of reference (Projekni zadatak)
SAD	Sjedinjene Američke države
SC	Dodatni scenarij (*Sensitivity Case*)
SFDS	Suho skladište za istrošeno gorivo
SG	parogeneratori
VRAO	visoko radioaktivni otpad
WAC	Kriteriji prihvatljivosti otpada
WBS	strukturirana raščlamba poslova (Work Breakdown Structure)

6 Literatura

1 Hrvatski sabor: Ugovor između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (Narodne Novine (NN) - Međudržavni ugovori, br. 9/02) (Službeni list Republike Slovenije 23/2003)

2 Međudržavno povjerenstvo: Zajednički zapisnik 10. sjednice Međudržavnog povjerenstva za praćenje provedbe Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško (MDP), Krško, 20. srpnja 2015. godine

3 Siempelkamp NIS, Ingenieurgesellschaft mbH: Četvrta revizija Programa razgradnje NE Krško (engleski: 4th Revision of the NPP Krško Decommissioning Program, Document No.: 4520 / CA / F 010640 5 / 07), veljače 2024. godine

4 ARAO i Fond: Četvrta revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško, inačica 0.4, (engleski: Fourth revision of the Krško NPP Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel Disposal Program), prosinca 2024. godine.

5 NEK d.o.o.: Projektni zadatak za Četvrtu reviziju Programa razgradnje (engleski: Terms of reference (TOR) for the Fourth Revision of the Krško NPP Decommissioning Program), siječnja 2022. godine

6 ARAO i Fond: Projektni zadatak za Četvrtu reviziju Programa odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenoga nuklearnog goriva NE Krško (engleski: Terms of reference (ToR) for Fourth Revision of the Krško NPP Radioactive Waste and Spent Fuel Disposal Program (Krško NPP RW and SF Disposal Program), siječnja 2022. godine

7 Međudržavno povjerenstvo: Zajednički zapisnik 16. sjednice MDP-a, Rijeka, 4. travnja 2022. godine

8 Međudržavno povjerenstvo: Zajednički zapisnik 13. sjednice MDP-a, Bled, 30. rujna 2019. godine

9 ARAO i Fond: Treća revizija Programa odlaganja radioaktivnog otpada istrošenoga nuklearnog goriva NE Krško (engleski: Third Revision of the Krško NPP Radioactive Waste and Spent Fuel Disposal Program (text version 1.3), rujna 2019. godine

10 Croatian Geological Survey, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Consensus d.o.o., Slovenian National Building and Civil Engineering Institute, Geological Survey of Slovenia and Czech Geological Survey: RD&D Program for joint SF and HLW Disposal in Deep Geological Repository in RC or in RS, June 2024.

11 Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft Preliminary Decommissioning Plan for Krško NPP, Rev. 7, February 2024 (PDP Rev. 7)

12 Hrvatski sabor: Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva (NN, br. 125/14)

13 Vlada Republike Hrvatske: Odluka o donošenju Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva - Program za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine (NN, br. 100/18), (dokument u PDF-u: https://civilna-zastita.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Radioloska%20i%20nuklearna%20sigurnost/Nacionalni%20programi/Nacionalni%20program%20provedbe%20Strategije%20zbrinjavanja%20radioaktivnog%20otpada%20iskoristenih%20izvora%20i%20istrosenog%20nuklearnog%20goriva.pdf)

14 Vlada Republike Hrvatske: Odluka o donošenju Izmjena i dopuna Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva - Program za razdoblje do 2025. godine s pogledom do 2060. godine (NN, br. 156/22), (PDF: https://civilna-zastita.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Radioloska%20i%20nuklearna%20sigurnost/Propisi/Izmjene%20i%20dopune%20Nacionalnog%20programa%20provedbe%20Strategije%20zbrinjavanja%20radioaktivnog%20otpada,%20iskori%C5%A1tenih%20izvora%20i%20iskori%C5%A1tenog%20nuklearnog%20goriva.pdf)

15 Rezolucija o Nacionalnom programu zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenoga goriva za razdoblje 2023.-2032. (Resolucija o nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom za obdobje 2023–2032 (ReNPROIG23–32)), Sl. list Republike Slovenije 14/23

16 Međudržavno povjerenstvo: Zajednički zapisnik 10. Sjednice MDP-a, Krško, 10. srpnja 2010. godine.

17 Međudržavno povjerenstvo: Zajednički zapisnik 17. sjednice MDP-a, Krško, 2. listopada 2023. godine.

18 The Analysis of the Possible Division and Takeover of the Operational and Decommissioning RW from Krško NPP", Revision 2 (Enconet Ltd, October 2025)

19 Feasibility study - Waste reconditioning and cementation, ORANO, August 2022 (Studija izvodljivosti – Kondicioniranje i cementiranje otpada)

20 Studija izvodljivosti, interni dokument (ST-FDK-389/20-DSK01-R0), Enconet Zagreb, Javys Bratislava i Ekonerg Zagreb, ožujak 2023

21 Ekonerg Zagreb: Idejni projekt - Izgradnja Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, I-06-1473-SP, ožujak 2024

22 Ekonerg, Osnove Terminskog mrežnog plana, 2017

23 Enconet, Zbrinjavanje nisko i srednje radioaktivnog otpada iz NE Krško u Republici Hrvatskoj, 2016

24 Uredba o državnem prostorskem načrtu za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov na lokaciji Vrbina v občini Krško, (Uradni lisr RS št. 114/09 in 50/12)

25 Safety report for the Vrbina LILW Repository, Krško, No NSRAO2-POR-038, ARAO, November 2021

26 Mišljenja Uprave Republike Slovenije za jedarsko varnost o izgradnji odlagališta niskog i srednjeg radioaktivnog otpada, No 3510-3/2019/162, siječanj2022

27 Investicijski program, Rev. F, Odlagalište NSRAO, Vrbina, Krško, IBE d.d., januar 2024

28 Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti, Uradni lisr RS 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZVISJV

29 Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet: Revizija studije određivanja diskontne stope Fonda NEK a modelom novčanih tokova, travnja 2024. godine.