



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	11. 12. 2023.
		Ažuriranje u skladu s revizijom Zadatka izvještavanja B1 rev. 00	
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 masa 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 [m³]	Osnovni scenarij 1 volumen [m³]	Dod. scenarij A i B volumen [m³]
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 [m³]		
	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
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 trenutno 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.	
Završetak 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 (<i>brownfield stanje lokacije</i>)	2./2058.	4./2057.	2./2078.	
Završetak rada SFDS-a	1./2103.		1./2123.	
<i>Greenfield stanje lokacije</i>	7./2107.		7./2127.	

Tablica 0-6: Glavne faze¹ 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 odložiti 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:	Utvrdene 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 parogeneratorskog kruga	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 presjek u središnjoj ravnini jezgre).....	166

Slika 15-5:	Jednogrupalni 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 štiti.....	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 faze projekta 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: Dugoživi 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. <i>as low as reasonably achievable</i>)
CALCOM	Izračun i upravljanje troškovima (engl. <i>Calculation and Cost Management</i>)
CORA	Registracija i analiza komponenata (engl. <i>Component Registration and Analysis</i>)
D&D	Dekontaminacija i razgradnja (engl. <i>Decontamination and Decommissioning</i>)
DB	Zgrada za dekontaminaciju (engl. <i>Decontamination Building</i>)
PR	Program razgradnje (engl. <i>Decommissioning Program</i>)
DQAP	Program osiguranja kvalitete razgradnje (engl. <i>Decommissioning Quality Assurance Program</i>)
FA	Gorivni elementi (engl. <i>Fuel Assemblies</i>)
FHB	Zgrada za manipuliranje gorivom (engl. <i>Fuel Handling Building</i>)
FSD	Potpuna dekontaminacija sustava (engl. <i>Full system decontamination</i>)
HEP	Hrvatska elektroprivreda
IAEA	Međunarodna agencija za atomsku energiju (engl. <i>International atomic energy agency</i>)
MCNP	Monte Carlo N-Particle Transport Code
MDP	Međudržavno povjerenstvo (engl. <i>Intergovernmental Commission</i>) za praćenje provedbe bilateralnog ugovora, IC
NE	Nuklearna elektrana (engl. <i>Nuclear Power Plant</i>), NPP
NEK	Nuklearna elektrana Krško
NIS	Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH
NPV	Neto sadašnja vrijednost (engl. <i>Net Present Value</i>)
NRC	Američka Nuklearna regulatorna komisija (engl. <i>Nuclear Regulatory Commission</i>)
NSRAO	Nisko i srednje radioaktivni otpad (engl. <i>Low and Intermediate Level Waste</i>), LILW
NUREG	Oznaka tehničkog izvještaja američke Nuklearne regulatorne komisije
OWA	Pogonski otpad (engl. <i>Operational Waste</i>)
PCB	Poliklorirani bifenil
PDP	Preliminarni plan razgradnje (engl. <i>Preliminary Decommissioning Plan</i>)
PDV	Porez na dodanu vrijednost (engl. <i>Value-Added Tax</i>), VAT
POP	Faza nakon rada (engl. <i>Post Operational Phase</i>)
PWR	Tlakovodni reaktor ili Lakovodni tlačni reaktor (engl. <i>Pressurised Water Reactor</i>)
QA	Osiguranje kvalitete (engl. <i>Quality Assurance</i>)
R&D	Istraživanje i razvoj (engl. <i>Research & Development</i>)
RCC	Armiranobetonski spremnik (engl. <i>Reinforced Concrete Container</i>)
RPV	Reaktorska tlačna posuda (engl. <i>Reactor Pressure Vessel</i>)
RU	Jedinica za izvlačenje goriva (engl. <i>Retrieval Unit</i>)
ING, IG	Istrošeno gorivo (engl. <i>Spent Fuel</i>)
SFDS	Suho skladište istrošenoga goriva (engl. <i>Spent Fuel Dry Storage</i>)

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

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 elektrana 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 prienosnu 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 trenutne 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 trenutnom ponudom. U osnovnom scenariju 0 i dodatnim scenarijima uklanjanje starih parogeneratorskog dijela je pripremljenih 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

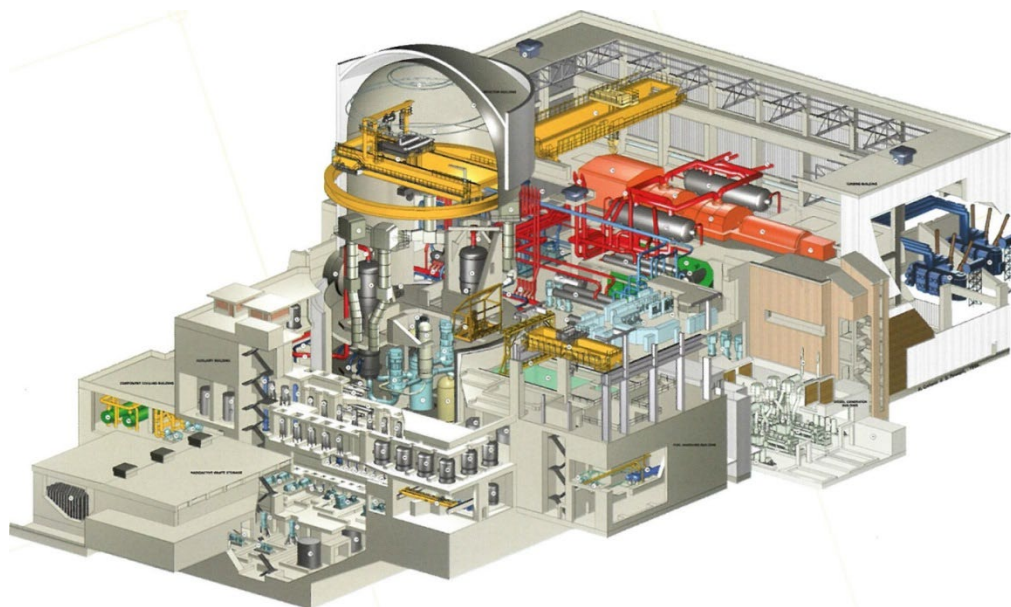
NE Krško nalazi se na lijevoj obali rijeke Save u industrijskoj zoni grada Krškog. Do elektrane se dolazi industrijskom cestom povezanom s regionalnom prometnicom Krško – Brežice. Do elektrane vodi i industrijska pruga koja je povezuje sa željezničkom postajom u Krškom.

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 parogeneratorskog 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 višecelijski 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 rashladna kruga, a sastoji se od reaktorske posude (RVP) s unutarnjim dijelovima i poklopcem, dvaju parogeneratorskih 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 parogeneratorskog 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 fisijским produktima reguliraju se promjenom koncentracije borne kiseline u reaktorskom rashladnom sredstvu.

Dva stara parogeneratorska 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 remonta 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 ekspanzira do 0,8 MPa. Potom prolazi kroz separator vlage i dogrijač u dvoprotočnu niskotlačnu turbinu u kojoj ekspanzira 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 $\cos \phi$ 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 m³/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 prenosi 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

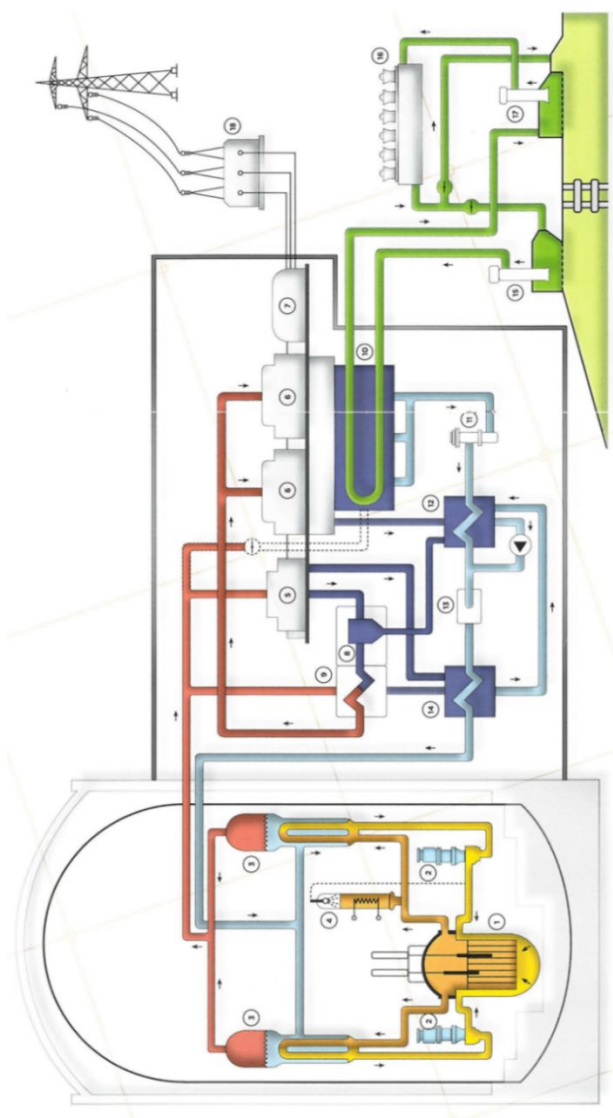
Tijekom rada nuklearne elektrane nastaje plinoviti, tekući i kruti otpad. Elektrana je opremljena sustavom za obradu plinovitog otpada koji se sastoji od dvaju usporednih zatvorenih petlji s kompresorima i katalitičkim rekombinatorima za vodik i od šest spremnika za raspad stlačenih fisijskih plinova. 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, koncentrat 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. Višečelijski 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: *COmponent Re-gistration and Analysis*, 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 ovboga 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.

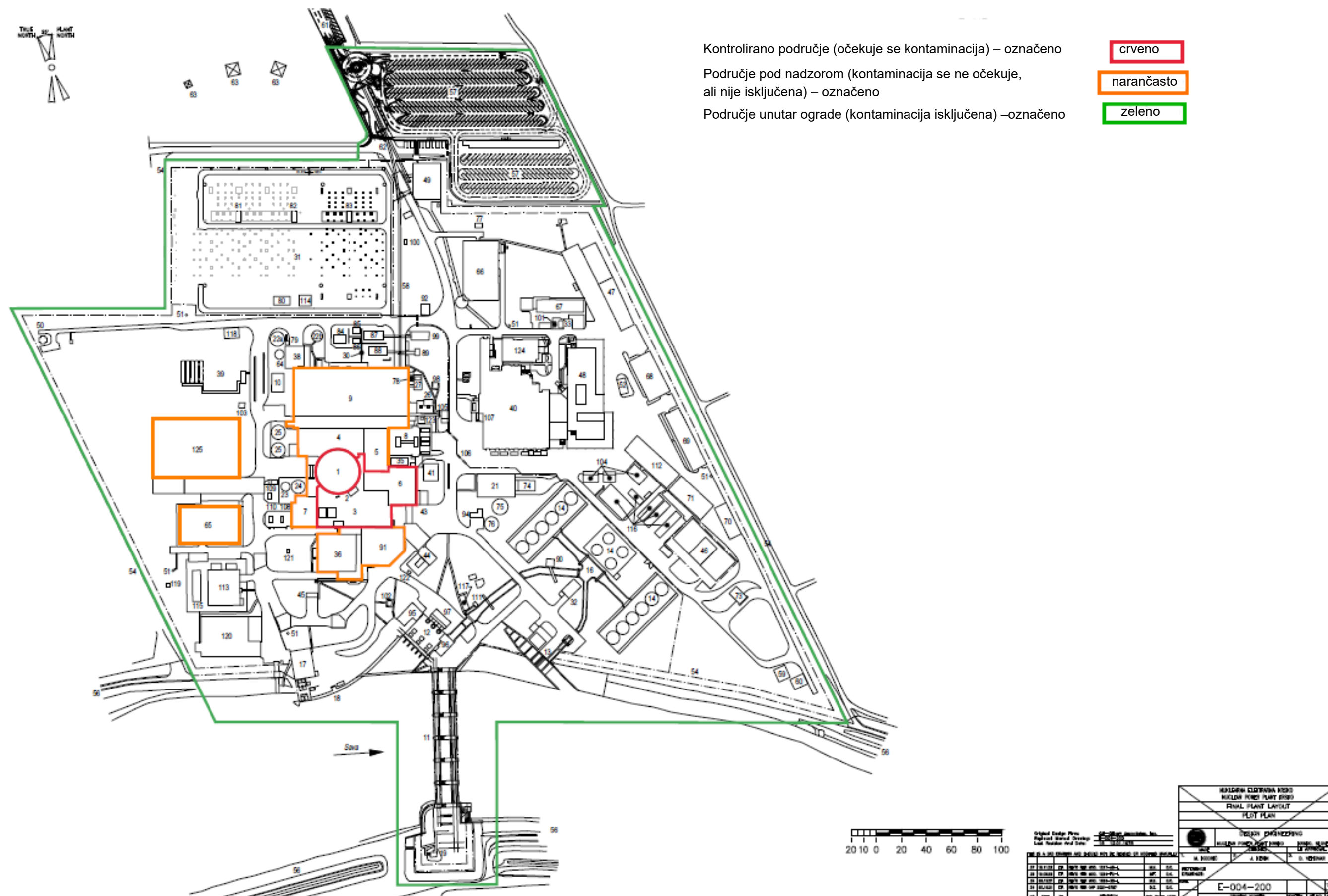
Ukupno je u CORA-i registrirana masa od oko **466 654 Mg** (tona) za osnovni scenarij i od oko **480 094 Mg** (tona) za oba dodatna scenarija. Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori već su uklonjeni, pa je ukupna masa smanjena na **466 010 Mg** (tona). U navedene mase nisu uključene 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.



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 TOČKA						153,9			153,9	
YRD	DVORIŠTE NEK-A (OBMOČE 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 KOMPO-NENATA				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 RADIO-AKTIVNI 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 u buduću 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, odnosno 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 GORI- VOM	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 OTPA- DOM	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	Stijenska	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. scenarij A i B	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 GORI- VOM	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 GO- RIVA	0,0	0,0	0,0	0,0
WMB	ZGRADA ZA MANIPULIRANJE OTPA- DOM	82,1	14,8	0,0	96,9
Ukupno					1257,4

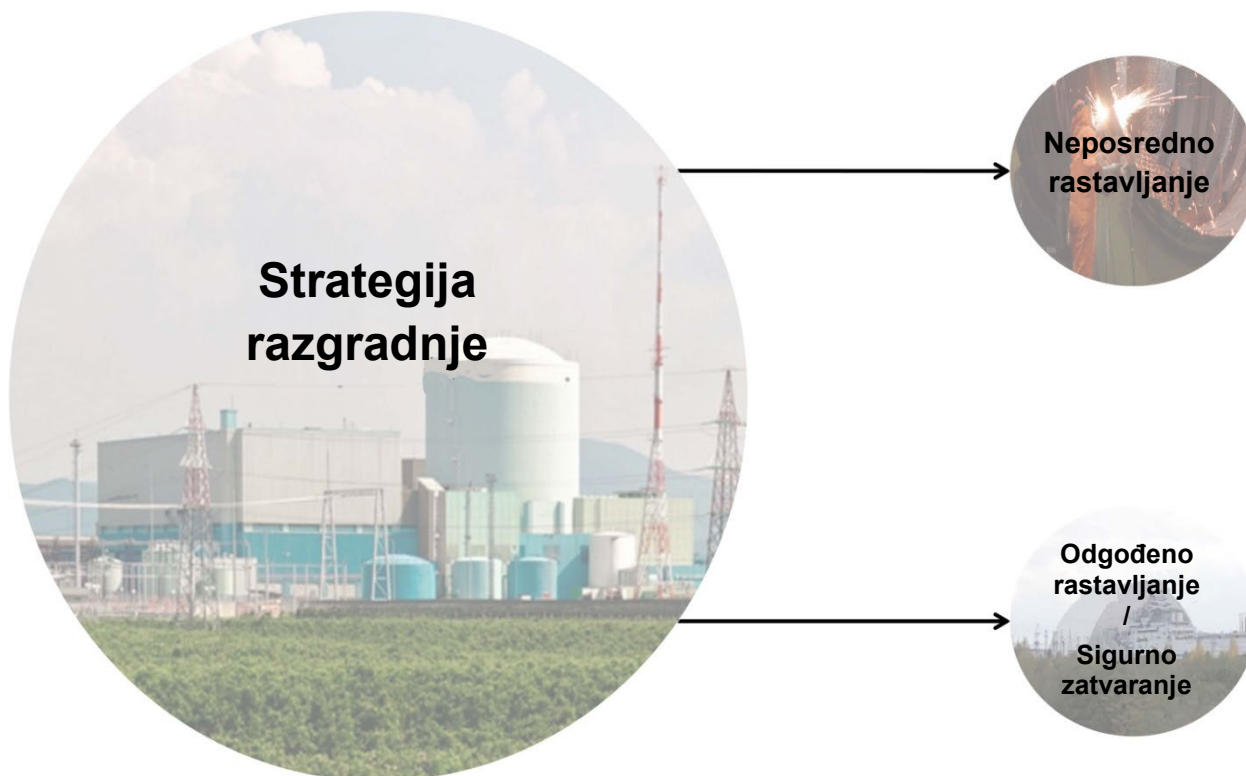
Tablica 2-6: Površine za uklanjanje betona

3 Strategija razgradnje

3.1 Općenito

Prema IAEA² 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 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 naponi 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 / ishodenje 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 detaljno 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 izvlačenje 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 oba dodatna scenarija 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.

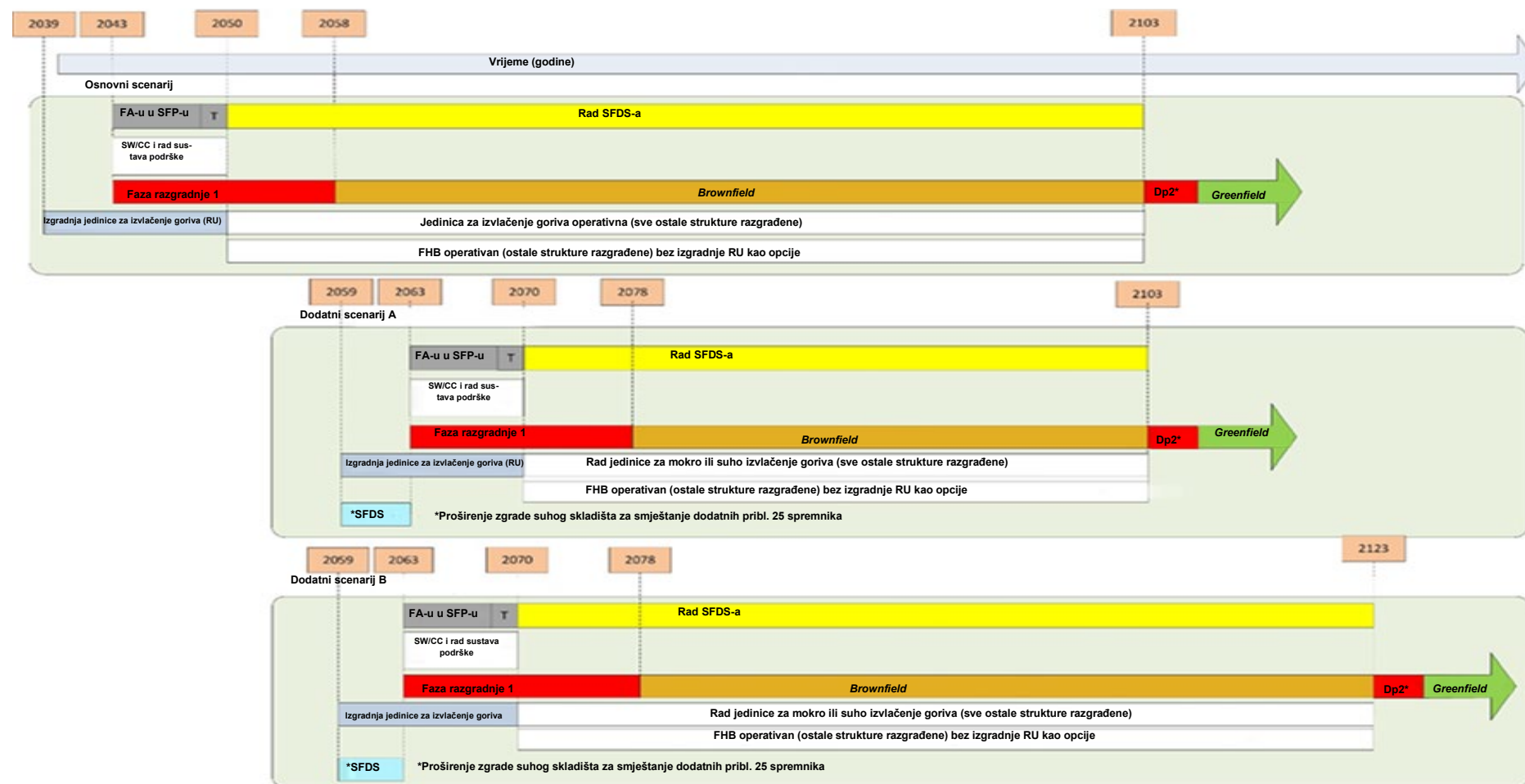
U nastavku se opisuje slijed zadataka razgradnje u okviru strategije neposrednog rastavljanja.

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 odložiti 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

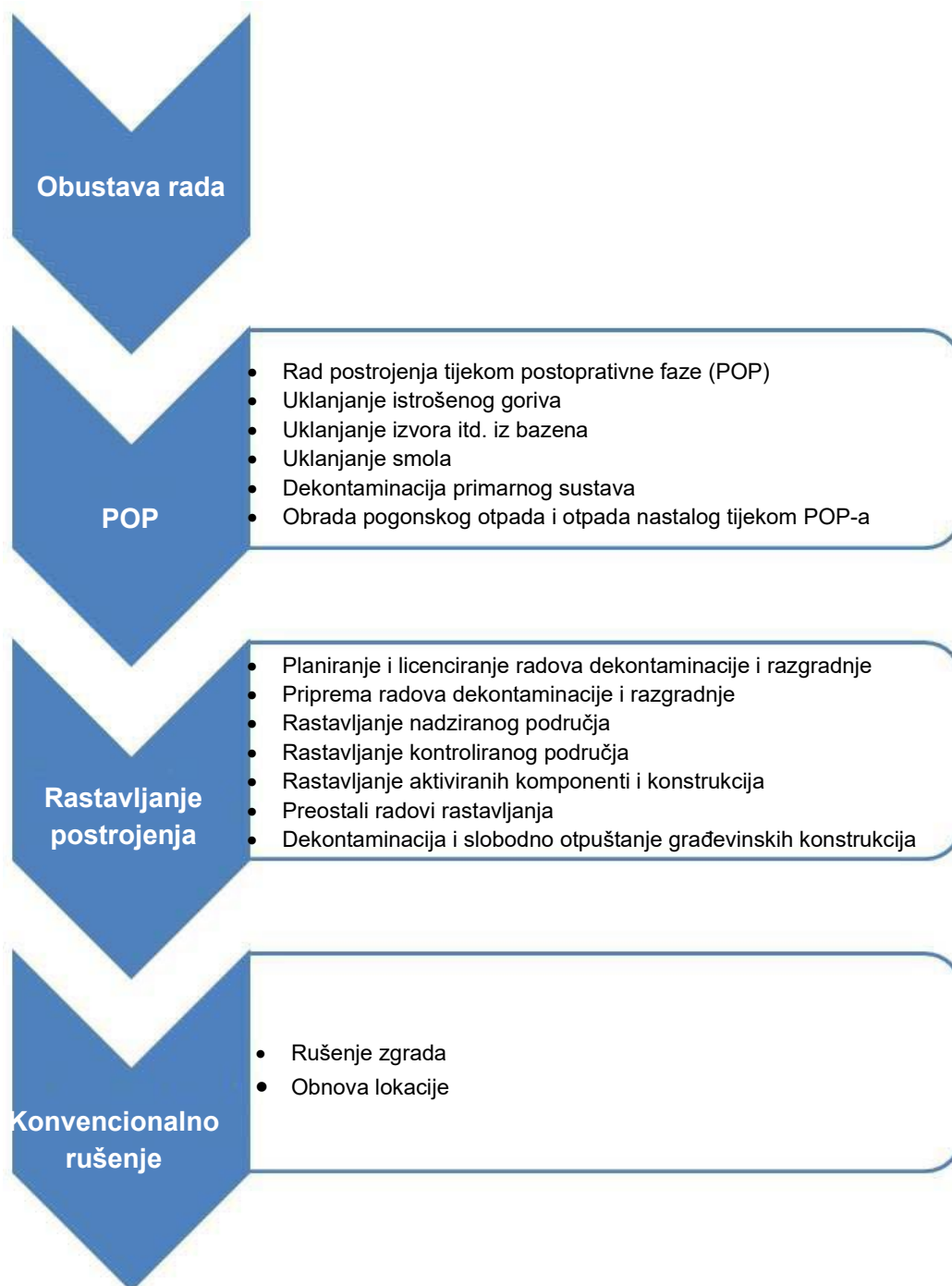
T= Prijenos elemenata istrošenoga goriva (FA) iz SFP-a u SFDS

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 parogeneratori³ 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:



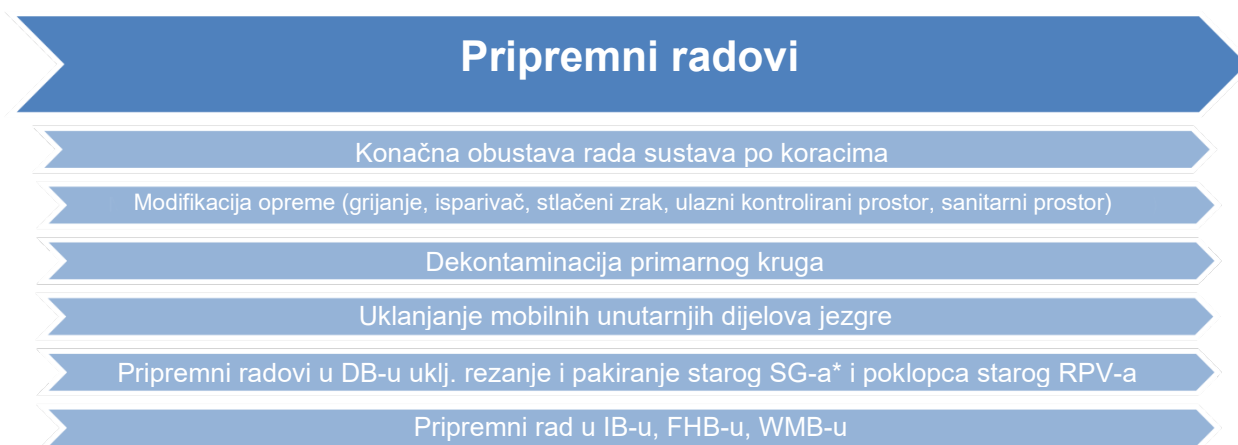
Slika 3-5: Postupci prije razgradnje

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 zadatke 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 parogenerators⁴ i starog poklopca RPV-a.

Gašenje sustava slijedi odmah nakon odobrenja dozvole. Glavne aktivnosti:

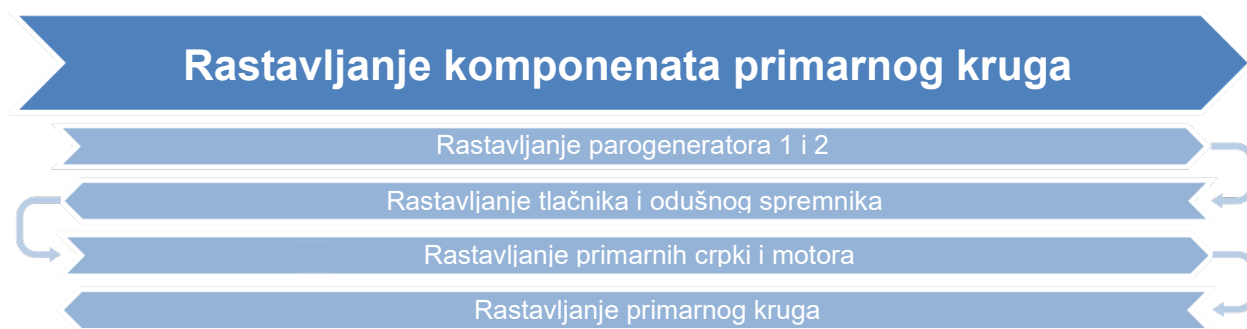
- izrada koncepata i preliminarne evaluacije
- rasprave s vanjskim stručnjacima/agencijama
- gašenje sustava
- potvrda gašenja.

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.

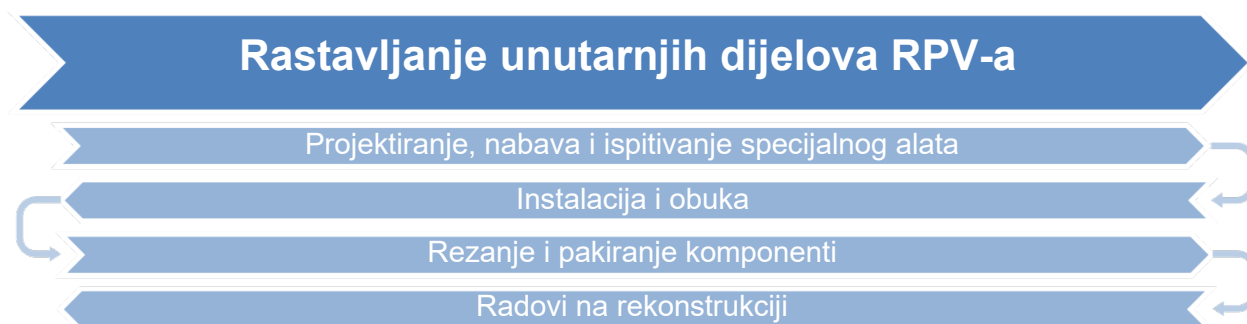
⁴ Kad je riječ o osnovnom scenariju 1, stari parogeneratori uklonit će se već za nekoliko godina.

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

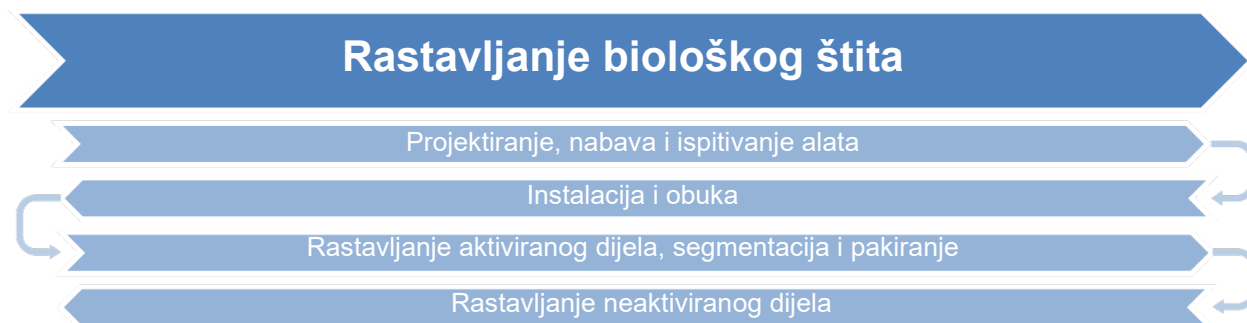
Sljedeći projekt kritičnog puta je rastavljanje RPV-a. Pripremni rad nadovezuje se na završetak rastavljanja unutarnjih dijelova RPV-a. Započinje pripremom reaktorskog bazena za postavljanje opreme za rastavljanje. Rastavljanje može započeti čim završi postavljanje.

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:

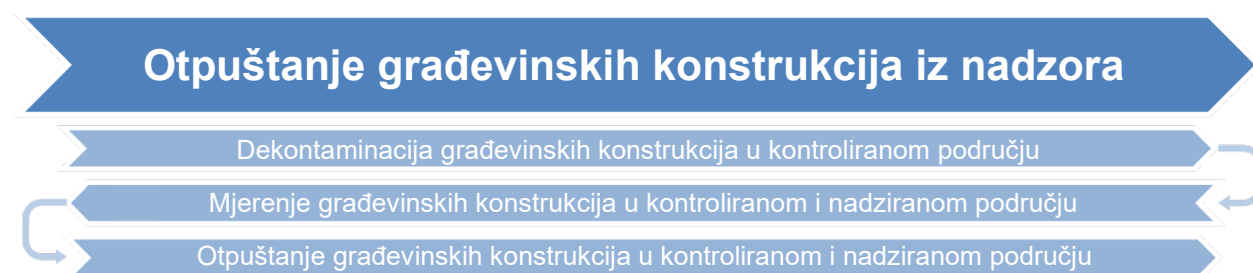


Slika 3-11: Rastavljanje preostalih sustava u kontroliranom području

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, kableske i ventilacijske kanale itd. Završno rastavljanje infrastrukture obuhvaća uklanjanje nepotrebnih alata, skela, čeličnih sandučastih nosača itd.

Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora:

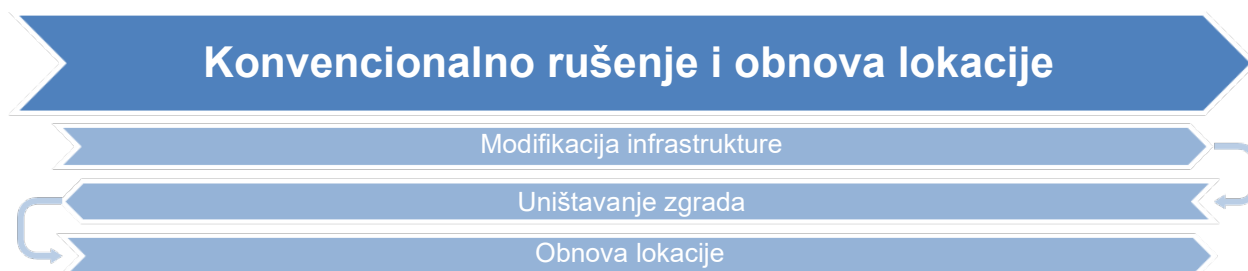


Slika 3-12: Otpuštanje iz nadzora građevinskih konstrukcija u kontroliranom području

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:

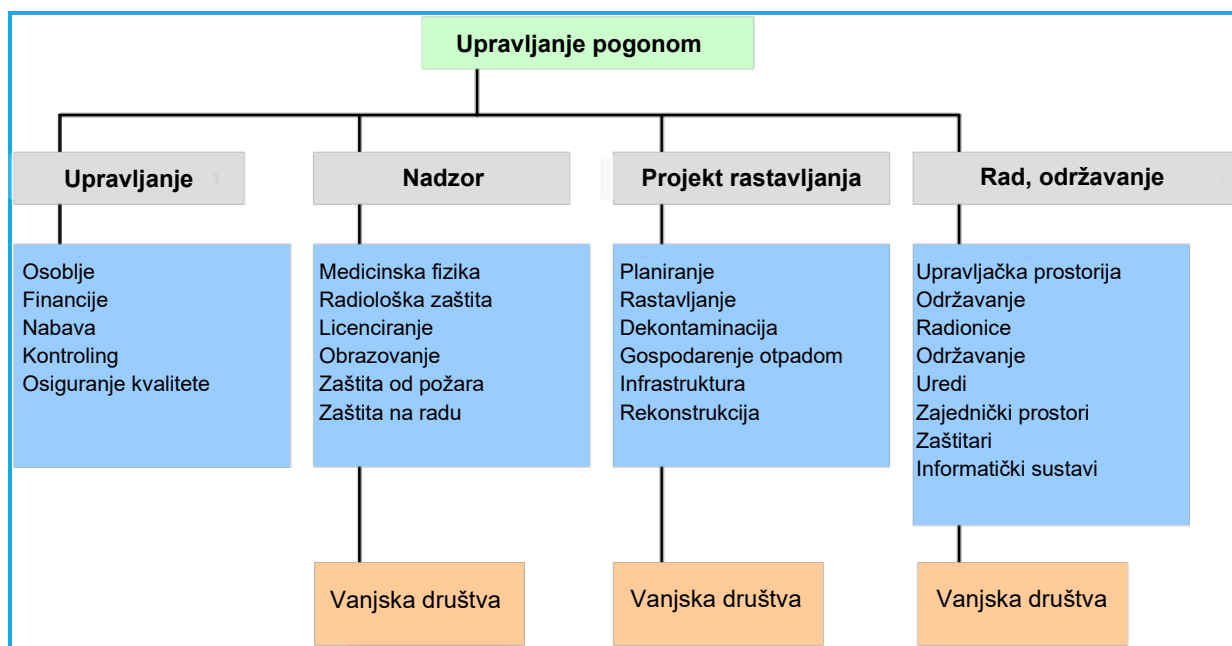
- tehničko znanje o nuklearnim postrojenjima
- upravljanje rizikom
- znanje o razgradnji
- integracijske vještine.

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 otpadom 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 stijenama. 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, zaglavljani vijci, matice itd. s komponentata 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, elektro-lučno 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 rastavljanja⁵
- 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 konzervativno 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:

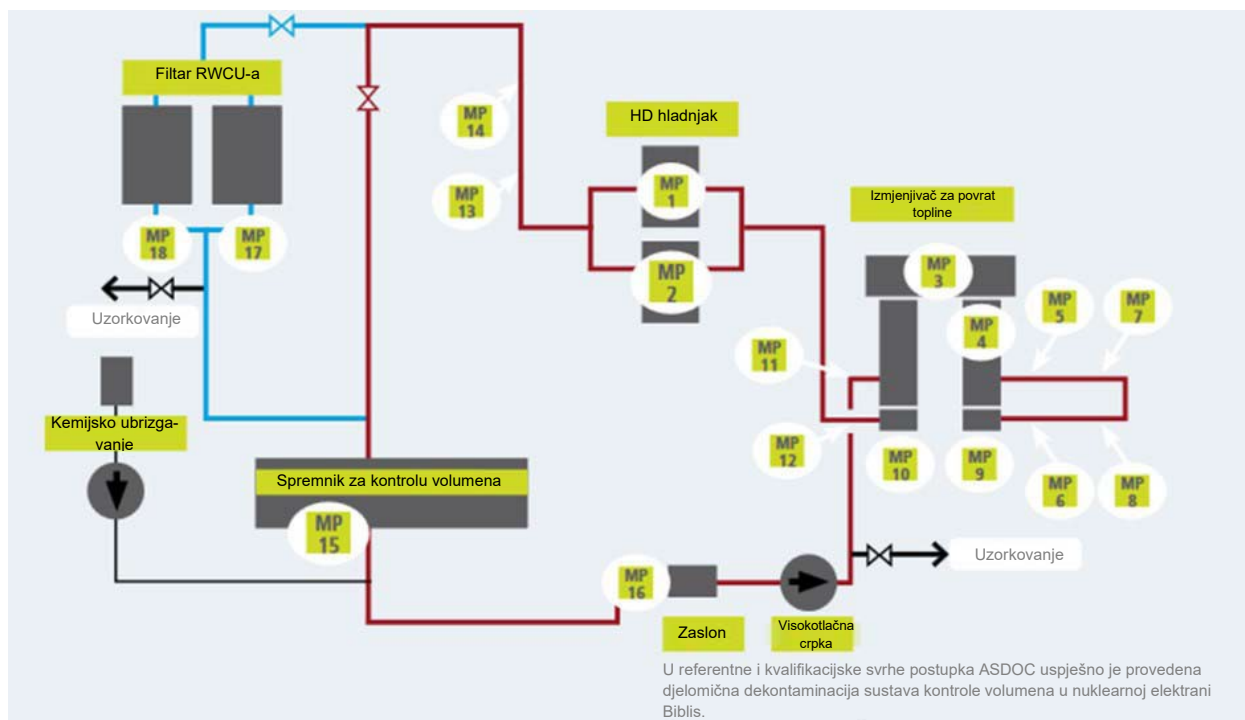
- proces kemijske dekontaminacije ASDOC (NIS)
- koncept CORD® (Framatome).

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 koncentraciji 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 milisieverta. Zahvaljujući preciznoj kontroli procesa ASDOC može se postići dekontaminacija za faktor > 75 .

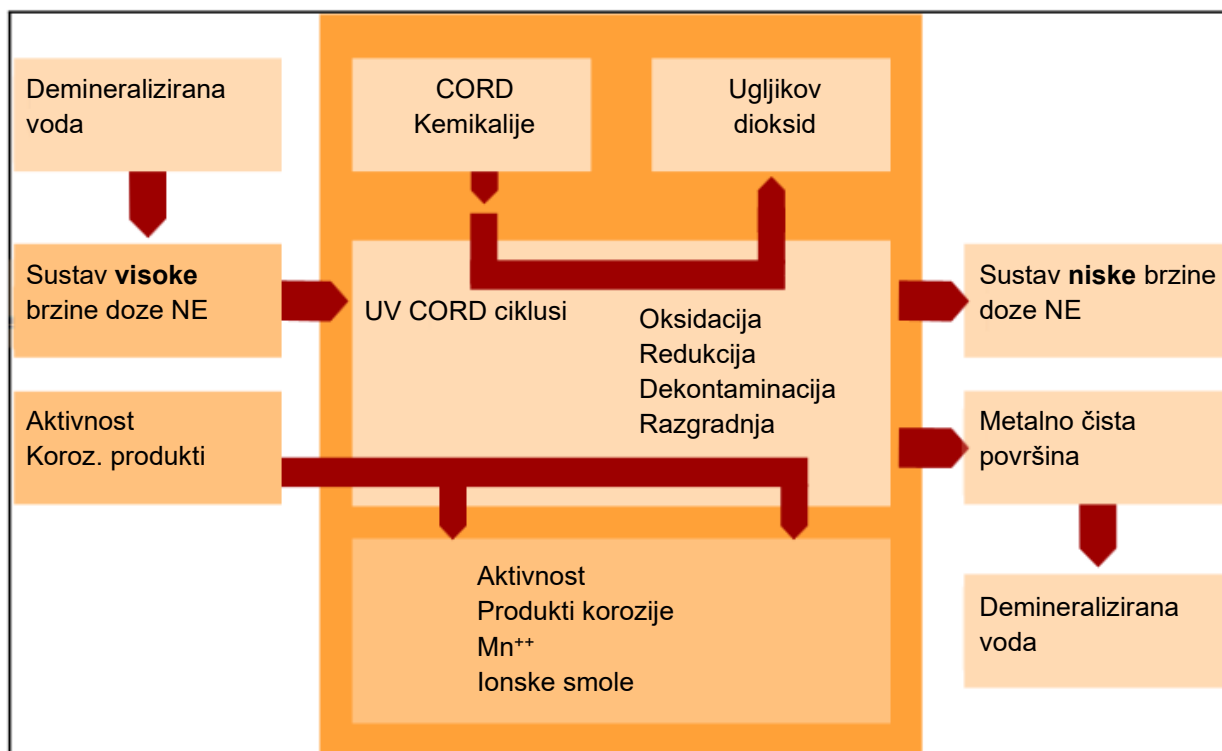
Koncept CORD®:

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 korozijske 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 korozijske 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 prodršla 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 suspendiranim 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 mjesta, 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 dandas 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.



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



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



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



3

Recikliranje materijala „CARLA“

Materijal



Obrada

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



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:

– zalih: 3 godine

– lijevano željezo: 5 godina

– otpad: 1 godina

– skladište za raspad ljevanog željeza na lokaciji:

20 godina



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
mjedi
aluminij
olovo

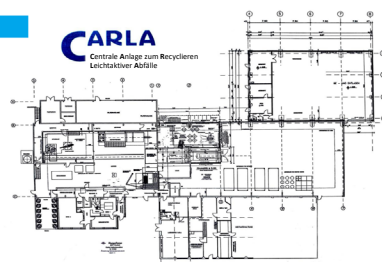
Preferirani nuklidi u uzorku:

– U, Pu, Am, Th, Pa, Sr, Cs, Ag, Eu, C, H
(visok učinak dekontaminacije taljenjem)– Fe, Ni
(visoka ograničenja otpuštanja)– Co
(kratko vrijeme poluraspada)

6

Recikliranje materijala „CARLA“

Skica



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 x 2,5 m x 12 m
- Uređaji
 - šare za otpad
 - plamenik s plazmom
 - pomoćni alati
 - stroj za pjeskarenje

Siempelkamp
Metallurgy

8

Recikliranje materijala „CARLA“

Stroj za pjeskarenje



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

Siempelkamp
Metallurgy

9

Recikliranje materijala „CARLA“

Taljenje



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

Siempelkamp
Metallurgy

10

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
Metallurgy

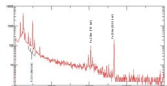
11

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, gaspektrometrijom
- Osiguravanje sveobuhvatne radiološke dokumentacije
- Zadržani uzorci svih frakcija moraju se pohraniti do kraja svakog projekta.

Siempelkamp
Metallurgy

12

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
Metallurgy

13

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
Metallurgy

14

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 sljedeći.

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 širokoraštrani 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 pisac.

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 razmjernan energiji koju u detektor polaže dolazni foton, pretvara se u naponski impuls integralnim pretpojačalom osjetljivim na naboj. Budući da germanij ima relativno mali energijski pricijep, 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 detaljne opise potrebnih radnji. Međutim, postoji razlika: ako komponenta ne prođe slobodno otpuštanje, može se odbaciti i proglasiti radioaktivnim otpadom. To nije prihvatljivo rješenje za zgrade. 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 detaljne 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 zabilježiti 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.

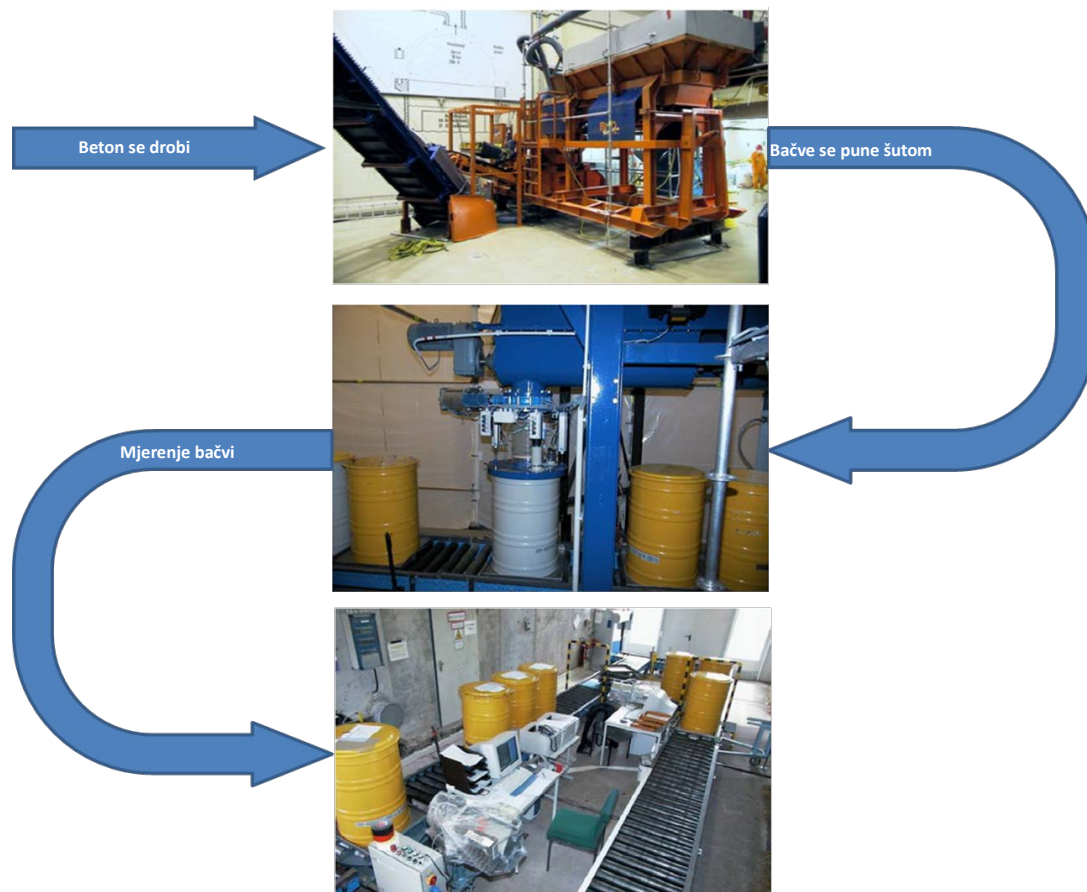


Slika 5-16: Rastavljanje betona unutar kontejnmenta

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

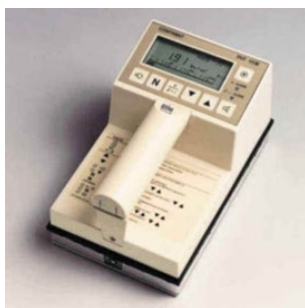
5.1.4.7 Dekontaminacija zgrada i slobodno otpuštanje nuklearnih zgrada

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 detaljnu 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 Contamat⁶ ili Scintomat⁷.



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 mjerac 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 mjerac 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 predložiti 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

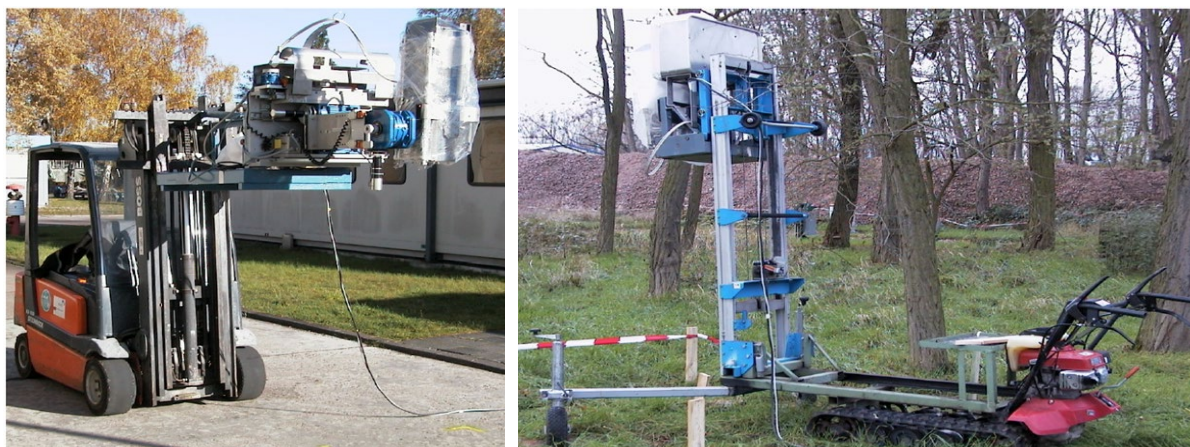
Nenuklearne zgrade mogu se razvrstati na:

- 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 opasnih⁸ 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.) odvajati će se koliko je god to moguće. Prepreke za vlagu odvojiti 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 detaljno 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 trenutnom 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 (CALculation and COst Management, 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	<i>Rad i održavanje</i>
14.02	<i>Sigurnost</i>
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 parogenerators⁹ 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 ispuštima, 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 trenutnoj 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:

- parnogenerators 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 usluge¹⁰ 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)
- sigurnost¹⁰: 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 njihov 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 detaljniji 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.

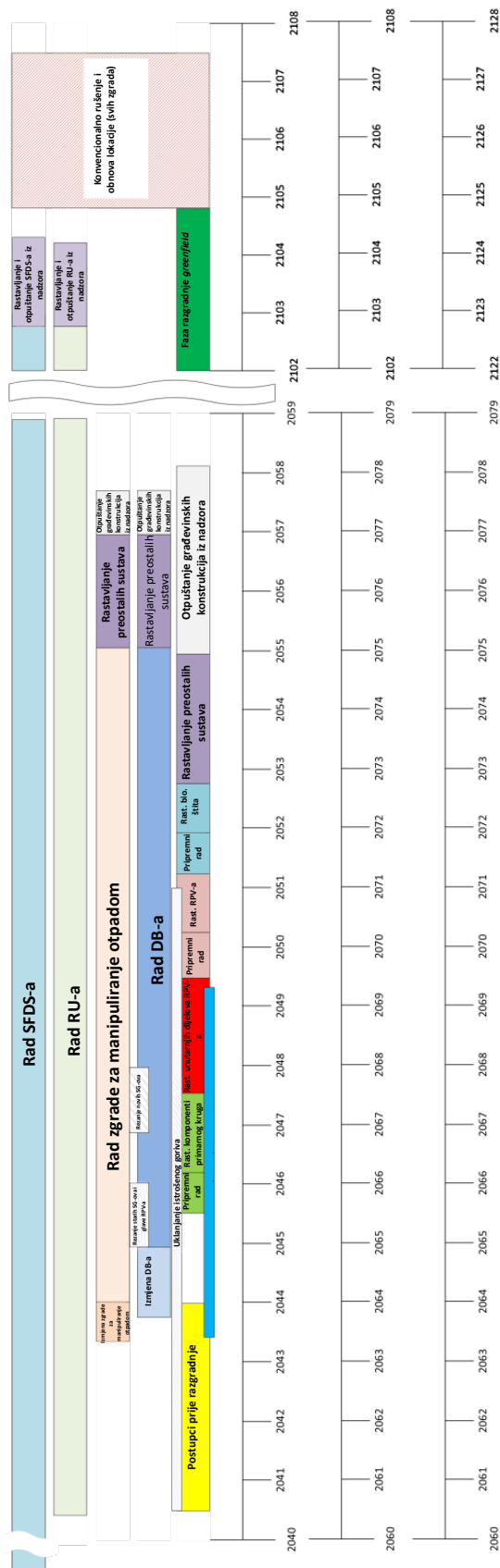
Zaključno, Tablica 5-2 sadržava glavne faze projekta razgradnje NE Krško.

Glavne faze projekta razgradnje NE Krško

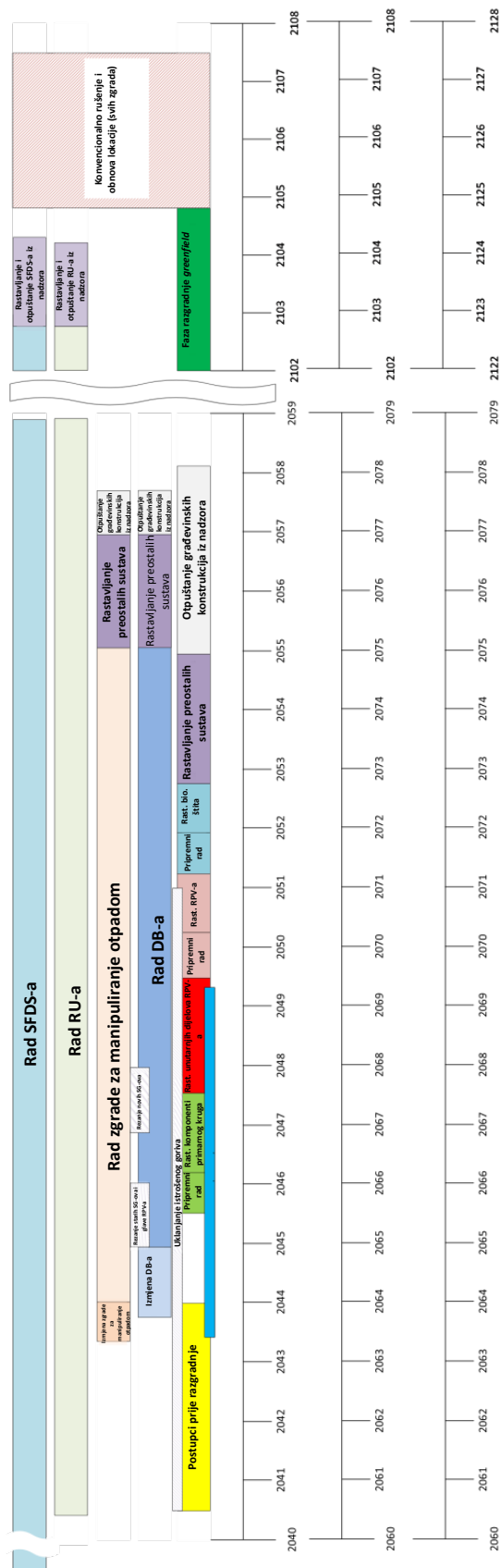
Faze	Mjesec/godina			
	Osnovni scenarij 0	Osnovni scenarij 1	Dod. scenarij A	Dod. scenarij B
Početak projekta (Postupci prije razgradnje)	7./2040.		7./2060.	
Konačna obustava rada / odobrenje D&D-a	12./2043.		12./2063.	
Poklopac starog RPV-a rastavljen i zapakiran	12./2045.	1./2045.	12./2065.	
Kraj razgradnje 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 (<i>brownfield</i>)	2./2058.	4./2057.	2./2078.	
Završetak rada SFDS-a	1./2103.		1./2123.	
<i>Greenfield</i>	7./2107.		7./2127.	

Tablica 5-2: Glavne faze

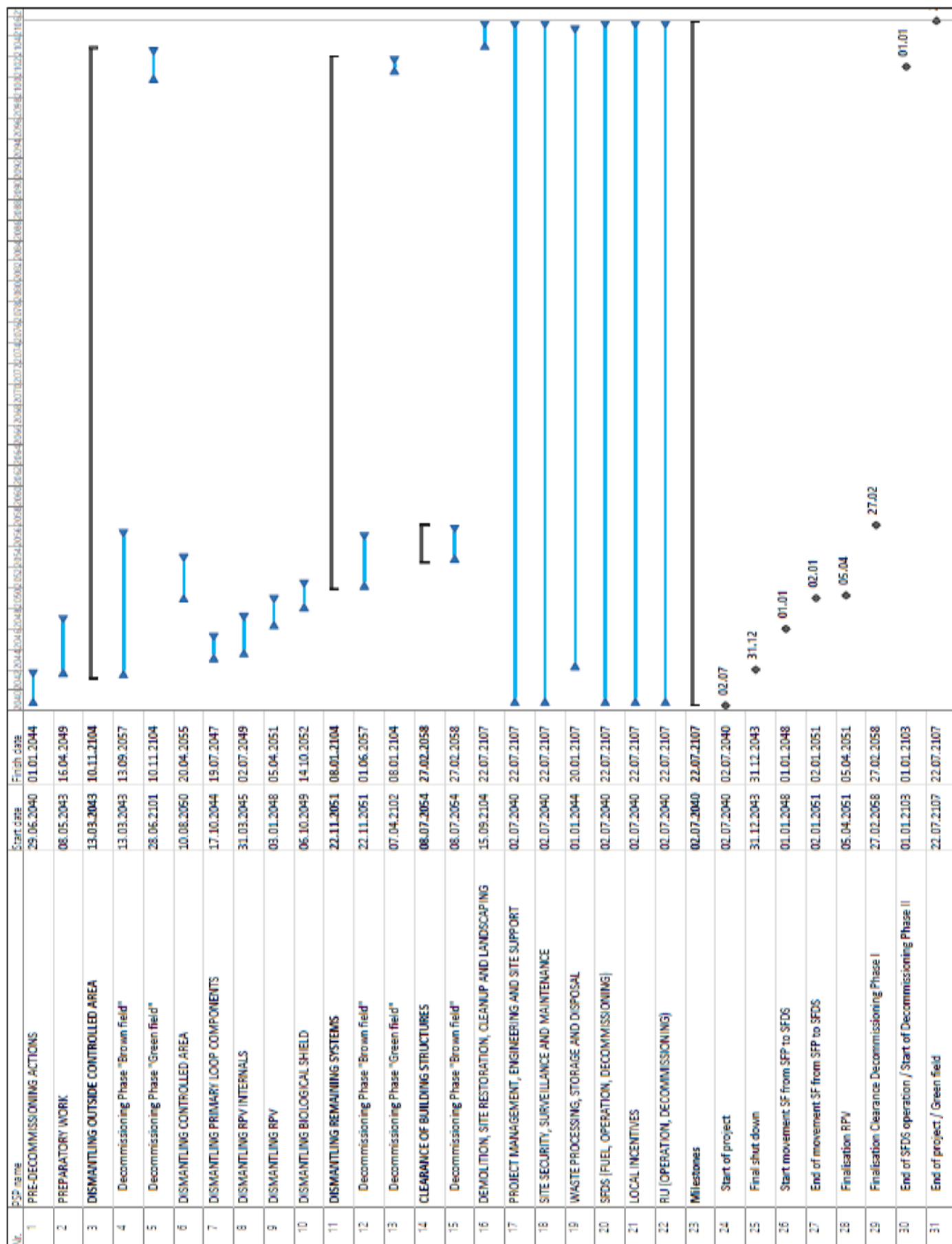
NAPOMENA: radioaktivni otpad iz posljednje kampanje razgradnje SFDS-a odložiti će se u odlagalište VRAO-a jer se postrojenja za odlaganje NSRAO-a neće ponovno otvarati zato što se rastavlja SFDS. To znači da će se na kraju rada SFDS-a sav otpad nastao razgradnjom odložiti zajedno s VRAO-om u odlagalište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

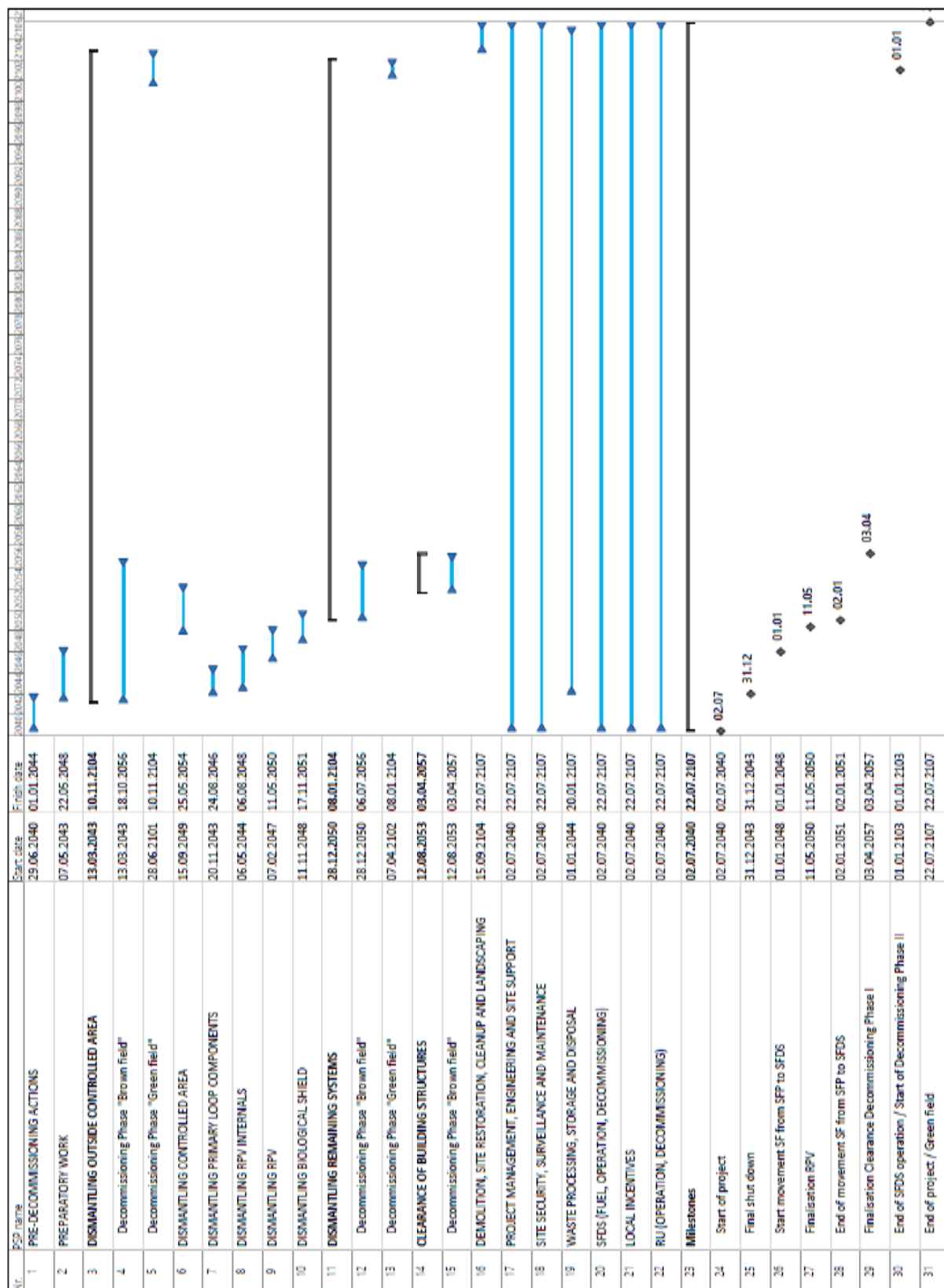


Slika 5-31: Vremenski raspored projekta razgradnje NE Krško (osnovni scenarij 0)

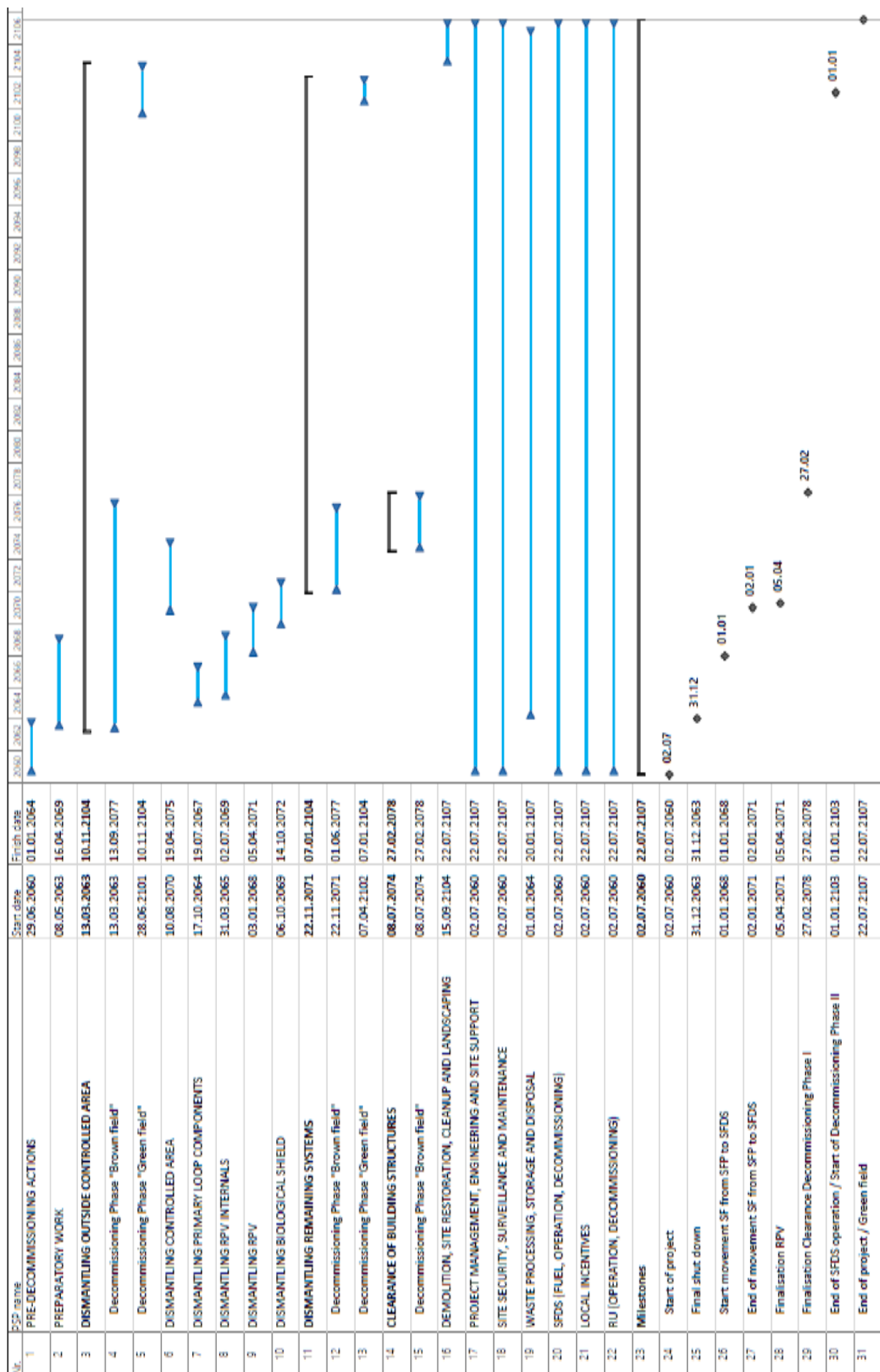
Br.	PSP name
1	PRE-DECOMMISSIONING ACTIONS
2	PREPARATORY WORK
3	DISMANTLING OUTSIDE CONTROLLED AREA
4	Decommissioning Phase "Brown field"
5	Decommissioning Phase "Green field"
6	DISMANTLING CONTROLLED AREA
7	DISMANTLING PRIMARY LOOP COMPONENTS
8	DISMANTLING RPV INTERNALS
9	DISMANTLING RPV
10	DISMANTLING 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 PODRŠKANA 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

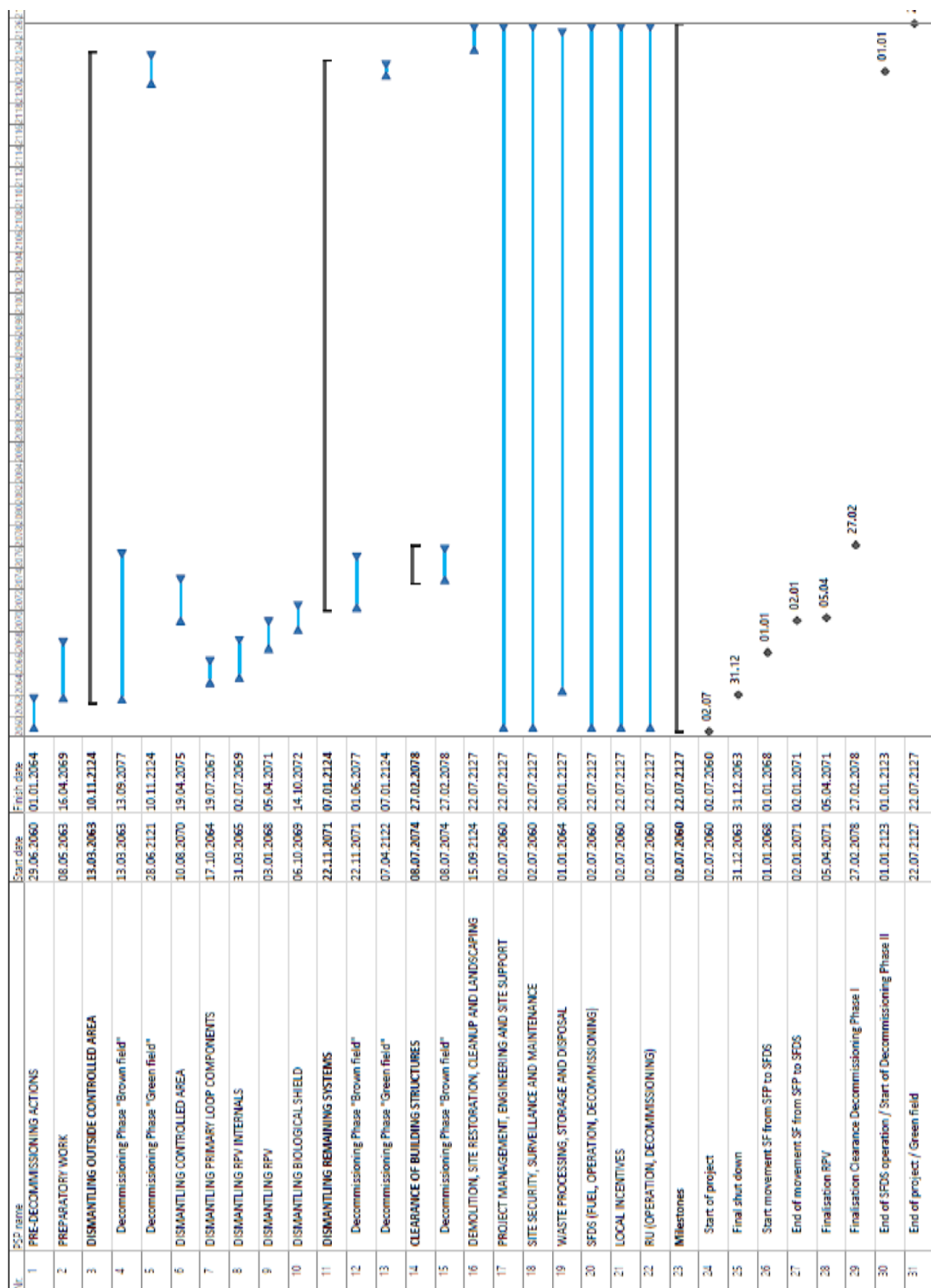
Legenda za slike 5-31 - 5-34



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



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



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 postupaju.

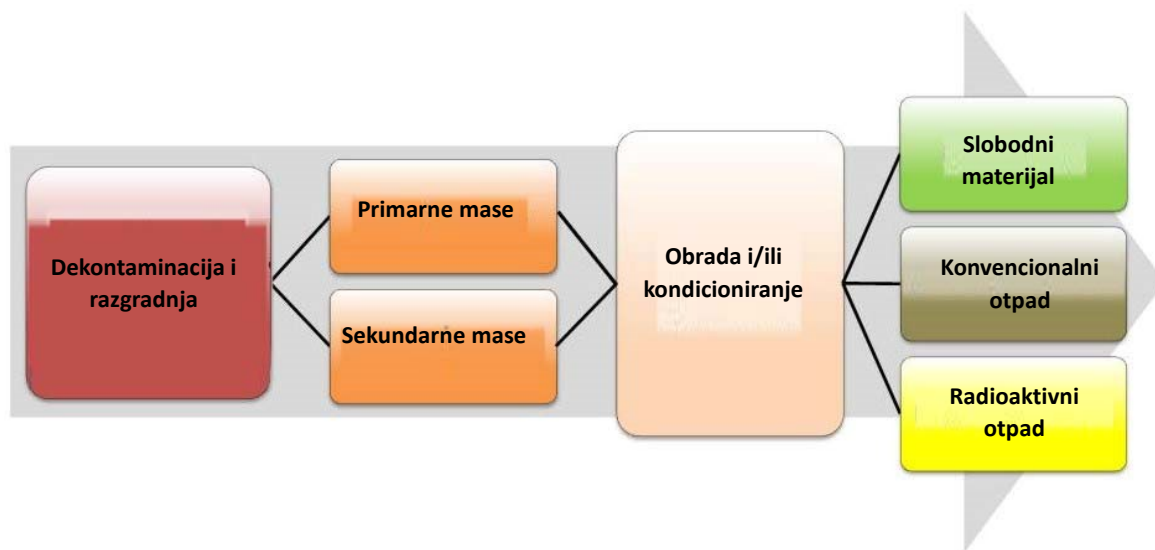
Sažetak:

- Primarne su mase komponente i konstrukcije NE Krško, kao i nova oprema potrebna za rastavljanje. Izravno su unesene u NIS-ovu bazu podataka u aplikaciji CORA.
- 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 sljedećoj 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.

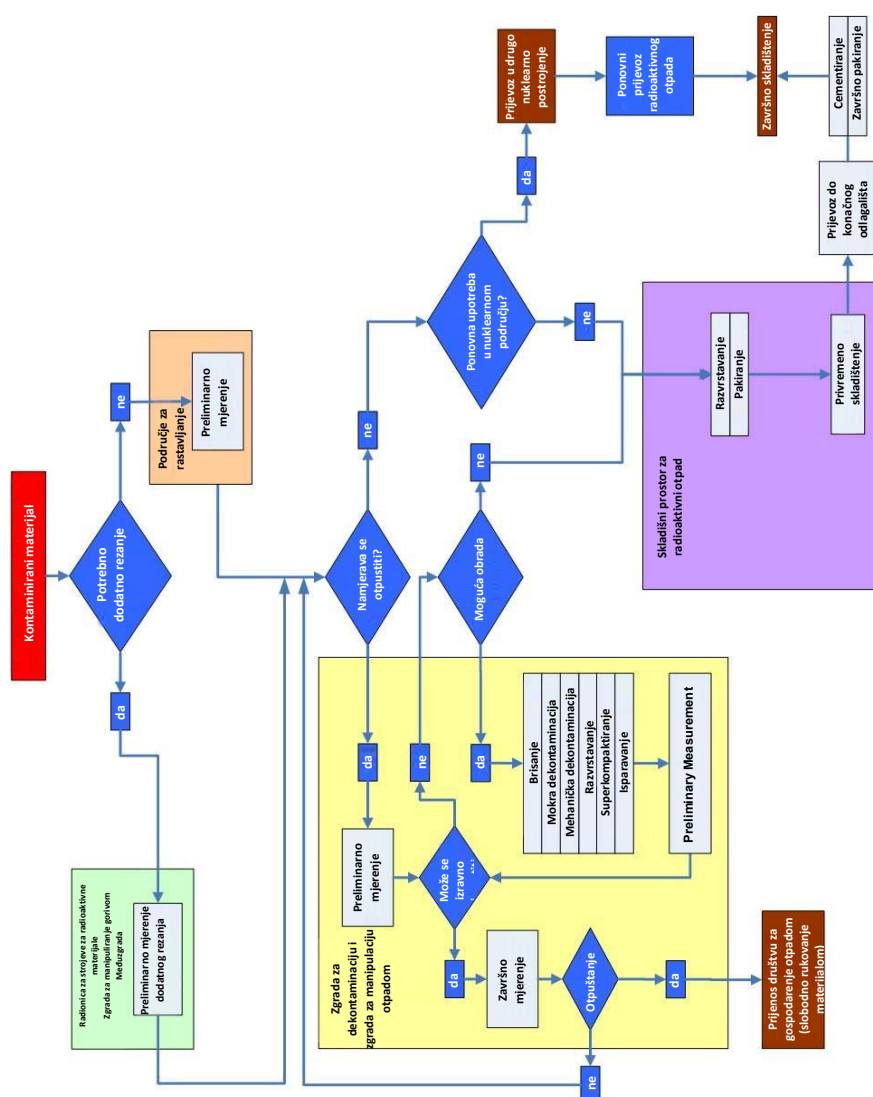
Moguće tehnike za obradu, kondicioniranje i pakiranje masa nastalih nakon razgradnje mogu se sažeti na sljedeći način:

- 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 m³) 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 koncentracije 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.

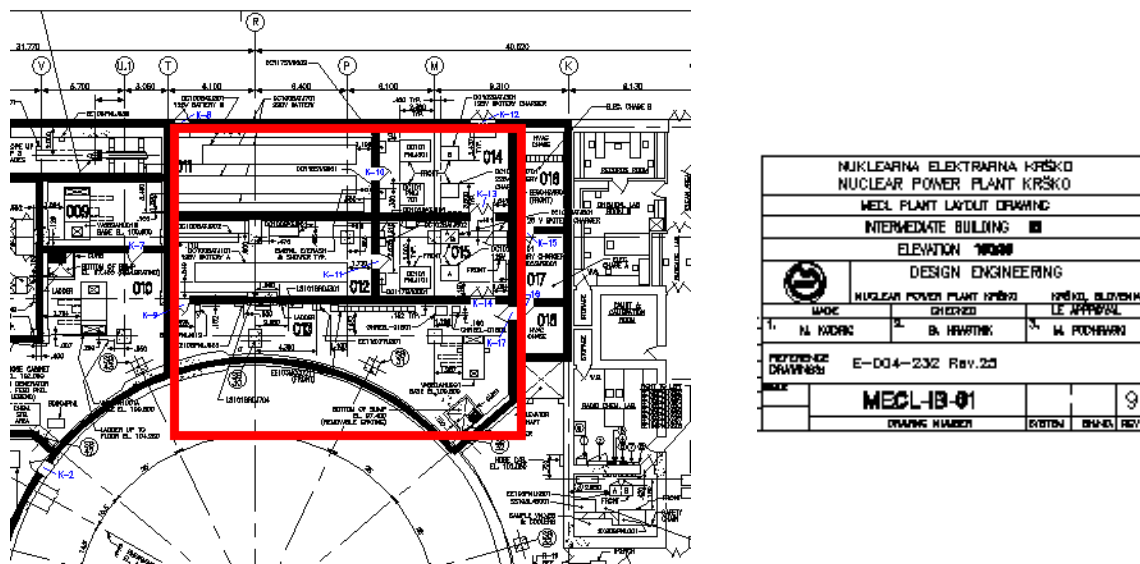


Slika 7-2: Opći postupak zbrinjavanja otpada

Na temelju količine masa koje treba zbrinuti 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.

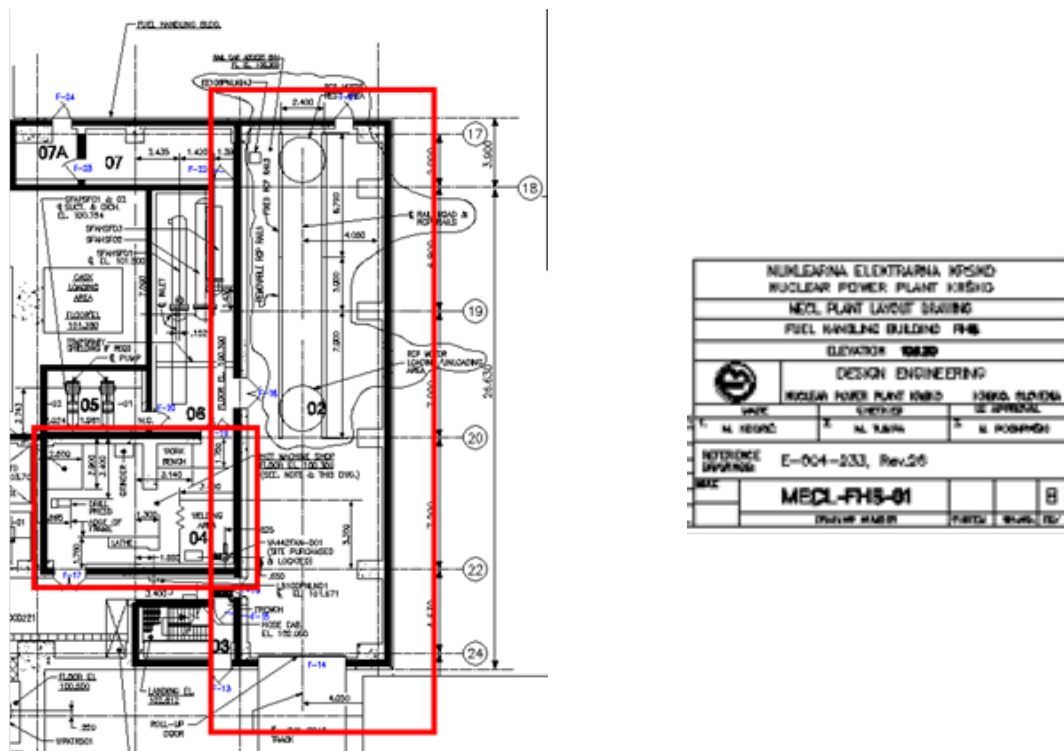
Prostorije i područja koja su odabrana kao prikladna za postrojenja za obradu materijala prikazana su na slikama od Slike 7-3 do Slike 7-6.

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



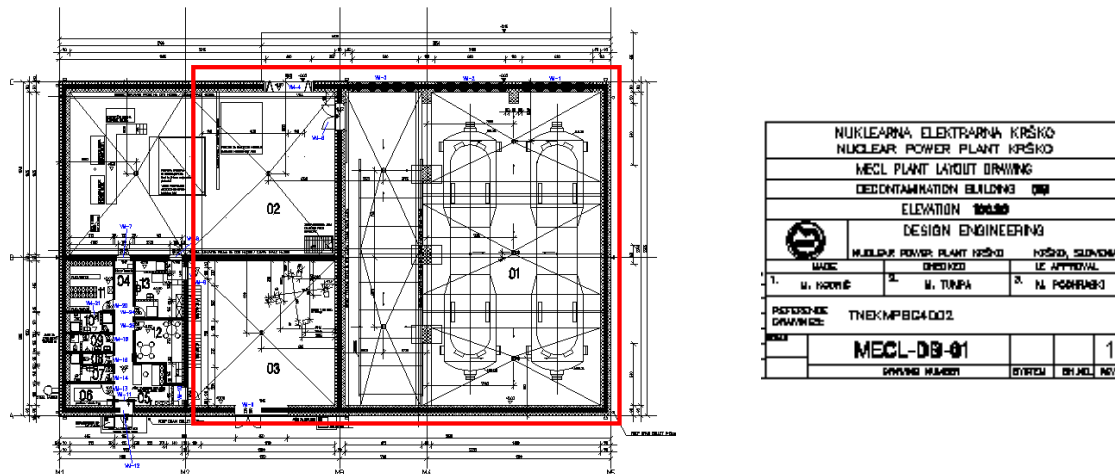
Slika 7-3: Radionica u međuzgradi

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 komponentata i njihova priprema za odvoz s kontroliranog područja.



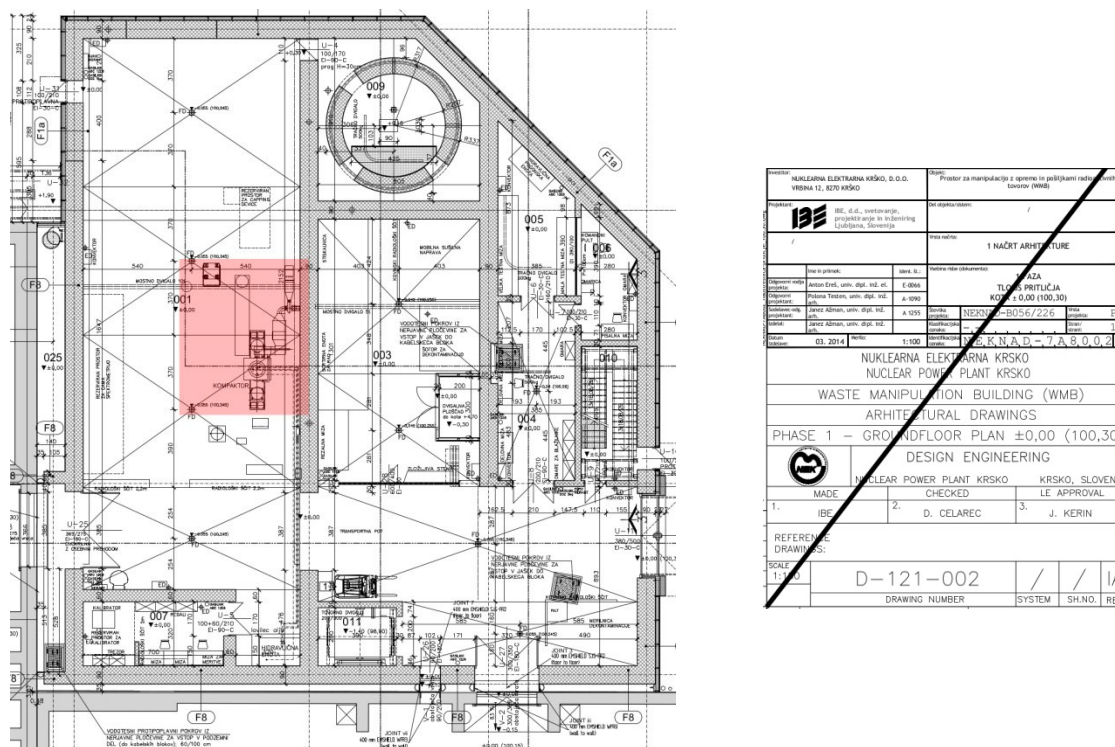
Slika 7-4: Radionica u zgradi za manipuliranje gorivom

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.

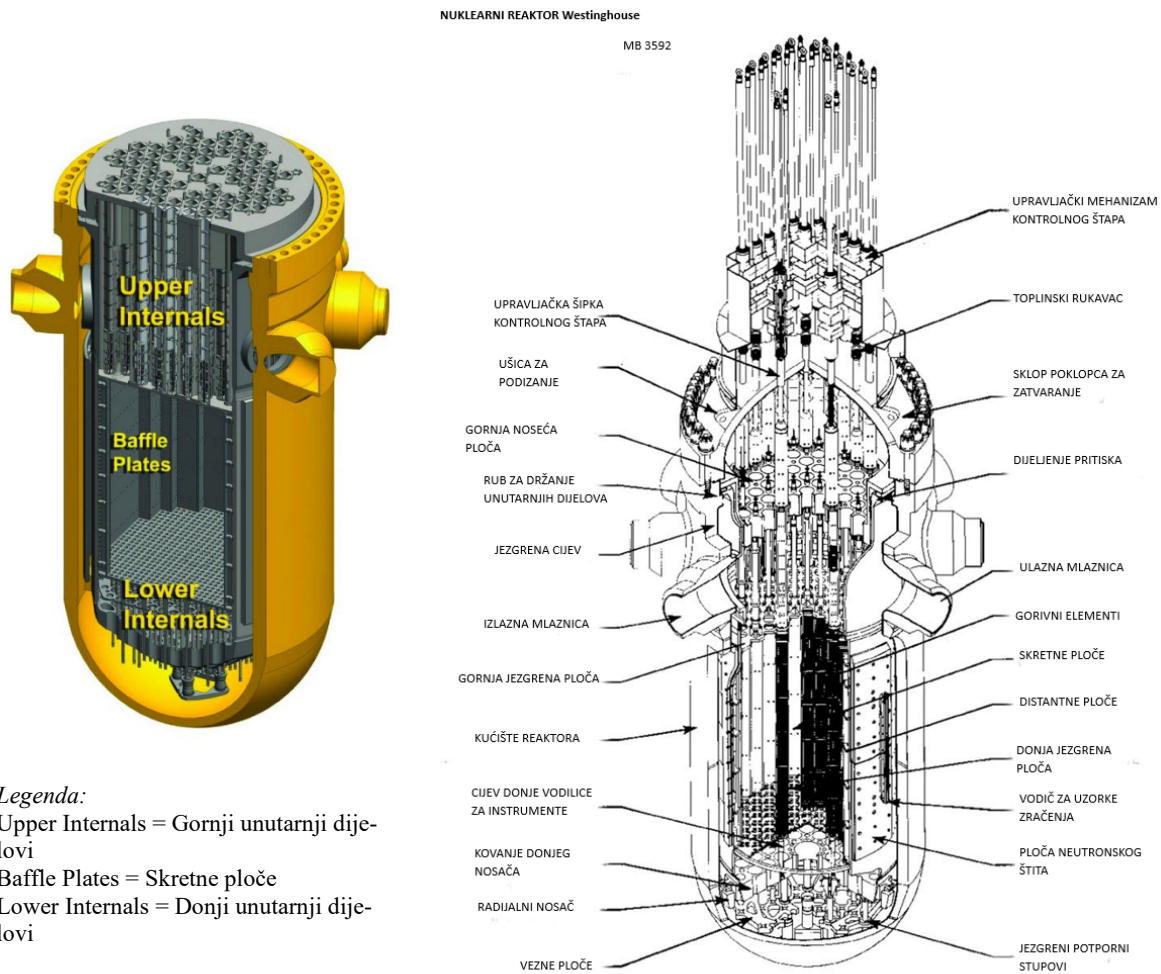
Mobilni unutarnji dijelovi RPV-a

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:

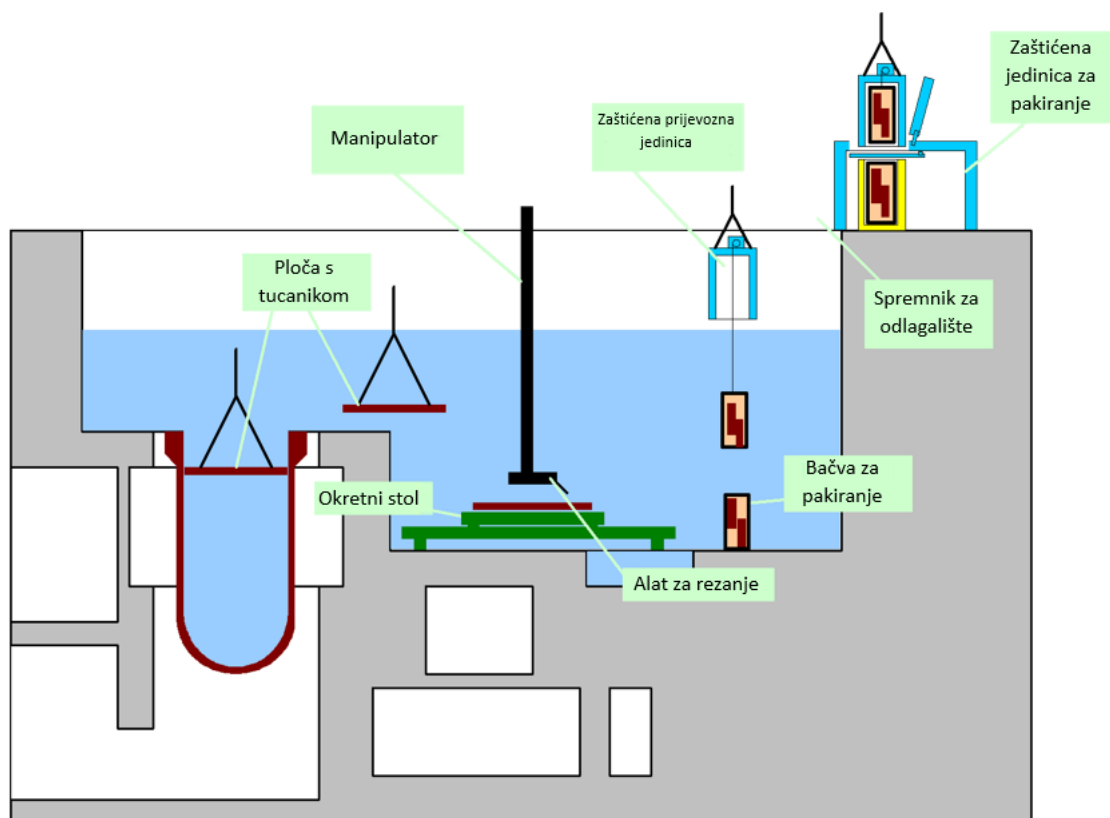
- Holtecov spremnik HI-SAFE uz minimalno rezanje i pohraniti u SFDS
- N2d i RCC spremnike nakon rezanja na odgovarajuću veličinu i pohraniti u skladište, odnosno odložiti u odlagalište NSRAO-a.

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.



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 pripremljenih 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.

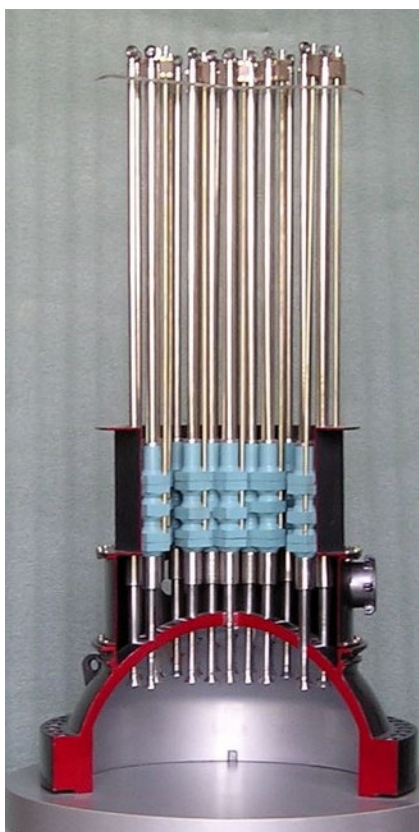
Poklopac RPV-a

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.

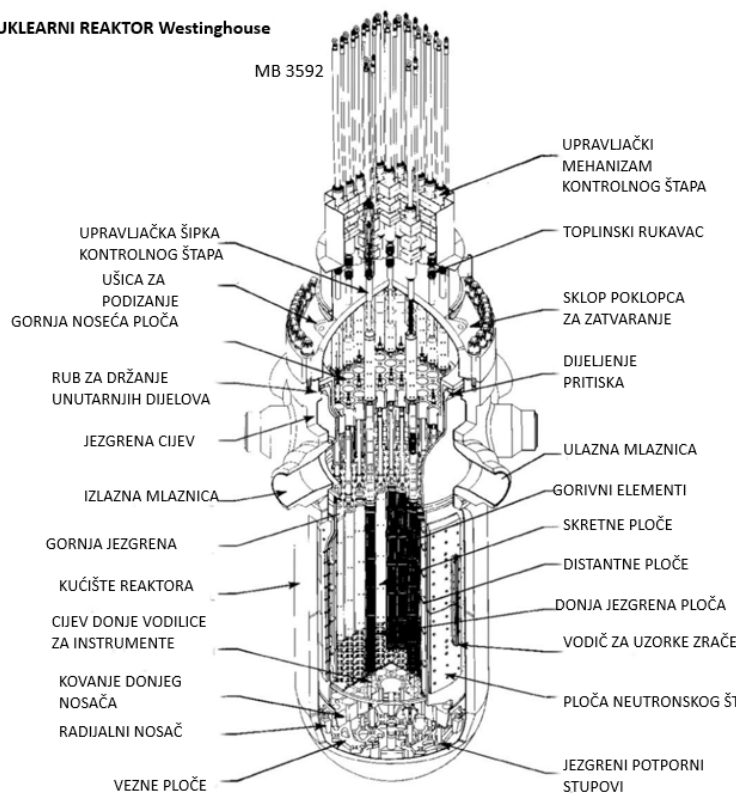
Poklopac RPV-a koji je trenutačno u pogonu i pogonski mehanizam kontrolnog štapa rastavljaju se u šupljini reaktora. Pogon kontrolnog štapa rastavlja se ručno. Poklopac RPV-a reže se na dijelove koji stanu u unutrašnjost spremnika za odlaganje. Uređajem za rezanje acetilenom prave se rezovi izvana (osnovni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

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

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



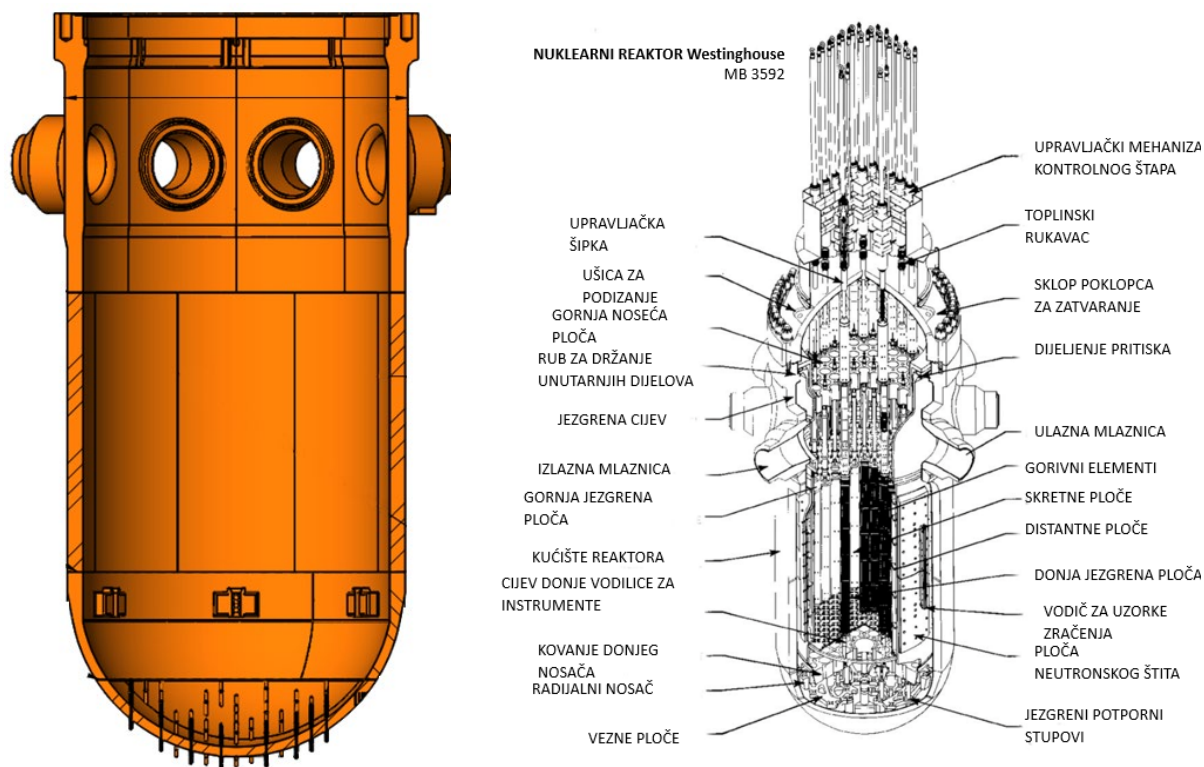
NUKLEARNI REAKTOR Westinghouse



Slika 7-9: Primjeri poklopca RPV-a

RPV

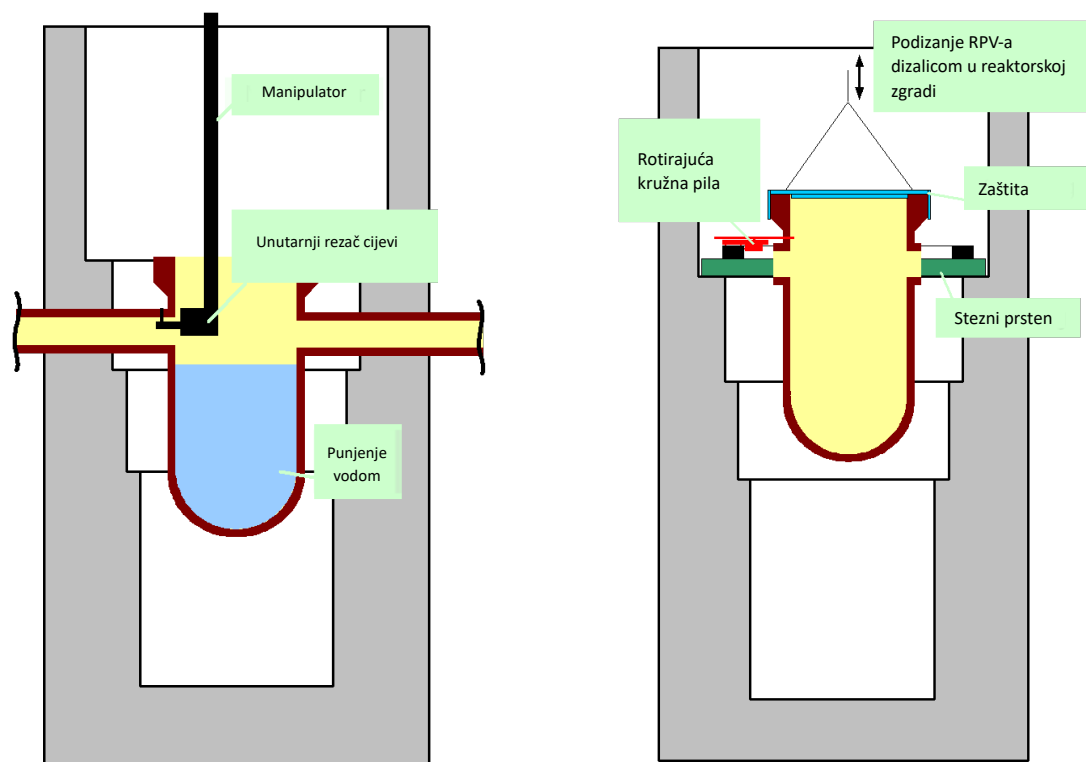
RPV se sastoji od kućišta i poklopca. Kućište ima okomit cilindričan plašt i poluokruglasto dno koje je zavareno na plašt. Kućište prekriva polukuglasti poklopac s prirubnicom. Shematski pregled sličnog RPV-a prikazan je u nastavku:



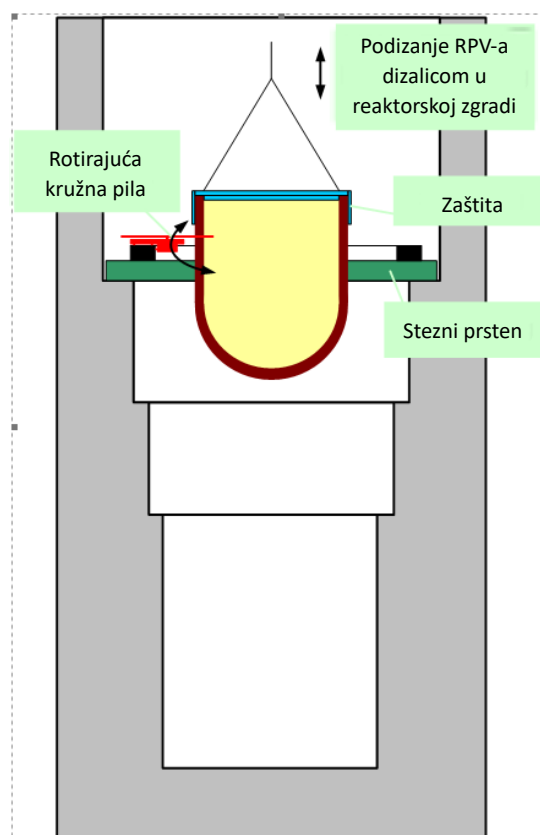
Slika 7-10: Primjeri RPV-a

RPV se rastavlja u koracima sljedećim redoslijedom:

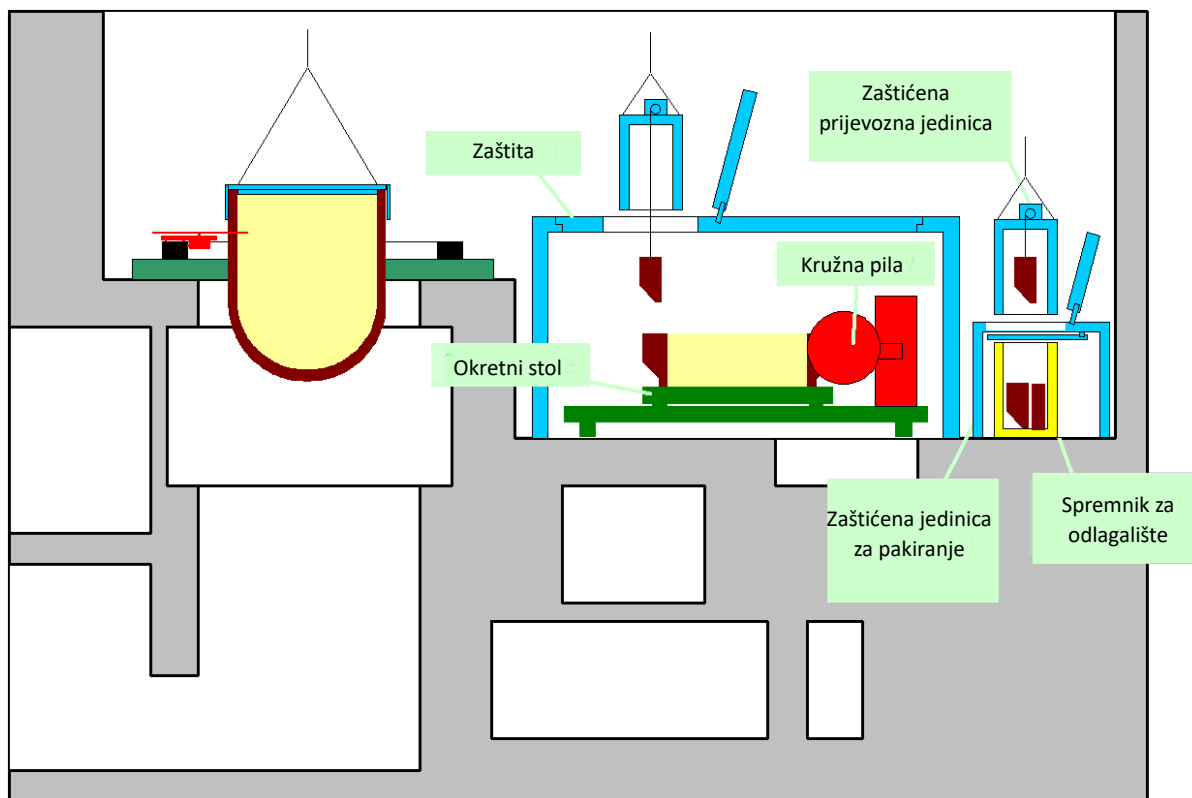
- rezanje cijevi petlje iznutra mehaničkim rezačem cijevi za rezanje iznutra (Slika 7-11)
- postavljanje opreme za pričvršćivanje u šupljinu reaktora iznad RPV-a
- postavljanje opreme za piljenje u šupljinu reaktora
- rastavljanje pričvršćivača RPV-a
- podizanje RPV-a za 1 m u šupljinu reaktora dizalicom 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

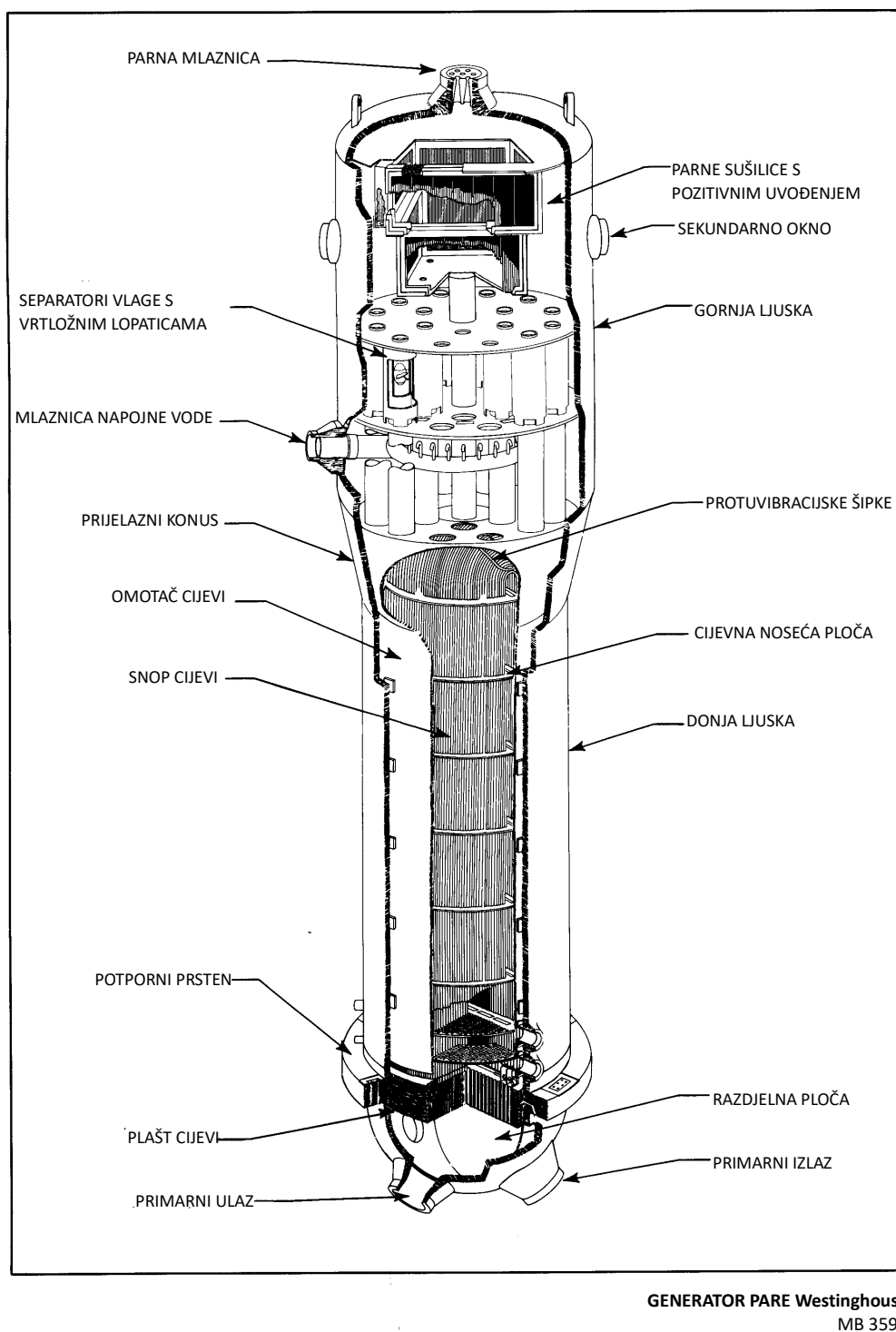
Izrezani komadi pakiraju se u betonske spremnike koji stoje u radnom dijelu reaktora. Dakle, potrebna je zaštićena oprema za prijevoz. Odrezani komadi i sadržaj zapakiranog spremnika mogu se osušiti vakuumski.

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).



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.

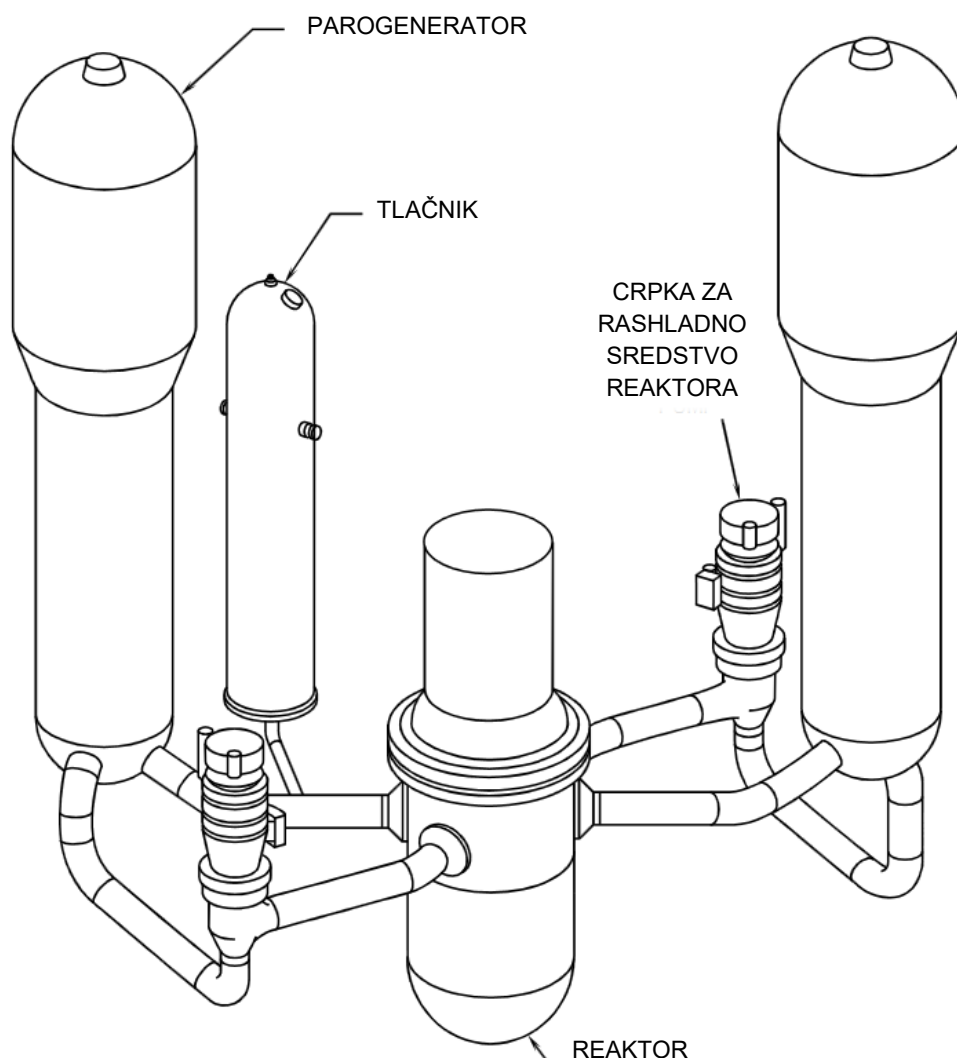
- Parogeneratori se demontiraju, rastavljaju i režu na prikladne komade za otpuštanje ili pakiranje. Dekontaminacija rastavljenih komada nije u planu.
- Tlačnik, odušni spremnik tlačnika, primarne crpke i cijevi petlje rastavljaju se, režu na komade koji se mogu prenositi i odvoze u DB na daljnju obradu.

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.

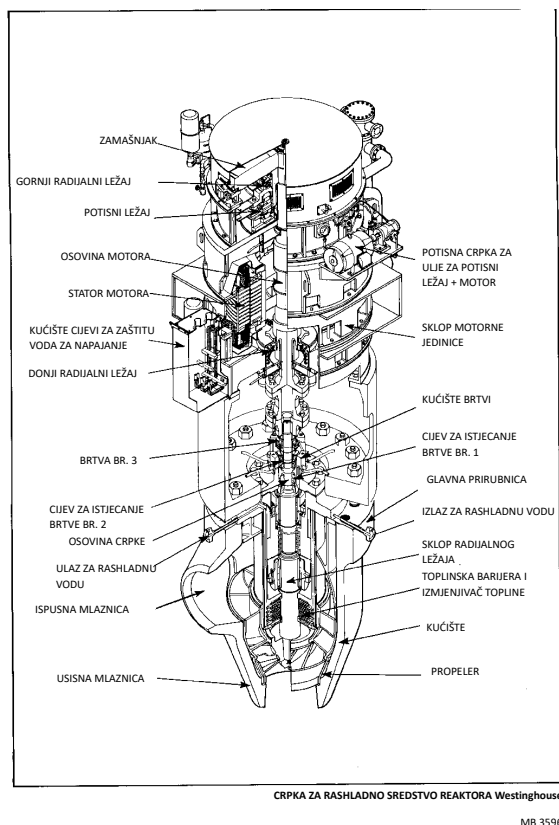
7.3.2.1.3 Tlačnik, crpke i cijevi primarnog kruga

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.

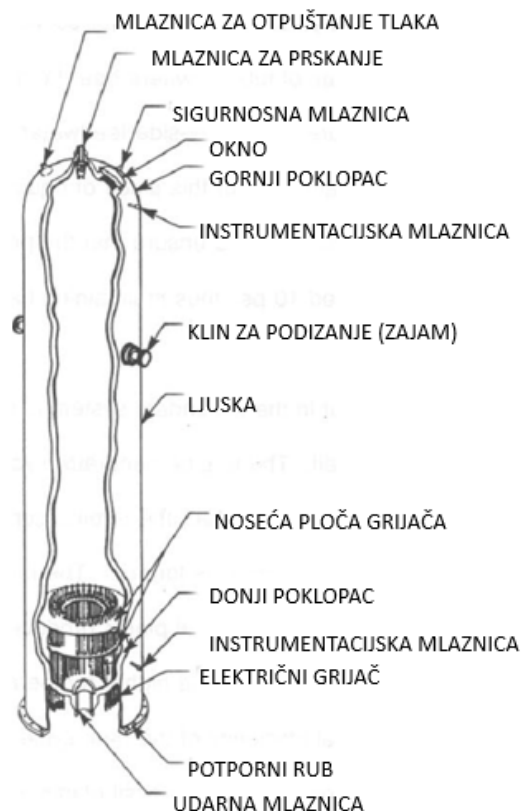
Na sljedećim slikama možete vidjeti pregled primarnog kruga i nekih komponenata.



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:

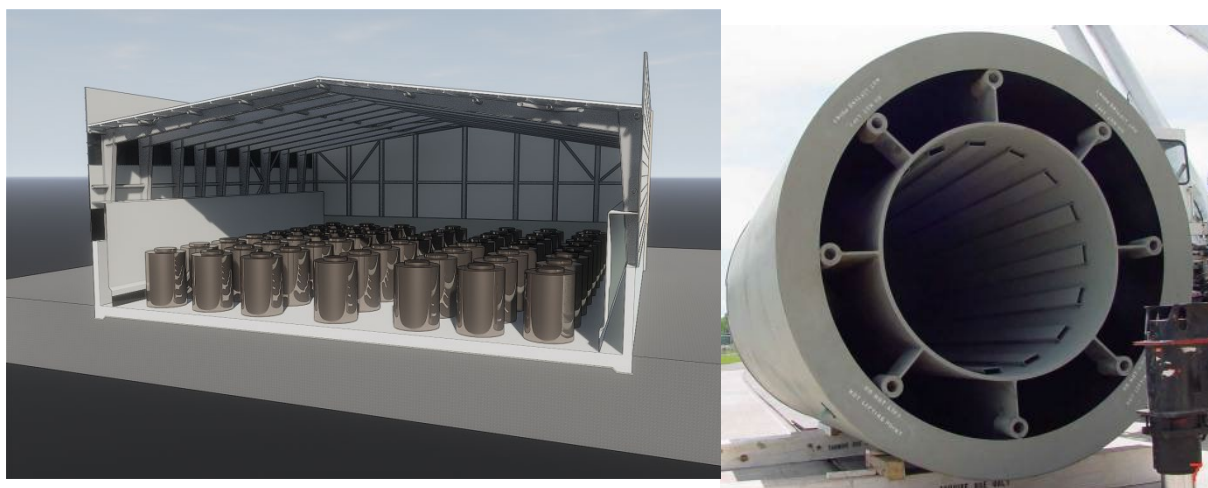
- Otpad će se komprimirati i pakirati u spremnike na lokaciji.
- Prema potrebi se predviđa dodatna zaštita unutar spremnika. Olovo u spremnicima nije dopušteno za odlagalište NSRAO-a.
- Najveća je odobrena težina N2d spremnika 40 Mg, a RCC spremnika 15 Mg.

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]

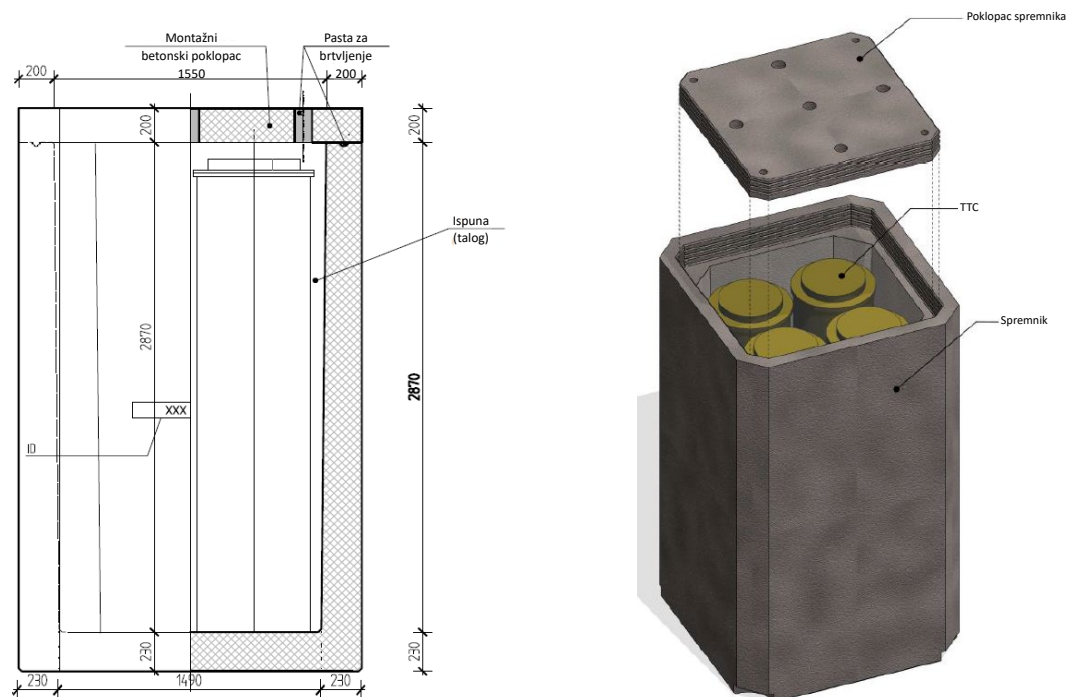


Slika 7-18: Primjeri Holtecovih spremnika HI-SAFE

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]

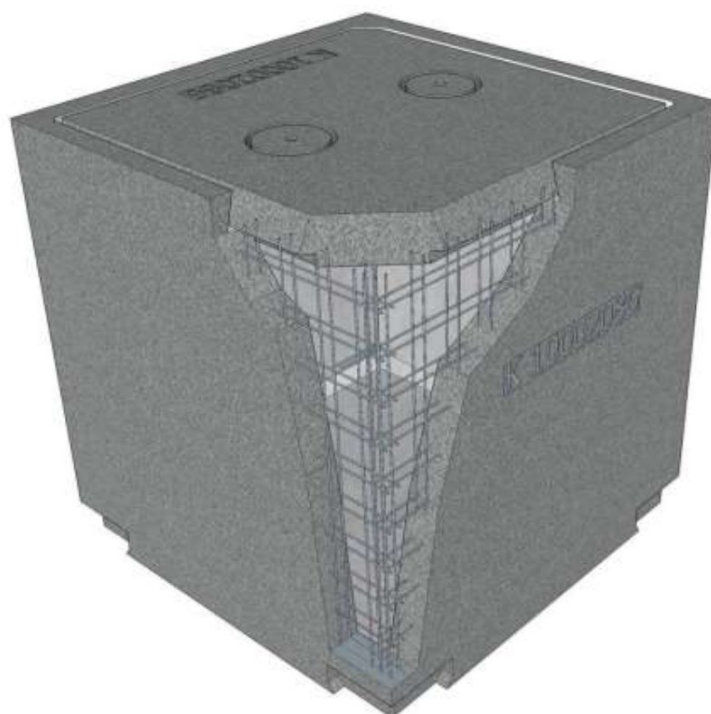


Slika 7-19: Shematski prikaz N2d spremnika

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]

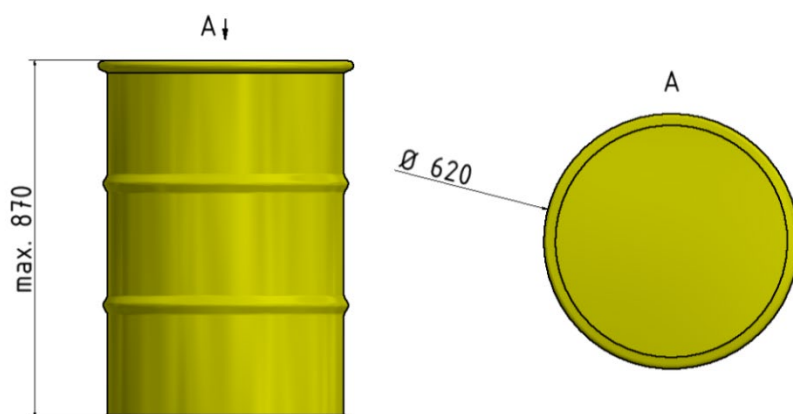


Slika 7-20: Prikaz RCC spremnika

7.3.3.2 Paketi za privremeno skladištenje

U trenutnom 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.

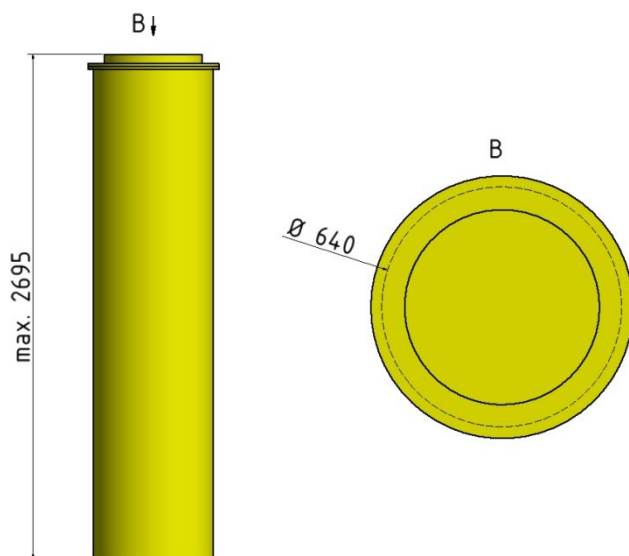


Slika 7-21: Shematski prikaz bačve od 200 l



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, stoga 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 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.

7.3.3.4 Aktivirani beton

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

7.3.3.5 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. Postoji 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 l	
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 l	4200
Koncentrati u bačvi od 200 l	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 I	1800
Miješani otpad, lagani materijali u bačvi od 200 I	440
Krutine od mehaničke dekontaminacije u bačvi od 200 I	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 ras-tavljanja 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 prostori, 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 sce-narija 0 [Mg]	Masa osnovnog sce-narija 1 [Mg]	Masa dod. scena-rija 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		
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		
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	484 594,1
Odlaganje VRAO-a	140,0		
Odlaganje VRAO-a za ULW iz SFDS-a/RU-a	549,5		
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		

Tablica 7-8: Ciljne mase otpada

Volumen otpada po cilju otpada

Cilj	Osnovni scenarij 0 Volumen [m³]	Osnovni scenarij 1 Volumen [m³]	Dod. scenarij A i B Volumen [m³]
Odlaganje VRAO-a	17,7		
Zbrinjavanje VRAO za NSRAO iz SFDS-a/RU-a	70,0		
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		
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 [m³]		
	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 VRAO-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 trenutno 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	32,4			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	24,7	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	24,7	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 trenutno 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, CO₂ kao rashladno sredstvo i D₂O 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 (m²), i zadatka
 - određivanje odgovarajućeg čimbenika rada, npr. radni sat / kg, radni sat / m²
 - 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 odložiti 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 neutronsom zračenju tijekom rada aktivirani i/ili kontaminirani.

- Dijelovi i materijali koji su bili izloženi neutronsom 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. Konkretna razina 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, gospodarenje 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, gospodarenje otpadom	250,0 kg / radni sat
Beton za otpuštanje, gospodarenje otpadom	1000,0 kg / radni sat
Superkompaktiranje, gospodarenje 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 $\pi_e = 2,04\%$ 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 trenutne vrijednosti zaliha od 25 977 000 € kojom će se smanjiti ukupni troškovi razgradnje.
- Za osnovni scenarij 1 uklanjanje starog parogeneratorskog obradunava se na 50 milijuna € s obzirom na trenutnu 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 <i>brownfield</i>		0,8		2056. – 58.	2055. – 57.	2076. – 78.	

Tablica 8-3: Troškovi ulaganja

Oprema za mjerenje radi otpuštanja iz nadzora za lokaciju <i>greenfield</i>	0,4	2104.	2124.
Ukupno	15,4	13,9	15,4

Troškovi praznih paketa

Paket	Troškovi
Bačva od 200 l	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/m ²
Analiza troškova potrošnog/materijala, otpuštanje – van [EUR/m ²]	6,60 EUR/m ²
Analiza troškova potrošnog/materijala, otpuštanje – pregled [EUR/m ²]	3,28 EUR/m ²
Troškovi potrošnog materijala/materijala dekon./površinske abrazije [EUR/m ²]	28,68 EUR/m ²
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 raspoređeni 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 razvrstanim po kategoriji.

Troškovi po radnom paketu

Br.	Funkcija	Troškovi [milijun EUR]								PDV *)
		Osnovni scenarij 0 bez PDV-a	uklj. PDV	Osnov. scenarij 1 bez PDV-a	uklj. PDV	Dodatni scenarij A bez PDV-a	uklj. PDV	Dodatni scenarij B bez PDV-a	uklj. PDV	
01	Postupci prije razgradnje	3,8	4,3	3,8	4,3	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	73,8	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 bez PDV-a	uklj. PDV	Osnovni scenarij 1 bez PDV-a	uklj. PDV	Dodatni scenarij A bez PDV-a	uklj. PDV	Dodatni scenarij B 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	Zbiraj 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	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																										
02	Pripremni radovi	35,4																														
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5					11,8	8,0	10,1	2,2	2,6	0,3																				
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0					0,4	2,7	2,2	0,7							0,1	0,3	0,6	1,3												
06	Rastavljanje komponenta primarne patnje	3,9					0,1		0,6	2,4	0,9																					
07	Rastavljanje unitarnih dijelova RPV-a	53,04					0,7	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 šteta	6,1									0,1	0,4	2,1	3,5																		
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1														1,3	2,1	1,9	1,3	0,4												
11	Otpuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,8															0,2	4,4	6,7	4,5	0,8											
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																														
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											
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										
14.01	Rad / održavanje	80,1					6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	5,3	4,1	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	0,6	0,2										
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										
15	Obnova, 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											
16	SFDS (govno, rad, razgradnja)	89,1					0,1	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	0,4	0,5	0,5	---								
17	Lokalni poticaji	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	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	0,1	0,2	0,2	---								
Ukupno		489,7	0,6	1,3	1,3	1,4	28,6	28,0	33,9	33,3	31,1	66,7	83,8	18,7	19,9	12,8	14,5	16,0	17,9	14,4	3,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	2,4	11,5	3,8	9,7	7,3	3,1

Tablica 8-8: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																										
	Pripremni radovi	82,6	25,0	25,0		0,4	10,9			13,6	4,7	2,3	0,7																						
	Rastavljanje kontrolirano izvan područja	12,5				0,4	2,7			2,2	0,7								0,0	0,3	0,5	1,4													
03	Rastavljanje kontrolirano u području	13,0												0,2	2,8	4,1	2,8	2,5	0,6																
	Rastavljanje komponenta primarne	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																						
	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	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6																0,1	3,8	7,1	4,5	1,1													
11	Rušenje, obnova lokacije i čišćenje i uređenje okoliša	16,8																														0,4	7,2	6,3	2,9
	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	21,5					2,0			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	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	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Rad i održavanje	7,8					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	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	Rad i održavanje	20,5					1,6			1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	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
14.02	Sigurnost																																		
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	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	0,5	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	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,3												
18	Podizanje 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	0,1	0,2	0,2	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	1,0	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

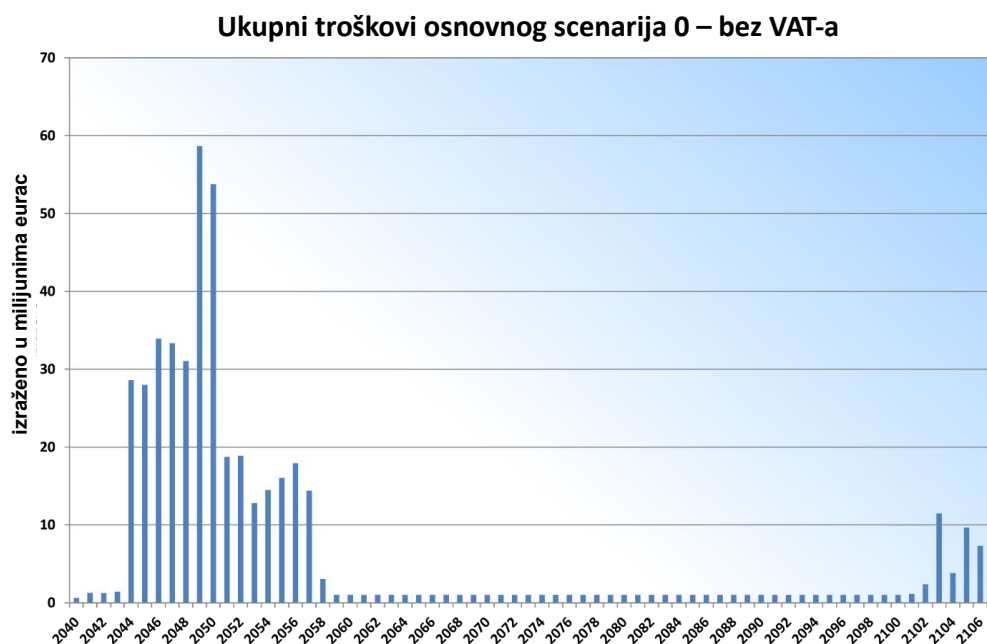
Godišnji troškovi po radnom dod. slučaju A – bez VAT-a [milijun EUR]																																
Br.	Funkcija	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	-	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	
	Zbirno vrijednosti	3,8	0,6	1,3																												
01	Postupci prije razgradnje																															
02	Pripremni radovi	38,4			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																								
03	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0										0,3	3,1	3,8	3,0	2,4	0,5		0,6	1,3						1,0	2,5		0,7			
04	Rastavljanje komponenta primarne petlje	3,9				0,1	0,6	2,4	0,8																	0,1						
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										0,4	2,2	3,5																		
09	Rastavljanje građevinskih sustava	9,1											0,0	0,6	1,3	2,1	1,9	1,3	0,4							0,3	1,2					
10	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6														0,2	4,4	6,7	4,5	0,8												
11	Opuštanje objekata, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																														
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,1										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 održavanje lokacije	96,2					8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,6	5,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	0,7	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	5,3	4,1	2,5	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	0,1
14.02	Sigurnost	20,0				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	0,8	0,2	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	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 (gotovo, rad, razgradnja)	73,0				0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	23,1	23,1	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,6	9,7	2,0	1,3		
17	Lokalni poticaji	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	1,3	0,2	0,2				0,2	0,2	0,3	0,6	0,7	0,1		
18	UKUPNO	77,7				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	0,1	0,2	0,2	...	0,2	0,2	0,2	2,4	14,2	4,2	10,0	7,3	3,1
	UKUPNO	443,6	0,6	1,3	1,3	1,4	28,5	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	1,0	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

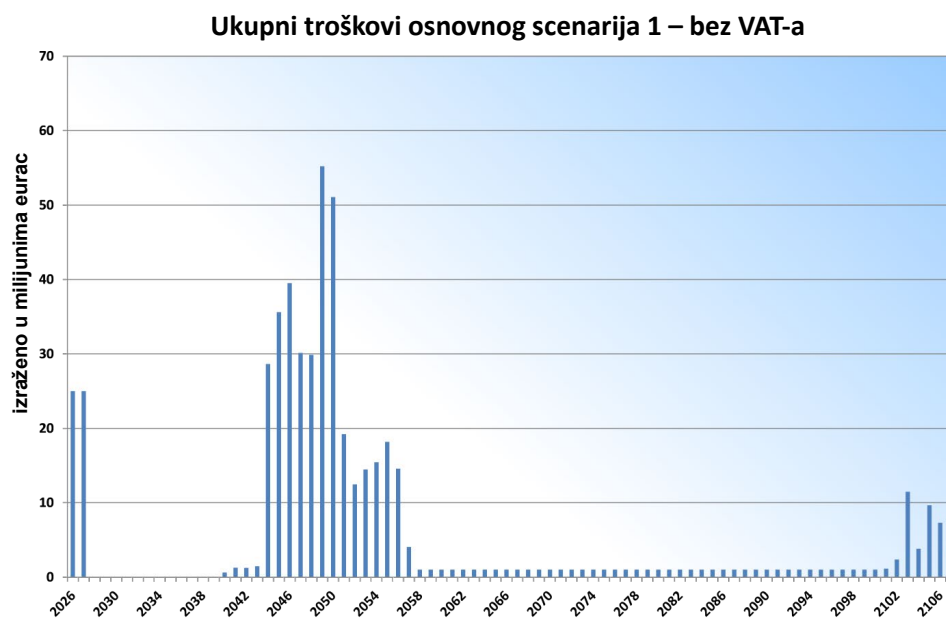
Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju B – bez VAT-a [milijun EUR]																																
Br.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	-	2120.	2121.	2122.	2123.	2124.	2125.	2126.	2127.
01	Postupci prije razgradnje	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																										
02	Pripremni radovi	35,4																														
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5				0,4	11,8	8,1	10,1	2,1	2,6	0,3																				
04	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	3,1	3,8	3,0	2,4	0,5								0,1	1,0	2,5	0,7			
05	Rastavljanje komponenta 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													
10	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6															0,2	4,4	6,7	4,5	0,7											
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	23,1																														
12	Upravljanje projektima, inženjering i uređenje okoliša	16,8					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											
13	Rad i održavanje	101,7					8,5	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	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	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	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.01	Rad i održavanje	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	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	Stupnost	58,5					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											
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	40,4					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	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	9,7	2,0	1,3	0,0	
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	83,3					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	0,2											
17	Lokalni poticaji	32,2					0,1	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	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6				
18	RU (rad, razgradnja)	12,2					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,4	14,2	4,2	10,0	7,3	3,1
UKUPNO		483,9	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	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	4,2	10,0	7,3	3,1

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

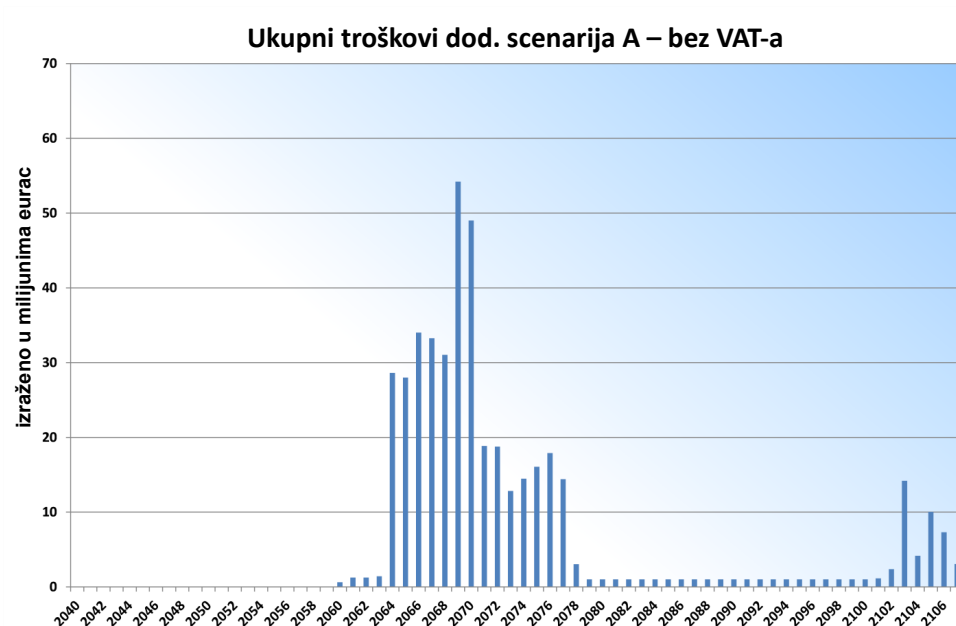
...



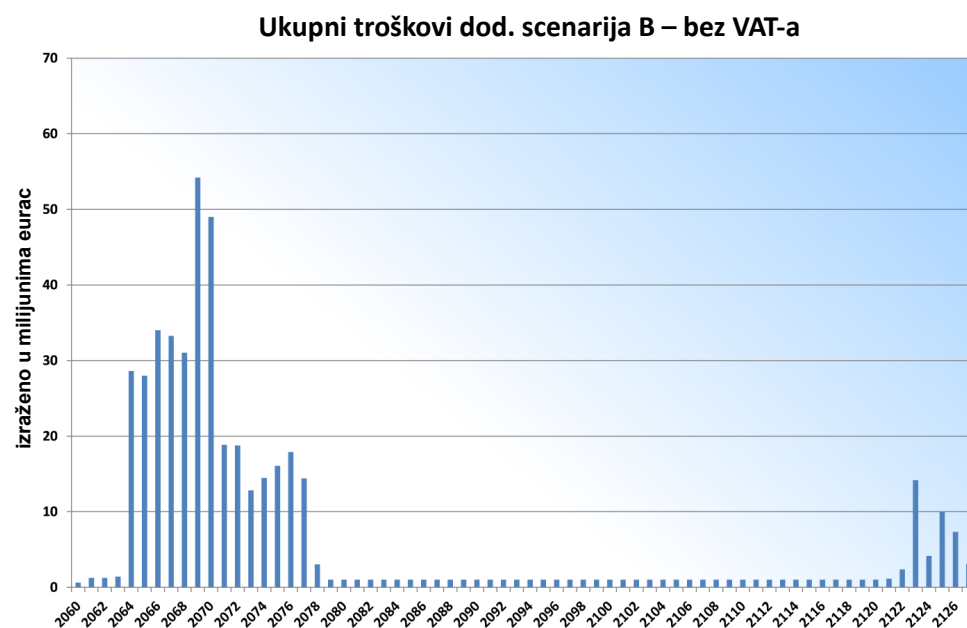
Slika 8-1: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 bez PDV-a



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 – ukj. 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					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 komponenta 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	Opuštanje 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																															
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	
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	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 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		531,4	0,7	1,5	1,4	1,5	31,9	31,2	38,4	37,8	35,1	65,8	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	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.
	Zbroj vrijednosti	4,3			0,7	1,5	1,4	0,7																										
01	Postupi prije razgradnje	99,7	30,5																															
02	Pripremni radovi	14,4						0,4	12,9	16,3	5,5	2,8	0,8																					
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,9						0,4	3,2	2,6	0,8																							
03	Rastavljanje kontroliranog područja	4,6												0,2	3,0	4,6	3,3	3,0	0,7															
04	Rastavljanje komponenta primarne petlje	40,2						0,0	0,6	2,7	1,3																							
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	24,6						0,7	2,3	18,7																								
07	Rastavljanje RPV-a	7,1											0,3	5,4	8,8	13,6	1,9																	
08	Rastavljanje biološkog štita	10,6											0,1	0,4	2,1	4,5																		
08	Rastavljanje preostalih sustava	19,8													0,0	0,5	1,5	2,4	2,3	1,5	0,6													
10	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora																	0,1	4,5	8,6	5,4	1,3												
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																																
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,2						2,2	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												
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	97,2						8,7	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	0,3	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	76,6						7,1	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	0,8	0,2	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	1,6	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	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													
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	104,6						0,1	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	0,5	0,6	8,5	2,0	1,1		
17	Lokalni poticaji	31,0						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	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	0,1	0,2	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		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 – ukij. VAT [milijun EUR]

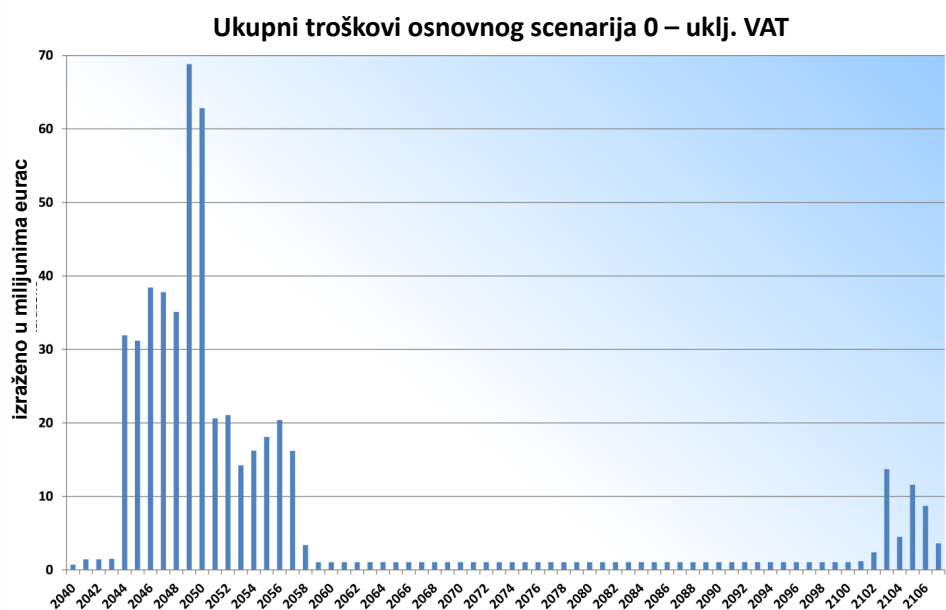
Br.	Funkcija	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	-	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	
01	Postupci prije razgradnje	4.3	0.7	1.4	0.7																											
02	Pripremni radovi	42.0																														
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14.4			0.4	14.1	9.6	12.1	2.5	3.1	0.4																					
04	Rastavljanje kontroliranog područja	14.9										0.3	3.4	4.3	3.5	2.8	0.5								0.1	1.0	2.9	0.8				
05	Rastavljanje komponenta primarne pojile	4.6																														
06	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	40.2				0.1	0.7	2.9	1.0	11.6	5.8																					
07	Rastavljanje RPV-a	24.6					0.8	4.8	17.1	0.3	9.1	13.4	1.8																			
08	Rastavljanje biološkog štita	7.1								0.1	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	Opuštanje 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	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	
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	3.3	0.8	0.3			0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	
14.01	Rad / 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	2.5	0.6	0.2	0.2		0.2	0.2	0.2	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						
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	0.1	28.2	28.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5				0.5	0.5	0.6	11.8	2.4	1.6	0.0	
17	Lokalni poticali	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	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	0.1	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	1.1	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

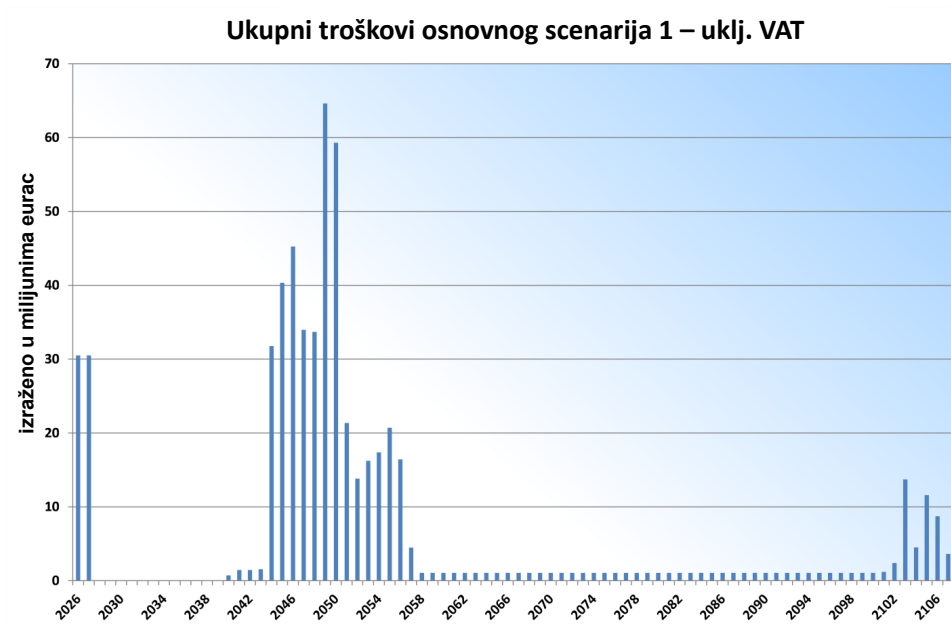
Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju B – ukuj. VAT (milijun EUR)

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	2,5	3,1	0,4																				
03	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4				0,4	3,2	2,6	0,8																							
03	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	4,3	3,5	2,8	0,5		1,5						0,1	1,0	2,9	0,8			
04	Rastavljanje komponenta 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									0,3	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	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	5,3	8,1	5,4	0,9											
11	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uvođenje okoliša	20,0					2,2	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	0,2								0,5	8,6	7,5	3,5
12	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	24,9					9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	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	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	105,1					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
14.01	Rad / održavanje	83,5					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	0,1	0,1	0,1	0,1
14.02	Sigurnost	21,6					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	
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	49,3					0,1	0,1	0,1	0,1	28,2	0,2	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	11,8	2,4	1,6		
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	97,1					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											
17	Lokalni poticaji	32,2					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	0,7	0,9	0,1		
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	0,1	0,1	0,1	-	1,1	1,2	2,4	17,0	4,9	12,0	8,7	3,6
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

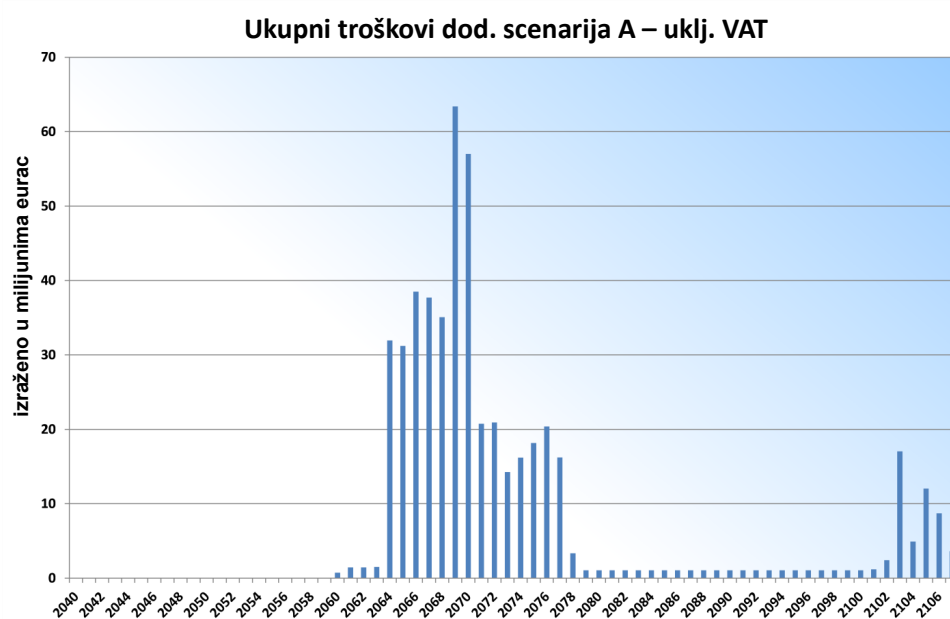
Tablica 8-15: Godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B s PDV-om



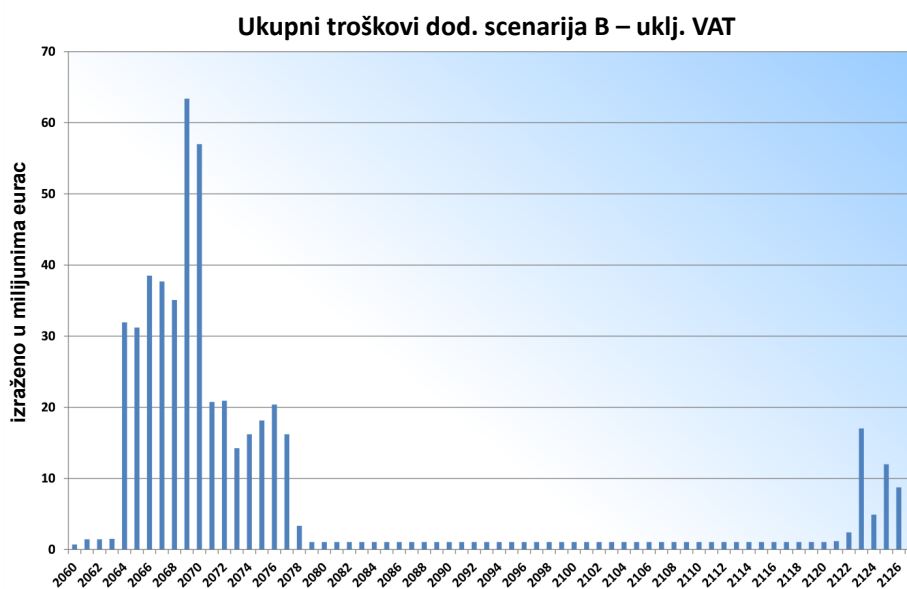
Slika 8-5: Ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 s PDV-om



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 5334 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

Oscilje	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.
Zbroj vrijednosti																													
NEK (radradnin.)	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	6,2	5,7	5,7	5,7	3,2
NEK (razgradnja)	1429,2	5,0	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
Vanijski, 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
Vanijski, strani	127,6	1,0	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	24,1	330,0	355,7	355,5	341,4	304,8	261,5	277,1	289,1	288,8	193,6	207,1	238,8	248,7	219,8	46,7	23,2	-	23,2	26,4	53,6	79,7	53,9	175,1	104,1	17,8

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

Godišnje radne godine osnovnog scenarija 1

Oscilje	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 (radradnin.)				227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	228,0	228,0	188,0	113,4	113,4	113,4	113,4	113,4	33,7	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,7	5,7	5,7	3,2
NEK (razgradnja)	5,0	10,0	10,0	67,6	627	48,4	29,7	248	25,8	55,6	60,0	23,4	27,1	31,4	32,5	20,9	20,9	14,7	17,0	17,0	20,2	47,3	22,8	10,7	15,0	15,0	8,4
Vanijski Slovenija				86,2	86,0	723	23,8	12,4	2,4	40,6	83,4	83,4	62,7	90,6	105,6	88,5	13,0	13,0					51,1	37,5	158,4	83,4	6,2
Vanijski strani	1,0	2,00	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	0,5									
Ukupno	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	78,7	53,9	179,1	104,1	17,8

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

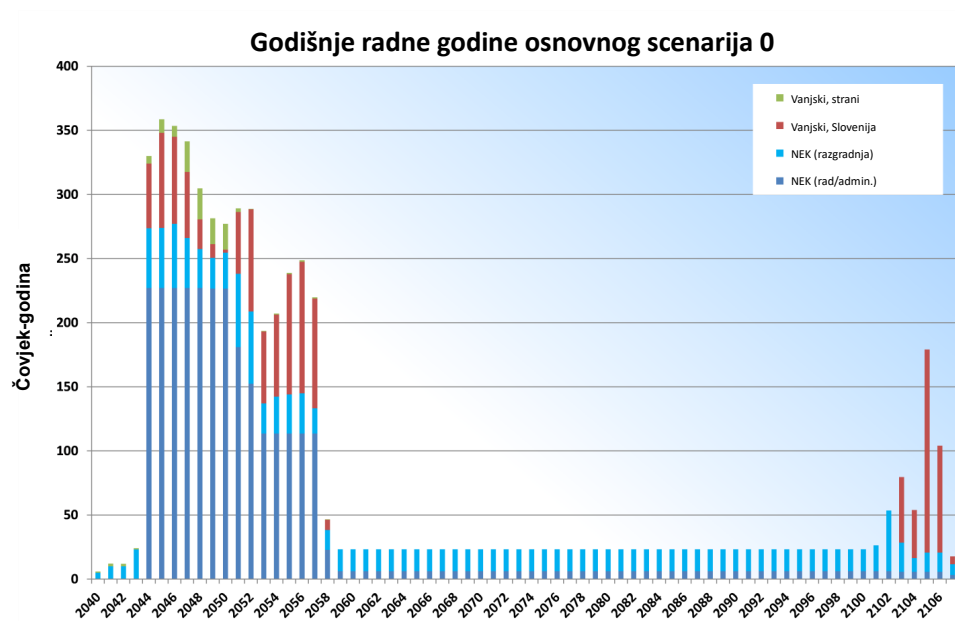
Godišnje radne godine dod. scenarij A																													
Zbir vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	
NEK (radladrin.)	2885,2																			6,2	...	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7	3,2	
NEK (razgradnja)	1089,8	5,0	10,0	23,1	46,8	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	17,0	...	17,0	20,2	47,3	22,8	11,0	15,0	15,0	8,4	
Vaniški 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
Vaniški strani	127,6	1,0	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	24,1	330,4	355,9	340,6	304,8	277,9	277,5	280,7	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

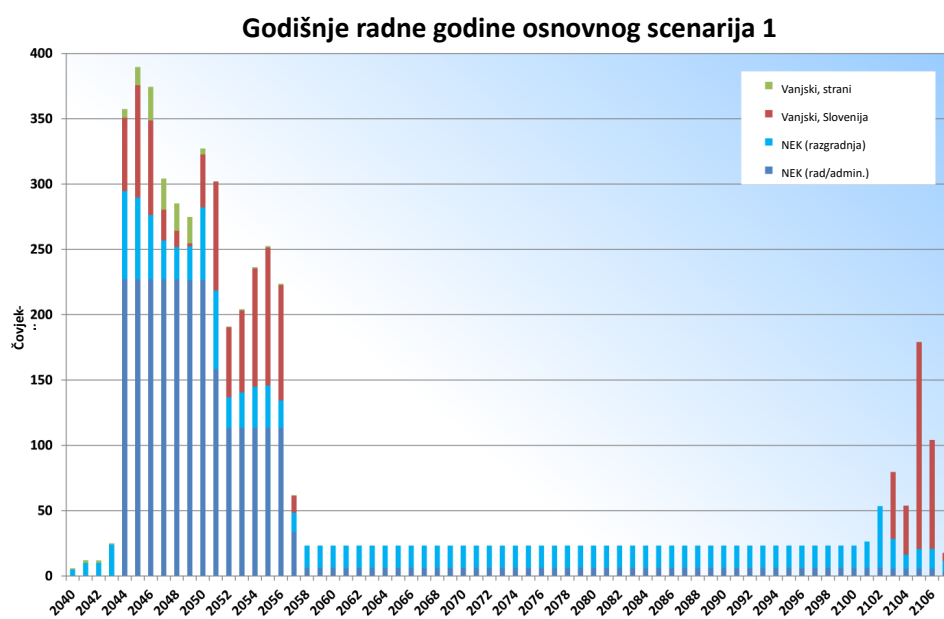
Godišnje radne godine dod. scenarij B

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/adm.in.)	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
Vanski, 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	
Vanski, 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	5553,7	6,1	12,0	12,0	24,1	331,4	359,1	354,0	339,5	304,8	281,8	277,6	291,0	257,0	193,1	207,0	239,0	246,3	219,5	46,1	23,2	–	23,3	26,4	53,5	79,8	55,6	185,6	104,1	17,9

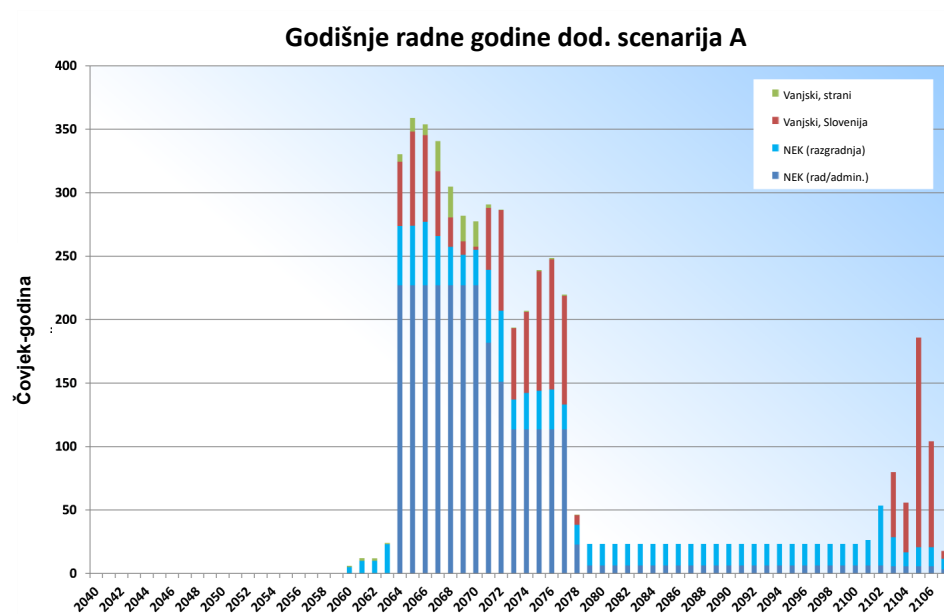
Tablica 8-20: Godišnji ekvivalent radne snage (u čovjek-godinama) za dodatni scenarij B



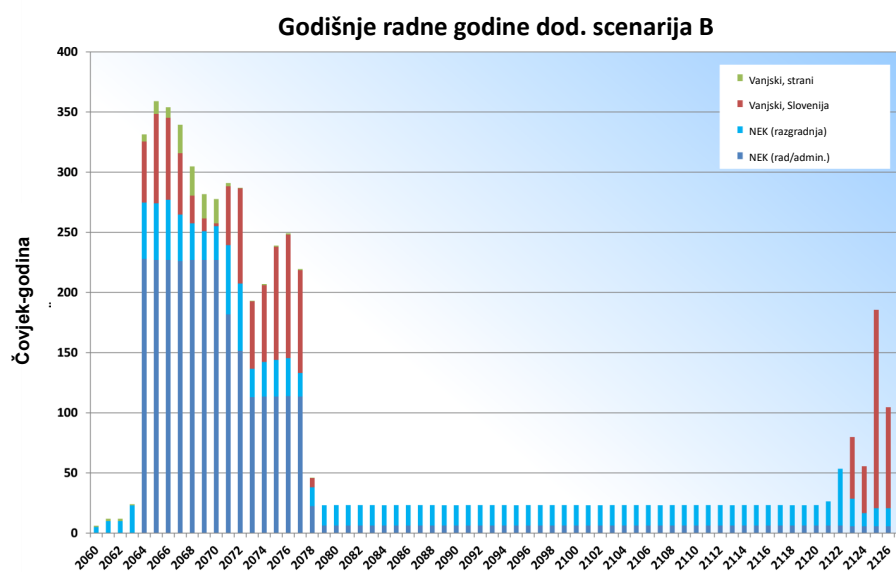
Slika 8-9: Godišnji ekvivalent radne snage za osnovni scenarij 0



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 trenutni 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 CO₂, 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 potvrđuje 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].

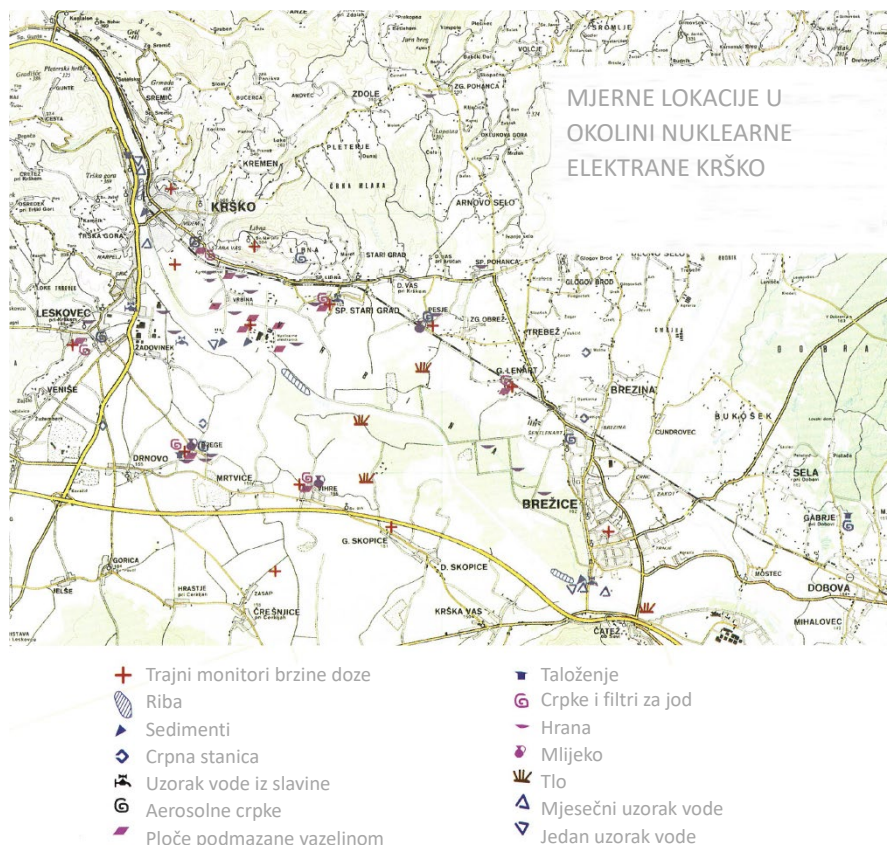
Ministarstvo okoliša i prostornog planiranja (MOP) izdalo je 13. siječnja 2023. okolišnu dozvolu (OVS) za produljenje radnog vijeka nuklearne elektrane s 40 na 60 godina do 2043.

Okolišna dozvola sadržava 20 uvjeta (dodatno ograničenje za rad, dodatno praćenje i dodatno izvješćavanje). 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 okruženje 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 učinka 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.

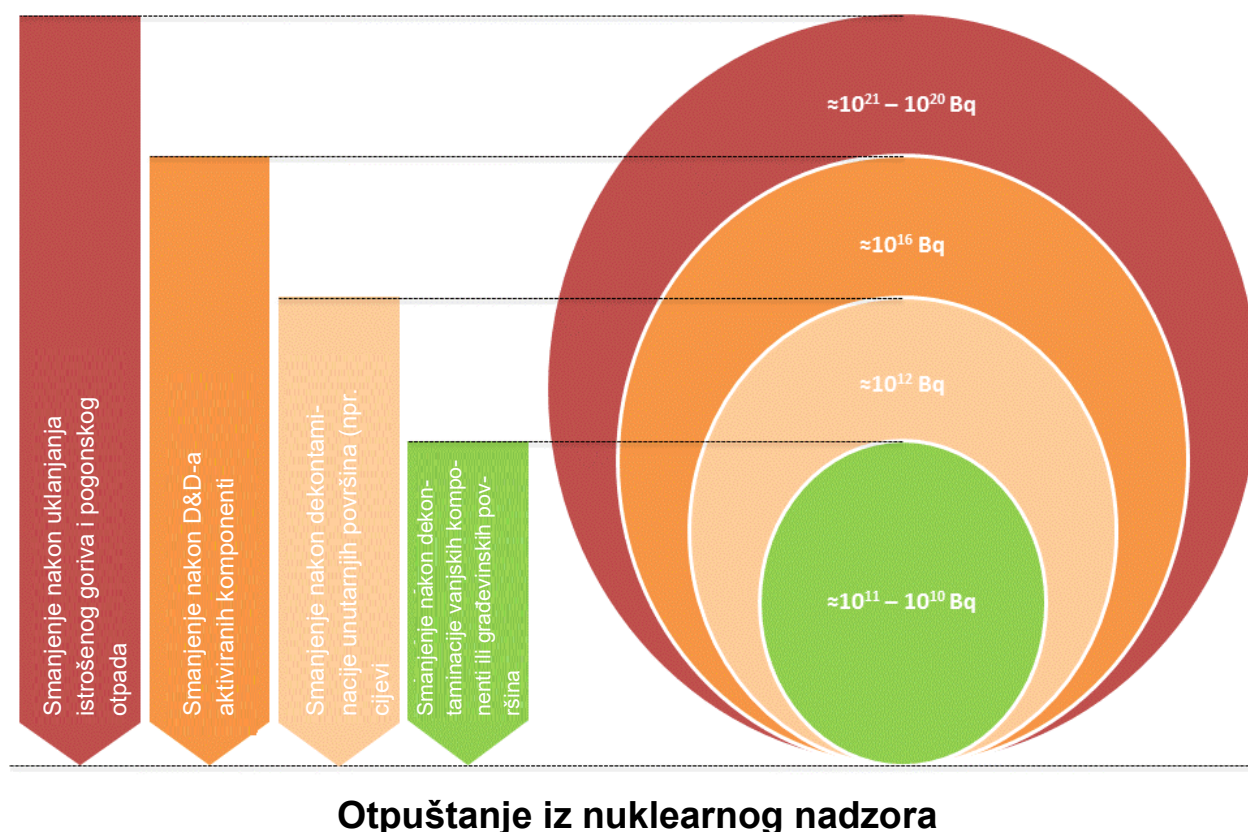
Provjerit će se u kojoj se mjeri ti propisi zajedno s planiranjem i zahtjevom za izdavanje dozvole za razgradnju primjenjuju na odredbe i uvjete razgradnje elektrane.

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.

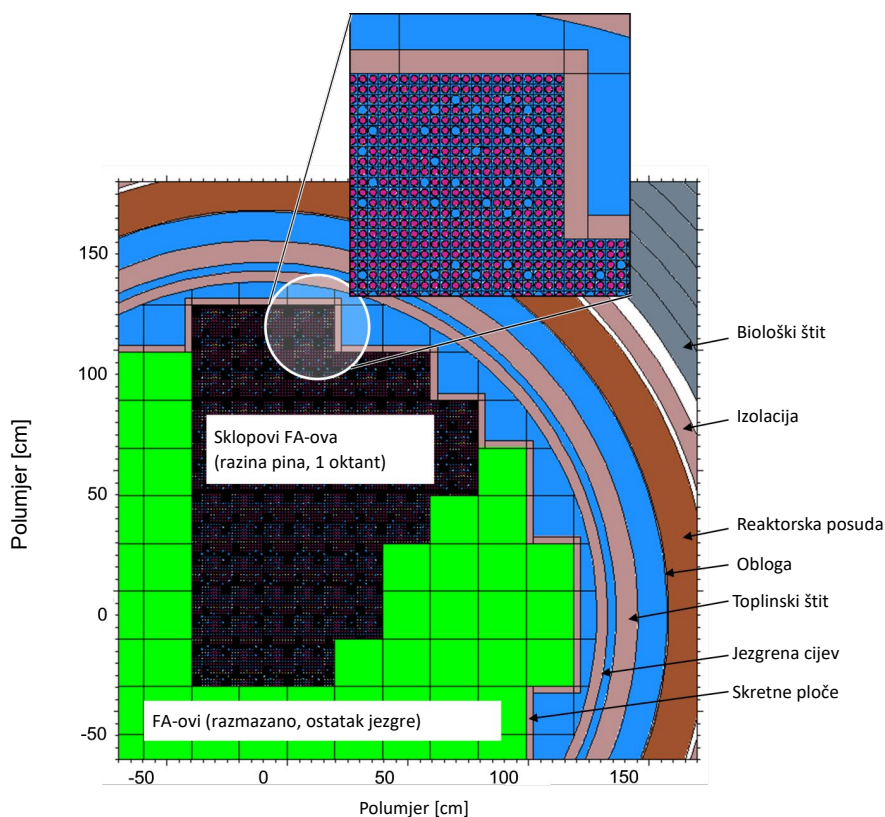
Nakon što se rastavi aktivirani materijal, očekuje se da u kontaminiranim komponentama i građevinskoj konstrukciji ostane radioaktivnost od oko 10^{12} Bq. Većina radioaktivnosti rasprostranjena je po unutarnjoj površini sustava. Samo se mali dio radioaktivnosti očekuje na vanjskoj površini komponenata, opreme i građevinskih konstrukcija.

15.1 Radioaktivnost aktiviranih komponenata

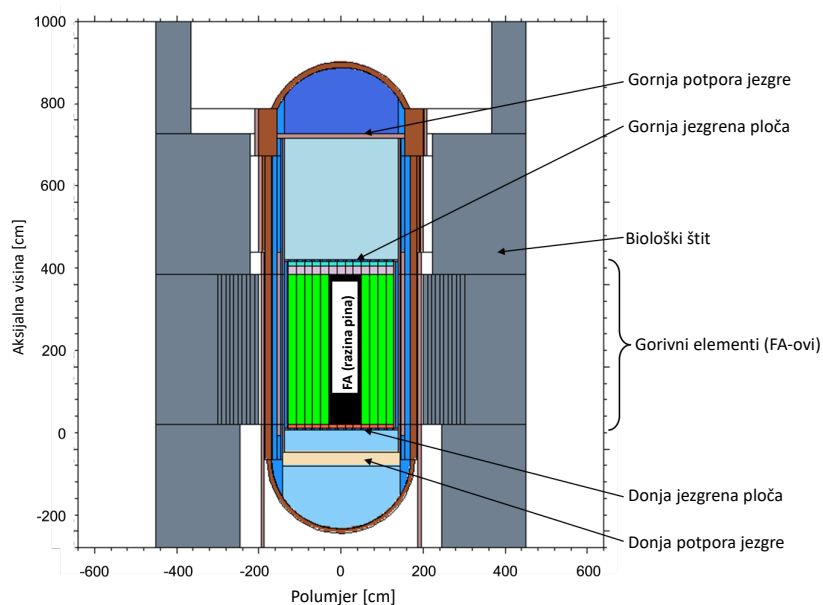
NIS je 2009. izračunao aktivaciju NE Krško [36]. Taj je izračun aktivacije provjeren 2018. [37] i još uvijek vrijedi.

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



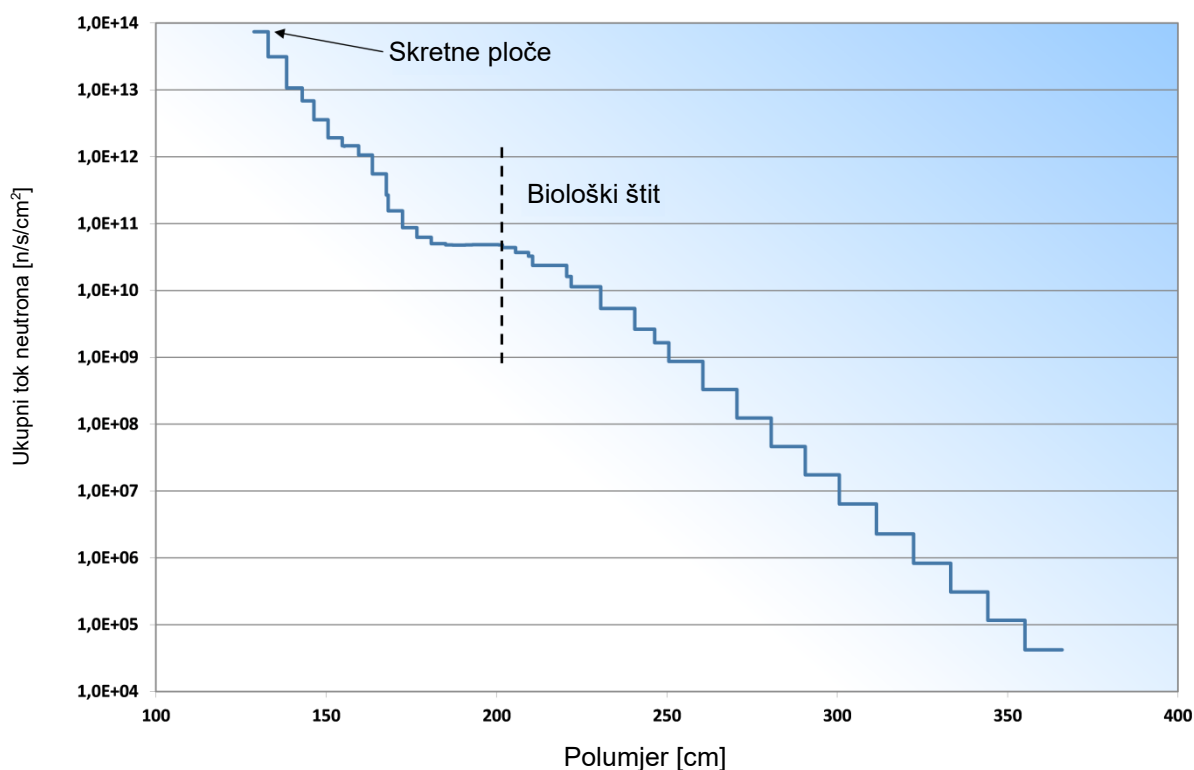
Slika 15-3: Okomiti presjek MCNP modela

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: $\text{Li-6}(n, \alpha)\text{H-3}$, $\text{Fe-54}(n, \gamma)\text{Fe-55}$, $\text{Fe-54}(n, p)\text{Mn-54}$, $\text{Fe-58}(n, \gamma)\text{Fe-59}$, $\text{Co-59}(n, \gamma)\text{Co-60}$, $\text{Ni-58}(n, p)\text{Co-58}$, $\text{Ni-58}(n, \gamma)\text{Ni-59}$, $\text{Ni-60}(n, p)\text{Co-60}$, $\text{Ni-62}(n, \gamma)\text{Ni-63}$, $\text{Cu-63}(n, \alpha)\text{Co-60}$, $\text{Cs-133}(n, \gamma)\text{Cs-134}$, $\text{Eu-151}(n, \gamma)\text{Eu-152}$ i $\text{Eu-153}(n, \gamma)\text{Eu-154}$. 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.

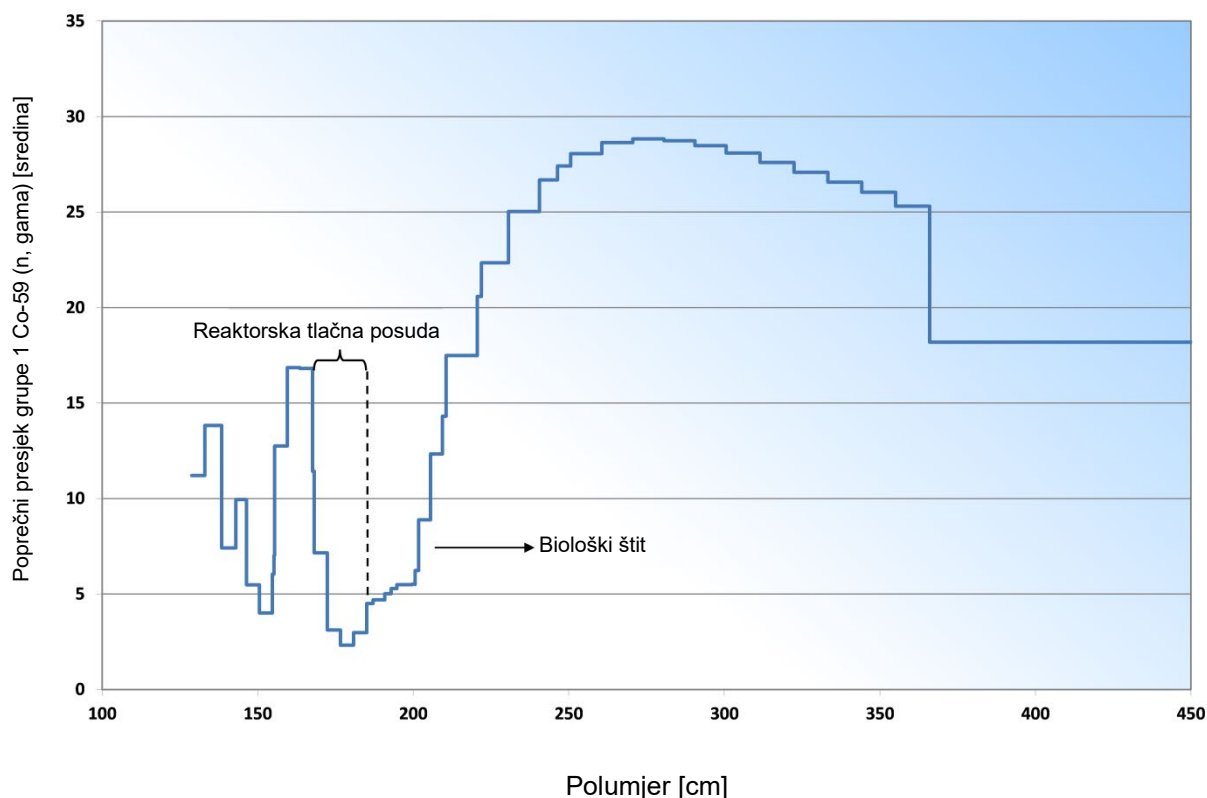
Rezultati dobiveni u MCNP-u pohranjeni su u zapise na mreži (engl. *mesh tallies*) (112 aksijalnih, 52 radijalna i 40 azimutnih intervala mreže) koji pokrivaju cijelu geometriju reaktora. Na Slici 15-4 prikazan je ukupni tok neutrona pri punoj snazi reaktora kao funkcija radijusa u središnjoj ravnini 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 $\text{Co-59}(n, \gamma)$, 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: Jednogrupo 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)																				Ukupno
			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	
Skratne 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
Kućiste 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	2121 tisuća	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

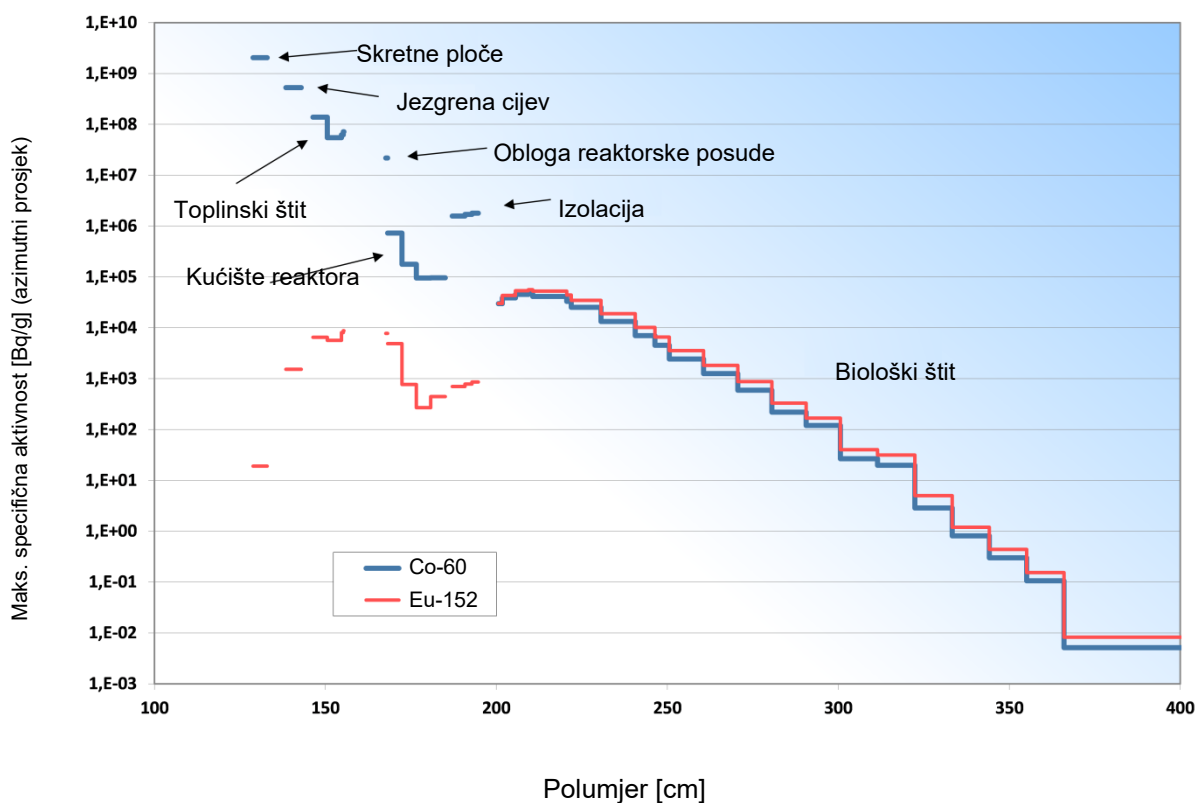
Dugoživući nuklidi za konačno odlagalište

Specifična aktivnost [Bq/g], 5 godina nakon obustave rada*)		Sekretne ploče	Jezgrena cijev	Toplinski štiti	Obloga RPV-a	Reaktorska tlačna posuda	Biološki štiti		Gornja jezgrena ploča	Donja jezgrena ploča	Donja potpora jezgre
		SS 304	SS 304	SS 304	SS 304	A-533-B	0 – 10 cm	90 – 100 cm	SS 304	SS 304	SS 304
							Beton i armatura, regija Krško 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-121m		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

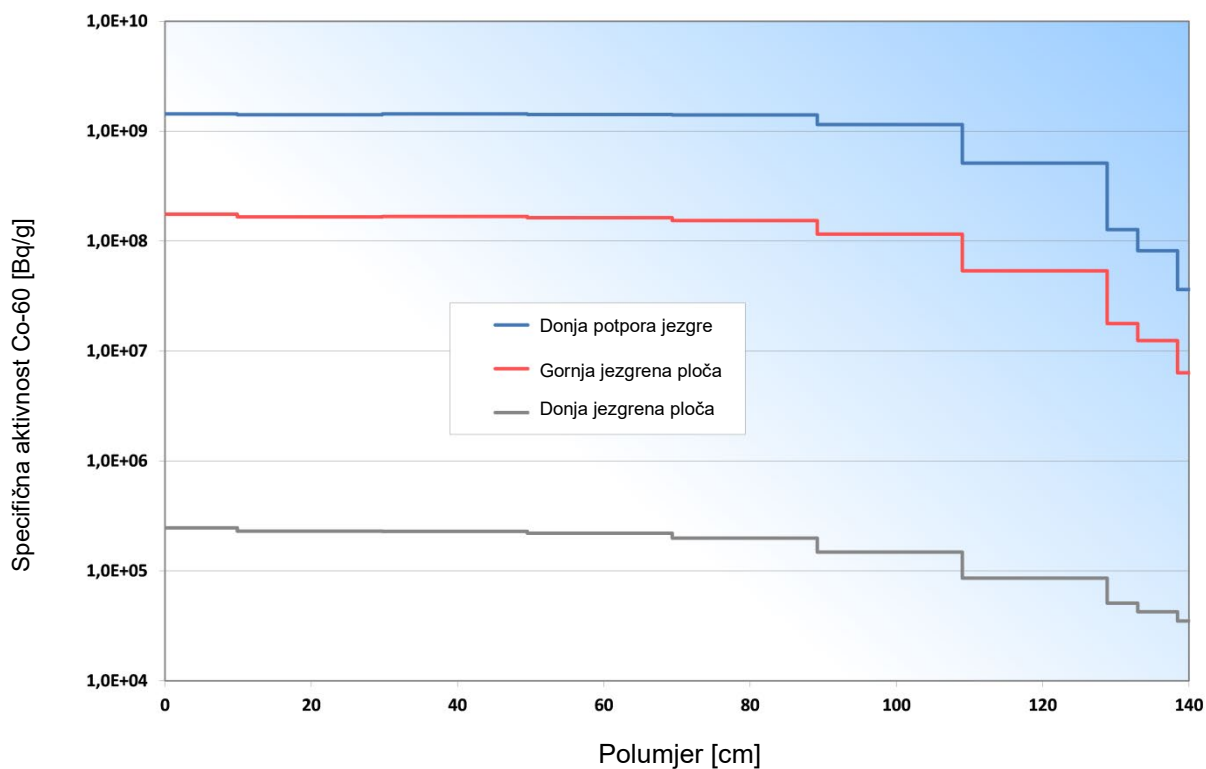
Tablica 15-2: Dugoživući nuklidi za završno odlaganje (pet godina nakon obustave rada)

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.



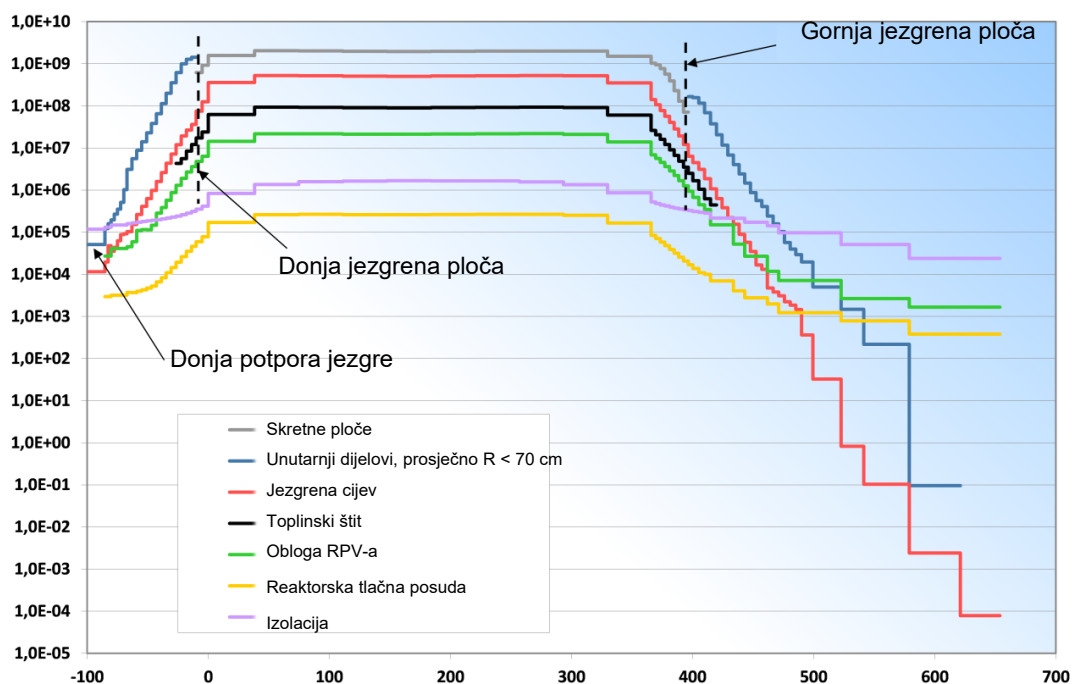
Slika 15-6: Azimutalno prosječna maksimalna specifična aktivnost Co-60 i Eu-152 (u Bq/g) kao funkcija radijusa (pet godina nakon obustave rada)

Slika 15-7 ilustrira radijalnu varijaciju aktivnosti Co-60 u gornjoj i donjoj ploči jezgre, kao i u donjem podupiraču jezgre.

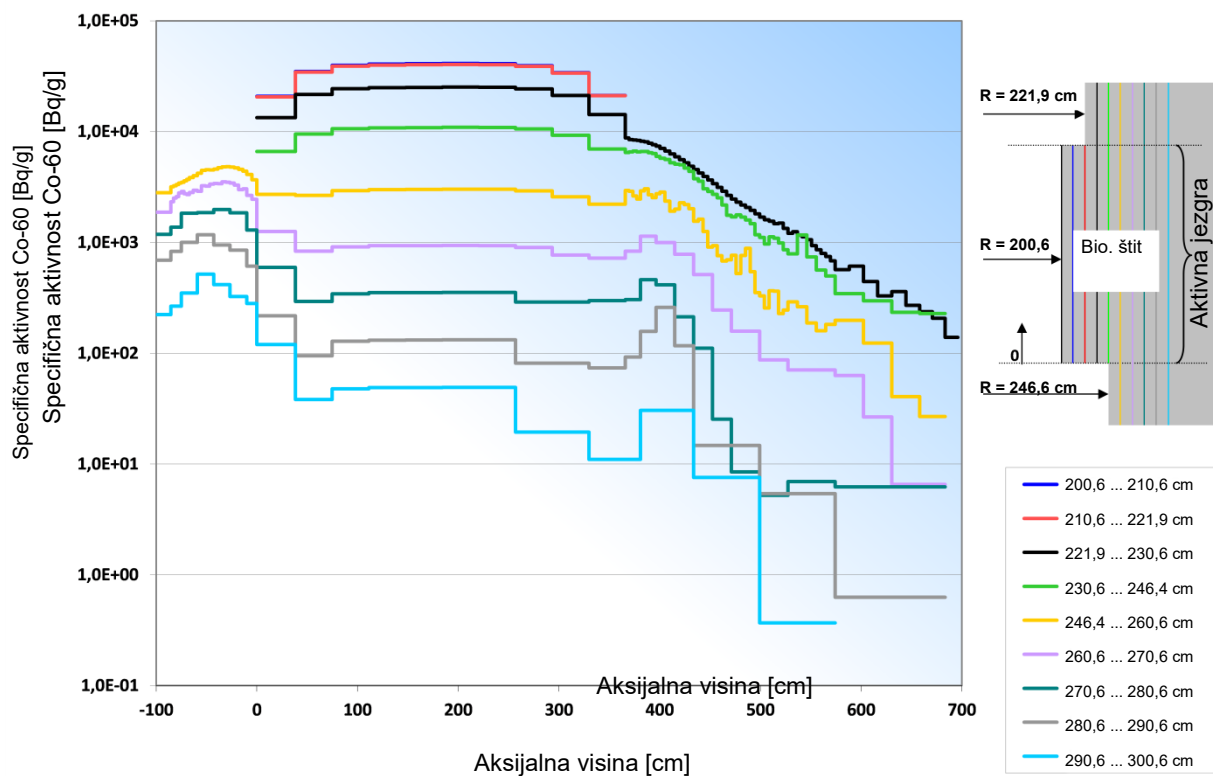


Slika 15-7: Azimutalno prosječna specifična aktivnost Co-60 (u Bq/g) u gornjoj i donjoj ploči i donjem podupiraču jezgre kao funkcija radijusa (pet godina nakon obustave rada)

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 stotruko za prvih 300 cm (Slika 15-9). Iznad i ispod aktivne jezgre, gdje su betonske konstrukcije udubljene, postoje lokalni maksimumi aktivacije zbog procesa neutronske 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 $\leq 1\%$ 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 neutronske 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 KEMIKA LIJA 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 PRAŽNENJE 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					
SIMULACIJSKO 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					
INSTRUMENTACIJSKI SUSTAV UNUTAR JEZGRE			X			X
NUKLEARNI INSTRUMENTACIJSKI 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 KEMIKA LIJA I VOLUMENA				X		
SUSTAV UBRIZGAVANJA KEMIKA LIJA	X					
SUSTAV OBRAD E 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 OPSKRBE 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/cm². 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 $2,46 \cdot 10^{16}$ 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 trenutno 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 iskustvo 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 Decommissioning 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, Ljubljana: 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 trenutnog 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 opskrbe 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	Zbir 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	Pripremi radovi	35,4																																	
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5				0,4	11,8	8,0	10,1	2,2	2,6	0,3																							
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	2,9	2,9																				
06	Rastavljanje komponenta primarne pećije	3,9																																	
07	Rastavljanje unutarnjih dijelova RPV-a	33,04					0,1	0,6	2,4	0,9																									
08	Rastavljanje RPV-a	20,5					0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																								
09	Rastavljanje biološkog štita	9,1											0,3	7,3	11,2	1,6																			
10	Rastavljanje preostalih sustava	16,6											0,1	0,4	2,1	3,5																			
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz razdora	23,4															1,3	1,3																	
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	136,7											2,0	2,0	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2														
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	14,7																																	
14	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	28,9																																	
14/02	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	28,9																																	
15	Obnova, skladištenje i odlaganje otpada	89,1																																	
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	32,2																																	
17	Lokalni policijski	512,8																																	
Ukupno																																			

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	Pripremi radovi	82,6	25,0	25,0																																	
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	12,5			0,4	10,9	13,6	4,7	2,3	0,7																											
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0												0,3	2,9	2,9																					
06	Rastavljanje komponenta primarne potrije	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																																			
09	Rastavljanje biološkog štita	6,1												0,1	0,4	1,9	3,8																				
10	Rastavljanje preostalih sustava	9,1																																			
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6																0,2	3,2	3,2	3,2	3,2	0,8									0,4	1,8	1,7	1,9	2,0	
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje otokša	16,8																															0,1	3,8	1,9	0,2	
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	21,8			2,0	2,0	2,0	2,0	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	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	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
14.01	Sigurnost	12,5			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	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
14.02	Održavanje	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	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
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	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	
16	SFDS (perivo, rad, razgradnja)	89,5			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	0,1	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	0,1	0,1		
17	Lokalni poticaji	31,0			3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	
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	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	

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]

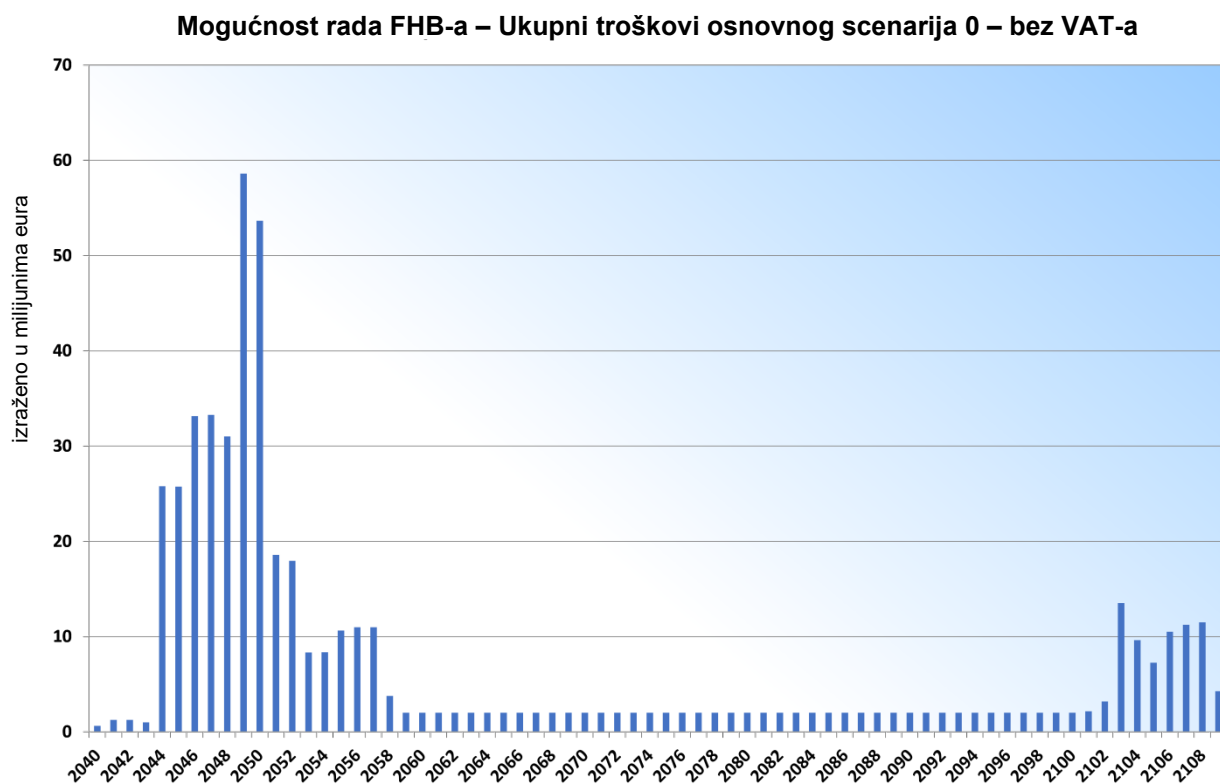
Bč.	Funkcija	Zbroj vrijednosti	2060.	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	–	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.	
01	Postupci prije razgradnje	3,8	0,6	1,3	1,3	0,6																													
02	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																																	
05	Rastavljanje kontroliranog područja	13,0											0,3	2,9	2,9																				
06	Rastavljanje komponenta primarne palje	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																		
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	16,6															0,2	3,2	3,2	3,2	0,8														
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																																	
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														
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	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 / 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	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								
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														
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

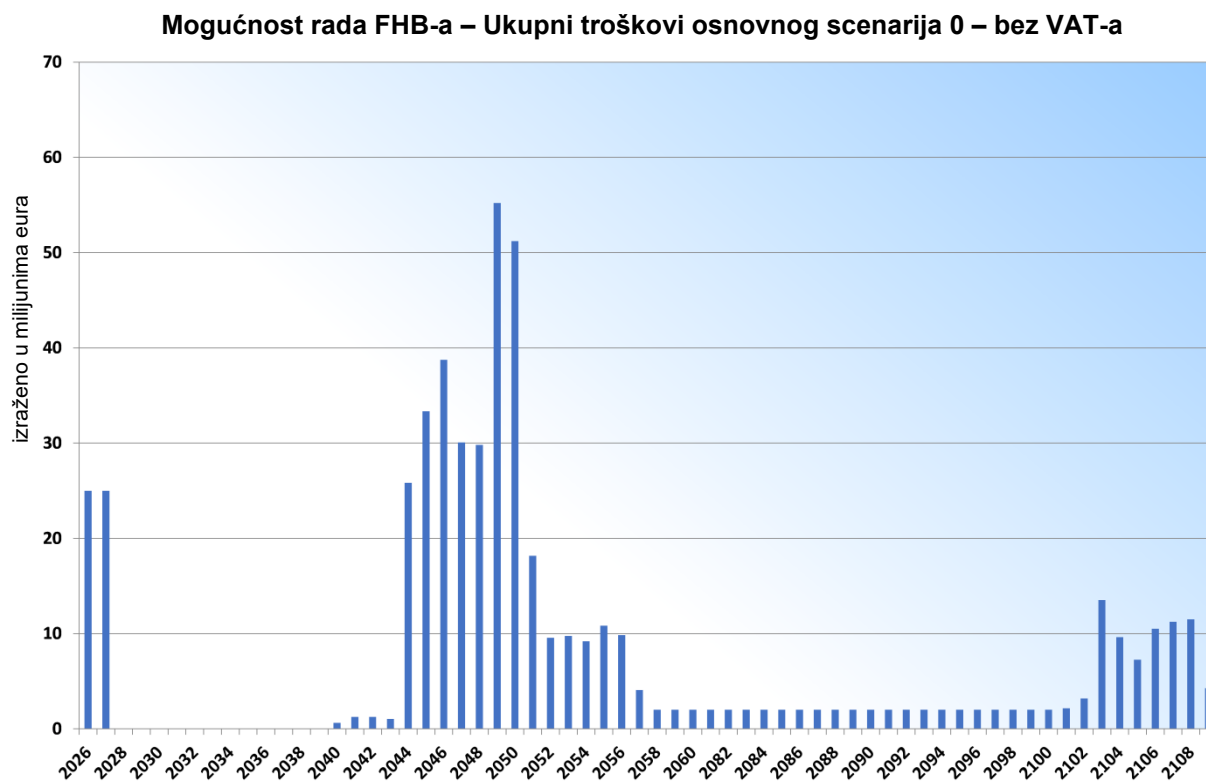
Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom paketu, scenarij B – bez VAT-a (milijun EUR)

Br.	Funkcija	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2101.	2122.	2123.	2124.	2125.	2126.	2127.	2128.	2129.
01	Potpuci prije razgradnje	3,8	0,6	1,3	0,6																							
02	Pripremiti radovi	38,4			10,1	2,1	2,6	0,3																				
04	Restavriranje izvan kontejnerskog područja	12,5																										
05	Restavriranje kontejnerskog područja	10,0							0,3	2,9	2,9																	
06	Restavriranje komponenta primarne petlje	3,9			0,6	2,4	0,8																					
07	Restavriranje unutarnjih dijelova RPV-a	33,04			0,7	4,1	14,2	9,7	4,8																			
08	Restavriranje RPV-a	26,5																										
09	Restavriranje burovačkog bita	6,1																										
10	Restavriranje preostalih sustava	9,1							0,1	0,4	2,2	3,5																
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz razdora	16,8							0,0	0,8	1,3																	
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	16,8																										
13	Upravljanje projektima, inženjering i podizanje na lokaciji	23,4																										
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	186,7			2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,4	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	1,0	1,0
14.01	Rad / održavanje	127,7			8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
14.02	Sigurnost	28,9			6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
15	Operativna, akustična i odlažanje otpada	40,4			0,0	2,6	2,7	2,2	4,8	4,9	0,2	2,2	2,9	1,3	1,2	1,7	2,1	0,4										
16	SPDS (porto, sat, razgradnja)	83,3			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	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
17	Lokalni podizaj	32,2			3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Ukupno		567,0	0,6	1,3	1,0	23,8	26,9	33,2	31,1	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	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

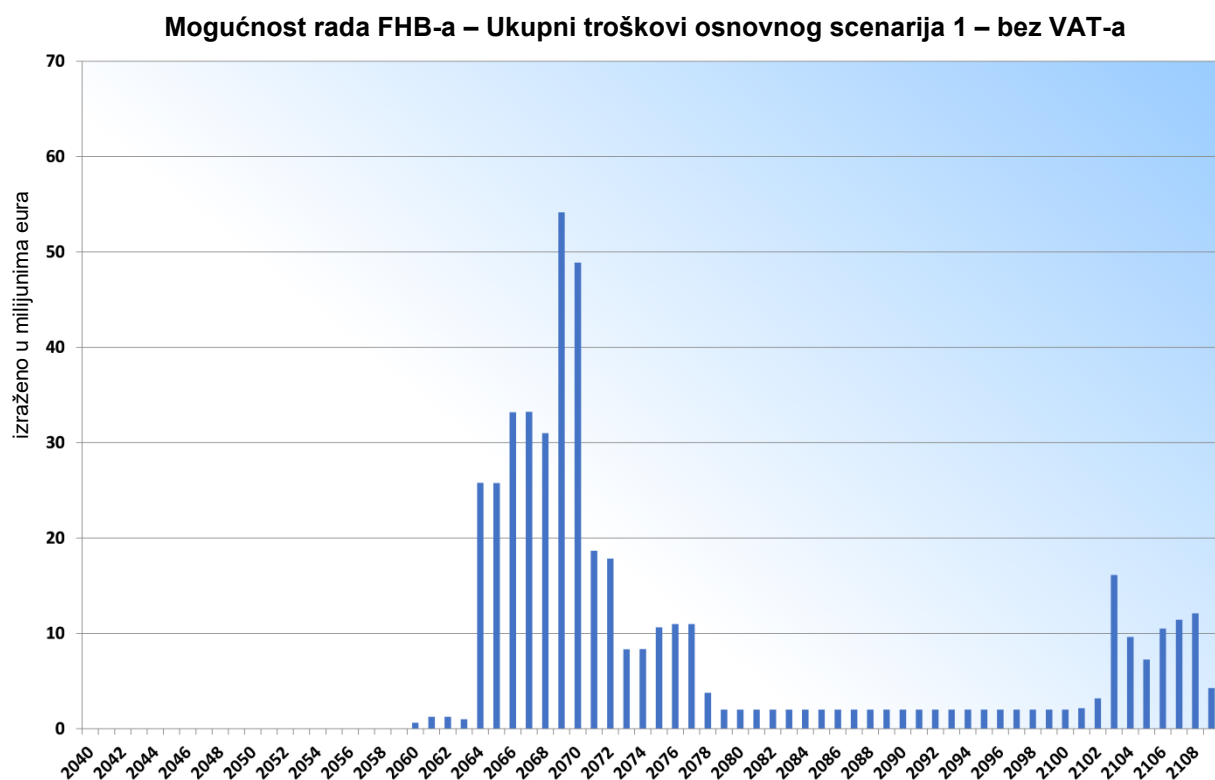
Tablica A1-5: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B bez PDV-a



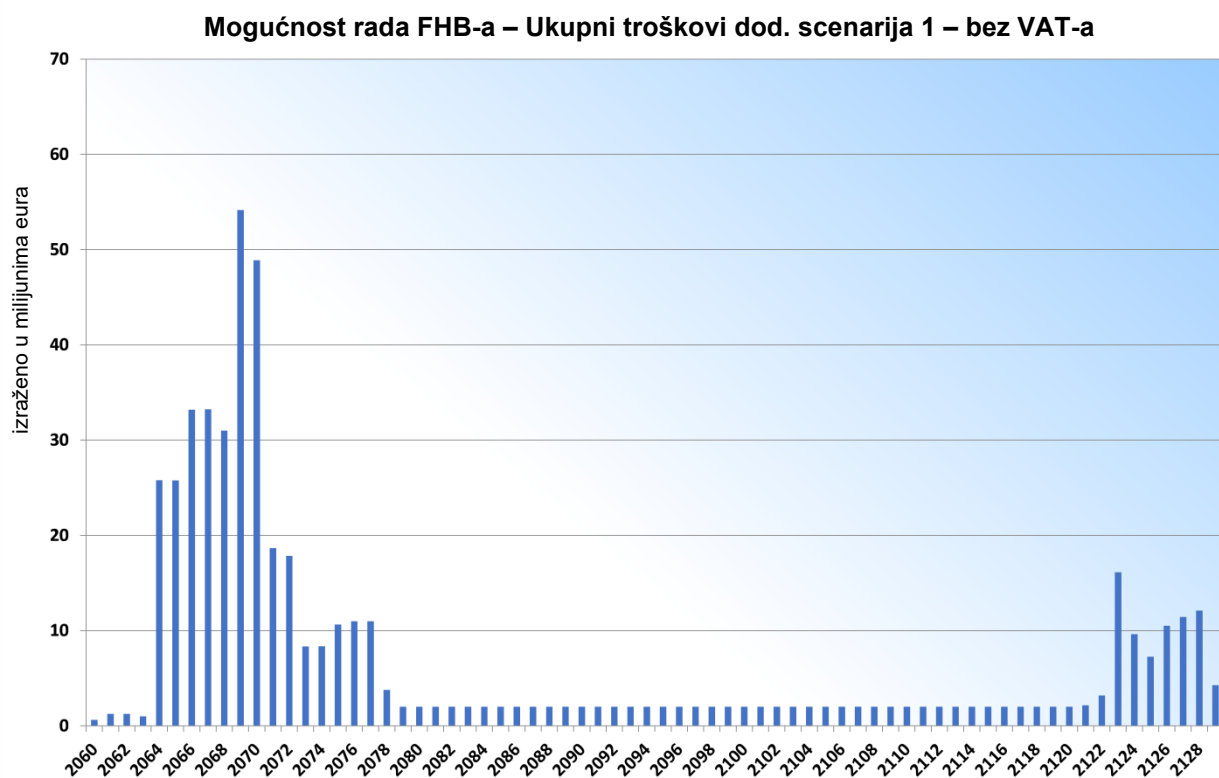
Slika A1-1: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 bez PDV-a



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 – uđj. VAT [milijun EUR]

Br.	Funkcija	Zbir 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																							
04	Rastavljanje izvan kontroliranog područja	14,4																																	
05	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9											0,3	3,4	3,4																				
06	Rastavljanje komponenta primarne palije	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																																	
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8																													0,5	2,1	2,0	2,2	0,2
12	Rušenje, obnova iolekcije, čišćenje i uklanjanje ožiljaka	20,0																													0,1	4,6	2,3	0,2	
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	0,2										0,0	5,9	3,2	4,9	
14	Sigurnost, nadzor i održavanje iolekcije	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	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
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	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
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	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
15	Obnova, skladištenje i odlaganje otpada	40,3					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 (govno, 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	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
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		575,2	0,7	1,5	1,4	1,1	28,6	26,5	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 – uk. VAT [milijun EUR]

Br.	Funkcija	2026. prihodnost	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																																		
05	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9																																		
06	Rastavljanje komponenta primarne potpise	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 blokova štita	7,1											6,1	0,4	2,1	4,5																				
10	Rastavljanje preostalih sustava	10,6														0,0	0,7	1,5	1,5																	
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,5																0,2	3,8	3,8	3,8	0,9														
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje	20,0																																		
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,5						2,2	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	6,3								0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
14	Sigurnost, nadzor i održavanje blokade	155,1						8,7	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	
14.01	Rad i održavanje	127,1						7,1	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	
14.02	Sigurnost	28,0						1,6	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	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
15	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	48,9						0,0	2,1	4,8	8,0	6,2	0,1	2,8	3,1	3,3	3,3	0,5	2,5	1,2	6,3								0,5	0,4	1,9	1,7	2,0	1,8	0,0	
16	SFOS (gorivo, rad, razgradnja)	104,6						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	33,3	33,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
17	Lokalne potpisi	31,0						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	0,3														
ukupno		621,5	30,5	30,5	0,7	1,5	1,4	1,1	28,4	37,3	44,3	33,9	33,6	64,6	69,6	20,2	10,4	10,8	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	13,8	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 – uk. VRT (milijun EUR)

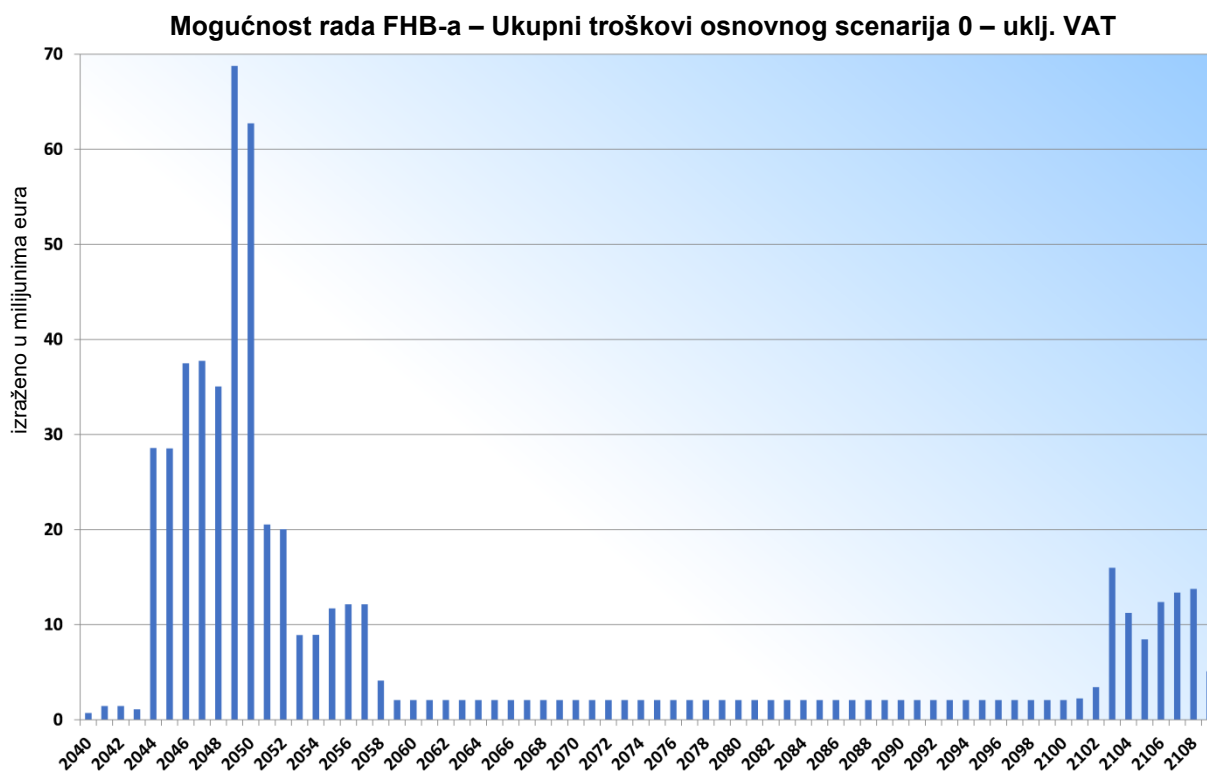
Bir.	Funkcija	2060. vrijednost	2061.	2062.	2063.	2064.	2065.	2066.	2067.	2068.	2069.	2070.	2071.	2072.	2073.	2074.	2075.	2076.	2077.	2078.	2079.	2080.	-	2100.	2101.	2102.	2103.	2104.	2105.	2106.	2107.	2108.	2109.	
01	Postupci prije razgradnje	4,3	0,7	1,5	1,4	0,7																												
02	Prigremni radovi	42,0				0,4	14,1	9,6	12,0	2,5	3,1	0,4																						
04	Restaviranjje izvan kontroliranog područja	14,4																																
05	Restaviranjje kontroliranog područja	14,9										0,3	3,4	3,4												0,2	1,0	3,8	2,8	2,7	3,8	0,1		
06	Restaviranjje komponenta primarne petlje	4,6				0,1	0,7	2,9	1,0																									
07	Restaviranjje unutarnjih dijelova RPV-a	40,2					0,8	4,9	17,1	11,6	5,8																							
08	Restaviranjje RPV-a	24,6								0,3	9,1	13,4	1,8																					
09	Restaviranjje biološkog štita	7,1									0,1	0,4	2,5	4,1																				
10	Restaviranjje preostalih sustava	10,6											0,0	0,7	1,5	1,5													0,5	2,1	2,0	2,2	0,2	
11	Opustanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	3,8	3,8	0,9														
12	Radovi, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okolica	20,0					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														
14	Stupnost, nadzor i održavanje lokacije	25,3					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,3	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	130,7					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	6,6	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	0,1	
14.02	Stupnost	108,7					1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,2	...	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
16	Obrada, skladištenje i odlaganje otpada	24,9					0,0	3,1	3,3	2,7	5,8	5,5	0,2	2,6	3,5	1,6	1,5	2,1	2,5	2,5	0,3							0,5	4,0	1,9	1,7	2,0	1,3	0,0
16	SPOS (grievno, rad, rasgrinjaj)	49,3					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	0,1	0,5	0,5	0,5	...	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
17	Lokali poticali	86,5					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	0,2														
Ukupno		526,6	0,7	1,5	1,4	1,1	28,6	28,6	37,5	37,7	35,0	63,3	66,9	20,6	19,9	8,9	11,7	12,1	12,1	4,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	

Tablica A1-8: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij A s PDV-om

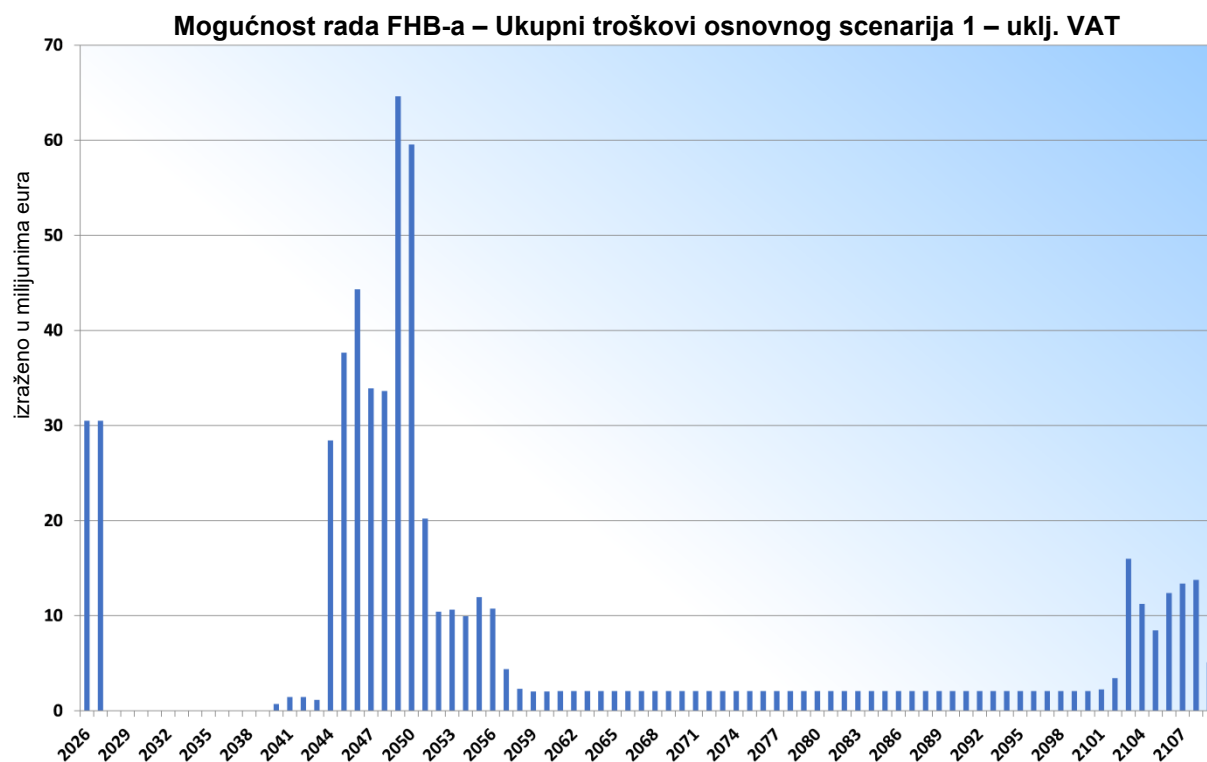
Mogućnost rada FHB-a – Godišnji troškovi po radnom dod. scenariju B – uđi, VAT (milijun EUR)

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																																	
05	Rastavljanje kontroliranog područja	14,9																																	
06	Rastavljanje komponenta primarne pehle	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																		
11	Opuštanje građevinskih konstrukcija iz nadzora	19,8															0,2	3,8	3,8	0,9															
12	Rušenje, obnova lokacije, čišćenje i uređenje okoliša	20,0																																	
13	Upravljanje projektima, inženjering i podrška na lokaciji	23,3					2,2	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	0,2														
14	Sigurnost, nadzor i održavanje lokacije	161,6					8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	6,9	5,3	3,3	3,3	3,3	1,8	1,5	1,5													
14.01	Rad i održavanje	132,7					7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	5,6	4,2	2,5	2,5	2,5	1,5	1,3	1,3													
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	0,3	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	1,5	2,1	2,5	2,5	0,5															
16	SFDS (gorivo, rad, razgradnja)	97,1						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	...										
17	Lokalni poticaji	32,2					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	0,2														
Ukupno		588,1	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	11,7	12,1	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

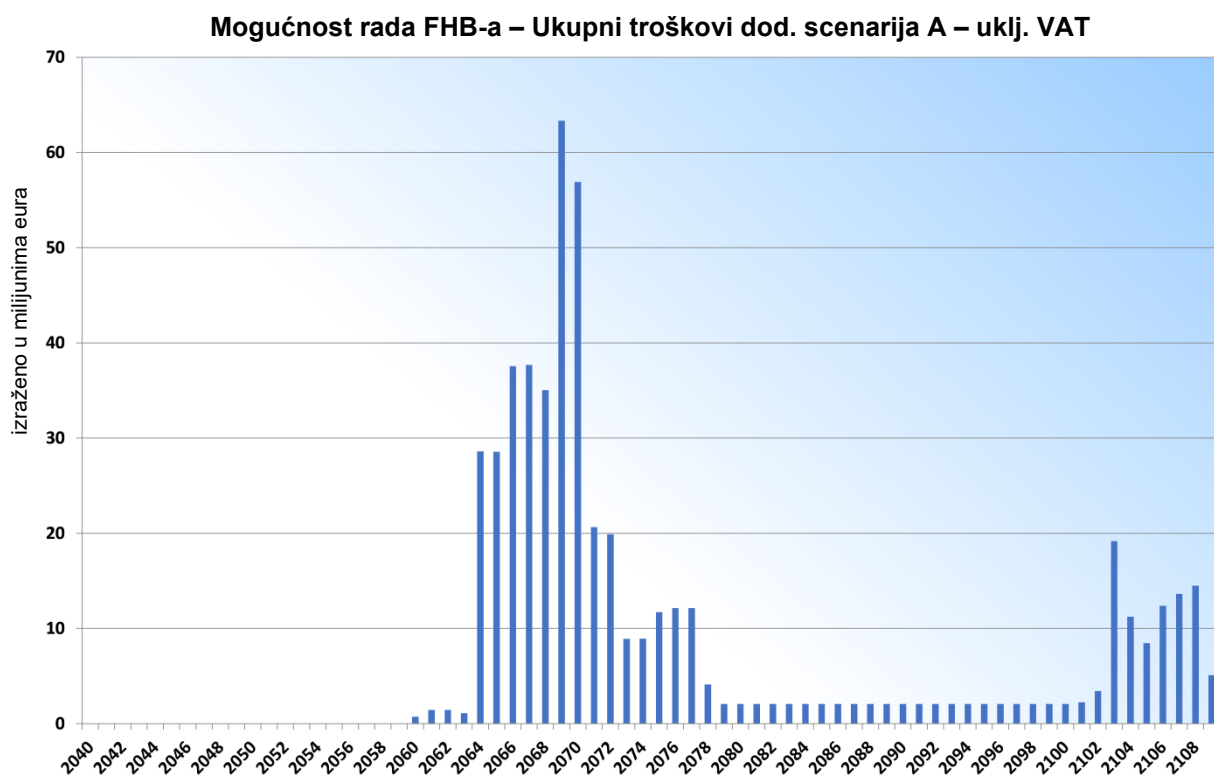
Tablica A1-9: Mogućnost rada FHB-a – godišnji troškovi po radnom paketu za dodatni scenarij B s PDV-om



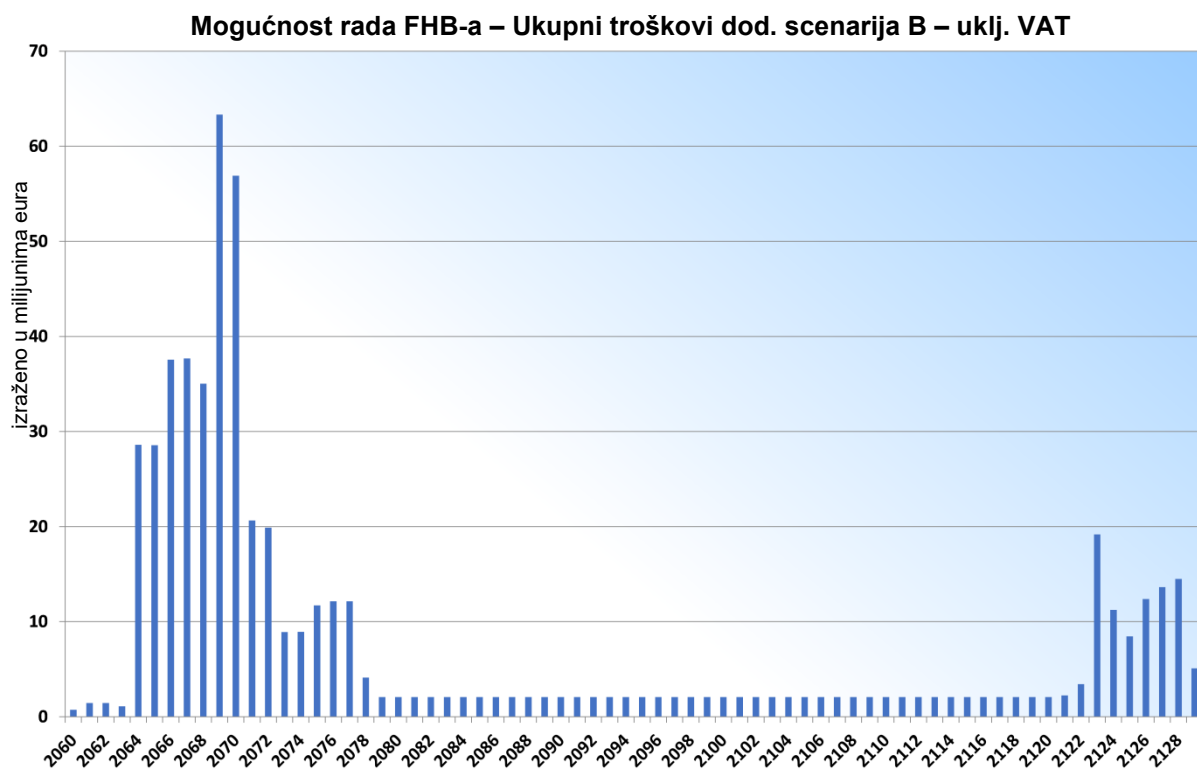
Slika A1-5: Mogućnost rada FHB-a – ukupni godišnji troškovi za osnovni scenarij 0 s PDV-om



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 m³ 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 kampa-nja.

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																			
03 Nuklearni 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																			
03 Nuklearni 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

Vista 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]
Osnovni scenarij 0 i 1	1682	674	6,7	8275	1262	506	5,1	6209	420	168	1,7	2066.
Spremnik N2d	1682	2022	14,6	9932	1262	1517	10,9	7462	420	505	3,6	2480
RCC	3364	2696	21,3	18 208	2524	2022	163	13 361	840	673	5,3	4546
Ukupno												
Dodatni scenarij A i B												
Spremnik N2d	2082	834	8,3	10 243	1262	506	5,1	6209	420	168	1,7	2066
RCC	2082	2502	18,0	12 294	1262	1517	10,9	7462	420	505	3,6	2480
Ukupno	4164	3337	26,4	22 337	2524	2022	16,0	13 361	840	673	5,3	4546

*Pokriveni troškovi kupnje spremnika.

Tablica A2-3: Rezultati pakiranja pogonskog otpada