



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA NARAVNE VIRE IN PROSTOR
UPRAVA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA JEDRSKO VARNOST

OCENA OGROŽENOSTI OB IZREDNEM DOGODKU V JEDRSKIH OBJEKTIH IN ZARADI RADIOAKTIVNIH SNOVI

Izdaja 8



Ljubljana, maj 2023

Avtorji:	A. Grabner	
	M. Tomažič	
	T. Nemec	
	J. Češarek	
	S. Tomažič	
	T. Bajcar	
Pregledali:	A. Peršič	
	M. Podjavoršek	
	I. Osojnik	
	V. Logar Zorn	
Odobril:	I. Sirc	

Uprava za jedrsko varnost
Maj, 2023

Št.: URSJV/DP 232/2023
Naslov: URSJV, Litostrojska cesta 54, 1000 Ljubljana
Telefon: +386 1 472 11 00
Faks: +386 1 472 11 99
E-pošta: snsa@gov.si

Vsebine URSJV na GOV.SI: <http://www.ursjv.gov.si>

Naslovnica: Misija Mednarodne agencije za atomsko energijo med obiskom jedrske elektrarne v Fukušimi.
Vir: <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-experts-meeting-discuss-severe-accident-management-after-fukushima>



VSEBINA

1. UVOD	5
2. KATEGORIZACIJA VIROV NEVARNOSTI IN KLASIFIKACIJA IZREDNIH DOGODKOV	6
3. JEDRSKI OBJEKTI	7
3.1 Viri nevarnosti.....	7
3.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	8
3.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	9
3.3.1 Metode za oceno verjetnosti pojavljanja nesreče in oceno njihovih posledic oziroma ocena tveganja zaradi delovanja jedrske elektrarne.....	9
3.3.2 Osnovne značilnosti metode	10
3.3.3 Tipični redi velikosti rezultatov	10
3.3.4 Uporaba VVA pri načrtovanju ukrepov	11
3.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	11
3.5 Potek in možni obseg nesreče	13
3.5.1 NEK.....	13
3.5.2 Reaktor TRIGA	14
3.5.3 Skladišče CSRAO na Brinju.....	14
3.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	14
3.7 Možne posledice nesreče	15
3.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	15
3.9 Kombinacija jedrske in druge nesreče	15
3.10 Možnost predvidevanja nesreče	15
3.11 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	16
3.11.1 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka v NEK.....	16
3.11.2 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka pri drugih sevalnih ali jedrskih objektih	16
3.11.3 Območja načrtovanja za jedrsko nesrečo v NEK in zaščitni ukrepi.....	16
4. UPORABA RADIOAKTIVNIH SNOVI	17
4.1 Viri nevarnosti.....	17
4.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	17
4.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	18
4.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	19
4.5 Potek in možni obseg nesreče	19
4.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	19
4.7 Možne posledice nesreče	19
4.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	19
4.9 Možnost predvidevanja nesreče	19
4.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	20
5. ZLONAMERNO DEJANJE Z UPORABO JEDRSKIH ALI RADIOAKTIVNIH SNOVI ...20	
5.1 Viri nevarnosti.....	20
5.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	20
5.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	20
5.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	21
5.5 Potek in možni obseg nesreče	21
5.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	22
5.7 Verjetne posledice nesreče.....	22
5.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	22
5.9 Možnost predvidevanja nesreče	22
5.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	23



6. NENADZOROVANI VIRI SEVANJA	23
6.1 Viri nevarnosti.....	23
6.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	23
6.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	24
6.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	25
6.5 Potek in možni obseg nesreče.....	25
6.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	25
6.7 Verjetne posledice nesreče.....	25
6.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	25
6.9 Možnost predvidevanja nesreče	25
6.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	25
7. PREVOZ RADIOAKTIVNIH IN JEDRSKIH SNOVI	25
7.1 Viri nevarnosti.....	25
7.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	26
7.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	26
7.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	26
7.5 Potek in možni obseg nesreče.....	27
7.5.1 Prevoz svežega goriva.....	27
7.5.2 Prevoz izrabljenega goriva.....	27
7.5.3 Prevoz radioaktivnih snovi za potrebe medicine, industrije, raziskav in drugih dejavnosti	28
7.5.4 Tranzit radioaktivnih snovi.....	28
7.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	28
7.7 Verjetne posledice nesreče.....	29
7.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	29
7.9 Možnost predvidevanja nesreče	29
7.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	29
8. PADEC SATELITA Z RADIOAKTIVNIMI SNOVMI	29
8.1 Viri nevarnosti.....	29
8.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	29
8.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	29
8.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	29
8.5 Potek in možni obseg nesreče.....	30
8.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	30
8.7 Verjetne posledice nesreče.....	30
8.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	30
8.9 Možnost predvidevanja nesreče	30
8.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	30
9. PLOVILA NA JEDRSKI POGON	31
9.1 Viri nevarnosti.....	31
9.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	31
9.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	31
9.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	31
9.5 Potek in možni obseg nesreče.....	32
9.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	32
9.7 Verjetne posledice nesreče.....	33
9.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	33
9.9 Možnost predvidevanja nesreče	33
9.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	33
10. JEDRSKA NESREČA V TUJINI	33
10.1 Viri nevarnosti.....	33
10.2 Možni vzroki nastanka nesreče.....	35



10.3	Verjetnost pojavljanja nesreče	35
10.4	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	35
10.5	Potek in možni obseg nesreče	35
10.6	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	35
10.7	Verjetne posledice nesreče.....	35
10.8	Verjetnost nastanka verižne nesreče	35
10.9	Možnost predvidevanja nesreče	36
10.10	Načrtovanje zaščitnih ukrepov	36
11.	POŠKODBA ODLAGALIŠČ JALOVINE NA NEKDANJEM RŽV	37
11.1	Viri nevarnosti.....	37
11.2	Možni vzroki nastanka nesreče.....	40
11.3	Verjetnost pojavljanja nesreče	40
11.4	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	41
11.5	Potek in možni obseg nesreče	41
11.6	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	41
11.7	Verjetne posledice nesreče.....	41
11.8	Verjetnost nastanka verižne nesreče	42
11.9	Možnost predvidevanja nesreče	42
11.10	Načrtovanje zaščitnih ukrepov	42
12.	RAZLAGA POJMOV IN KRATIC	43
12.1	Pomen pojmov.....	43
12.2	Seznam kratic.....	46
13.	PRILOGE	47
	Priloga 1: Seznam jedrskih elektrarn v oddaljenosti do 1000 km od Ljubljane	47
	Priloga 2: Nevarni viri sevanja v Sloveniji	49
14.	REFERENCE	50



1. UVOD

Ionizirajoče sevanje (sevanje) je prenos energije v obliki delcev ali elektromagnetnih valov z valovno dolžino 100 nanometrov ali manj ali frekvenco $3 \cdot 10^{15}$ Hz ali več, ki lahko neposredno ali posredno povzroči tvorbo ionov. Viri ionizirajočega sevanja so naravni in umetni. Vir ionizirajočega sevanja je lahko radioaktivna snov, ki seva zaradi nestabilnih atomov in tudi naprava (npr. rentgen). Zaradi radioaktivnih snovi v okolju (zemlja, zrak, voda in tudi hrana) je človek neprestano izpostavljen ionizirajočemu sevanju. Gre za zunanje in notranje obsevanje. V zvezi s tem govorimo o dozi sevanja, ki jo prejme telo.

Do zunanjega obsevanja pride, če je vir prodornega sevanja, npr. rentgenskega, v človekovi okolici. Izpostavitve sevanju in škoda, ki jo človek ob tem utрпи, je odvisna od časa zadrževanja v območju sevanja (dalj časa več škode - sorazmerno), razdalje do vira sevanja (bližje več škode - s kvadratom razdalje) in ščita.

Do notranjega obsevanja pride zaradi vnosa radioaktivnih snovi v telo, z vdihavanjem kontaminiranega zraka (inhalacija), uživanjem kontaminirane hrane in pijače (ingestija) ter tudi zaradi vnosa skozi kožo, zlasti če je poškodovana. Pomemben je tudi nenamerni vnos radioaktivnih snovi v telo, kot je na primer kajenje v kontaminiranem okolju. Notranje obsevanje je lahko nevarno predvsem pri vnosu radioaktivne snovi, ki seva sicer malo prodorna sevanja v obliki delcev - alfa (α), ker lahko povzroči velike poškodbe organov in drugih tkiv. Izpostavitve sevanju in škoda, ki jo človek ob tem utрпи, je v tem primeru odvisna od časa zadrževanja snovi v telesu, kar je zelo različno in odvisno tudi od lastnosti radioaktivne snovi.

V tkivu lahko zaradi ionizacije pride do okvar biološko pomembnih molekul, kar lahko privede do poškodbe ali smrti celice. Ob uničenju velikega števila celic organa ali tkiva so posledice za organizem lahko zelo resne, celo smrtne in se pokažejo relativno hitro po obsevanju. Te učinke imenujemo deterministične in zanje je značilno, da imajo prag - ne opažamo jih pod dozo sevanja, ki je nižja od neke mejne vrednosti. Nad pragom se posledice večajo s prejšnjo dozo.

Sevanje lahko v celici povzroči spremembe, ki lahko predstavljajo enega od prvih dogodkov pri spremembi celice v rakasto obliko. Kancerogenost sevanja je učinek, katerega verjetnost narašča z večanjem doze, pokaže pa se po daljšem časovnem obdobju. To je stohastični učinek oziroma naključni učinek zaradi statistično ugotovljenih okvar celic. Če pa sevanje okvari spolne celice, se posledice pokažejo šele na potomcih (dedni ali hereditarni učinki).

Zaradi preprečevanja škodljivih posledic prekomerne izpostavljenosti ionizirajočemu sevanju ob morebitnem izrednem dogodku ima Republika Slovenija izdelan Načrt zaščite in reševanja ob jedrski in radiološki nesreči [1]. Nuklearna elektrarna Krško (v nadaljevanju NEK) ima izdelan Načrt zaščite in reševanja ob izrednem dogodku. Reaktorski center Instituta »Jožef Stefan« ima izdelan Načrt ukrepov v primeru izrednega dogodka (NUID), ki se nanaša na raziskovalni reaktor TRIGA in tudi na ostale laboratorije in objekte instituta. Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO) ima Načrt zaščite in reševanja na območju CSRAO. Namen vseh teh načrtov je zagotoviti organizirano in učinkovito ukrepanje ob morebitni jedrski ali radiološki nesreči, da se na primeren način zaščiti zdravje in varnost prebivalcev ter okolje.

Ta ocena ogroženosti je podlaga za oceno tveganja [10] (ki ogroženosti dodaja verjetnost) in obravnava nevarnosti iz jedrskih objektov v Sloveniji in v tujini, vključno z radiološkimi nesrečami, npr. pri uporabi in prevozu radioaktivnih snovi.

Izdelana je skladno z "Navodilom o pripravi ocen ogroženosti" (Ur. l. RS, št. 39/95), ki v 4. členu navaja, kaj mora vsebovati ocena ogroženosti zaradi naravne in druge nesreče. "Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami" (Ur. l. RS, št. 51/06 - UPB, 97/10, 21/18 - ZNORG in 117/22) uvršča jedrske nesreče med druge nesreče (3. odst. 8 člena). V zvezi z ukrepanjem ob izrednem dogodku obstajajo tudi določila iz Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Ur. l. RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 - ZDU-10). V skladu s 130. členom omenjenega zakona mora namreč upravljavec sevalnega ali jedrskega objekta v načrtu zaščite in reševanja objekta, na podlagi predpisanih meril, prikazati razvrstitev



verjetnih izrednih dogodkov v razrede in glede na razred izrednega dogodka načrtovati obseg intervencijskega ukrepanja. Upravljevec sevalnega ali jedrskega objekta mora tudi na podlagi razvrstitve verjetnih izrednih dogodkov zagotoviti tehnične in druge pogoje, da se med izrednim dogodkom zagotovi ocenjevanje posledic izrednega dogodka in odločanje o obsegu potrebnih intervencijskih ukrepov. Usposobljenost upravljavca za izdelavo ocen se prikaže v varnostnem poročilu.

Pravilnik o zagotavljanju varnosti po začetku obratovanja sevalnih ali jedrskih objektov (Ur. l. RS, št. 81/16 in 76/17 – ZVISJV-1) v poglavju 7.2 predpisuje vzdrževanje pripravljenosti na izredni dogodek (59. člen). V 60. in 61. členu se ukvarja z načrtom zaščite in reševanja, in sicer z njegovo usklajenostjo in vsebino, medtem ko 62. člen predpisuje strukturo organizacije za obvladovanje izrednega dogodka, 63. člen našteva prostore in opremo za obvladovanje izrednega dogodka, 64. člen obravnava usposabljanje, 65. člen pa predhodno obveščanje prebivalstva, ki živi na območju, kjer so načrtovani zaščitni ukrepi. 66. člen predpisuje informiranje intervencijskih delavcev, ki niso redno zaposleni v jedrskem objektu.

Pravilnik o dejavnih sevalne in jedrske varnosti (Ur. l. RS, št. 74/16 in 76/17 – ZVISJV-1) vsebuje določbe, ki se nanašajo na ukrepanje ob izrednih dogodkih. Tako v 17. členu zahteva, da je potrebno že v projektu sevalnega ali jedrskega objekta izdelati načrt zaščite in reševanja ob izrednem dogodku. Takšen načrt mora predvideti dovolj ustrezno označenih evakuacijskih poti z zasilno razsvetljavo, prezračevanjem in drugo opremo, potrebno za njihovo varno uporabo. Obenem pa takšen načrt zagotavlja primerne opozorilne sisteme in sredstva obveščanja za opozarjanje osebja na objektu in na lokaciji ob izrednem dogodku.

Pri izdelavi te ocene ogroženosti so bili upoštevani tudi dokumenti Mednarodne agencije za atomsko energijo, ki so navedeni med referencami v zadnjem poglavju.

2. KATEGORIZACIJA VIROV NEVARNOSTI IN KLASIFIKACIJA IZREDNIH DOGODKOV

Vsakršna dejavnost, povezana z ionizirajočim sevanjem (sevalna dejavnost) predstavlja določeno nevarnost, zato je v Sloveniji je v skladu z zakonom, ki ureja varstvo pred ionizirajočimi sevanji in jedrsko varnost, za vsako tako dejavnost potrebno izdelati načrt zaščite in reševanja organizacije po zakonu, ki ureja varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami, ali pa navodilo za ukrepanje ob izrednem dogodku, ta delitev pa temelji na oceni ogroženosti, ki jo določena dejavnost predstavlja.

Viri nevarnosti so vsi objekti, naprave, stroji in postroji, ki vsebujejo jedrske ali radioaktivne snovi, ki v primeru izrednega dogodka povzročijo povečano sevanje. Vire nevarnosti lahko skladno z mednarodnim standardom GSR Part 7 [2] razvrstimo na pet kategorij glede na grožnjo in možne posledice nesreče:

- kategorija I: Objekti za katere se predpostavlja, da bi dogodki v njih lahko povzročili resne deterministične učinke izven lokacije in bi bilo potrebno izvajanje zaščitnih ukrepov v skladu z mednarodnimi standardi.
- kategorija II: Objekti za katere se predpostavlja, da bi dogodki v njih lahko povzročili takšne doze sevanja, ki bi vplivale na ljudi izven lokacije in bi bilo potrebno izvajanje zaščitnih ukrepov v skladu z mednarodnimi standardi.
- kategorija III: Objekti za katere se predpostavlja, da bi dogodki v njih lahko zahtevali izvajanje zaščitnih ukrepov na kraju samem v skladu z mednarodnimi standardi.



- kategorija IV: Aktivnosti, ki lahko povzročijo jedrsko ali radiološko nesrečo na neznani lokaciji; nenadzorovani (izgubljeni ali ukradeni) viri sevanja; nesreča pri prevozu radioaktivnih snovi, padec satelita, viri v odpadnih kovinah; sem spadajo tudi jedrske ali radiološke nesreče v tujih državah, ki ne spadajo v kategorijo V. Kategorija IV predstavlja tveganje, ki ga je potrebno upoštevati na vseh nivojih za celotno državo (na državnem nivoju in v vseh lokalnih skupnostih) in
- kategorija V: Območja v državi, ki je soseda z državo, v kateri so objekti kategorije I in II in katerih območja načrtovanja zaščitnih ukrepov se raztezajo na območje prve države.

Po terminologiji MAAE se zgornje kategorije imenujejo kategorije pripravljenosti na izredni dogodek (angleško Emergency Preparedness Categories – EPC), ki se uporabljajo za načrtovanje in vzdrževanje pripravljenosti. Ne smemo jih zamenjevati s kategorijami iz dokumenta MAAE [7], ki razvrsti zaprte vire sevanja v pet kategorij glede na možne deterministične učinke sevanja. Svet EU je leta 2013 izdal Direktivo Sveta 2013/59/Euratom, ki določa visokoaktivne vire sevanja, da se prepreči izpostavljenost delavcev in prebivalstva ionizirajočemu sevanju zaradi neustreznega nadzora nad visokoaktivnimi viri sevanja, ki predstavljajo največje potencialno tveganje. Meje za visokoaktivne vire sevanja in nevarne vire sevanja določa Uredba o sevalnih dejavnostih (Ur. l. RS, št. 19/18).

MAAE opredeljuje naslednjo klasifikacijo izrednih dogodkov [2]:

- **Splošna nevarnost** (angleško general emergency) – nevarnost, kjer se pričakuje vplive na lokaciji in izven nje. Ob razglasitvi splošne nevarnosti se na podlagi razpoložljivih informacij nemudoma sprejmejo ustrezni zaščitni ukrepi na lokaciji objekta ter izven.
- **Objektna nevarnost na lokaciji** (angleško site area emergency) - nevarnost, kjer se pričakuje vplive na lokaciji objekta in potencialno tudi v njegovi bližini.
- **Objektna nevarnost** (angleško facility emergency) - nevarnost, kjer se pričakuje vplive le v objektu, izven lokacije objekta pa ne.
- **Začetna nevarnost** (angleško alert) - ob dogodku te stopnje nevarnosti se uporabi zaščitne ukrepe za ocenitev in blaženje potencialnih posledic na lokaciji objekta, ne pa tudi izven.
- **Nenormalni dogodek** (angleško unusual event) – ob dogodku te stopnje nevarnosti se uporabi zaščitne ukrepe za blažitev posledic le na lokaciji objekta.

3. JEDRSKI OBJEKTI

3.1 Viri nevarnosti

Jedrski objekt je objekt za predelavo in obogatitev jedrskih snovi ali izdelavo jedrskega goriva, jedrski reaktor v kritični ali podkritični sestavi, raziskovalni reaktor, jedrska elektrarna, objekt za skladiščenje, predelavo, obdelavo ali odlaganje jedrskega goriva ali visokoradioaktivnih odpadkov in objekt za skladiščenje, obdelavo ali odlaganje nizko- ali srednjeradioaktivnih odpadkov. Jedrski objekt lahko sestoji tudi iz več jedrskih objektov, če so funkcionalno povezani na istem geografsko zaokroženem območju in jih upravlja ena oseba.

V Sloveniji imamo v skladu s klasifikacijo [2] naslednje jedrske objekte:

- NEK (I. kategorija),
- Raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici (III. kategorija) in
- Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov Brinje (III. kategorija).



V NEK predstavljajo vir nevarnosti predvsem radioaktivne snovi v sredici reaktorja in radioaktivne snovi v izrabljenem gorivu, ki se nahaja v bazenu za izrabljeno gorivo in v suhem skladišču izrabljenega goriva. Poleg tega v manjšem obsegu tudi nizko in srednje radioaktivni odpadki ter radioaktivni plini v shranjevalniku za razpad radioaktivnih plinov. V NEK uporabljajo tudi visoko radioaktivne vire, kar pa je omejeno na območje elektrarne in ne predstavlja grožnje za okolje.

3.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Nesreča v tej oceni ogroženosti pomeni dogodek, pri katerem je prišlo do sproščanja radioaktivnih snovi, ali pa obstaja potencialna nevarnost, da bo prišlo do sproščanja radioaktivnih snovi v takšnem obsegu, da so oziroma bodo znatno presežene omejitve, ki so predpisane z Zakonom o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti oziroma s pravilniki, ki jih predpisuje ta zakon.

V obratujočem reaktorju jedrske elektrarne poteka verižna reakcija, pri kateri se sprošča toplota, ki se jo izkorišča za proizvodnjo elektrike. Radioaktivne snovi v reaktorju (sredica) so pod visokim tlakom in pri visokih temperaturah. Zaradi narave radioaktivnih snovi se toplota sprošča tudi, ko reaktor ne obratuje, torej, ko je verižna reakcija ustavljena. Te t. i. zaostale toplote je bistveno manj kot med obratovanjem, vendar jo je tudi potrebno odvajati. Sredico reaktorja je tako potrebno hladiti med obratovanjem in tudi dlje časa po obratovanju. Če hlajenje zaradi kakršnega koli razloga ni možno, se sredica lahko segreje do te mere, da se stali (poškodba sredice). To bi pomenilo težko nesrečo, pri kateri bi lahko prišlo do sproščanja radioaktivnih snovi v okolje. Letna verjetnost izpustov v okolje je $1,41 \cdot 10^{-6}$ (vsakih 700.000 let) [39].

Za jedrske objekte so izdelane študije, ki razvrščajo vzroke za nesrečo na skupine po začetnih dogodkih. Vzroki za nesrečo lahko izvirajo iz okvare tehnoloških sistemov oziroma komponent ali pa zaradi človeške napake. Tako so npr. za NEK posamezni scenariji odpovedi opreme in pregrad, ki lahko vodijo do nesreče s taljenjem sredice razdeljeni na več skupin, ki se začnejo z značilnim začetnim dogodkom. Takšni začetni dogodki so:

- izguba reaktorskega hladila skozi veliko odprtino,
- izguba reaktorskega hladila skozi srednjo odprtino,
- izguba reaktorskega hladila skozi majhno odprtino,
- zlom cevi v uparjalniku,
- odpoved reaktorske posode,
- puščanje reaktorskega hladila skozi različne sisteme,
- prehodni pojav brez delujočega sistema glavne napajalne vode,
- prehodni pojav z delujočim sistemom glavne napajalne vode,
- zlom glavnega parovoda,
- izguba vsega zunanjšega električnega napajanja,
- izguba vsega izmeničnega električnega napajanja v elektrarni,
- prehodni pojav brez zaustavitve reaktorja,
- izguba bistvene oskrbne vode,
- izguba hlajenja s sistemom za hlajenje komponent,
- delna izguba enosmernega električnega napajanja in
- izguba instrumentacijskega zraka.



Samo ena okvara ne more povzročiti nesreče, ker so bistveni sistemi vedno podvojeni, zaradi česar je potrebno več okvar in napak, da bi prišlo do zaporedja odpovedi, ki bi vodili k poškodbi sredice reaktorja. Zgoraj so naštetih t. i. notranji začetni dogodki, obstajajo pa tudi zunanji začetni dogodki, kot so požar, poplava, potres, padec letala, visoko-energijski izpusti, ekstremni vremenski pojavi, ki prav tako lahko vodijo do nesreče.

Pri obravnavanju nesreče seveda ne moremo mimo človeških napak, ki se lahko pojavijo v vsaki fazi nesreče, in so lahko vzrok za začetek nesreče ali za poslabšanje stanja med potekom nesreče. Med začetne dogodke, ki potencialno vodijo do poškodbe sredice, lahko vključimo tudi sabotažo, ki jo nevedni ali zlonamerni napadalci povzročijo s fizičnim ali kibernetičnim napadom.

Jedrski objekti in jedrske snovi so v smislu potencialne kraje, sabotaže ali druge oblike ogrožanja razvrščeni v tri kategorije [18], pri čemer ukrepi fizičnega varovanja sledijo »stopenskem pristopu«.

Pri ogrožanju fizičnega varovanja gre bolj kot za kvantitativni pristop za zasledovanje primerljivih dogodkov po svetu v smislu kvalitativnega ovrednotenja, ranljivosti sistemov in zaključkov (angleško lessons learned). Od dogodkov, ki so znani oziroma so odmevali v stroki v zadnjih desetletjih in vsebujejo zlonamerno komponento (zlonamerno dejanje je ovrednoteno še v 5. poglavju), velja omeniti med drugim naslednje primere:

- 1982: južnoafriška jedrska elektrarna Koeberg (postavitev eksploziva) [25],
- 2007: kraja/odtujitev in najdba tabletk z uranom (Juzbado, Španija) [26],
- 2007: vdor v južnoafriški jedrski kompleks v Pelindabi (kjer se nahaja visoko obogaten uran) [27],
- 2010: kibernetični napad Stuxnet na centrifuge za bogatenje urana v Iranu [28],
- 2012: najdba eksploziva v vozilu pred švedsko jedrsko elektrarno Ringhals [29],
- 2014/2015: kibernetični napad na operaterja korejskih jedrskih elektrarn (KHNP) [30] in
- 2019: kibernetični napad na indijsko jedrsko elektrarno v Kudankulamu [31].

3.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

3.3.1 Metode za oceno verjetnosti pojavljanja nesreče in oceno njihovih posledic oziroma ocena tveganja zaradi delovanja jedrske elektrarne

Verjetnost nastanka in poteka nesreče v jedrski elektrarni ocenjujemo z metodologijo verjetnostnih varnostnih analiz (VVA), kjer izračunamo tveganje za poškodbo goriva in radioaktivne izpuste v okolje, kar povzroči ogroženost prebivalstva. VVA temelji na določitvi možnih začetnih dogodkov ter na določanju zaporedij odpovedi, kar pripelje do posledic. VVA so lahko sestavljene iz treh ravni:

Raven 1 – izračunana je verjetnost poškodbe sredice zaradi notranjih dogodkov (izguba vsega izmeničnega napajanja, zlom cevi primarnega sistema ...) in zunanjih dogodkov (požar, potres, poplava ...).

Raven 2 - izračunana je verjetnost in količina radioaktivnih izpustov, časovni razvoj poteka dogodkov v zadrževalnem hramu za različne oblike in količine izpustov radioaktivnih snovi v okolje zaradi odpovedi pregrad in sistemov zadrževalnega hrama.



Raven 3 - izračunane so pričakovane posledice za prebivalstvo in okolje zaradi izpustov radioaktivnih snovi, določenih v ravni 2. Upoštevana je tudi meteorološka, topografska in demografska značilnost lokacije.

3.3.2 Osnovne značilnosti metode

Glavni rezultati

Glavni rezultat VVA je verjetnost za poškodbo sredice ter verjetnost, količina in časovni potek radioaktivnih izpustov zaradi odpovedi ali obroda zadrževalnega hrama.

Glavne kategorije vhodnih podatkov

Jedrska nesreča se prične z začetnim dogodkom, ki sproži različne odzive elektrarne in s tem potek nesreče. Pomembno je stanje elektrarne v trenutku nesreče, razpoložljivost komponent, zanesljivost komponent in človeške napake. Vse to vpliva na potek nesreče. VVA kažejo, da med množico možnih scenarijev obstaja skupina prevladujočih scenarijev poteka nesreče. Vsota verjetnosti vseh možnih potekov nesreče nam da celotno verjetnost za nastanek poškodbe sredice.

Negotovost rezultatov

Zaradi negotovosti vhodnih podatkov ne smemo obravnavati rezultatov analize kot absolutnih vrednosti za možnost nesreče. Analiza nam pokaže najverjetnejše scenarije, katere komponente in človeške akcije so najpomembnejše za potek nezgode ter stopnjo njihove pomembnosti.

Omejitve

V predpostavkah in poenostavitvah analize so običajno upoštewane nekatere omejitve. Obravnavajo se le potencialni izpusti radioaktivnih snovi iz sredice.

3.3.3 Tipični redi velikosti rezultatov

Pričakovana verjetnost poškodbe sredice za NEK je $1,35 \cdot 10^{-5}$ na leto [39], kar je primerljivo z elektrarnami podobnega tipa druge generacije drugje po svetu. Ta vrednost vključuje notranje začetne dogodke, dogodke zaradi notranjih in zunanjih nevarnosti, tako za obratovanje na moči kot za zaustavitvena stanja. Zadrževalni hram zmanjša verjetnost izpustov radioaktivnih snovi v okolje v primeru jedrske nesreče za približno 10-krat glede na verjetnost poškodbe sredice, dodatno zmanjšanje pa je še zaradi vgradnje filtrirnega sistema za nadzorovano razbremenjevanje zadrževalnega hrama. Prav tako se podaljša čas, po katerem pride do potencialnega izpusta v okolico. To omogoča učinkovitejše ukrepanje po nesreči.

Negotovost rezultatov in razlike pri verjetnostih za poškodbo sredice oziroma izpust v okolico so odvisne od uporabljene metodologije in obsega VVA, zato ne primerjamo končnih rezultatov za verjetnost poškodbe sredice med posameznimi reaktorji, ne da bi pred tem upoštevali vrsto metodologije. Pri primerjavi rezultatov za verjetnost poškodbe sredice za različne reaktorje je smiselno upoštevati le velikostne rede rezultatov. Glavni namen VVA je odkriti šibke točke tako, da se z upravičenimi posegi v sisteme in komponente, ki zagotavljajo varnost elektrarne, doseže čim večji učinek, tj. čim večje zmanjšanje verjetnosti poškodbe sredice.



3.3.4 Uporaba VVA pri načrtovanju ukrepov

Začetni dogodek in sekvence razvoja nesreče

Pri načrtovanju ukrepov nam VVA omogoča, da glede na začetni dogodek prepoznamo najbolj neugodni scenarij poteka nesreče.

Prevladujoče najkrajše poti odpovedi in prevladujoči scenarij razvoja nesreče

Predvidimo lahko kombinacije odpovedi, ki najbolj vplivajo na odziv elektrarne glede na poznavanje stanja sistemov in komponent v času nesreče.

Izpusti radioaktivnih snovi v okolico za posamezne skupine neugodnih stanj elektrarne

Predvidimo lahko količino in časovni potek izpustov radioaktivnih snovi v okolico.

3.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Pri jedrski nesreči se sprostijo radioaktivne snovi (radioaktivni plini in radioaktivni delci) pretežno v ozračje in se razširjajo v obliki radioaktivnega oblaka v širšo okolico. Ogroženost zaradi radioaktivne kontaminacije okolja je odvisna od vrste in količine izpuščene aktivnosti posameznih skupin radionuklidov (žlahtni plini, radioizotopi joda, delci z dolgoživimi cepljivimi in aktivacijskimi produkti) in od vsakokratnih meteoroloških razmer. Izpuščene radioaktivne snovi se iz kraja nesreče gibljejo v prevladujoči smeri vetrov. Razširjanje je odvisno od vremenskih razmer in tudi lokalne topografije. Radioaktivni delci se med zračnim transportom usedajo na površino tal (suha depozicija oziroma suhi used) ali pa z izpiranjem s padavinami (mokra depozicija oziroma mokri used).

Škodljivo ionizirajoče sevanje zaradi radioaktivnega onesnaženja ob jedrski nesreči na človeka vpliva preko naslednjih prenosnih poti:

- inhalacija radioaktivnih zračnih delcev,
- zaužitje kontaminirane hrane, mleka in pitne vode,
- neposredno zunanje obsevanje iz radioaktivnega oblaka in iz kontaminiranih tal,
- kontaminacija kože in oblačil,
- nenamerno zaužitje (prehranjevanje s kontaminiranimi rokami, kajenje, igranje otrok na kontaminiranih tleh) in
- v primeru poškodb, ko lahko radioaktivne snovi vstopajo v telo tudi preko odprtih ran.

Poleg naštetega ne gre zanemariti tudi možnosti obsevanja ali prenosa kontaminacije pri noseči ženski na plod. Posledice izpostavljenosti sevanju pri plodu temeljijo na opazovanjih¹, saj so znanstvene raziskave iz etičnega vidika prepovedane. Na podlagi opazovanj so bile identificirane različne možne posledice – izguba nosečnosti, malformacije, zakasnitev v razvoju in karcinogeneza [3].

Izpostavljenost ionizirajočemu sevanju vpliva na zdravje ljudi. Učinke sevanja razdelimo na dve kategoriji:

¹ Večina podatkov o vplivu sevanja na plod izhaja iz opazovanj pacientov, ki so preživeli bombardiranje Hirošime in posledice nesreče v Černobilu.



Deterministični učinki

- Velike doze, prejete v kratkem časovnem obdobju, kratkoročno in dolgoročno ogrožajo zdravje izpostavljenih posameznikov. Če so doze velike, lahko poškodujejo izpostavljene organe posameznika do te mere, da povzročijo sevalno bolezen ali smrt v nekaj dneh ali mesecih. Posledice teh učinkov so sevalna bolezen, bruhanje, diareja, izguba las, slabost v želodcu, črevesne težave, visoka temperatura, izguba teka in splošna slabost. Smrt lahko povzročijo poškodbe pljuč, tankega črevesa in kostnega mozga. Če ne gre za smrtno dozo, okrevanje zaradi sevalne bolezni traja od nekaj tednov do enega leta. Po ozdravljeni sevalni bolezni so posamezniki še vedno lahko prizadeti zaradi zakasnelih učinkov sevanja.
- Majhne doze ne poškodujejo organov posameznika v tolikšni meri, da bi le-ti odpovedali, vendar pa obstaja dozni prag, pri katerem se pričnejo pojavljati poškodbe organov in tkiv. Ko je ta prag presežen, se začnejo poškodbe organov hitro pojavljati pri večini prebivalstva. Doza, pri kateri se določeni zdravstveni učinek pojavijo pri 50 % prebivalstva, označimo z D50, pri učinkovitih dozah od 0,5 do 1 Sv se pričnejo pojavljati poškodbe organov. Pri učinkovitih dozah nad 2,5 Sv se pojavijo prvi smrtni primeri. LD_{50/60} (lethal dose - smrtna doza) je oznaka za dozo, pri kateri 50 % ljudi, ki je prejelo takšno dozo, umre v 60-ih dneh. LD_{50/60} znaša od 3 Sv do 4,5 Sv, odvisno od obsega prejete medicinske oskrbe (ob prejeti polni medicinski oskrbi se LD_{50/60} poviša na 4 do 5 Sv [24]).
- Če je učinkovita doza okoli 1 Sv prejeta v zelo kratkem času, imamo tudi že pri povprečnem prebivalstvu primere s smrtnim izidom, ki se pojavijo po približno dveh mesecih. Za zdravega odraslega človeka in daljša obdobja obsevanja pa so vrednosti za LD_{50/60} premaknjene k 2,5 Sv.

Stohastični učinki

- Izpostavljenost majhnim dozam, ki jih oseba prejme v daljšem časovnem obdobju, lahko povzroči povečanje tveganja za razvoj raka, ki se kot bolezen pojavi po daljšem času (velikostni red 20 let) in ne takoj po obsevanju. Tveganje za raka naj bi bilo sorazmerno z dozo. Nekateri viri [12 - str. 5, 1-3] navajajo podatek, da kolektivna učinkovita doza 20 čl-Sv (človek Sivert) povzroči en primer raka ne glede na to, koliko ljudi je bilo obsevanih. Potrebno je dodati, da večina ocen ne upošteva verjetnosti rakov, ki so ozdravljivi (kot sta npr. rak ščitnice in kožni rak).

Glede na čas so učinki lahko takojšnji (akutni) in zakasneli (latentni). Vsi takojšnji učinki so deterministični in skoraj vsi deterministični učinki so takojšnji. Najpogostejši zakasneli učinki so stohastični.

Obseg ogroženosti se s časom spreminja. Prebivalstvo v bližini kraja nesreče bo v prvih urah po izpustu najprej izpostavljeno zunanjemu sevanju iz radioaktivnega oblaka žlahtnih plinov, nato pa vdihavanju radioaktivnih delcev, še posebej izotopov radioaktivnega joda, ki se kopičijo v žlezi ščitnici. Srednjeročno (nekaj dni po nesreči) pa prihaja do obsevne obremenitve kratkoživih izotopov zaradi zaužitja kontaminirane hrane, mleka in pitne vode (še posebej v krajih, kjer uporabljajo za pitje deževnico) ter zaradi zunanjega sevanja iz kontaminiranih tal. Med dolgoročno obsevanost prebivalcev štejemo dozo zaradi vnosa radioaktivnih snovi z dolgoživimi radionuklidi (¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ⁹⁰Sr) s hrano vzdolž celotne prehranske verige.

Ob preteklih jedrskih nesrečah se je pokazalo, da je ogroženost zaradi sevanja precej večja v krajih s pričakovano večjo količino padavin. Padavine namreč izperejo iz radioaktivnega oblaka radioaktivne snovi na tla v obliki t. i. »mokrega useda«.



3.5 Potek in možni obseg nesreče

3.5.1 NEK

Za NEK so možni poteki nesreč razdelani v varnostnem poročilu [4]. Te analize so bile podrobneje obdelane v oceni ogroženosti NEK [5], kjer so opisani tudi vsi možni notranji in zunanji vzroki za nesreče. Ta ocena pa ne vključuje dogodkov ogrožanja fizičnega varovanja. Ti dogodki, vključno s terorističnimi grožnjami, so analizirani v Načrtu fizičnega varovanja [17]. Med zunanjimi vzroki so analizirani padci letal, potresi, poplave, požari, suša, žled, veter in neurja ter industrijske nesreče v okolici elektrarne. Nova analiza tveganj obsega tudi epidemiološka tveganja.

Različni poteki projektnih nesreč ter scenariji z verjetnostjo za taljenje sredice za NEK so povzeti in opisani v končnem varnostnem poročilu za NEK [4]. Med nesreče v jedrskih elektrarnah, ki imajo vpliv na prebivalstvo, spadajo nesreče s poškodbo sredice, t.i. težke nesreče. Jedrske elektrarne z zadrževalnim hramom zadržijo večino radioaktivnih snovi, tako da zaščitni ukrepi za prebivalstvo niso potrebni ali pa so minimalni. Toda če pride do odpovedi zadrževalnega hrama, se lahko v okolje sprosti znatna količina radioaktivnih snovi in potrebni so zaščitni ukrepi za prebivalstvo.

Ob težki nesreči v jedrski elektrarni (in odpovedi zadrževalnega hrama) se lahko znatne količine radioaktivnih snovi med drugim sprostijo tudi v ozračje in se razširjajo v obliki radioaktivnega oblaka v širše okolje. Ogroženost je odvisna od vrste in od količine izpuščenih radioaktivnih snovi (žlahtni plini, radioizotopi joda, dolgoživi cepitveni produkti). Prenos in razširjanje sta odvisna od vremenskih razmer. Radioaktivni delci se med prenosom usedajo (suhi used) ali pa izpirajo s padavinami (mokri used).

Stopnja ogroženosti se s časom spreminja. Nezaščiteni prebivalci v bližini kraja nesreče bi bili v prvih urah po izpustu najprej izpostavljeni zunanjemu sevanju iz radioaktivnega oblaka in vdihavanju radioaktivnih delcev, še posebej izotopov radioaktivnega joda, ki bi se kopičil v ščitnici. Srednjeročno (nekaj dni po nesreči) bi prišlo do obsevanja zaradi uživanja kontaminirane hrane z radioaktivnim jodom ^{131}I (npr. mleko, listnata zelenjava, pitna voda) ter zaradi zunanjega sevanja iz kontaminiranih tal. Podobno je dolgoročno (mesece in leta po nesreči), ko so pomembni dolgoživi radionuklidi, kot npr. cezij (^{137}Cs , ^{134}Cs) in stroncij (^{90}Sr).

Kakšen bo izpust radioaktivnih snovi, je odvisno od scenarija nesreče: obsega poškodbe sredice, hitrosti puščanja zadrževalnega hrama, ali gre za suh ali za moker izpust itd. Na koncentracijo in pot radioaktivnih snovi v zraku vpliva tudi vreme. Pri težki poškodbi sredice se iz goriva sprostijo vsi žlahtni plini (Kr, Xe) in dovršen del izotopov joda (I). Zelo hlapljiv je tudi cezij (Cs), ki nastopa kot aerosol vodotopnih snovi (CsI, CsOH). Hlapne snovi, ki nastopajo v malo topnih oksidih so telur, stroncij in barij (Te, Sr, Ba). Malo hlapne snovi pa so rutenij, lantan in cerij (Ru, La, Ce). Razširjanje radioaktivnih snovi si lahko predstavljamo kot širjenje oblaka. To uporabljamo v ustreznih računalniških modelih, oblak pa s prostim očesom ni viden, saj plini ne kondenzirajo.

Za preprečevanje in za zmanjšanje posledic jedrske nesreče so v elektrarni vgrajeni varovalni in varnostni sistemi ter naprave, katerih skupna naloga je preprečevanje poškodbe goriva ter nenadzorovanega uhajanja radioaktivnih snovi v okolico elektrarne.

Med remontom 2013 so v NEK vgradili filtrirni sistem za nadzorovano razbremenjevanje zadrževalnega hrama (angleško Passive Containment Filtered Vent System - PCFVS), ki omogoča nadzorovan izpust preko filtrov za preprečitev odpovedi zadrževalnega hrama. Filtri zmanjšajo izpust izotopov joda za 100-krat, aerosolov za 1000-krat, medtem ko na izpust žlahtnih plinov ne vplivajo.

V okviru načrta gradnje verige hidroelektrarn (HE) na reki Savi so leta 2017 zgradili HE Brežice in akumulacijsko jezero. Ogroženost okolice zaradi razlitja ali izpusta radioaktivne snovi iz NEK v okolico je obravnavala »Analiza sprememb radioloških in toplotnih vplivov NEK na okolje po



zgraditvi HE Brežice« Instituta Jožef Stefan (IJS-DP-9657, september 2007). Analiza obravnava izpust radioaktivnih tekočin v Savo iz rezervoarjev odpadnih tekočin (WMT – Waste Monitoring Tank in BD - kaluža uparjalnikov). Po izpustu v Savo bi se večina suspendiranih snovi usedla na dno bazena HE Brežice. Ti bi se razporedili približno enakomerno po površini dna in koncentracija radioizotopov v sedimentih bo znašala do 2,3 MBq/m³. Predpostavljeno je zadrževanje kontaminiranih sedimentov na dnu bazena 10 let. V tem času ne bi bile dosežene vrednosti, ki bi zahtevale uvedbo posebnih varnostnih ukrepov pri ravnanju s sedimenti. Zaradi tesnjenja bazena HE Brežice radioaktivnost ne bi prešla v podzemno vodo in v črpališča pitne vode.

3.5.2 Reaktor TRIGA

Varnostno poročilo za raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici [6] zaključuje, da ni mogoča nesreča z radioaktivnim izpustom v okolico, ki bi imel posledice za prebivalstvo. Značilna lastnost reaktorja je, da pri nenadnem povečanju moči sam ugasne (verižna reakcija se prekine zaradi negativnega Dopplerjevega koeficienta goriva) in ne pride do poškodbe sredice. Najhujša predvidena nesreča na področju reaktorskega centra bi bila izguba vode iz reaktorskega tanka, kar bi povzročilo razkritje sredice in zelo veliko hitrost doze v reaktorski hali brez vpliva na področje zunaj ograje reaktorskega centra.

Sevanje gama iz nepokrite sredice:

- Hitrost doze direktnega sevanja po 1 s znaša 50 Sv/h, po 1 dnevu pa 6 Sv/h (na ploščadi reaktorja),
- Hitrost doze sipanega sevanja po 1 s znaša 1,2 mSv/h, po 1 dnevu pa 0,03 mSv/h (v reaktorski hali).

Nesreča z "največjim" vplivom na prebivalstvo bi bila poškodba srajčke gorivnega elementa pri premeščanju goriva, kar bi povzročilo dozo nekaj mikro Sv na oddaljenosti 100 m od reaktorja TRIGA.

Možno bi bilo tudi zlonamerno dejanje na lokaciji, kar je opredeljeno v Načrtu fizične zaščite Reaktorskega centra v Podgorici.

3.5.3 Skladišče CSRAO na Brinju

Končno varnostno poročilo za CSRAO predvideva, da bi lahko v primeru požara v skladišču prišlo do kontaminacije okolice z dolgoživimi radionuklidi, ki so skladiščeni v CSRAO. Do izrednega dogodka lahko pride tudi zaradi padca paketa, padca letala ali terorističnega dejanja kot na primer podtaknjen požar na lokaciji ali odtujitev radioaktivnih odpadkov z namenom povzročitve radioaktivne kontaminacije.

3.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Analizi [8] in [9] ob upoštevanjem verjetnosti posameznih začetnih dogodkov in nedavno vgrajenih filtrov glede stohastičnih učinkov ugotavljata, da je najbolj ogroženo območje nekaj kilometrov od elektrarne. V primeru izpusta skozi filtre to območje obsega manj kot 10 km. V primerih, ko bi izpust šel mimo filtrov, kar predstavlja zgolj 1,27 % skupne verjetnosti izpustov, bi bilo ogroženo večje območje.

Analizi nadalje ugotavljata, da radioaktivni izpusti med težko nesrečo zelo verjetno ne bi bili omejeni samo na določeno smer, tako da je potrebno načrtovati izvajanje zaščitnih ukrepov v vseh smereh okoli elektrarne naenkrat.

Tudi pri poškodbi sredice še ne bi bili potrebni takojšnji zaščitni ukrepi v okolici, če zadrževalni hram zdrži (ohrani svojo projektirano tesnost). Toda zaradi možnosti kasnejše odpovedi



zadrževalnega hrama ali obroda zadrževalnega hrama, je potrebno izvajati preventivne zaščitne ukrepe, npr. evakuacijo bližnjega območja ob razglasitvi splošne nevarnosti.

3.7 Možne posledice nesreče

Pri posledicah jedrske nesreče je poleg zdravstvenih posledic (glej poglavje [3.4](#)) potrebno upoštevati tudi gospodarske in psihosocialne posledice, ki izvirajo iz zaščitnih ukrepov (npr. zaradi zaklanjanja, evakuacije, zaužitja jodovih tablet, omejitev uporabe hrane itd.). Predmete, ki jih ni možno dekontaminirati, je potrebno vzeti iz uporabe in odložiti na predpisano mesto. Vpliv takšne nesreče bi bil pomemben za industrijsko proizvodnjo, trgovanje, turizem, pridelovanje hrane, šolstvo in šport.

3.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni predvideno, da bi jedrska nesreča neposredno sprožila druge nesreče. Morebiti bi lahko spontana evakuacija povzročila porast prometnih nesreč². Druge nesreče, ki bi lahko morebiti vodile do jedrske nesreče, so zunanji vzroki, ki bi lahko povzročili poškodbe sredice. Ta verjetnost je bila za NEK ocenjena v okviru verjetnostne varnostne analize za zunanje dogodke in znaša okoli $4 \cdot 10^{-6}$ na leto za vse zunanje dogodke (požar, poplava, močan veter itd.) razen za potres, ki sam prispeva okoli $1 \cdot 10^{-5}$ na leto k verjetnosti za poškodbo sredice [45].

3.9 Kombinacija jedrske in druge nesreče

V primeru kombinacije jedrske in druge nesreče lahko posledice druge nesreče onemogočijo ali otežijo ukrepanje ob jedrski nesreči. V okviru fukušimskih ukrepov je NEK izvedla več ukrepov in nakupila večji nabor mobilne opreme, potrebne za obratovanje nujnih varnostnih sistemov elektrarne. V analizi ob izvedbi stresnih testov po nesreči v Fukušimi [22] je bilo ugotovljeno, da lahko NEK v najslabšem možnem primeru neodvisno zagotavlja delovanje varnostnih sistemov najmanj tri dni, v kolikor pa ne bi odpovedali prav vsi trije redundantni dizel generatorji sistema za zasilno napajanje, pa najmanj sedem dni, ne glede na zunanjo podporo. Ocenjeno je, da bi NEK zunanjo podporo najbolj potreboval v primeru kombinacije s katastrofalnim potresom, ki bi huje poškodoval infrastrukturo tako na lokaciji kot v njeni okolici. V takšnem primeru, ki bi lahko imel za posledico popolno izgubo sistema zasilnega napajanja, bi bilo treba po treh dneh NEK dostaviti zlasti gorivo za mobilne dizel generatorje ter morebiti še kakšno dodatno mobilno opremo (generatorji, črpalke, kompresorji ipd.).

3.10 Možnost predvidevanja nesreče

Nastanka jedrske nesreče se ne da napovedati, predvidimo lahko le verjetnost. Obstajajo ocene o pričakovani verjetnosti nesreč ter ocene o najbolj verjetnih scenarijih razvoja nesreče. Vse nesreče se ne zaključijo z radioaktivnimi izpusti v okolje. Izpusti so različni po sestavi in količini. Lahko se določijo najbolj vplivni faktorji na verjetnost nesreče, radioaktivni izpusti (izotopska sestava) in morebitni vpliv na njih.

² V letu 2019 je bila izdelana obsežna študija evakuacijskih časov za primer nesreče v NEK.



3.11 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

3.11.1 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka v NEK

Za zagotavljanje pravočasnega in ustreznega ukrepanja zaščite in reševanja se izredne dogodke v NEK razvršča v naslednje stopnje nevarnosti:

- **Stopnja 0 - nenormalni dogodek** (*unusual event*) se razglasi ob nastanku dogodkov, ki bi lahko ob nepravilnem ukrepanju ali razvoju stanja, ki ga osebe v izmeni jedrske elektrarne ne bi imelo več pod nadzorom, vplivali na varnost elektrarne in bi vodili v višjo stopnjo nevarnosti.
- **Stopnja 1 - začetna nevarnost** (*alert*) se razglasi pri nastanku ali razvoju dogodkov, ki imajo ali bi lahko imeli za posledico zmanjšanje varnosti v jedrski elektrarni. Možen je manjši izpust radioaktivnih snovi, ni pa pričakovati večjega tveganja za okolje.
- **Stopnja 2 - objektna nevarnost** (*site emergency*) se razglasi pri nastanku ali razvoju dogodkov, ki imajo ali bi lahko imeli za posledico večjo odpoved varnostnih funkcij elektrarne in posledično ogroženost osebja jedrske elektrarne in okoliškega prebivalstva. Obstaja možnost ali pa je že prišlo do izpusta radioaktivnih snovi v takem obsegu, ki zahteva zaščitne ukrepe v jedrski elektrarni, vključno z evakuacijo območja jedrske elektrarne in območja, ki je pod neposrednim nadzorom jedrske elektrarne.
- **Stopnja 3 - splošna nevarnost** (*general emergency*) se razglasi, ko grozi oziroma je prišlo do poškodbe ali taljenja sredice z možnostjo poškodovanja zadrževalnega hrama. Obstaja možnost ali pa je prišlo do izpusta radioaktivnih snovi v okolje v tolikšnem obsegu, ki zahteva zaščitne ukrepe na območju izven jedrske elektrarne.

Izredni dogodek v NEK se lahko začne s stopnjo 0. Dogodek lahko ostane na tej stopnji, obstaja pa tudi možnost, da se kasneje postopoma povečuje. Temu primerno bi bile razglašene stopnje nevarnosti vse do stopnje 3. Vendar to ni nujno. Izredni dogodek se lahko začne takoj s katerokoli stopnjo, tudi s stopnjo 3, kar je sicer zelo malo verjetno.

3.11.2 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka pri drugih sevalnih ali jedrskih objektih

Upravljalci drugih sevalnih ali jedrskih objektov³, ki skladno s predpisi s področja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami niso zavezani k izdelavi načrta, izdelajo navodilo za ukrepanje ob izrednem dogodku [40]. Za zagotavljanje pravočasnega in ustreznega ukrepanja ob izrednem dogodku, le-te razvrstijo v ustrezne stopnje nevarnosti (začetna in objektna nevarnost). Začetna nevarnost se razglasi pri nastanku takšnega dogodka, ki bi lahko imel za posledico zmanjšanje varnosti v objektu, objektna nevarnost pa pomeni zmanjšanje varnosti v objektu, zato je v njem že potrebna zaščita osebja [2].

3.11.3 Območja načrtovanja za jedrsko nesrečo v NEK in zaščitni ukrepi

Za zagotavljanje pravočasnega izvajanja zaščitnih ukrepov se vnaprej določi območja izvajanja zaščitnih ukrepov:

- **Območje preventivnih ukrepov (OPU)** - območje s polmerom 3 km okrog NEK po mejah naselij;
- **Območje takojšnjih ukrepov (OTU)** - območje s polmerom 10 km okrog NEK po mejah naselij;

³ Npr. TRIGA in CSRAO.



- **Razširjeno območje ukrepanja (ROU)** - območje s polmerom 25 km okrog NEK po mejah naselij; območje je zaradi lažjega izvajanja ukrepov razdeljeno na 16 sektorjev po 22,5°;
- **Območje splošne pripravljenosti (OSP)** - območje celotne Slovenije.

Zaščitni ukrepi ob jedrski nesreči v NEK se izvajajo ob upoštevanju akcijskih ravni in operativnih intervencijskih ravni (v nadaljevanju OIR) [32].

Ob razglasitvi splošne nevarnosti (stopnja 3) se takoj prične izvajati preventivna evakuacija in jodna profilaksa območja OPU. V OTU se najprej odredi zaklanjanje in jodna profilaksa. Ko je območje OPU evakuirano, se evakuira tudi celotni OTU, na podlagi strokovne ocene, če je evakuacija možna in varna. Evakuacijo v OPU in OTU se izvaja v dveh korakih zaradi bolj učinkovite evakuacije OPU. V območju ROU se preventivno odredi zaklanjanje in jodna profilaksa po sektorjih glede na izračune in meritve na terenu ter presojo razvoja dogodka.

Če pri objektni nevarnosti (stopnja 2) obstaja verjetnost sproščanja radioaktivnosti v okolico, se izvedejo zaščitni ukrepi v območjih OPU in OTU ter v tistih delih območja ROU, v katere se pričakuje širjenje morebitnega radioaktivnega oblaka.

Evakuacijo OPU in OTU se ustrezno načrtuje s sprejemališči čim dlje zunaj mej območij ROU. Tudi v ROU se lahko izvaja zaščitni ukrep evakuacije, zato se v ROU opredeli strategijo evakuacije.

Evakuacija je primarni zaščitni ukrep in zaklanjanje sekundarni, če evakuacije ni možno varno izvesti. Zaužitje stabilnega joda (jodna profilaksa, za zaščito prebivalcev mlajših od 40 let) je vzporedni ukrep ob evakuaciji in ob zaklanjanju, ki se ga nikoli ne izvaja samostojno.

Odločanje o zaščitnih ukrepih v območjih OPU in OTU temelji na stanju objekta tako, da se upošteva akcijske ravni oziroma razglašeno stopnjo nevarnosti. V območju ROU se zaščitne ukrepe določa na podlagi izračunov in/ali izvedenih meritev ob upoštevanju OIR. Za usmerjanje terenskih meritev se tudi lahko uporabi izračune, tako da se mobilne enote najprej napoti na območja, kjer je večja verjetnost za potrebno ukrepanje.

V območju OSP se izvedejo ustrezne priprave za izvedbo zaščitnih ukrepov (rezerve tablet kalijevega jodida, strategije evakuacije in zaklanjanja prebivalstva, navodila za uživanje hrane itd.). Po razglasitvi splošne nevarnosti se izvaja radiološka zaščita, pozneje se zaščitni ukrepi izvajajo na podlagi meritev. Na tem območju po evakuaciji potekata tudi sprejem in oskrba evakuiranega prebivalstva z OPU in OTU.

4. UPORABA RADIOAKTIVNIH SNOVI

4.1 Viri nevarnosti

Radioaktivne snovi se uporabljajo v stacionarnih objektih (npr. raziskovalni inštituti in bolnišnice, v industriji za merjenje debeline pločevine, nivojev v posodah), lahko pa so radioaktivni viri premični (npr. radiografski viri, sonde za merjenje vlažnosti in gostote cestišča, kalibracijski viri itd.). V Prilogi 2 so navedeni statistični podatki o nevarnih radioaktivnih virih sevanja v Sloveniji – tj. virih sevanja, ki predstavljajo s stališča sevalne varnosti in varovanja najvišje potencialno tveganje.

4.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Vzrok za nastanek nesreče z radioaktivnimi snovmi je predvsem človeška napaka, ker so radioaktivne snovi pasivne naprave. Vzroke lahko razdelimo na:



- **nepravilno uporabo**, vključno z vzdrževanjem, hrambo ali izgubo radioaktivne snovi zaradi malomarnosti, nevednosti, neznanja ali neupoštevanja predpisov varstva pred sevanji,
- **konstrukcijsko napako** pri vgradnji vira sevanja (npr. slaba izdelava ščita, neustrezno izdelano orodje za rokovanje z virom),
- **namerno povzročitev** nesreče zaradi osebnih motivov ali organiziranega subverzivnega delovanja in
- **kibernetski napad** s strani posameznikov (hekerjev), organiziranih skupin, terorističnih organizacij ali držav z namenom sabotaže ali kraje radioaktivnih snovi. Njihovi motivi se razlikujejo, vse od osebnih, finančnih, političnih, prepoznavnosti, vohunjenja idr.

4.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Dosedanji primeri izrednih dogodkov pri uporabi radioaktivnih virov:

- 1961: dogodek z razsuto vsebino igle z 10 mg ²²⁶Ra, ki je povzročila kontaminacijo prostorov na Onkološkem inštitutu,
- 1998: poškodovanje merilne sonde podjetja Igmat d. d. za merjenje vlažnosti in debeline cestišča,
- 2004 oziroma 2011: odkritje kontaminacije kot posledice nestrokovnega ravnanja z ionizacijskimi javljalniki požara v podjetjih Iskra Prins d. d. in Zarja Elektronika d. o. o.,
- 2013: obsevanost dveh delavcev Q Techna d. o. o pri izvajanju industrijske radiografije,
- 2021: izvlek ročice iz Troxler sonde, v kateri so bili viri sevanja na ZAG,
- idr.

Glede na izkušnje v Sloveniji in tujini predpostavljamo, da lahko ob sedanjem številu virov sevanja v Sloveniji pričakujemo dogodek ali nesrečo z nenamerno kontaminacijo v 10 do 60 letih (glej pojasnilo v spodnji tabeli). Poudariti velja, da so učinkovite doze med takimi dogodki zelo različne, odvisne od vsakega posamičnega primera.

Pojasnilo:

Pogostost	Opis/razlaga
enkrat v 60 letih	Ocenjeno, nesreča z lokalnimi posledicami z radioaktivno snovjo, stopnje 4 po lestvici INES (se še ni zgodila)
enkrat v 30 letih	Ocenjeno, resna nezgoda z radioaktivno snovjo, stopnje 3 po lestvici INES (v Sloveniji se še ni zgodila)
enkrat v 10 letih	Ocenjeno, nezgoda z radioaktivno snovjo, stopnje 2 po lestvici INES (primer Q Techna -TEŠ)

Le manjše število virov sevanja v Sloveniji ima takšno aktivnost, da bi lahko z njimi povzročili radiološko nesrečo takšnega obsega, da bi bilo zaradi prejetih doz ogroženo življenje večjega števila ljudi. Po drugi strani pa lahko skoraj vsak vir sevanja povzroči kontaminacijo okolja in s tem povezano ekonomsko škodo. V Sloveniji ni bila do sedaj ugotovljena nobena namerno povzročena nesreča z virom sevanja. V preteklih letih se je pripetilo nekaj nezgod, ki pa niso imele pomembnejšega vpliva na zdravje ljudi.



4.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Za razliko od jedrskega objekta gre pri uporabi radioaktivnih snovi v glavnem za naslednji vrsti ogroženosti:

- nenamerno zunanje obsevanje osebja, ki dela z radioaktivnimi snovmi ali drugih oseb, ki pridejo v njihovo bližino in
- kontaminacijo delovnega okolja z radionuklidi, kot npr. dolgoživim ^{241}Am ali s srednje dolgoživima ^{137}Cs , ^{60}Co ter kratkoživim ^{131}I in podobno.

Pri delu z odprtimi radionuklidi gre praviloma za raztros ali razlitje virov nižje aktivnosti, ki prizadenejo predvsem delovno osebje in okolje, splošno prebivalstvo pa praviloma ni ogroženo. Običajno gre za kratkožive izotope, tako da ogroženost ni niti trajnega niti akutnega značaja.

4.5 Potek in možni obseg nesreče

Nesreča se zgodi zaradi nevednosti ali površnosti. Ljudje so v takih primerih obsevani zaradi najdbe neoznačenega in nezaščitenega vira sevanja ali pa zaradi njegove izgube, pri čemer pa ne vedo, da so v njegovem območju sevanja. Pri delu z viri sevanja pa lahko pride do izpada kapsule z radioaktivno snovjo iz naprave ali do okvare mehanizma, ki opravlja zaščitno funkcijo - vrne vir v zaščitni vsebnik, ali zapre pot med uporabnikom in virom z zaščitnim zaslonom ali steno.

Pri delu z odprtimi viri lahko pride do kontaminacije delovnih pripomočkov ali prostora. Če pripomočkov ali prostora ne dekontaminiramo oziroma ne omejimo dostopa do njih, se lahko kontaminacija raznese po objektu ali širši okolici. Obseg nesreče je praviloma lokalne razsežnosti, saj zaradi kontroliranega delovnega okolja ni pričakovati kontaminacije ali povišane hitrosti doze na širšem območju. Izjema so primeri, ko pride do taljenja visoko radioaktivnega in disperznega vira sevanja v železarni, pri čemer lahko pride do kontaminacije zaradi zračnega transporta tudi na večje razdalje.

4.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

V običajnih primerih nesreč, ko gre za delovno nesrečo pri uporabi vira sevanja, bi bilo ogroženih le nekaj ljudi, ki so v neposrednem stiku z radioaktivnimi snovmi oziroma s kontaminacijo. Smrtnih žrtev zaradi prekomernega obsevanja ali pomembnejših vplivov na zdravje ljudi skoraj ni pričakovati. Zaradi radioaktivne kontaminacije bi lahko bili določeni predmeti izločeni oziroma trajno neuporabni. Zaradi psiholoških razlogov bi lahko zamrle nekatere ekonomske in družbene dejavnosti, kar bi lahko povzročilo začasen padec cen nepremičnin.

4.7 Možne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje [3.4](#).

4.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

4.9 Možnost predvidevanja nesreče

Nesreče pri uporabi virov ni možno neposredno predvideti. Kljub temu lahko inšpekcijski nadzor ugotovi pomanjkljivo vzdrževanje, izobraževanje, pogoste napake, neupoštevanje



predpisov, pomanjkljive postopke, slabo varnostno kulturo ipd., kar so že lahko možni vzroki nesreče in jih je zato potrebno popraviti.

4.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Prvi ukrep v primeru radiološke nesreče je zavarovanje območja zato, da se omeji sevanje in kontaminacija. Z zavarovanjem območja se onemogoči dostop ljudem in živalim ter s tem prepreči nezgodno obsevanost in širjenje morebitne kontaminacije. Fizično je potrebno zavarovati ustrezno veliko območje okrog vira sevanja oziroma lokacije nesreče. Velikost območja je odvisna od doznega polja (hitrosti doze), zato je potrebno čim prej opraviti meritve, na začetku pa se glede na vrsto dogodka določi konservativno večje območje.

5. ZLONAMERNO DEJANJE Z UPORABO JEDRSKIH ALI RADIOAKTIVNIH SNOVI

5.1 Viri nevarnosti

Kot terorizem je opredeljena uporaba ali grožnja uporabe jedrskih ali radioaktivnih snovi. Ena od povzročitev splošne nevarnosti je tudi povzročanje nevarnosti za življenje ljudi ali premoženje velike vrednosti z ionizirajočim sevanjem.

Dokument MAAE [16] nakaže več možnosti tovrstnih radioloških dogodkov, med drugim:

- sum na ali dejanska umazana bomba (eksploziv in radioaktivna snov),
- verjetne grožnje ali sporočila s tovrstno grožnjo,
- naprave, ki nakazujejo na to, da so namenjene razpršitvi kontaminacije,
- znaki možne namenske kontaminacije (npr. razlitje),
- visoke hitrosti doze gama sevanja ali prisotnost nevtronskega sevanja,
- nevarni viri sevanja, ki so ukradeni ali vključeni v teroristično dejanje ali eksplozijo.

5.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Gre za storitev kaznivega dejanja z naklepom ali iz malomarnosti, ki so lahko izvedena tako s fizičnimi sredstvi in fizično prisotnostjo, kot tudi s kibernetiskim napadom od kjerkoli na svetu.

Posamezniki ali skupine, ki bi storile taka dejanja, bi lahko imele različne motive, npr. ideološke, politične, psihološke, osebne («ego») ali ekonomske. Lahko bi bili tudi prisiljeni z izsiljevanjem, da storijo kaznivo dejanje ali pripomorejo k njegovi izvedbi.

Pri notranjih grožnjah (med te uvrščamo zaposlene, pogodbenike ali zunanje izvajalce) gre pogosto za maščevanje nezadovoljnih posameznikov, nenaklonjenost organizaciji, ki je vpeta v določeno okolje ali vpliv poslabšanja gospodarske situacije.

5.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Glede na dogodke po svetu, ki so znani, oziroma so strokovno odmevali v zadnjih desetletjih in vsebujejo zlonamerno komponento, velja omeniti naslednje primere:

- 1972: oče namensko obseval sina v Teksasu s ^{137}Cs ,
- 1995: najdba kontejnerja s ^{137}Cs , ki naj bi ga v moskovski park zakopali Čečeni [33],
- 1998: študent kitajskega rodu, ki je v ZDA poskušal z ukradenim ^{125}I zastrupiti dve osebi,



- 2005: načrti britanskega državljana, da iz ionizacijskih javljalnikov požara z ^{241}Am izdelava umazano bombo [34],
- 2006: Zastrupitev Aleksandra Litvinenka z radioaktivnim polonijem [42],
- 2013: kraja ^{60}Co (kategorije 1) v Mehiki med prevozom v skladišče [35] in
- 2016: pošiljanje pisem s sledovi ^{241}Am na različne naslove na Slovaškem [36].

Gre za referenčne primere z različnimi radionuklidi, ob konzervativni predpostavki (zanesljivost je srednja) se lahko zaradi globalnih političnih razmer poda ocena, da bi do takega dogodka lahko prišlo enkrat v 25 letih (ali redkeje), pri čemer so vključeni tudi dogodki - zlonamerna dejanja, ki ne bi imela resnejših radioloških posledic.

V tej točki ni posebej omenjeno teroristično dejanje z uporabo ukradenega jedrskega orožja ali improvizirane atomske bombe, ker ocenjujemo tovrstne dogodke na ozemlju Slovenije za skrajno malo verjetne - več velikostnih razredov nižje tveganje kot tveganje za dogodek, ki bi vključeval umazano bombo.

5.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Gre za ogroženost posameznikov ali določenega števila ljudi zaradi zlonamerne izpostavljenosti sevanju, bodisi zaradi radioaktivnega vira, kontaminacije okolja, hrane, pitne vode ali razpršitve radioaktivnih snovi z umazano bombo⁴.

5.5 Potek in možni obseg nesreče

Do nesreče lahko pride zaradi kraje, sabotaže ali izsiljevanja - tu so možni različni poteki, od nenamernega obsevanja zaradi nepoznavanja, da gre za radioaktivno snov, do namernega obsevanja ali zaužitja radioaktivne snovi, ki lahko pripelje do znatnih zdravstvenih posledic oziroma kontaminacije okolja.

Če povzamemo skrajni scenarij umazane bombe [37, Figure 1.1], bi bili koraki oziroma potek dejanja lahko naslednji: ustanovitev skupine s trdnim ciljem, sprejeta odločitev o nasilju z uporabo jedrskih oziroma radioaktivnih snovi, kraja jedrskih oziroma radioaktivnih snovi, pridobitev teh snovi - pretihotapljene na varno lokacijo, izdelava bombe, tihotapljenje na ciljno lokacijo v državi in do »tarče« ter končna detonacija.

Za prve reševalce je pomembno, da je treba pri terorističnih oziroma zlonamernih dejanjih privzeti možnost, da so storilci lahko med opazovalci v javnosti.

Razstrelitev radioaktivne umazane bombe s ^{137}Cs oziroma s ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{226}Ra ali drugimi radionuklidi ali razpršitev takih snovi na drugačen način kot teroristično dejanje bi lahko imela zdravstvene posledice za ljudi. Podobno bi lahko nastale posledice zaradi namernega zlonamernega dejanja, kot je bil primer zastrupitve s ^{210}Po pred leti v Londonu [42]. Vplivno območje dogodka je odvisno predvsem od aktivnosti in razpršljivosti uporabljenega vira sevanja. Učinki takšnega dejanja bi imeli velik psihološki vpliv in ekonomske posledice ter bi vzbudili tudi večjo pozornost mednarodne javnosti. Najbolj problematična bi bila dekontaminacija v gosto naseljenih urbanih centrih, npr. glavni trg z bogato kulturno dediščino v večjem mestu z 20.000 prebivalci in več, kontaminacija vodovodnih sistemov ipd.

⁴ Policija je s pomočjo URSJV izdelala »Oceno ogroženosti« prevozov radioaktivnih snovi v cestnem prometu za leto 2017 (št. 843-62/2016/21 (2112-06) z dne 18. 3. 2017). Dokument (ki ni označen kot zaupen) je bil posredovan vsem slovenskim subjektom, ki prevažajo vire sevanja kategorij 1 in 2. Opredeljena so tri ogrožanja, in sicer tatvina snovi, izguba snovi in poškodovanje tovorka (nesreča/sabotaža). Stopnja ogroženosti zaradi izvršitve naklepnega kaznivega dejanja je ocenjena kot »nizka«.



5.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Največjo grožnjo, ki je sicer najmanj verjetna, bi predstavljala umazana bomba ali druga razpršitev razpršljivih radioaktivnih snovi z visoko radioaktivnostjo oziroma visoko radiotoksičnostjo. V primeru namernega obsevanja in/ali kontaminacije zaradi teroristične akcije bi lahko bila prizadeta večja območja in večje število prebivalstva. Takih dogodkov do sedaj po svetu ni bilo. Eden od ukrepov za okoliške prebivalce (npr. v razdalji 1 km) bi bil, da se do preklica ne jé in ne pije ničesar, kar bi bilo lahko kontaminirano, npr. zunaj rastoča zelenjava ali deževnica. Omeniti velja še izogibanje igranja otrok v območju razpršitve in izogibanju prašnih površin ali dejavnosti, ki bi povzročale prašenje, s čimer se prepreči nenamerni vnos radioaktivnih snovi v telo.

5.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje [3.4](#).

Teroristično dejanje z jedrskimi ali radioaktivnimi snovmi bi imelo močan političen vpliv tako v domovini kot v tujini. Znatno bi bil lahko tudi gospodarski vpliv nesreče. Odvisen bi bil predvsem od siceršnjega pomena tega območja (urbano, ruralno, kritična infrastruktura, narodni parki ali zaščitena območja, prireditve z večjim številom udeležencev in gledalcev, kulturna dediščina itd.). Posledice umazane bombe bi lahko vplivale na več sto ljudi (stohastični učinki ionizirajočega sevanja, evakuacija, dekontaminacija in ravnanje z nastalimi radioaktivnimi odpadki ter psihološko-socialni vidiki).

Pri drugih zlonamernih dejanjih bi bile lahko posledice zelo različne ali bi za njih izvedeli celo po daljšem časovnem obdobju. V tem sklopu velja omeniti namensko obsevanje z radioaktivno snovjo ali predmetom, ki vsebuje radioaktivno snov (angleško *radiation exposure device* - RED), ki bi lahko povzročila deterministične ali stohastične učinke. Na srečo bi bil njen gospodarski vpliv časovno omejen, prav tako psiho-sociološki vplivi na prebivalce. Zanimanje medijev bi bilo veliko, a vseeno manjše kot pri terorističnem dejanju.

Omeniti velja še razpršitev oziroma dajanje radioaktivnih snovi v hrano, pijačo oziroma kontaminacijo pitnih virov. Tudi v teh primerih, ki so si po učinkih lahko precej različni, bi lahko šlo za deterministične ali stohastične učinke. Iz tujega primera namenske zastrupitve s ^{210}Po , ki se je zgodil pred leti, izhaja, da je detekcija lahko izredno zahtevna, primer pa ima lahko mednarodni odmev, obsežno preiskavo številnih sledi in lokacij, kjer so se nahajale razpršljive radioaktivne snovi pred svojim končnim ciljem.

Zlonamerna in predvsem teroristična dejanja bi bila najverjetneje povezana z globalnimi političnimi izzivi, njihove posledice pa bi lahko povzročile okrnjeno delovanje državnih organov in ovirale normalno življenje večjega dela prebivalstva.

5.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni za pričakovati, da bi zlonamerno dejanje sprožilo druge nesreče. Pri umazani bombi bi, če bi eksplodirala tam, kjer bi se nahajali ljudje, bile posledice detonacije eksplozije tiste, ki bi povzročale takojšnji učinek. Verjetnost, da bi hkrati odjeknilo več eksplozij umazanih bomb ali da bi šlo hkrati za več ločenih obsevanj ali da bi se npr. hkrati uporabilo še druge nevarne snovi (kemikalije, biološki agensi), je majhna.

5.9 Možnost predvidevanja nesreče

Predvidevanje zlonamernega dejanja z uporabo jedrskih ali radioaktivnih snovi ni možno. Vendar je ravno stopenjski pristop, ki velja za uporabo, vključno s prevozom, tisti, ki zagotavlja strožja pravila uporabe, vključno s fizičnim varovanjem oziroma ukrepi varovanja, za tiste snovi, ki predstavljajo višje tveganje v smislu kraje, sabotaže ter drugih ravnanj (npr.



namenskega obsevanja). Spremlja se tuje dogodke, ki se jih ustrezno ovrednoti v smislu ocene ogroženosti in na druge načine. V zadnjem obdobju se daje večji poudarek tudi na notranje grožnje (»insajderstvo«).

5.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Glej tudi poglavje [4.10](#).

V primeru umazane bombe bi morali biti zaradi varovanja zdravja ljudi zaščitni ukrepi hitri in hkrati dobro premišljeni. Dekontaminacija v urbanem okolju bi bila zahtevna in draga.

V smislu namenske izpostavljenosti v urbanem okolju in v cestnem prometu imajo določene službe (npr. carina/FURS, policija) detekcijsko opremo, vključno s tisto, ki se uporablja v vozilih ali se jo nosi na sebi. Oprema bi bila pomembna zlasti v primerih, ko bi obstajala grožnja in bi bilo treba poiskati, kje bi se lahko nahajale jedrske ali radioaktivne snovi. Pri tem bi bili pomembni tudi obveščevalni podatki.

Podatki o jedrskih snoveh in visoko radioaktivnih virih sevanja niso javni. Ustrezno varovanje teh podatkov in informacij je eden od pomembnih preventivnih ukrepov.

Eden od možnih ukrepov je tudi evakuacija. Preselitev bi prišla v poštev le v skrajno malo verjetnem dogodku. V primeru kontaminacije hrane, vode ali prevoznih sredstev (npr. avtobusov) je ključna dejavnost skrb za omejitev možnosti izpostavljenosti prebivalstva. Gospodarski vpliv nesreče bi nastal zaradi omejene uporabnosti območja zaradi zlonamernega ali terorističnega dejanja.

6. NENADZOROVANI VIRI SEVANJA

6.1 Viri nevarnosti

So predvsem viri sevanja nad katerimi je bil izgubljen nadzor (t.i. »*orphan sources*« oziroma izgubljeni viri; tudi viri sevanja neznanega izvora). To so lahko viri, na katere se lahko »pozabi« zaradi pomanjkljivega nadzora upravljavca oziroma zaradi pomanjkljivega upravnega in inšpekcijskega nadzora ali pa sploh nikoli niso bili pod nadzorom. Takšni viri sevanja se pogosto pomešajo med sekundarne kovinske surovine, pogosto pa izhajajo iz dejavnosti, ki so bile v preteklih desetletjih pomanjkljivo regulirane glede na sedanje stanje.

Ker je odkritje nenadzorovanega vira sevanja povezano z merjenjem sevanja, jih je možno odkriti tam, kjer se to sistematično meri. To so lokacije odpadov, kjer se zbira, obdeluje in predeluje razne odpadke, tudi odpadne kovine, predvsem železo oziroma jeklo pa tudi druge kovine. Tovrstne lokacije so tudi lokacije, kjer so portalni ali drugi stacionarni merilniki sevanja oziroma se uporablja prenosna detekcijska oprema (npr. pošte, mednarodni mejni prehodi). Slovenska policija in carina (FURS) imata na voljo tudi detekcijsko opremo v vozilih, ki bi lahko zaznala povišane vrednosti sevanja. Nenadzorovane vire je možno odkriti tudi na vstopu v livarne, kjer se ravno tako izvaja nadzor nad vsebnostjo radioaktivnih snovi v vhodnem materialu. V Sloveniji se občasno, a redkeje kot v preteklosti, v okviru raziskovalnih ustanov, industrije in drugih subjektov odkrije manjše količine uranovih ali torijevih spojin, ki predhodno niso bile pod upravnim nadzorom.

6.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Vzroki za tovrstne nesreče so praviloma malomarnost upravljavca (lastnika) in pomanjkljiv upravni nadzor. Ker se izgubljeni vir lahko nahaja kjerkoli, predstavlja do ponovnega »odkritja«



potencialno nevarnost. Ne da bi se zavedali nevarnosti lahko ljudje takšen vir vtaknejo v žep ali pa ga prinesejo v bivalne prostore, nestrokovno razstavljajo naprave z radioaktivnimi snovmi oziroma poškodujejo embalažo ter se obsevajo. Pri virih, ki se nahajajo v odpadnih kovinah, je dokaj velika možnost, da končajo v talilnici železarne ali jeklarne oziroma druge livarne. Določene radioaktivne vire je dostikrat težko odkriti v pošiljkah (^{241}Am), pri čemer le-ti prihajajo iz drugih držav ali celo iz drugih celin.

Eden od vzrokov, sicer zelo malo verjeten, saj še ni bilo tovrstnega primera, je lahko tudi kibernetški napad na sisteme za zaznavo ionizirajočega sevanja. Le-te predstavljajo digitalni sistemi, kar pa bi lahko zlonamernim napadalcem omogočilo spreminjanje nastavitev, alarmnih vrednosti ali drugih podatkov, ki operaterjem sistema omogočajo pravočasno zaznavo povišanega ionizirajočega sevanja.

6.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost za tak dogodek – nastanek nesreče z nenadzorovanim visokoaktivnim virom sevanja – je v Sloveniji ocenjena na enkrat na 20 do 25 let.

Doslej se največje nesreče, ki so terjale življenje ali pustile hujše zdravstvene posledice posameznikom, dogajajo v svetovnem merilu približno enkrat na 5 do 10 let. Podobnega reda velikosti bi bila tudi svetovna verjetnost stalitve visoko radioaktivnega vira (ali drugega vira sevanja, ki bi kontaminiral okolje) pri predelavi kovin. Te nesreče doslej niso terjale življenj ali povzročile trajnih posledic za zdravje ljudi. Povzročile so le občutno ekonomsko škodo.

Nekateri pretekli izredni dogodki z nenadzorovanimi viri:

- 1987: poškodovan zapuščen visoko radioaktivni vir ^{137}Cs v brazilski Goiânii,
- 1998: stalitev visoko radioaktivnega ^{137}Cs v španski železarni v Algecirasu,
- 2000: najdba visoko radioaktivnega ^{192}Ir v Egiptu,
- 2001: najdba RTG naprav s ^{90}Sr v Gruziji,
- 2010: ^{60}Co v odpadnih kovinah v Indiji ter drugi podobni dogodki,
- 2019: najdbe ^{60}Co v Nemčiji in na Nizozemskem (pošiljke iz Afrike).

Glede na pretekle izkušnje v tujini lahko predstavljajo izgubljeni viri sevanja veliko nevarnost, še posebej tisti, ki so nezaščiteni in imajo veliko aktivnost ter povzročajo visoke hitrosti doze, ali pa tisti, ki so nehote staljeni pri predelavi odpadnih kovin in gredo v plinaste izpuste (^{137}Cs). Vzpostavljeni nadzor nad viri sevanja (načelo »od zibelke do groba«) in nad uvozom oziroma vnosom virov sevanja v državo, vključno z nadzorom nad odpadnimi kovinami, bistveno zmanjšujeta verjetnost takšnih dogodkov in posledic v Sloveniji. Poseben primer so kovinski polizdelki in izdelki kontaminirani s ^{60}Co , ki so bili odkriti v številnih državah po svetu.

V Sloveniji smo beležili pri predelavi kovin stalitev vira sevanja manjše aktivnosti približno enkrat na 10 let. Dosedanji primeri izrednih dogodkov pri uporabi radioaktivnih virov:

- 1983: stalitev ^{137}Cs v železarni Štore,
- 2001: stalitev ^{60}Co v železarni Acroni d. d. na Jesenicah,
- 2005: izguba dveh strelovodov s ^{60}Co v Gorišnici.

Tu niso posebej omenjene številne najdbe prej neevidentiranih virov sevanja - radioaktivnih snovi, pri čemer ni prišlo do kontaminacije ali obsevanj (npr. različnih spojin urana in torija, ^3H in ^{226}Ra v Slovenski vojski ipd.).

Predvsem od leta 2002 naprej je bilo zaradi izboljšane nadzora odkritih več virov sevanja med odpadnimi kovinami, predvsem tistimi, ki izvirajo iz področja nekdanje Jugoslavije. Večinoma gre za vire sevanja manjših aktivnosti (številčnice instrumentov, merilniki nivojev,



javljalniki požara, strelovodi in podobno), zato ne predstavljajo nevarnosti večjih razsežnosti. Viri sevanja so praviloma odkriti pravočasno, zato zaradi njih ne prihaja do nesreč. Če izvirajo iz tujine, se vrnejo znanemu pošiljatelju ali pa se na stroške imetnika uskladišijo v CSRAO.

6.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Vrsta, oblika in stopnje ogroženosti je podobna kot je opisana v poglavju 4.4, medtem ko gre pri taljenju vira v peči železarne ali jeklarne za radioaktivno kontaminacijo produkta (običajno ^{60}Co) ali za izpust hlapljivih radioaktivnih snovi v ozračje (običajno ^{137}Cs). Možna je tudi kontaminacija žlindre. Dodati je treba, da je izpust v ozračje praviloma zelo razredčen, tako da znatnih doz, ki bi terjale evakuacijo prebivalstva, ni pričakovati.

6.5 Potek in možni obseg nesreče

Potek in možni obseg nesreče je enak kot v poglavju 4.5.

6.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

V običajnih primerih nesreč gre za ogroženost nekaj ljudi, ki pridejo v neposredni stik z radioaktivnim virom. Zaradi radioaktivne kontaminacije bi lahko bili določeni predmeti izločeni oziroma trajno neuporabni.

6.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje 3.4.

6.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

6.9 Možnost predvidevanja nesreče

Predvidevanje nesreče ni možno, vendar se da iz dosedanjih izkušenj doma in v tujini predvideti verjetnost in posledice takšne nesreče.

6.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Glej poglavje 4.10.

7. PREVOZ RADIOAKTIVNIH IN JEDRSKIH SNOVI

7.1 Viri nevarnosti

Pri prevozu radioaktivnih in jedrskih snovi se lahko zgodi prometna nesreča; verjetnost za radiološko nesrečo (ko bi prišlo do znatnih povišanj ravni sevanja, puščanja in kontaminacije vozila, okolice) je manj verjetna. Podatki o virih sevanja so razvidni npr. iz nalepk nevarnosti, iz prevozne listine oziroma v primerih, ko je potrebno dovoljenje, tudi iz dovoljenja za prevoz (prevažanje) radioaktivne snovi.



MAAE INES lestvica navaja npr. nepravilno pakiranje visoko radioaktivnega vira kot nezgodo stopnje 2, v primeru kraje visoko radioaktivnega vira ali njegove napačne dobave brez ustreznih postopkov za rokovanje z njim pa celo stopnjo 3 (resna nezgoda).

7.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Pri prevozu radioaktivnih snovi so lahko vzroki predvsem prometna nesreča, kraja vozila in/ali radioaktivnih snovi (možno je npr. tudi kasnejše obsevanje ob nestrokovnem razstavljanju naprave z radioaktivnim virom) in padec tovorka z radioaktivnimi snovmi iz vozila. Možen vzrok je lahko tudi nesreča med pretovarjanjem radioaktivnih snovi, npr. nakladanje oziroma razkladanje ali padec težkega predmeta pri čakanju na prevoz. Kot kažejo primeri iz tujine, je lahko eden od vzrokov nesreče (povišanih doz, bodisi posadke vozila, bodisi ostalih) tudi odpoved tehničnih elementov v tovorku oziroma embalaži, npr. zaradi napak pri zasnovi.

Prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi je lahko vezan na občutljive podatke in informacije, ki so shranjene in uporabljene na raznih digitalnih sistemih. Le-ti pa so dovzetni na kibernetске napade. V primeru izgube zaupnosti, celovitosti in razpoložljivosti teh podatkov in informacij, bi lahko bil ogrožen prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi in vse v povezavi z njim.

7.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Točnih evidenc o številu opravljenih prevozov radioaktivnih snovi in številu prevoženih kilometrov v Sloveniji ni (cesta, železnica, po morju, v zračnem prometu). Na podlagi delnih domačih statistik sklepamo, da je v Sloveniji v prevozu le nekaj tovorkov z radioaktivnimi snovmi letno. Na podlagi izkušenj in podatkov iz tujine ocenjujemo, da gre za verjetnost enega dogodka v obdobju več kot 25 let. Pri tem je mišljena nesreča pri prevozu radioaktivnih snovi, ki bi bila ovrednotena s stopnjo najmanj 3 po lestvici INES.

V Sloveniji v zadnjih desetletjih ni bilo uradno evidentiranih nesreč pri prevozu radioaktivnih snovi. Verjetnost, da pri prevozu radioaktivnih snovi po cesti pride do nesreče, obstaja, vendar je zelo majhna.

Iz podatkov iz tujine in objav drugih jedrskih upravnih organov ugotavljamo, da gre pri večini »dogodkov« med prevozom za različna neskladja in le v približno petini primerov za dogodke, povezane s kontaminacijo (tovorka ali vozila) ali krajo ter izgubo. Po svetu je bilo v zadnjih dveh desetletjih nekaj primerov nesreč vozil, ki so prevažala visoko aktivne vire sevanja, tudi s smrtnimi izidi, a ne zaradi sevanja.

Pri prevozu izrabljenega jedrskega goriva je verjetnost, da bi prišlo do raztrosa jedrskih in radioaktivnih snovi, zelo majhna, saj so vsebniki projektirani zelo robustno in testirani kot tovorki vrste B.

Ocenimo lahko tudi, kje je večja verjetnost, da bo prišlo do nesreče pri prevozu radioaktivnih snovi. Radioaktivne snovi potujejo znotraj države od meje, ker so dobavitelji v tujini, ali pa z mednarodnega letališča Brnik do končnih uporabnikov. Pri tem se (razen pri lokalnem prevozu na končni naslov) uporabljajo ceste, ki sestavljajo slovenski avtocestni križ. Tu je povečana verjetnost nesreče zaradi števila prevozov in zaradi gostote prometa.

7.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Podobno kot v poglavju [4.4](#), velja, da lahko pri nesreči z radiografskim ali obsevalnim virom sevanja nastanejo sevalna polja z visoko dozno hitrostjo. Glede na tehnologijo izdelave vira sevanja z visoko radioaktivnostjo, načinom ščitenja vira sevanja in zasnove tovorka ter glede na zahtevano usposobljenost osebja, ki prevažata takšne radioaktivne snovi, je zelo majhna verjetnost, da bi udeleženci prejeli visoke doze sevanja.



Pri odprtih virih sevanja zaradi majhnega volumna prav tako ni pričakovati radioaktivnega onesnaženja širšega okolja, četudi bi prišlo do nesreče. Malo verjetna je tudi ogroženost zaradi kontaminacije površinskih vodotokov ali podtalnice, ker sta volumen in aktivnost tekočinskih radioaktivnih virov glede na volumen podtalnice majhna (ob pogoju, da se kontaminirana zemlja in materiali hitro odstranijo s prizadete površine). Razlitje ali raztros sta možna, a manj verjetna, ker so praviloma tovrstni viri za prevoz ustrezno zapakirani in zaščiteni. Ob nesreči pri prevozu je možna kontaminacija embalaže, vozila ter oseb iz spremstva, udeleženih v nesreči. Le v primeru požara pri nesreči lahko pride do termične poškodbe vira in v zvezi s tem tudi do morebitne kontaminacije oseb in okolja.

7.5 Potek in možni obseg nesreče

Zaradi prometne nesreče lahko pride do poškodbe embalaže z radioaktivno snovjo in razsutja radioaktivnih ali jedrskih snovi na mestu nesreče. Obseg nesreče bi bil večji, če bi pri tem prišlo do požara ali eksplozije.

7.5.1 Prevoz svežega goriva

NEK uvozi enkrat na 18 mesecev od 50 do 60 gorivnih elementov (maksimalna obogatitev z ^{235}U je 5 %). Sveže gorivo se prevaža predvsem po morju in po cesti. Sveže gorivo pride običajno z namensko ladjo po morju do Luke Koper, nato pa s tovornimi vozili po cesti do NEK. Prevozi svežega goriva za potrebe raziskovalnega reaktorja TRIGA so redki, zadnji je bil povezan z izvozom 10 svežih gorivnih elementov v Francijo leta 2007.

Morebitna nesreča povzroči znatno gospodarsko škodo zaradi morebitne fizične poškodbe goriva. Kontaminacija je malo verjetna, ker je sveže gorivo zaprto v posebnih vsebnikih za prevoz goriva. Samo gorivo je v keramični obliki, zato ni topno v vodi. Obsevanje zaradi svežega goriva je zanemarljivo, saj je sveže gorivo malo radioaktivno.

7.5.2 Prevoz izrabljenega goriva

NEK

Trenutno se vse gorivo iz NEK hrani na lokaciji. Na lokaciji je zgrajeno novo suho skladišče izrabljenega goriva, v katerega se bo v več fazah preneslo izrabljeno gorivo iz bazena za izrabljeno gorivo. V suhem skladišču je izrabljeno gorivo odloženo v posebne zabojnike, katere se lahko transportira izven lokacije NEK. V bližnji prihodnosti ni predvideno, da bi se izrabljeno gorivo prevažalo iz lokacije NEK.

TRIGA

Raziskovalni reaktor TRIGA uporablja za svoje obratovanje jedrsko gorivo, ki je bilo kupljeno v ZDA. V skladu z dogovorom med vladama RS in ZDA je bilo vso izrabljeno gorivo, ki se je nahajalo v bazenu za izrabljeno gorivo, leta 1999 vrnjeno v ZDA. Izdelano je bilo ustrezno varnostno poročilo in pridobljena vsa dovoljenja. Ta prevoz je potekal brez posebnosti.

Tranziti izrabljenega goriva

V zadnjih desetletjih je bilo preko Slovenije opravljenih več tranzitov izrabljenega goriva (nazadnje iz Romunije, Madžarske, Srbije in Avstrije). V bližnji prihodnosti takšni tranziti niso predvideni. Tranzit je bodisi cestni bodisi železniški (na relaciji Dolga vas – Luka Koper). Običajno gre za gorivo iz raziskovalnih reaktorjev, ki se vrača v državo, ki ga je izdelala (Rusija oziroma ZDA). V Luki Koper se zabojniki - tovorki vrste B(U) preložijo na namensko ladjo, na kateri se včasih nahaja že gorivo, ki je bilo naloženo v drugih pristaniščih. Organizator prevoza



skupaj z varnostno službo in s policijo poskrbi za ustrezno fizično varovanje. Za varstvo pred sevanji je ustrezno poskrbljeno.

7.5.3 Prevoz radioaktivnih snovi za potrebe medicine, industrije, raziskav in drugih dejavnosti

Pošiljke radioaktivnih snovi potekajo bodisi zaradi dobave organizacijam, ki jih uporabljajo, bodisi zaradi prevoza prenosnih virov na mesto uporabe. V prvem primeru gre predvsem za uporabo virov sevanja v medicini (^{125}I , ^{131}I , ^{18}F in $^{99\text{m}}\text{Tc}$) in za dobavo stacionarnih virov industriji (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{85}Kr , ^{55}Fe , ^{90}Sr in ^{241}Am). V drugem primeru pa gre za prevoze virov sevanja, ki se uporabljajo pri kontroli zvarov ali gradbenih del na terenu. Najpogostejši radionuklidi so ^{192}Ir v tovorkih B(U) oziroma ^{75}Se , ^{137}Cs , $^{241}\text{Am/Be}$ v tovorkih A. Pogosto se prevažajo še viri sevanja nizke aktivnosti, ki so vgrajeni v prenosne merilne instrumente (^{63}Ni , ^{133}Ba , ^{137}Cs v izvzetih tovorkih).

Prevozniki morajo v skladu z Zakonom o prevozu nevarnega blaga imeti navodila, kako ukrepati v primeru nezgode. V skladu s Pravilnikom o uporabi virov sevanja in sevalni dejavnosti morajo imeti prevozniki visokoaktivnih virov sevanja tudi pisna navodila, kako ukrepati oziroma preprečevati nedovoljen dostop, izgubo vira sevanja, krajo ali poškodbo vira sevanja v požaru.

Posledice morebitne nesreče pri prevozu radioaktivnih snovi – če že pride do radiološkega dogodka – so prostorsko omejene, praviloma na neposredno okolico prometne nesreče ali izjemoma na bližnje območje. V primeru radionuklidov s kratkimi razpolovnimi dobami (^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ali ^{18}F) je vpliv nesreče razmeroma kratkotrajen (nekaj dni ali tednov), zato je dekontaminacija praviloma manj zahtevna.⁵ Pri nesreči z viri sevanja, ki imajo razpolovno dobo daljšo od enega leta pa je potrebno predvideti prepakiranje oziroma dekontaminacijo in način ravnanja z nastalimi radioaktivnimi odpadki. Obstaja tudi možnost kontaminacije oseb, udeleženi v nesreči, ki bi jih bilo potrebno ustrezno oskrbeti in dekontaminirati.

7.5.4 Tranzit radioaktivnih snovi

Veljajo enaki ukrepi in podatki kot pri prevozu v domačem prometu. Posebej pa je potrebno izpostaviti tranzite virov sevanja s pomembno aktivnostjo – tj. tistih, katerih aktivnosti dosegajo kategoriji 1 in 2 (kategorizacija MAAE). Tovrstni tranziti se dogajajo z različno pogostostjo (kategorija 1 manj kot enkrat letno; kategorija 2 lahko tudi večkrat letno, npr. tranziti $^{192}\text{Ir}/^{75}\text{Se}$, ki se uporabljata v industrijski radiografiji) in ustrezajo terminologiji ADR kot »radioaktivne snovi z možnimi hudimi posledicami«.

Do zdaj ni bilo nobene nesreče s tovrstnimi viri v tranzitu. Tudi v svetovnem merilu ni poznano, da bi prišlo v tranzitu do omembe vrednih posledic z virom, ki vsebuje »radioaktivne snovi z možnimi hudimi posledicami«.

7.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Zaradi tovrstne nesreče bi bilo ogroženih nekaj ljudi oziroma bi potencialno za daljši čas morali omejiti dostop na območje, če ga ne bi bilo mogoče dekontaminirati. Površina takšnega področja bi znašala nekaj sto kvadratnih metrov, v najbolj konservativnem primeru nekaj tisoč kvadratnih metrov.

⁵ Npr. odstranitev zgornje plasti prsti v primeru razlitja ^{131}I ob cesti ali dekontaminacija vozila s spiranjem, če bi prišlo do razlitja v samem vozilu [11, točka 5.58].



7.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje [3.4](#).

7.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

7.9 Možnost predvidevanja nesreče

Ni možno.

7.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Glej poglavje [4.10](#).

8. PADEC SATELITA Z RADIOAKTIVNIMI SNOVMI

8.1 Viri nevarnosti

Padec satelita, ki nosi na krovu radioaktivne snovi, na naše ozemlje oziroma v bližino naših meja, je potrebno predvideti v načrtovanju zaščite in reševanja.

8.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Vzrok za padec satelita je odpoved motorja, ki dvigne satelit na višjo orbito, ali okvara navigacijskih naprav oziroma komunikacijskih povezav z zemeljskim nadzorom leta. Odpoved motorja je lahko zaradi tehnične okvare ali pa, ker je zmanjkalo goriva. Satelit pri vstopu v zračne plasti običajno zgori in lahko razpade na veliko število manjših delov.

8.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost padca satelita na Slovenijo je težko oceniti, saj ni dovolj podatkov o satelitih in o snoveh, ki jih določen satelit nosi na krovu, saj gre v precej primerih za satelite, ki so v zvezi z vojaško ali vohunsko uporabo. Prav tako je nemogoče oceniti, kam točno bo satelit padel, da bi lahko ukrepali, preden satelit pade na Zemljo.

Ob predpostavki, da vsakih 10 let padeta dva satelita z radioaktivnimi snovmi na krovu na Zemljo, pomeni da je verjetnost, da bi padel satelit na ozemlje Slovenije, manj kot 10^{-6} na leto.

8.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Razlikujemo vrsto vira sevanja na satelitu: izvor visoke alfa aktivnosti (izotopi plutonija) ali pa reaktorski vir. V prvem primeru gre za možno kontaminacijo z zelo toksičnim sevalcem alfa. V drugem primeru pomeni padec satelita kontaminacijo s fisijskimi produkti, vendar se ta kontaminacija razlikuje od tiste, ki je posledica jedrske eksplozije. Predvsem ostaja radioaktivnost večinoma vezana na delce z visokimi specifičnimi aktivnostmi in je zanjo značilno, da ne vsebuje ne jodovih in ne cezijeve izotopov. Ogroženost za ljudi izvira pretežno zaradi inhalacije radioaktivnih delcev, ki v posamezniku lahko povzročijo visoke doze, in ne od zunanega sevanja. Območja kontaminacije so trakaste oblike s širino nekaj 10 km in v dolžini



nekaj 100 km (npr. padec sovjetskega satelita Kosmos na kanadsko ozemlje). Zaradi neposredne kontaminacije z radioaktivnimi delci so ogroženi nekateri prehrabeni pridelki (sveža zelenjava, sadje), medtem ko mleko, meso in gomoljasti plodovi niso kontaminirani. Ocenjene doze zaradi sevanja gama iz tal so znotraj mejnih vrednosti za prebivalstvo.

Sateliti lahko nosijo na krovu tudi manjše količine radioaktivnih snovi v instrumentih in napravah (npr. ^{63}Ni , ^{137}Cs , ^3H , ^{85}Kr ...), ki bi ob nesreči povzročili le neznatno (dodatno) kontaminacijo oziroma obsevanje.

8.5 Potek in možni obseg nesreče

Nesreča se zgodi v trenutku, ko satelit pade na Zemljo. Prejšnjega dogajanja ni moč z gotovostjo napovedati oziroma kontrolirati. Nadzor nad gibanjem satelita (če je satelit še možno krmariti) imajo samo države, ki so lastnice satelita.

Področje, ki ga je potrebno preiskati po padcu satelita, da bi ugotovili morebitno kontaminacijo zemljišča, znaša okoli 100.000 km², kar predstavlja približno petkratno velikost Slovenije. Lahko bi bil prizadet znaten del celotnega ozemlja Slovenije ali pa le njen manjši del.

8.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Ogroženi so tisti prebivalci in živali, ki se nahajajo na območju kontaminacije. V najslabšem primeru so to lahko vsi prebivalci Slovenije.

8.7 Verjetne posledice nesreče

Posledice nesreče izvirajo iz visokih doz, ki bi jih posameznik prejel, če bi v pljuča vdihnil vroče delce (za fisiske produkte npr. velikosti 10 mikrometrov z aktivnostjo 50 Bq; takšen delec da efektivno dozo 3 mikroSv, vroči delec z enako aktivnostjo sevalca alfa pa bi povzročil od tisočkrat do deset tisočkrat višjo dozo). To so drobni delci, ki imajo veliko specifično aktivnost in jih bodisi vdihnemo direktno ali ob resuspenziji s tal (ko se ponovno dvignejo v zrak). Takšne delce bi lahko človek vnesel v telo tudi z uživanjem neumitega sadja in zelenjave.

Posledice vnosa "vročih delcev v telo" za prebivalstvo so lahko v obliki stohastičnih učinkov sevanja, ne zaradi akutnega obseva.

8.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

8.9 Možnost predvidevanja nesreče

Predvideti je možno čas padca satelita, ki ga objavi lastnik satelita oziroma države, ki imajo možnost opazovanja in spremljanja satelitov ter morebitno izotopsko sestavo radioaktivnih snovi na krovu, če so na razpolago vsaj kakšni podatki o satelitu. Ni pa možno z gotovostjo napovedati, kam bo satelit padel.

8.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

V primeru padca satelita je potrebno predvideti predvsem ukrepe v prehranski verigi (nadzor kontaminiranosti hrane), lociranje vročih točk in dekontaminacijo, v skrajnem primeru tudi evakuacijo na kontaminiranih območjih. Zaščitni ukrepi se izvajajo na podlagi splošnih meril [32]



na vseh območjih, kjer je verjetno, da so deli satelita. Po vzpostavitvi izrednega monitoringa radioaktivnosti se zaščitni ukrepi odredajo na podlagi meritev in priporočil strokovnih služb.

9. PLOVILA NA JEDRSKI POGON

9.1 Viri nevarnosti

Vir nevarnosti je civilno ali vojaško plovilo na jedrski pogon v slovenskih teritorialnih vodah ali v bližini teh voda.

9.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Neposredni vzrok za nesrečo je kakršnakoli okvara ali napačno ravnanje z reaktorjem ali reaktorji, ki se nahajajo na plovilu. Tovrstna nesreča pa lahko ima tudi zunanji vzrok, kot npr. teroristični napad, vihar, eksplozijo/požar na plovilu, trčenje z drugim plovilom ali podobno.

9.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost pojavljanja tovrstne nesreče je težko oceniti, saj zanesljivih podatkov o nesrečah reaktorjev na plovilih, kjer bi prišlo do poškodbe sredice, ni na razpolago. Za slovenski primer lahko napravimo naslednjo oceno:

Obisk takšnega plovila je približno enkrat na 10 let za približno en teden, kar znese za verjetnost obiska 0,2 % na leto.

Za verjetnost hude nesreče s poškodbo sredice bomo vzeli, da je podobno kot pri jedrskih reaktorjih za proizvodnjo električne energije, kjer je zelo konservativna ocena 10^{-4} na leto, čeprav so v času obiska plovila reaktorji ustavljeni ali na nizki moči.

Če v oceni upoštevamo, da ladja lahko odpluje, smer vetra, in da izvaja ukrepe (npr. poplavljanje, zapiranje loput/prekatov, filtriranje izpusta), ki bi preprečili znaten izpust radioaktivnih snovi, lahko oceno zmanjšamo še za nekaj velikostnih razredov npr. na 10^{-1} ali 10^{-3} na leto.

Ko vse to zmnožimo, dobimo verjetnost $2 \cdot 10^{-8}$ ali $2 \cdot 10^{-10}$ na leto, kar je izredno majhna vrednost (primerljiva s padcem satelita) ob dejstvu, da smo drugo verjetnost (za poškodbo sredice) verjetno precenili, saj je reaktor v času obiska ustavljen, na razpolago pa so neomejene količine vode.

9.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

V študijah ogroženosti zaradi plovil je bilo ugotovljeno, da je na razpolago nekoliko več podatkov o ruskih plovilih in da obstaja večje tveganje za nesrečo pri izdelavi plovil in montaži ter servisiranju reaktorjev [19]. Analize vključujejo morebitna puščanja pri potopljenih plovilih, ki so bila potopljena daljše časovno obdobje, ko ima korozija znaten vpliv, a omenjene predpostavke niso primerne za naš scenarij, ker je plovilo na obisku in ker bi ga v primeru potopitve lahko izvlekli, saj je globina slovenskega morja plitva in ne presega 25 m. Plovilo torej tudi ne bi razpadlo na več delov zaradi velikega pritiska v globini. Pomemben podatek je tudi, da je večina plovil na jedrski pogon, podmornic, in da so površinska plovila v glavnem letalonosilke (ZDA) in ledolomilci (Rusija) [19, 20].



Glede scenarija in količine izpusta (t.i »*source terma*«) se v literaturi pojavlja približek z izpustom iz npr. 200 MW(t) tlačnovodnega reaktorja. Ladja je običajno zasidrana 1-2 km od obale, vendar jo je, če bi bilo treba, možno odvléči na odprto morje. Glede na to, da gre za tlačnovodni reaktor, jo lahko primerjamo z jedrsko elektrarno, ki ima 10-krat manjšo moč kot NEK, tako da se v nadaljnjem naslonimo na oceno ogroženosti za NEK in ustrezno zmanjšamo območje takojšnjih zaščitnih ukrepov za 10-krat, tj. z 10 km na 1 km, kar pomeni, da to območje ne bi segalo do kopnega.

Največji prispevek k dozi bi bil zaradi inhalacije, še posebej v začetni fazi (prvih nekaj ur ali prvi dan), in sicer zaradi žlahtnih plinov in hlapljivih izotopov joda in cezija.

Obstajajo zbirke nesreč plovil na jedrski pogon z opisi [21], ki se nanašajo v glavnem na jedrske podmornice. Ni podatkov, da bi bilo v teh nesrečah prizadeto prebivalstvo. Pri potopljenih podmornicah (SSN Tresher, SSN Scorpion) so merili radioaktivnost v okolici, vendar so v sedimentih izmerili samo ^{60}Co kot korozijski aktivacijski produkt iz primarnega kroga. Izmerjena aktivnost (okoli 1 pCi/g) je bila več kot 10-krat manjša od naravne radioaktivnosti sedimenta.

9.5 Potek in možni obseg nesreče

Podobno kot pri jedrskih nesrečah pride zaradi različnih začetnih vzrokov do poškodbe sredice reaktorja, ki je sestavni del plovila. Najugodnejše bi bilo v tem primeru odvléči ladjo na odprto morje. Na potek nesreče bistveno vpliva ravnanje posadke plovila, na katero pa nimamo nobenega vpliva. Za hlajenje tovrstnega reaktorja en dan po ustavitvi, in sicer z izparevanjem vode, potrebujemo približno pol litra na sekundo. Če pa bi reaktor deloval s polno močjo tik pred ustavitvijo pa desetkrat več, vendar kot že opisano, pri stoječih plovilih ta scenarij ni verjeten. Pričakujemo vsaj obvestilo poveljnika plovila o težavah, čeprav ni nobenih zagotovil za to.

Pri zelo konservativnem scenariju bi lahko prišlo do izpusta radioaktivnih snovi. V tem primeru je potek nesreče odvisen od meteoroloških pogojev. Radioaktivni oblak bi lahko dosegel kopno ob ustrezni smeri vetra. Na kopnem bi lahko prebivalstvo prejelo doze zaradi vdihavanja in zunanje kontaminacije, ki pa ne bi presegle 100 mSv referenčne ravni za izpostavljenost ob izrednem dogodku.

9.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Ogroženi so tisti prebivalci in živali, ki se nahajajo na območju, ki ga je dosegel radioaktivni oblak, vendar je treba dodati, da so pričakovane vrednosti kontaminacije in prejetih doz tako majhne, da ne zahtevajo uvedbe območja takojšnjega ukrepanje. Najbolj bi bilo ogroženo prebivalstvo, ki se nahaja v smeri vetra.

Ogroženost prebivalstva in živali je minimalna. Če bi bilo potrebno, zadostuje že zaklanjanje v zaprte prostore ob izključenem prezračevanju, kar lahko precej zmanjša dozo zaradi vdihavanja. Posebni ukrepi za živali niso potrebni. Za predmete in premoženje pa zadostuje že dekontaminacija z izpiranjem ali pranjem. Ukrepi po kopenski prehrabeni verigi niso pričakovani. Prav tako v primeru potopitve plovila niso pričakovani ukrepi po morski prehrabeni verigi.

Če pride do poškodbe sredice in radioaktivnega izpusta, bi merili tudi radioaktivnost morja in ustrezno ukrepali, vendar ni pričakovati, da bi bili preseženi nivoji za omejitev uporabe morske hrane za vse slovensko morje in za daljše obdobje (več kot mesec). Glede na skromen obseg slovenskega ribištva morebitni (praktično neverjetni) ukrepi (prepoved ribarjenja in nadzor morskih ribogojnic) ne bi povzročili večje škode.



9.7 Verjetne posledice nesreče

Posledice nesreče z vidika prejetih doz prebivalstva ne bi presegle referenčnih ravni, zaradi zaskrbljenosti prebivalstva pa lahko pričakujemo morebitno lastno oziroma ne odrejeno zaklanjane v trajanju nekaj ur in psihološke učinke. Zato je potrebno pravočasno in ciljno obveščanje, ki naj natančno razloži tveganja in morebitne učinke na zdravje ljudi in ravnanje s hrano, živalmi, predmeti.

Podobno tudi ni pričakovati škode zaradi kontaminirane hrane in predmetov. Lahko pa bi bila potrebna dekontaminacija, da se povrne zaupanje in tudi okrepljen nadzor sevanja v življenjskem okolju za določeno obdobje.

Potopljeno plovilo ne predstavlja nevarnosti, še posebej zato, ker lahko pričakujemo da bo država lastnica plovila, le tega dvignila in odvlekla iz slovenskih teritorialnih vod.

9.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Obstaja še verjetnost transportne (ladijske) nesreče, tj. potopitev plovila.

9.9 Možnost predvidevanja nesreče

Predvideti je možno, da bi plovilo zašlo v težave v primeru trka z drugim plovilom ali pa terorističnega napada. Glede na vrsto in tip plovila, slabo vreme praktično ne more biti vzrok za tovrstno nesrečo.

9.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Glede na izredno majhno verjetnost dogodka in zelo omejene lokalne posledice, je načrtovanje odziva na nesrečo plovila na jedrski pogon potrebno na lokalni oziroma regijski (obalni) ravni. Odsvetuje se kakršnokoli vnaprejšnje načrtovanje območij ukrepanja v obalnem območju. Odziv ob nesreči s plovilom na jedrski pogon vključuje predvsem ukrepe, s katerimi se zagotovi nadzor nad situacijo in poleg obveščanja prebivalstva v primeru nesreče z izpustom radioaktivnih snovi vključuje dekontaminacijo plovila, prepoved ribarjenja in nadzor morskih ribogojnic ter nadzor sevanja v morju.

10. JEDRSKA NESREČA V TUJINI

10.1 Viri nevarnosti

Potrebno je načrtovati ukrepe tudi za primer izrednega dogodka v jedrskih elektrarnah v tujini. V Prilogi 1 so elektrarne, ki se nahajajo v krogu s polmerom do 1000 km. Za ostale jedrske objekte v tujini načrtovanje zaščitnih ukrepov za primer izrednega dogodka ni predvideno, ker:

- so raziskovalni reaktorji dovolj oddaljeni, oziroma so prešibke moči,
- se bazeni z izrabljenim gorivom nahajajo v okviru jedrskih elektrarn (ni samostojnih bazenov z izrabljenim gorivom); podobno velja za suha skladišča izrabljenega goriva in ker
- so ostali jedrski objekti dovolj daleč.



Uporaba jedrskega orožja v tujini

Med izrednimi dogodki v tujini sta bila v 2022 zaradi vojne v Ukrajini in groženj Rusije posebej podrobno proučena dva scenarija, in sicer uporaba jedrskega orožja v Ukrajini in zelo malo verjeten napad na NATO baze, ki skladiščijo jedrsko orožje v Evropi [38].

Pri uporabi jedrskega orožja (20-150 kt taktične jedrske bombe) so radiološke posledice odvisne predvsem od mesta detonacije in za nizke (prizemne detonacije) višine obsegajo:

- neposredni učinki v neposredni bližini detonacije v razdalji nekaj 1000 m so pri 10 kt jedrski bombi popolno uničenje na 200 m, smrtne doze sevanja (5 Sv) na razdalji 1250 m, opekline 3. stopnje na razdalji 1410 m; udarni val detonacije sega z močjo 1,38 bar do razdalje 470 m (resne poškodbe stavb, skoraj 100 % smrtonosen), na razdalji 990 m z močjo 0,345 bar povzroči zmerne poškodbe stavb in nevarnost izbruhov požarov, na razdalji 2530 m z močjo 0,069 bar pa manjše poškodbe objektov in nevarnost poka steklenih oken na zgradbah,
- sekundarni učinki zaradi širjenja radioaktivnih zračnih mas in depozicije v neposredni bližini detonacije v razdalji nekaj 10 do 100 km (v bližnjem območju detonacije (pri 10 kt detonaciji 20-70 km v smeri vetra, pri 100 kt detonaciji 80-150 km v smeri vetra) največje tveganje oziroma vir nevarnosti predstavlja mokri used velikih delcev (do enega mm) snovi, iz katerih je izdelano jedrsko orožje. Ti delci se zaradi svoje velikosti hitro usedejo, nanje se vežejo cepitveni ali aktivacijski produkti nevtronskega sevanja; posledica je primarna izpostavljenost gama sevanju kratkoživih radionuklidov, kjer hitrost doze lahko presega 100 mSv/h⁶, sekundarna izpostavljenost pa beta sevalcem, ki povzročijo opekline kože) in
- sekundarni učinki zaradi širjenja radioaktivnih zračnih mas in depozicije na velikih razdaljah okoli 100 do nekaj 1000 km. Detonacija jedrskega orožja radioaktivne snovi ponese več kilometrov v višino, zato se radioaktivni delci porazdelijo relativno daleč in se tako razredčijo. Pomembno - odločilno vlogo imajo padavine, kjer se velike količine radioaktivnih delcev lahko izperejo tudi iz višjih plasti zraka v primeru zelo visokih nevihtnih stolpov in navpično gibanje zračnih mas, ki vpliva na koncentracijo zraka pri tleh in usedu.

Velikost navedenih razdalj je odvisna predvsem od eksplozivne moči uporabljenega jedrskega orožja, višine detonacije (nižja detonacija pomeni hujše zgoraj opisane posledice) in vremenskih pogojev (hitrost vetra, količina padavin, stabilnost itd.).

Za prvi scenarij, uporaba jedrskega orožja v Ukrajini, so izračuni pričakovanih koncentracij najpomembnejših radioaktivnih snovi v živilih in krmi v srednji Evropi pokazali, da bi v najslabšem primeru (poleti) v posameznih živilih, kot je listnata zelenjava, določene radioaktivne snovi lahko presegle mejne vrednosti EU za hrano (več o ukrepih glej poglavje [10.10](#)).

Pri drugem scenariju sta Sloveniji najbližji dve NATO bazi v Italiji, ki skladiščita jedrsko orožje, in sicer baza Aviano, od Slovenije oddaljena 63 km in baza Ghedi-Torre, ki je oddaljena 255 km. Na razdalji 1000 km od Slovenije so naslednje štiri NATO baze: Ramstein v Nemčiji na razdalji 555 km, Fliegerhorst Buechel v Nemčiji 630 km, Kleine Brogel v Belgiji (778 km) in baza Volkel na Nizozemskem 815 km.

Radiološki vplivi dolgega dosega prizemnih detonacij jedrskega orožja so manj resni, kot so učinki resne nesreče v jedrski elektrarni na primerljivi (veliki) razdalji.

⁶ Praviloma se visoke dozne hitrosti v bližnjem območju zmanjšajo na 1/10 po 7-ih urah, na 1/100 po 7x7 h (po približno 2-eh dneh) in na 1/1000 po 7x7x7 h (po približno 14-ih dneh).



10.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Možni vzroki nastanka nesreče so enaki kot v [3.2](#).

10.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost za nesrečo v jedrski elektrarni v tujini ocenimo z verjetnostjo za poškodbo sredice na približno $1,0 \cdot 10^{-4}$ na leto (enkrat na 10.000 let). Zadrževalni hram zmanjša verjetnost izpustov radioaktivnih snovi v okolje v primeru jedrske nesreče za 10-krat. Prav tako se podaljša čas, po katerem pride do potencialnega izpusta. To verjetnost pomnožimo s številom elektrarn (npr. v Evropi) in dobimo verjetnost približno enkrat na 1.000 let ali še manj.

Verjetnost uporabe jedrskega orožja v tujini je zelo majhna.

10.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Vrsta, oblika in stopnje ogroženosti je podobna kot je opisana v poglavju [3.4](#), vendar ob predpostavki, da je zračna razdalja vsaj 400 km, kar bistveno zmanjša posledice, ki načeloma padajo s kvadratom razdalje. Npr. posledice v Sloveniji so tisočkrat ali večkrat manjše kot tiste, ki so v okolici prizadetega objekta (npr. na razdalji 10 km).

Vrsta, oblika in stopnje ogroženosti zaradi uporabe jedrskega orožja je opisana v poglavju [10.1](#).

Če je bila nesreča v jedrski elektrarni v tujini povzročena s kibernetским napadom, naša jedrska elektrarna pa ima iste ali podobne digitalne sisteme, bi se lahko kibernetiski napad zgodil tudi pri nas.

10.5 Potek in možni obseg nesreče

Ne glede na vremensko situacijo bi nesreča v tuji jedrski elektrarni lahko imela posledice v Sloveniji samo, če bi prišlo do težke poškodbe sredice ob hkratni odpovedi zadrževalnega hrama. Glavne značilnosti poteka nesreče so že opisane v poglavju [3.5](#). Jedrski reaktorji tipa VVER-440, pri katerih so fizikalni principi delovanja enaki kot pri tlačnovodnih reaktorjih – PWR.

Pri uporabi jedrskega orožja v tujini je obseg oziroma vpliv opisan v poglavju [10.1](#).

10.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Lahko zaključimo, da bi bil pri jedrski nesreči v tujini ogrožen del Slovenije ali pa kar celotna Slovenija, in sicer zaradi mokrega useda.

Pri uporabi jedrskega orožja v tujini je vpliv zelo odvisen od razdalje, eksplozivne moči in višine detonacije, ogroženost zaradi mokrega useda je možna na delu ali celotnem ozemlju Slovenije (slednje je skrajno malo verjetno).

10.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje [3.4](#).

10.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno v primeru nesreče v jedrski elektrarni.



Pri uporabi jedrskega orožja v tujini pa je možnost drugih nesreč sicer zelo velika, vendar to ne bi imelo vpliva na ozemlje Slovenije.

10.9 Možnost predvidevanja nesreče

Nastanka jedrske nesreče se ne da napovedati, predvidimo lahko le verjetnost. Delno lahko nastanek nesreče predvidevamo ob predpostavki postopnega razvoja nesreče iz predhodnih dogodkov (prekurzorjev).

Tudi uporabe jedrskega orožja v tujini se ne da na splošno napovedati, jo je pa možno napovedati z zanesljivostjo, ki je sorazmerna zanesljivosti informacij o načrtovanih aktivnostih oboroženih sil držav.

10.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

V primeru jedrske nesreče v tujini (in uporabe jedrskega orožja v tujini) je potrebno predvideti predvsem ukrepe v prehranski verigi (nadzor kontaminiranosti hrane) ter ukrepe, ki se nanašajo na potovanja oseb z oziroma na ogroženo področje v tujini (omejitev potovanja, trgovine, stikov ipd. s prizadetim območjem).

Na državni meji oziroma zunanji meji EU se ob povečanem nadzoru radioaktivnosti živil in predmetov za splošno rabo izvaja dekontaminacija ljudi in vozil, ki prihajajo s prizadetega območja.

V primeru težke jedrske nesreče v bližini (npr. jedrska elektrarna Paks) bi bilo potrebno izvajati zaščitne ukrepe ob upoštevanju splošnih meril in operativnih intervencijskih ravni [32], ki obsegajo prenehanje uporabe kontaminiranih oziroma lokalno pridelanih živil, vode, krmil ter predmetov, zaužitje tablet kalijevega jodida, uporabo osebnih zaščitnih sredstev, dekontaminacijo, zaščito živali ter zaklanjanje [1].



11. POŠKODBA ODLAGALIŠČ JALOVINE NA NEKDANJEM RŽV

11.1 Viri nevarnosti

Na območju nekdanjega rudnika urana Žirovski vrh se nahajata dve odlagališči, odlagališče rudarske jalovine Jazbec in odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt. Na odlagališčih je odložen material s povišano vsebnostjo naravnih radionuklidov kot posledica pridobivanja uranove rude in proizvodnje uranovega koncentrata. Podatki o odlagališčih in inventar odloženega materiala so podani v tabeli 1 in 2.

Tabela 1: Odlagališče Jazbec

Odloženo	rudarska jalovina in rdeče blato 1982-1990 (iz proizvodnje), kontaminiran material, tehnološka oprema 1991-2007 (dekontaminacija, rušenje)
Sanacija končana	2008
Skupna površina	67.325 m ² (površina odlagališča znotraj drenažnih kanalov) 74.239 m ² (površina znotraj varnostne ograje)
Višina	spodaj 427 m, zgoraj 509 m (nadmorska višina)
Volumen odloženega materiala	854.500 m ³ rudarske jalovine 126.000 m ³ rude z nizko vsebnostjo urana 34.000 m ³ rdečega blata 2.600 m ³ filtrne pogače iz čiščenja jamske vode 181.000 m ³ kontaminirane zemlje in ostankov od rušenja predelovalnih obratov in drobilnice 800 m ³ tehnološke opreme iz predelovalnih obratov in drobilnice Skupni volumen odloženega materiala je 1.198.900 m ³
Masa odloženega materiala	1.366.589 t rudarske jalovine 200.684 t rude z nizko vsebnostjo urana 48.000 t rdečega blata 4.220 t filtrne pogače iz čiščenja jamske vode 289.723 t kontaminirane zemlje in ostankov od rušenja predelovalnih obratov in drobilnice 1.209 t tehnološke opreme iz predelovalnih obratov in drobilnice Skupna masa odloženega materiala je 1.910.425 t
Povprečna specifična aktivnost odloženega materiala	7,7 kBq/kg rudarske jalovine (53 g U ₃ O ₈ /t) 65 kBq/kg rdečega blata (²³⁰ Th 97 %) 34,4 kBq/kg filtrne pogače (236 g U ₃ O ₈ /t) 29,2 kBq/kg rude z nizko vsebnostjo urana (200 g U ₃ O ₈ /t) < 2 kBq/kg kontaminirane zemlje in ostankov od rušenja predelovalnih obratov in drobilnice



Skupna aktivnost odloženega materiala	21,7 TBq
Povprečna hitrost doze	0,12 μ Gy/h (prekrito s prekrivko)

Opomba: večina ^{230}Th je vsebovana v rdečem blatu kot stranskem produktu nevtralizacije.



Tabela 2: Odlagališče Boršt

Odloženo	hidrometalurška jalovina 1984-1990 in rudarska jalovina 1984-2004, kontaminiran material 2008-2009
Sanacija končana	2010
Skupna površina	42.000 m ² (površina telesa odlagališča), 67.923 m ² (površina znotraj varovalne ograje)
Višina	spodaj 535 m, zgoraj 565 m (nadmorska višina)
Volumen odloženega materiala	339.000 m ³ hidrometalurške jalovine 70.000 m ³ rudarske jalovine 6.543 m ³ kontaminiranih materialov Skupni volumen odloženega materiala je 415.543 m ³
Masa odloženega materiala	610.000 t hidrometalurške jalovine 111.000 t rudarske jalovine 9.450 t kontaminiranih materialov Skupna masa odloženega materiala je 730.450 t
Povprečna specifična aktivnost odloženega materiala	78,2 kBq/kg hidrometalurška jalovina 10,2 kBq/kg rudarska jalovina
Skupna aktivnost odloženega materiala	48,8 TBq
Povprečna hitrost doze	0,14 µGy/h (prekrito s prekrivko)

Opomba: Specifična aktivnost kontaminiranega materiala ni bila izmerjena, kljub temu pa je nizka.

Odlagališče rudarske jalovine Jazbec je bilo v letu 2015 zaprto. Za območje odlagališča je bil izveden izbris rudarske pravice iz rudarskega registra. To območje, ki obsega telo odlagališča Jazbec, je postalo objekt državne infrastrukture, ki ga po pooblastilu države od konca leta 2015 dalje upravlja ARAO. Odlagališče od leta 2015 tudi ni več sevalni objekt. Zaradi odloženega materiala s povečano koncentracijo naravnih radionuklidov je zaprto odlagališče še vedno pomembno za sevalno varnost, zato je na njem vzpostavljena obvezna državna gospodarska javna služba ravnanja z radioaktivnimi odpadki, katere del je izvajanje dolgoročnega nadzora in vzdrževanja zaprtega odlagališča. Vlada Republike Slovenije je s sklepom z dne 23. februarja 2016 določila ARAO za upravljavca odlagališča Jazbec.

Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt ima status sevalnega objekta. Zaradi povečane hitrosti plazenja hribine, na kateri se nahaja odlagališče, je bilo izvedenih več študij, ki bodo služile kot podlaga za nadaljnje ukrepanje in zaprtje odlagališča. V prvi študiji [43] je ocenjen rznos hidrometalurške jalovine v primeru maksimalno neugodnega izrednega dogodka - intenzivno deževje in potres. Študija je narejena za primer postopne erozije površinskih razpok v prekrivki odlagališča ter za deformacijo telesa odlagališča za padavine s povratno dobo 100 in 1000 let, kar bi pomenilo transport dela odloženega materiala dolvodno po dolini. Na osnovi te študije je Ministrstvo za okolje in prostor naročilo izdelavo študije izpostavljenosti sevanju



prebivalcev in delavcev [44], ki bi izvajali sanacijo odloženih materialov ob strugi Todraščice, Brebovščice in Poljanske Sore. V primeru popolnega razpada odlagališča Boršt zaradi ekstremnih padavin s 100-letno povratno dobo bi najvišjo dozo prejeli prebivalci na območju doline Todraščice (4,53 mSv/leto). V tem primeru bi bila potrebna sanacija razmer. V primeru razpokanja odlagališča in posledic nanosov ob ekstremnih padavinah efektivne doze za reprezentativnega posameznika ne bi presegle 0,01 mSv/leto (dolina Todraščice), medtem ko bi bile doze za dolino Brebovščice še manjše (nekaj μ Sv/leto), zato po takšnem dogodku sanacija razmer ne bi bila potrebna.

V letu 2020 je potekala izdelava strokovnega mnenja na Varnostno poročilo za odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, ki ga je izdelal pooblaščen izvedenec za sevalno varnost. Strokovno mnenje še ni dokončano, saj je bil v njem podan predlog za razširitev geodetskega nadzora, postavitve avtomatskega ekstenziometra v drenažnem rovu in preveritev verjetnosti nastanka najbolj neugodnega scenarija, pri katerim bi prišlo do zdrsa plazov v dolino Potoške grape, začasne zajezičev Todraščice in preboja tako nastale pregrade ter raznos tudi radioaktivnega materiala iz odlagališča hidrometalurške jalovine ob reki navzdol. V letu 2021 je bila izdelana študija Variante in verjetnost scenarijev možnih premikov plazov Boršt [41], v kateri so bile ocenjene posledice, ki bi jih povzročil tak dogodek z vidika varstva pred sevanji. Študija obravnava za različne scenarije možnosti in verjetnosti potovanja plazov Boršt do dna doline Todraščice, kar bi povzročilo zajezičev dela doline, v najbolj neugodnem scenariju pa nenadno prebitje bariere, ki bi povzročila zajezičev ter poplavljanje dolvodnih območij. Od vseh možnih scenarijev, ki so predstavljeni v študiji, sta najbolj verjetna dva scenarija potovanja plazov. Pri prvem scenariju bi se plaz ustavil na poti zaradi sile trenja. Verjetnost za nastanek tega dogodka je 25 %, možnost za zajezičev Todraščice pa je zelo malo verjetna (2 %). Pri drugem scenariju ne pride do premikanja plazov, saj bi se plaz postavil v ravnovesno lego (spodnji del območja bi se dvignil, zgornji pa spustil). Tak možen scenarij nakazujejo tudi meritve, iz katerih je razvidno, da so na zgornjem delu plazov izmerjeni posedki, na spodnjem delu plazov pa dvigi. Verjetnost za ta scenarij je 50 %, vendar pa po tem scenariju ne bi prišlo do zajezičev Todraščice. Za zajezičev Todraščice pa sta najbolj verjetna scenarija, ko plaz potuje nenadoma kot hitri plaz ali pa v primeru, da plazenje zajame celotno severno brežino, na kateri se nahaja tudi odlagališče Boršt.

V letu 2023 bodo predvidoma doseženi potrebni pogoji in izvedeni vsi ustrezni postopki za zaprtje odlagališča, prenos upravljanja in začetek izvajanja dolgoročnega nadzora in vzdrževanja odlagališča, ki ga izvaja ARAO kot del javne službe za ravnanje z RAO.

Ukrepi varstva pred sevanji na območju zaprtih odlagališč Jazbec in Boršt za prebivalstvo in zaposlene niso potrebni, saj sta odlagališči sanirani in zaprti.

11.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Izredna dogodka, ki bi lahko vplivala na celovitost in stanje odlagališč Jazbec in Boršt, sta predvsem potres večje intenzivnosti ter dolgotrajno ali intenzivno deževje. Najbolj neugodno bi bilo istočasno delovanje obeh [12, 14, 41].

Poleg zunanjih vplivov, ki bi lahko privedli do nastanka nesreče na območju odlagališča Boršt, so možni tudi notranji vplivi – človeški faktor (nevzdrževanje sistema), neustrezno ali pomanjkljivo načrtovani ukrepi in geološke spremembe v plazov [13, 41].

11.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

V primeru aktivacije plazov bi prišlo do manjše kontaminacije okolja, zaradi česar bi bili potrebni sanacijski ukrepi. Ocenjujemo, da je verjetnost za ta dogodek zelo majhna [10].



11.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Opisano v prejšnjih podpoglavjih poglavja [11](#).

11.5 Potek in možni obseg nesreče

Posledica potresa in intenzivnih padavin na območju odlagališča Jazbec je lahko zdrs dela prekrivne plasti na brežini do rudarske jalovine, izjemoma tudi dela rudarske jalovine. Ob potresu večje moči bi na površini prekrivne plasti nastale razpoke. V primeru intenzivnega deževja bi lahko na brežini odlagališča nastali posamezni usadi, kanale bi zapolnili sedimenti in les, prelitje vode preko roba pa bi povzročilo lokalno površinsko erozijo prekrivne plasti. V primeru zdrsa rudarske jalovine na brežini odlagališča se bo le-ta ustavila najkasneje na spodnjem robu brežine. Če bi se zapolnil odvodni kanal, bi otežil odvod izcednih vod po kanalu v potok Brebovščico. Posledica tega bi lahko bila začasna erozija nanešenega materiala v primeru visokih voda v smeri proti Brebovščici [14].

Posledice delovanja potresa in intenzivnih padavin na območju hidrometalurške jalovine Boršt bi bile poškodbe prekrivke (razpoke), poškodbe odvodnih kanalov ali zapolnjenja odvodnih kanalov z materialom ter s tem onemogočen odvod meteornih vod. V primeru potresa bi lahko zdrsnil del brežine s prekrivko v podnožje odlagališča in s tem prenesel del kontaminiranega materiala na druge površine [12]. Najnovejša študija za odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt ocenjuje, da bo v primeru potresa telo odlagališča toliko razrahljano, da bo prišlo do vtekanja vode in odnašanja jalovine z dežjem in potovanja plaz. V študiji so bile predpostavljene ekstremne padavine, ki odnašajo material. Zaradi oblike povodja se pričakuje poplavljanje in nanašanje radioaktivne jalovine do izliva Brebovščice v Poljansko Soro [13, 41].

11.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

V neposredni bližini odlagališča Jazbec so travnate in gozdne površine ter trije objekti, s katerimi upravlja Tehnični zavod Ministrstva za obrambo, dva objekta gospodarske cone Todraž in dva manjša objekta RŽV. Vpliv na okolje zaradi vsebnosti radionuklidov v odloženih materialih na odlagališču Jazbec je opazen po vodni poti (izcedne vode iz odlagališča), medtem ko je izhajanje radona iz odlagališča na nivoju vrednosti v naravnem okolju [13].

Na območju odlagališča rudarske jalovine Jazbec ter v njegovi neposredni okolici ni pomembnejših objektov oziroma območij naravnih vrednot, na katere bi lahko vplivalo odlagališče [11].

Gospodarski vpliv nesreče na odlagališču hidrometalurške jalovine Boršt bi bil majhen. Nekaj stroškov bi nastalo z izvajanjem sanacijskih ukrepov, nekaj pa zaradi ukrepov v prehranski verigi na ožjem območju dolvodno od odlagališč [10].

11.7 Verjetne posledice nesreče

Ob zapolnitvi obvodnega kanala bi prišlo do erozije materiala v potok Brebovščica. Ker je specifična aktivnost urana in njegovih potomcev v rudarski jalovini nizka, poleg tega pa je rudarska jalovina bolj grob material, najbrž velike erozije površin in kontaminacije okolja ne bi bilo.

Ob nastanku razpok v prekrivki ali zdrsu hidrometalurške jalovine bi lahko prišlo do povečanih vrednosti posameznih potomcev urana v tekočih emisijah odlagališča, povečanih vrednosti izhajanja radona iz odlagališča ter povečane hitrosti doze zunanega sevanja, ki bi jih bilo mogoče izmeriti na mestu poškodbe, zunaj odlagališča Boršt pa ne. Ob potresu in intenzivnih padavinah obstaja tudi možnost premika podlage odlagališča skupaj z odlagališčem. Najnovejša študija modeliranja raztrosa jalovine iz odlagališča Boršt v primeru popolnega razpada odlagališča ocenjuje, da materiala, ki se bo odložil, ne bo zelo veliko [41]. Zaradi



mešanja s plavinami sosednjih povodij pa se celotno območje, ki bi bilo poplavljeno, šteje za potencialni vir onesnaženja [13].

Rezultati izračunov študije izpostavljenosti sevanju prebivalcev in delavcev [44], ki bi izvajali sanacijo odloženih materialov ob strugi Todraščice, Brebovščice in Poljanske Sore kažejo, da bi bila v ekstremnih padavinskih pogojih in brez sanacije posledic raznosa učinkovita letna doza za posameznika nad zakonskimi omejitvami. V primeru razpada odlagališča zaradi ekstremnih padavin s 100-letno povratno dobo bi najvišjo dozo prejeli posamezniki na območju doline Todraščice, in sicer 4,53 mSv/leto. Vse ostale izračunane doze bi bile nižje, a še vedno nad zakonsko določenimi mejnimi vrednostmi za posameznika. Izvedeni izračuni učinkovnih doz za delavce so pokazali, da bi delavci prejeli manjše doze od mejnih vrednosti za izpostavljene delavce [23].

11.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

11.9 Možnost predvidevanja nesreče

Potresa ni moč vnaprej predvideti, kratkoročno (nekaj dni vnaprej) pa je možno napovedati močnejše padavine. Z vzdrževanjem drenažnih rovov skrbimo za sanacijo odlagališča. Nevzdrževanje sistema drenažnih rovov bi lahko povzročilo prekinitev obstoječih drenažnih rovov, zaradi česar bi se dvignila gladina podtalnice in povečalo plazenje. Možnost nastanka izrednega dogodka, ki bi imel vidne posledice na površino odlagališča Boršt ali na njegovo stabilnost, obstaja, čeprav je verjetnost njegovega nastanka majhna.

11.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Dolgoročno stanje odlagališč Jazbec in Boršt je določeno s projektom končne ureditve odlagališča ter s projektom izvedenih del. V primeru potrebe po sanaciji odlagališča zaradi izrednega dogodka bo potrebno zavarovati območje pred dostopom nezaposlenih. Z vizualnim ogledom in meritvami stanja se bo ugotovila vrsta, velikost in pomembnost poškodb, počakalo na stabilizacijo razmer, nato pa pristopilo k sanaciji nastalega stanja. Osnovo za sanacijo ugotovljenih poškodb predstavljata projekt za izvedbo del in projekt izvedenih del, kjer so navedeni vsi detajli in normativi za izvedbo ter stanje po izvedbi končne ureditve. Z meritvami se bo preverila kvaliteta izvedenih del in izvedba morebitne potrebne dekontaminacije površin [14, 15].



12. RAZLAGA POJMOV IN KRATIC

12.1 Pomen pojmov

aktivnost	Je aktivnost danega števila radionuklidov v izbranem energijskem stanju ob določenem času in je določena kot količnik $A = dN/dt$, pri čemer je dN pričakovano število spontanah jedrskih prehodov iz tega energijskega stanja v časovnem intervalu dt . Enota za aktivnost je bekerel.
človek sivert (čl-Sv)	Človek sivert je enota za skupno efektivno dozo določene skupine delavcev ali določene skupine prebivalstva.
človeška napaka	Je napaka, ki jo je naredil ali povzročil človek s svojim ukrepom zaradi napačnega razumevanja procesa ali napačne presoje stanja; nastane lahko tudi z nehoteno izvedbo ali opustitvijo nekega ukrepa.
dekontaminacija	Je zmanjšanje ali odstranjevanje radioaktivnih snovi iz posameznih delov življenjskega okolja, ljudi, obleke, opreme in predmetov.
deterministični učinki	Klinično ugotovljive okvare obsevanega organa, tkiva ali organizma zaradi poškodovanja celic. Za nastanek posameznega determinističnega učinka so določljive vrednosti doz, pri katerih se deterministični učinek pojavi, za te vrednosti doz pa velja, da je za doze, ki jih presegajo, deterministični učinek večji, če je vrednost doze večja.
doza	Je merilo za absorbirano energijo na enoto mase ali škodo za zdravje. Doze so absorbirane, ekvivalentne ali efektivne. Absorbirana doza izraža absorbirano energijo na enoto mase. Ekvivalentna doza izraža različne učinke, ki jih ima posamezna vrsta ionizirajočih sevanj na posamezno tkivo ali organ, efektivna doza pa stopnjo škode za zdravje ljudi, ki nastane zaradi izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem in se izračuna kot vsota vseh ekvivalentnih doz, uteženih glede na posamezno tkivo ali organ.
evakuacija	Je začasen in organiziran umik ljudi ob izrednem dogodku z določenega območja, da se zmanjša izpostavljenost zaradi zunanje obsevanosti in vnosa.
hitrost doze	Hitrost doze je časovni odvod ustrezne doze (absorbirane, ekvivalentne, efektivne, predvidene ekvivalentne, predvidene efektivne) ali njenih ekvivalentov (okoliški, smerni, osebni) in pomeni spremembo doze v enoti časa. Enota je Gy/s ali Sv/s.
ionizirajoče sevanje	Je prenos energije v obliki delcev ali elektromagnetnih valov z valovno dolžino 100 nanometrov ali manj ali frekvenco $3 \cdot 10^{15}$ Hz ali več, ki lahko neposredno ali posredno povzroči tvorbo ionov.
izrabljeno gorivo	Je jedrsko gorivo, ki je bilo obsevano v reaktorski sredici in trajno odstranjeno iz nje; izrabljeno gorivo se lahko šteje za vir, ki se lahko uporabi v ponovni predelavi, ali pa se nameni za končno odlaganje brez predvidene nadaljnje uporabe in se obravnava kot radioaktiven odpadek.
izredni dogodek	Je okoliščina ali dogodek, ki ni običajen in pri katerem se zmanjša sevalna ali jedrska varnost ali je zmanjšana raven varstva pred sevanji. Zaradi stanja, ki je posledica izrednega dogodka, je treba začeti takojšnje priprave ali izvajanje ukrepov za preprečitev ali odpravo posledic za zdravje in varnost ljudi ter kakovost njihovega



	življenja, za preprečitev posledic na premoženje in okolje ali za odpravo tveganj, ki vodijo do takih resnih posledic.
jodna profilaksa	Zaužitje neradioaktivnega joda (tablete kalijevega jodida) pred ali takoj ob nastanku izrednega dogodka, da se zaščiti ščitnica pred obsevanjem zaradi kopičenja radioaktivnih izotopov joda v njej.
kontaminacija	Je nenamerna ali nezaželena prisotnost radioaktivnih snovi na površinah, v trdnih, tekočih ali plinastih materialih ali na človeškem telesu.
načelo »od zibelke do groba«	Sledenje virom ionizirajočih sevanj od začetka do konca njihove uporabe - od nastanka do skladiščenja.
nesreča	Je odstopanje od normalnega obratovanja, ki je manj pogosto in ima težje posledice kot nenormalno obratovanje. Pri nesreči lahko pride do večje poškodbe jedrskega ali sevalnega objekta ali zmanjšanja učinkovitosti varnostnih pregrad.
obsevanost	Izraz, ki se uporablja v varstvu pred ionizirajočimi sevanji za izpostavljenost sevanju (predvsem ljudi) v določenem časovnem obdobju.
poškodba sredice	Je odkritje in segrevanje sredice reaktorja do točke, pri kateri je pričakovati povečano oksidacijo in resno poškodbo gorivnih elementov večjega dela sredice.
radioaktivna snov	Je vsaka snov, ki vsebuje enega ali več radionuklidov, katerih aktivnosti ali koncentracije ne moremo zanemariti glede na merila varstva pred ionizirajočimi sevanji.
sivert (Sv)	Je naziv za enoto ekvivalentne ali efektivne doze. En sivert je enak enemu joulu na kilogram: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.
stohastični učinki	Statistično ugotovljive okvare zaradi spremenjenih lastnosti obsevanih celic, ki se lahko razmnožujejo; stohastični učinki, kot so nastanek malignih rakov ali dednih posledic v genih, niso odvisni od doze in zanje prag nastanka ne obstaja, vendar je njihov nastanek verjetnejši pri višji dozi.
stopenjski pristop	Pomeni, da so procesi za zagotovitev ustrezne ravni analiz, dokumentacije in ukrepov sorazmerni s: <ul style="list-style-type: none"> - pomembnostjo za varnost, nadzor nad jedrskimi snovmi in za fizično varovanje, - velikostjo možnih nevarnosti, - fazo v življenjski dobi objekta, - načinom uporabe oziroma namembnostjo objekta, - značilnimi lastnostmi objekta, - pomembnostjo sevalnih in nesevalnih nevarnosti in drugimi ustreznimi dejavniki.
upravljavec objekta	Je oseba, ki upravlja objekt in mora imeti odločbo o poskusnem obratovanju ali dovoljenje za obratovanje objekta.
verjetnostne varnostne analize	So varnostne analize zanesljivosti sistemov sevalnega ali jedrskega objekta, pri katerih se z uporabo verjetnostnih metod prepozna in ovrednoti obseg možnih vplivov na sevalno ali jedrsko varnost, kakršni so odpoved komponent in njihova nerazpoložljivost, človeške napake, negativni vplivi okolja, požari, poplave in potresi.
vir sevanja	Je vir, ki lahko povzroči izpostavljenost z oddajanjem ionizirajočih sevanj ali sproščanjem radioaktivnih materialov.
used	Usedanje radioaktivnih delcev iz radioaktivnega oblaka zaradi teže ali spiranja s padavinami na tla in na preostale prizemne površine.



zaklanjanje	Je zadrževanje ljudi v zaprtih prostorih ob izrednem dogodku za obdobje do nekaj dni, da se zmanjša izpostavljenost zaradi zunanje obsevanosti in vnosa.
zaprti vir sevanja	Je radioaktivni vir sevanja, pri katerem je radioaktivni material stalno zaprt v posodi ali je vgrajen v trdni obliki, da se pri predvidenih pogojih uporabe prepreči razpršitev radioaktivnih snovi.
zaščitni ukrepi	So ukrepi, ki se izvedejo za preprečevanje ali zmanjševanje doz, ki bi bile sicer prisotne ob izrednem dogodku ali obstoječi izpostavljenosti. Med izrednimi dogodki ima pojem zaščitni ukrep enak pomen kot v zakonu, ki ureja varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami. Zaščitni ukrepi ne vključujejo sanacije kontaminiranih območij.



12.2 Seznam kratic

ADR	Evropski sporazum o mednarodnem prevozu nevarnega blaga po cesti (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road)
ARAO	Agencija za radioaktivne odpadke
BD	Kaluža uparjalnikov (Steam generator blowdown)
BWR	vrelvodni reaktor (Boiling Water Reactor)
CSRAO	Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov
čl-Sv	Človek sivert
D ₁	Doza (dose)
EU	Evropska unija
EURATOM	Evropska skupnost za atomsko energijo (European Atomic Energy Community)
HE	Hidroelektrarna
IJS	Institut Jožef Stefan
LD	Smrtna doza (Lethal dose)
MAAE (IAEA)	Mednarodna agencija za atomsko energijo (International Atomic Energy Agency)
MBq	Megabekerel
MW _e	Megavat električne energije
NEK	Nuklearna elektrarna Krško
NUID	Načrt ukrepov v primeru izrednega dogodka
OIR	Operativne intervencijske ravni
OPU	Območje preventivnih ukrepov
OTU	Območje takojšnjih ukrepov
PCFVS	Pasivni filtrski ventilacijski sistem zadrževalnega hrama (Passive Containment Filter Venting System)
PWR	Tlačnovodni reaktor (Pressurised Water Reactor)
ROU	Razširjeno območje ukrepanja
Sv	Sivert
TRIGA	Raziskovalni reaktor TRIGA (Training, Research, Isotopes, General Atomics)
URSJV	Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost
VVA	Verjetnostna varnostna analiza
VVER	Vodno hlajeni vodno moderirani reaktor



13. PRILOGE

Priloga 1: Seznam jedrskih elektrarn v oddaljenosti do 1000 km od Ljubljane

Država	Jedrska elektrarna	Vrsta	MWe	Km od Ljubljane	Km od meje Slovenije
BE	DOEL-1	PWR	392	951,9	875
	TIHANGE-1	PWR	962	844,2	765
	DOEL-2	PWR	433	951,9	875
	DOEL-4	PWR	1008	951,9	875
	TIHANGE-3	PWR	1015	844,2	765
BG	KOZLODUJ-5	VVER	953	772,9	638
	KOZLODUJ-6	VVER	953	772,9	638
CH	BEZNAU-1	PWR	365	505,7	434
	BEZNAU-2	PWR	365	505,7	434
	GOESGEN	PWR	970	519,1	448
	LEIBSTADT	BWR	1165	510,6	440
CZ	DUKOVANY-1	VVER	427	358,8	239
	DUKOVANY-2	VVER	427	358,8	239
	DUKOVANY-3	VVER	427	358,8	239
	DUKOVANY-4	VVER	427	358,8	239
	TEMELIN-1	PWR	963	347,6	289
	TEMELIN-2	PWR	963	347,6	289
FR	BUGEY-2	PWR	910	714,4	638
	BUGEY-3	PWR	910	714,4	638
	BUGEY-4	PWR	880	714,4	638
	BUGEY-5	PWR	880	714,4	638
	ST. LAURENT-B1	PWR	915	998,3	926
	TRICASTIN-1	PWR	915	788,9	712
	TRICASTIN-2	PWR	915	788,9	712
	DAMPIERRE-1	PWR	890	928,8	857
	ST. LAURENT-B2	PWR	915	998,3	926
	TRICASTIN-3	PWR	915	788,9	712
	TRICASTIN-4	PWR	915	788,9	712
	DAMPIERRE-2	PWR	890	928,8	857
	DAMPIERRE-3	PWR	890	928,8	857
	DAMPIERRE-4	PWR	890	928,8	857
	CRUAS-1	PWR	915	777,6	701
	CRUAS-2	PWR	915	777,6	701
	CRUAS-3	PWR	915	777,6	701
	CRUAS-4	PWR	915	777,6	701
	ST. ALBAN-1	PWR	1335	759,7	683
	ST. ALBAN-2	PWR	1335	759,7	683
CATTENOM-1	PWR	1300	723	646	
CATTENOM-2	PWR	1300	723	646	
BELLEVILLE-1	PWR	1310	899	827	
BELLEVILLE-2	PWR	1310	899	827	
NOGENT-1	PWR	1310	871,7	799	



Država	Jedrska elektrarna	Vrsta	MWe	Km od Ljubljane	Km od meje Slovenije
	NOGENT-2	PWR	1310	871,7	799
	CATTENOM-3	PWR	1300	723	646
	CHOOZ-B1	PWR	1500	848,9	772
	CHOOZ-B2	PWR	1500	848,9	772
	CATTENOM-4	PWR	1300	723	646
HU	PAKS-1	VVER	470	338,8	180
	PAKS-2	VVER	473	338,8	180
	PAKS-3	VVER	443	338,8	180
	PAKS-4	VVER	473	338,8	180
NL	BORSSELE	PWR	482	989,8	913
SK	BOHUNICE-3	VVER	429	361,6	205
	BOHUNICE-4	VVER	410	361,6	205
	MOCHOVCE-1	VVER	436	386,6	260
	MOCHOVCE-2	VVER	436	386,6	260
	MOCHOVCE-3	VVER	440	386,6	260



Priloga 2: Nevarni viri sevanja v Sloveniji

Radionuklid	Stacionaren	Prenosen	Število nevarnih virov sevanja	Število prenosnih nevarnih virov sevanja, ki so hkrati radioaktivne snovi z možnimi hudimi posledicami
¹⁹² Ir	1	7	7	3
¹³⁷ Cs	5	0	5	0
⁶⁰ Co	1	0	1	0
²⁴¹ Am	2	0	2	0
⁷⁵ Se	0	3	3	0

Opombe:

- Vrednosti aktivnosti za nevarne vire sevanja (angl. »*dangerous source*« - D) so določene v Uredbi o sevalnih dejavnostih.
- Število nevarnih virov sevanja - glede na trenutno aktivnost (vzeto na dan 13. april 2023).
- (Trenutno) število (prenosnih) nevarnih virov sevanja, ki so hkrati radioaktivne snovi z možnimi hudimi posledicami: upoštevajoč prevoz/prevažanje in radioaktivne snovi (razred 7 pri prevozu, v skladu z ZPNB in ADR) z možnimi hudimi posledicami.
- Prenosni vir sevanja (uporaba tudi izven lokacije podjetja/organizacije).
- Stacionaren vir sevanja (stacionaren med uporabo, prevoz do organizacije in iz nje pred začetkom in po prenehanju uporabe).
- Tabela vključuje tudi zaprte vire sevanja v NEK in IJS, ne vključuje pa medicine in izrabljenih virov sevanja - radioaktivnih odpadkov v CSRAO na Brinju.
- Tabela ne vključuje virov sevanja, ki se jih vnese/uvozi v Slovenijo le za nekaj dni, potem pa ponovno vrne nazaj (npr. za karotažo vrtin ali industrijsko radiografijo).
- Tabela ne vključuje virov sevanja v tranzitu.



14. REFERENCE

- [1] Načrt zaščite in reševanja ob jedrski in radiološki nesreči, Državni načrt, Verzija 4.0, Ljubljana, 2023.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, General Safety Requirements, No. GSR Part 7, International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija, 2015.
- [3] National Library of Medicine. 2022. Radiation Exposure In Pregnancy. Dostopno preko: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31869154/> (7. marec 2023).
- [4] NEK, Updated Safety Analysis Report, Rev. 29, 2022
- [5] Nuklearna elektrarna Krško, Ocena ogroženosti, rev. 6, DCM-RP-051, 2021.
- [6] Varnostno poročilo za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici, rev. 7, 2017.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, Safety Guide, No. RS-G-1.9, Dunaj, Avstrija, 2005.
- [8] Analiza ogroženosti območij okoli NE Krško v primeru jedrske nesreče, URSJV-DP/092/2013, Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV), verzija 2.0, 2015.
- [9] Revision of Risk Significance Evaluation Based on the Actual Design Characteristic of PAR-s, NEK ESD-TR-12/14, 2014.
- [10] Ocena tveganja za jedrske in radiološke nesreče v Sloveniji, Uprava za jedrsko varnost, izdaja 4, 2023.
- [11] Odlagališče rudarske jalovine Jazbec. Dopolnitev Varnostnega poročila. Rev A. Št. elaborata UZJV – OP/01A. Poglavje: Ocena vpliva na okolje. Ljubljana, 2012.
- [12] Varnostno poročilo za izvedbo sanacije in končno ureditev odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt v Rudniku urana Žirovski vrh. Št. dokumentacije UZVP-OP/01, Rev. B, Ljubljana, 2007.
- [13] Modeliranje raznosa hidrometalurške jalovine odlagališča Boršt v primeru popolnega razpada odlagališča. Geotrias. Arh. št.: 110/15_TB, rev. 1, 2015.
- [14] Ocena varstva izpostavljenosti delavcev pred sevanji pri sevalnem objektu odlagališče rudarske jalovine Jazbec (revizija 2), št.: RŽV/VIII-OV1/R2, Todraž, 2009.
- [15] Ocena varstva izpostavljenosti delavcev pred sevanji pri sevalnem objektu odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, št.: RŽV/VIII-OV1, Todraž, 2006.
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Manual for First Responders to a Radiological Emergency, EPR-First Responders, Dunaj, Avstrija, 2006.
- [17] Načrt fizičnega varovanja NEK (št. dokumenta: SP-2; revizija 9), 2023.
- [18] Pravilnik o fizičnem varovanju jedrskih objektov, jedrskih in radioaktivnih snovi ter prevozov jedrskih snovi (Uradni list RS, št. 17/13 in 76/17 – ZVISJV-1).
- [19] Ole Reistad et al., A Nordic Approach to Impact Assessments of Accidents with Nuclear-Propelled Vessels, NKS, 2012.
- [20] STUK's Threat Analysis of Nuclear Submarine Accident, Tuomas Peltonen, Tromsø, Norway, 2015.
- [21] P.L. Ølgaard, Accidents in Nuclear Ships, NKS/RAK-2(96)TR-C(3), Risø National Laboratory, 1996.



- [22] Slovenian national report on nuclear stress tests - Final Report, URSJV/RP-085/2011, URSJV, 2011.
- [23] Ocena vpliva sevanja na življenjsko okolje in izpostavljenost prebivalcev sevanju v primeru popolnega razpada odlagališča Boršt ter izpostavljenost delavcev pri sanaciji posledic popolnega razpada odlagališča. Tehnično poročilo INKO-TP-02/15; Revizija 0, 2016.
- [24] Health Effects And Medical Surveillance IAEA, Vienna, 2004 IAEA-PRTM-3 (Rev. 1), IAEA, 2004.
- [25] Mail&Guardian. 1995. How we blew up Koeberg. Dostopno preko: <https://mg.co.za/article/1995-12-15-how-we-blew-up-koeberg-and-escaped-on-a-bicycle> (6. marec 2023).
- [26] El Pais. 2007. Investigados 50 empleados por la mayor pérdida de material radiactivo de España. Dostopno preko: http://elpais.com/diario/2007/10/01/sociedad/1191189602_850215.html (6. marec 2023).
- [27] Harvard Kennedy School. 2013. The nuclear terrorism threat – and next steps to reduce the danger. Dostopno preko: <http://www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/uploads/nuclearterrorismthreat.pdf> (6. marec 2023).
- [28] Malwarebytes. What is Stuxnet? Dostopno preko: <https://www.malwarebytes.com/stuxnet> (6. marec 2023).
- [29] Sveriges Radio. 2012. Explosive material found at nuclear power plant. Dostopno preko: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=2054&artikel=5161584> (6. marec 2023).
- [30] The Guardian. 2014. South Korean nuclear operator hacked amid cyber-attack fears. Dostopno preko: <https://www.theguardian.com/world/2014/dec/22/south-korea-nuclear-power-cyber-attack-hack> (6. marec 2023).
- [31] Arms Control Association. 2019. Cyberattack Hits Indian Nuclear Plant. Dostopno preko: <https://www.armscontrol.org/act/2019-12/news/cyberattack-hits-indian-nuclear-plant> (6. marec 2023).
- [32] Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji (Uradni list RS, št. 18/18).
- [33] Nuclear Threat Initiative. 2004. The Chechen Resistance and Radiological Terrorism. Dostopno preko: <http://www.nti.org/analysis/articles/chechen-resistance-radiological-terror/> (13. marec 2023).
- [34] Export Law Blog. 2007. How Not to Make a Dirty Bomb. Dostopno preko: <http://www.exportlawblog.com/archives/category/nrc> (13. marec 2023).
- [35] Arms Control Association. Cobalt-60 Stolen, Recovered in Mexico. Dostopno preko: https://www.armscontrol.org/act/2014_01-02/Cobalt-60-Stolen-Recovered-in-Mexico (13. marec 2023).
- [36] Slovak Spectator. 2016. Police investigate series of radioactive letters as terrorism. Dostopno preko: <https://spectator.sme.sk/c/20395478/police-investigate-series-of-radioactive-letters-as-terrorism.html> (13. marec 2023).
- [37] Bunn, Matthew. 2010. Securing the Bomb 2010, Securing all Nuclear Materials in Four Years. Dostopno preko: http://www.nti.org/media/pdfs/Securing_The_Bomb_2010.pdf?_=1317159794 (13. marec 2023).



- [38] Gesamtstaatlicher Notfallplan Nuklearwaffeneinsatz in größerer Entfernung zu Österreich, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Dunaj, Avstrija, 2022.
- [39] Nuklearna elektrarna Krško, NEK ESD TR-06/22 Evaluation of New RS PSAP NEK Baseline Model »NEKC33«, 2022, rev 0, 2022.
- [40] Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-1O).
- [41] Variante in verjetnost scenarijev možnih premikov plazu Boršt. GeoTrias. Št. poročila: 363 - TB/2021 – revizija 1, Ljubljana, 2021.
- [42] IAEA. The polonium-210 poisoning of Mr Alexander Litvinenko. Dostopno preko: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN%3A48058885 (14. april 2023).
- [43] Beguš, T. et al., Modeliranje raznosa hidrometalurške jalovine odlagališča Boršt v primeru popolnega razpada odlagališča, Geotrias, Ljubljana, 2015.
- [44] Bilić Zabrc, T., Študija ocene vpliva sevanja na življenjsko okolje in izpostavljenost prebivalcev sevanju v primeru popolnega razpada odlagališča Boršt ter izpostavljenost delavcev pri sanaciji posledic popolnega razpada odlagališča, INKO, Ljubljana, 2016.
- [45] NEK, Probabilistic Safety Assessment (PSA), tehnična poročila, 2021.

