



REPUBLIKA SLOVENIJA  
**MINISTRSTVO ZA OBRAMBO**

UPRAVA REPUBLIKE SLOVENIJE  
ZA ZAŠČITO IN REŠEVANJE

URAD ZA OPERATIVO

Izpostava Maribor

Bezjakova 151, 2341 Limbuš

T: 02 250 69 10

F: 02 250 69 01

E: gp.mb@urszr.si

www.sos112.si/maribor

Številka: 8421-17/2017-13 - DGZR

Datum: 17. 03. 2022

# OCENA OGROŽENOSTI OB JEDRSKI IN RADIOLOŠKI NESREČI V VZHODNO ŠTAJERSKI REGIJI

VERZIJA 2.2

	ORGAN	ODGOVORNA OSEBA
Oceno uskladi /skrbnik	Izpostava URSZR Maribor	Darja Adam Pak svetovalka
Sprejel	Izpostava URSZR Maribor	Ivana Grilanc Vodja Izpostave

## KAZALO

<b>1. UVOD</b> .....	<b>4</b>
<b>2. OCENA OGROŽENOSTI OB IZREDNEM DOGODKU V JEDRSKIH OBJEKTIH IN ZARADI RAIOAKTIVNIH SNOVI, IZDAJA 7</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>Kategorizacija Virov Nevarnosti</b> .....	<b>2</b>
<b>Jedrski Objekti</b> .....	<b>3</b>
2.1 Viri nevarnosti .....	3
2.2 Možni vzroki nastanka nesreče .....	3
2.3 Verjetnost pojavljanja nesreče .....	5
2.3.1 Metode za oceno verjetnosti pojavljanja nesreče in oceno njihovih posledic oz. ocena tveganja zaradi delovanja jedrske elektrarne .....	5
2.3.2 Osnovne značilnosti metode .....	5
2.3.3 Tipični redi velikosti rezultatov .....	6
2.3.4 Uporaba VVA pri načrtovanju ukrepov .....	6
2.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	6
2.5 Potek in možni obseg nesreče .....	8
2.5.1 NEK .....	8
2.5.2 Reaktor TRIGA .....	9
2.5.3 Skladišče CSRAO na Brinju .....	9
2.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	9
2.7 Verjetne posledice nesreče .....	10
2.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče .....	10
2.9 Kombinacija jedrske in druge nesreče .....	10
2.10 Možnost predvidevanja nesreče .....	10
2.11 Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	10
2.11.1 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka v NEK .....	10
2.11.2 Območja načrtovanja za jedrsko nesrečo v NEK in zaščitni ukrepi .....	11
<b>uporaba radioaktivnih snovi</b> .....	<b>12</b>
2.12 Viri nevarnosti .....	12
2.13 Možni vzroki nastanka nesreče .....	12
2.14 Verjetnost pojavljanja nesreče .....	12
2.15 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	13
2.16 Potek in možni obseg nesreče .....	14
2.17 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	14
2.18 Verjetne posledice nesreče .....	14
2.19 Verjetnost nastanka verižne nesreče .....	14
2.20 Možnost predvidevanja nesreče .....	14
2.21 Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	15
<b>KRIMINALNO DEJANJE</b> .....	<b>15</b>
2.22 Viri nevarnosti .....	15
2.23 Možni vzroki nastanka nesreče .....	15
2.24 Verjetnost pojavljanja nesreče .....	15
2.25 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	16
2.26 Potek in možni obseg nesreče .....	16
2.27 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	17
2.28 Verjetne posledice nesreče .....	17

2.29	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	17
2.30	Možnost predvidevanja nesreče .....	17
2.31	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	18
<b>NENADZOROVANI VIRI SEVANJA.....</b>		<b>18</b>
2.32	Viri nevarnosti .....	18
2.33	Možni vzroki nastanka nesreče .....	19
2.34	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	19
2.35	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti.....	19
2.36	Potek in možni obseg nesreče .....	19
2.37	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	19
2.38	Verjetne posledice nesreče .....	19
2.39	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	19
2.40	Možnost predvidevanja nesreče .....	20
2.41	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	20
<b>Prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi.....</b>		<b>20</b>
2.42	Viri nevarnosti .....	20
2.43	Možni vzroki nastanka nesreče .....	20
2.44	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	20
2.45	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti.....	21
2.46	Potek in možni obseg nesreče .....	21
2.46.1	Prevoz svežega goriva.....	21
2.46.2	Prevoz izrabljenega goriva.....	21
2.46.3	Prevoz radioaktivnih snovi za potrebe medicine, industrije, raziskav in drugih dejavnosti	22
2.46.4	Tranzit radioaktivnih snovi .....	22
2.47	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	23
2.48	Verjetne posledice nesreče .....	23
2.49	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	23
2.50	Možnost predvidevanja nesreče .....	23
2.51	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	23
<b>Padec satelita z radioaktivnimi snovmi.....</b>		<b>24</b>
2.52	Viri nevarnosti .....	24
2.53	Možni vzroki nastanka nesreče .....	24
2.54	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	24
2.55	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti.....	24
2.56	Potek in možni obseg nesreče .....	24
2.57	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	25
2.58	Verjetne posledice nesreče .....	25
2.59	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	25
2.60	Možnost predvidevanja nesreče .....	25
2.61	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	25
<b>PLOVILA NA JEDRSKI POGON.....</b>		<b>25</b>
2.62	Viri nevarnosti .....	25
2.63	Možni vzroki nastanka nesreče .....	25
2.64	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	25
2.65	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti.....	26
2.66	Potek in možni obseg nesreče .....	26
2.67	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	27
2.68	Verjetne posledice nesreče .....	27
2.69	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	27
2.70	Možnost predvidevanja nesreče .....	27
2.71	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	27
<b>JEDRSKA NESREČA V TUJINI.....</b>		<b>28</b>
2.72	Viri nevarnosti .....	28
2.73	Možni vzroki nastanka nesreče .....	28

2.74	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	28
2.75	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	28
2.76	Potek in možni obseg nesreče .....	28
2.77	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	28
2.78	Verjetne posledice nesreče .....	28
2.79	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	29
2.80	Možnost predvidevanja nesreče .....	29
2.81	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	29
<b>POŠKODBA ODLAGALIŠČ JALOVINE NA NEKDANJEM RŽV.....</b>		<b>30</b>
2.82	Viri nevarnosti .....	30
2.83	Možni vzroki nastanka nesreče .....	32
2.84	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	32
2.85	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	32
2.86	Potek in možni obseg nesreče .....	32
2.87	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	32
2.88	Verjetne posledice nesreče .....	33
2.89	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	33
2.90	Možnost predvidevanja nesreče .....	33
2.91	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	33
<b>RAZLAGA POJMOV IN KRATIC .....</b>		<b>35</b>
2.92	Pomen pojmov .....	35
2.93	Seznam kratic .....	38
<b>Priloge .....</b>		<b>39</b>
Priloga 1: Seznam jedrskih elektrarn v oddaljenosti do 1000 km.....		39
Priloga 2: Nevarni viri sevanja v Sloveniji .....		41
<b>Reference .....</b>		<b>42</b>
<b>3.KRITERIJ ZA RAZVRSTITEV OBČIN IN REGIJE V RAZREDE OGROŽENOSTI OB JEDRSKI NESREČI V NEK .....</b>		<b>45</b>
3.1 Razvrščanje Vzhodno štajerske regije in občin VŠR v razrede ogroženosti .....		46
<b>4.OGROŽENOST OBČIN ZARADI DRUGIH JEDRSKIH IN RADIOLOŠKIH NESREČ.....</b>		<b>48</b>
4.1 Notranja kategorizacija (geografska porazdelitev) tveganja za nesrečo pri uporabi virov.....		49
4.2 Notranja kategorizacija (geografska porazdelitev) tveganja za prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi.....		50

## 1. UVOD

Regijska ocena ogroženosti ob jedrski in radiološki nesreči v Vzhodno štajerski regiji (Verzija 2.2), ki jo je sprejela URSZR, Izpostava Maribor je narejena na osnovi Ocene ogroženosti ob jedrski in radiološki nesreči v RS, Verzija 2.2 (številka 8420-1/2017-3-DGZR, z dne 17.1.2019).

Ocena je sestavljena iz štirih delov. Prvi del je uvod, drugi del je ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi-izdaja 7, Uprave RS za jedrsko varnost (URSV) Ministrstva za okolje in prostor (MOP), septembra 2018, tretji del so Kriteriji za razvrstitev občin VŠR v razrede ogroženosti za jedrsko nesreči v NEK, ki jih je izdelala URSZR in četrti del je ogroženost občin zaradi drugih jedrskih in radioloških nesreč, ki vključujejo notranjo kategorizacijo (geografsko porazdelitev tveganja ta nesreče (povzeto po oceni tveganja za jedrske in radiološke nesreče v Sloveniji, izdaja 2 avgust 2015, ki jo je izdala URSJV.).

Izdelana je na podlagi z Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Uradni list RS, št. 51/06-UPB1, 95/07-ZSPJS-H, 97/10,21/18) Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Ur. l. RS št.102/04-UPB2, 70/08,60/11,74/15,76/17), Navadila o izdelavi ocene ogroženosti (Ur. l., št 39/95), Uredbe o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja (Ur l. RS, št. 24/12 in 78/16,26/19) ter drugimi izvedbenimi predpisi s področja jedrske in sevalne varnosti.

## **2. OCENA OGROŽENOSTI OB IZREDNEM DOGODKU V JEDRSKIH OBJEKTIV IN ZARADI RAIIOAKTIVNIH SNOVI, IZDAJA 7**



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR  
UPRAVA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA JEDRSKO VARNOST

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

Izdaja 7



Ljubljana, September 2018

<b>Avtorji:</b>	I. Grlicarev	Datum:
	J. Češarek	Datum:
	I. Sirc	Datum:
	M. Tomažič	Datum:
	V. Logar Zorn	Datum:
<b>Pregledali:</b>	D. Vojnovič	Datum:
	I. Osojnik	Datum:
<b>Odobril:</b>	A. Stritar	Datum:

Uprava RS za jedrsko varnost  
 September, 2018

Št.: URSJV/DP – 210/2018

Naslov: URSJV, Litostrojska cesta 54, 1000 Ljubljana

Telefon: +386-1/472 11 00

Faks: +386-1/472 11 99

E-pošta: [snsa@gov.si](mailto:snsa@gov.si)

Spletna stran: <http://www.gov.si/ursjv>

*Naslovnica: Černobilski sarkofag, Največja človeška konstrukcija, MMC RTV SLO, STA.*



# VSEBINA

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Kategorizacija Virov Nevarnosti</b>	<b>2</b>
<b>3. Jedrski Objekti</b>	<b>3</b>
3.1 Viri nevarnosti	3
3.2 Možni vzroki nastanka nesreče	3
3.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	5
3.3.1 Metode za oceno verjetnosti pojavljanja nesreče in oceno njihovih posledic oz. ocena tveganja zaradi delovanja jedrske elektrarne	5
3.3.2 Osnovne značilnosti metode	5
3.3.3 Tipični redi velikosti rezultatov	6
3.3.4 Uporaba VVA pri načrtovanju ukrepov	6
3.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	6
3.5 Potek in možni obseg nesreče	8
3.5.1 NEK	8
3.5.2 Reaktor TRIGA	9
3.5.3 Skladišče CSRAO na Brinju	9
3.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina	9
3.7 Verjetne posledice nesreče	10
3.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	10
3.9 Kombinacija jedrske in druge nesreče	10
3.10 Možnost predvidevanja nesreče	10
3.11 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	10
3.11.1 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka v NEK	10
3.11.2 Območja načrtovanja za jedrsko nesrečo v NEK in zaščitni ukrepi	11
<b>4. uporaba radioaktivnih snovi</b>	<b>12</b>
4.1 Viri nevarnosti	12
4.2 Možni vzroki nastanka nesreče	12
4.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	12
4.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	13
4.5 Potek in možni obseg nesreče	14
4.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina	14
4.7 Verjetne posledice nesreče	14
4.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	14
4.9 Možnost predvidevanja nesreče	14
4.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	15
<b>5. KRIMINALNO DEJANJE</b>	<b>15</b>
5.1 Viri nevarnosti	15
5.2 Možni vzroki nastanka nesreče	15
5.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	15
5.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti	16
5.5 Potek in možni obseg nesreče	16
5.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina	17
5.7 Verjetne posledice nesreče	17
5.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče	17
5.9 Možnost predvidevanja nesreče	17
5.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov	18
<b>6. NENADZOROVANI VIRI SEVANJA</b>	<b>18</b>
6.1 Viri nevarnosti	18
6.2 Možni vzroki nastanka nesreče	19
6.3 Verjetnost pojavljanja nesreče	19

6.4	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	19
6.5	Potek in možni obseg nesreče .....	19
6.6	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	19
6.7	Verjetne posledice nesreče .....	19
6.8	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	19
6.9	Možnost predvidevanja nesreče .....	20
6.10	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	20
<b>7.</b>	<b>Prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi.....</b>	<b>20</b>
7.1	Viri nevarnosti .....	20
7.2	Možni vzroki nastanka nesreče .....	20
7.3	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	20
7.4	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	21
7.5	Potek in možni obseg nesreče .....	21
7.5.1	Prevoz svežega goriva	21
7.5.2	Prevoz izrabljenega goriva	21
7.5.3	Prevoz radioaktivnih snovi za potrebe medicine, industrije, raziskav in drugih dejavnosti	22
7.5.4	Tranzit radioaktivnih snovi	22
7.6	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	23
7.7	Verjetne posledice nesreče .....	23
7.8	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	23
7.9	Možnost predvidevanja nesreče .....	23
7.10	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	23
<b>8.</b>	<b>Padec satelita z radioaktivnimi snovmi .....</b>	<b>24</b>
8.1	Viri nevarnosti .....	24
8.2	Možni vzroki nastanka nesreče .....	24
8.3	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	24
8.4	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	24
8.5	Potek in možni obseg nesreče .....	24
8.6	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	25
8.7	Verjetne posledice nesreče .....	25
8.8	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	25
8.9	Možnost predvidevanja nesreče .....	25
8.10	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	25
<b>9.</b>	<b>PLOVILA NA JEDRSKI POGON .....</b>	<b>25</b>
9.1	Viri nevarnosti .....	25
9.2	Možni vzroki nastanka nesreče .....	25
9.3	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	25
9.4	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	26
9.5	Potek in možni obseg nesreče .....	26
9.6	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	27
9.7	Verjetne posledice nesreče .....	27
9.8	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	27
9.9	Možnost predvidevanja nesreče .....	27
9.10	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	27
<b>10.</b>	<b>JEDRSKA NESREČA V TUJINI.....</b>	<b>28</b>
10.1	Viri nevarnosti .....	28
10.2	Možni vzroki nastanka nesreče .....	28
10.3	Verjetnost pojavljanja nesreče .....	28
10.4	Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	28
10.5	Potek in možni obseg nesreče .....	28
10.6	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	28
10.7	Verjetne posledice nesreče .....	28
10.8	Verjetnost nastanka verižne nesreče.....	29
10.9	Možnost predvidevanja nesreče .....	29
10.10	Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	29

<b>11. POŠKODBA ODLAGALIŠČ JALOVINE NA NEKDANJEM RŽV .....</b>	<b>30</b>
11.1 Viri nevarnosti .....	30
11.2 Možni vzroki nastanka nesreče .....	32
11.3 Verjetnost pojavljanja nesreče .....	32
11.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti .....	32
11.5 Potek in možni obseg nesreče .....	32
11.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina .....	32
11.7 Verjetne posledice nesreče .....	33
11.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče .....	33
11.9 Možnost predvidevanja nesreče .....	33
11.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov .....	33
<b>RAZLAGA POJMOV IN KRATIC .....</b>	<b>35</b>
11.11 Pomen pojmov .....	35
11.12 Seznam kratic .....	38
<b>12. Priloge .....</b>	<b>39</b>
Priloga 1: Seznam jedrskih elektrarn v oddaljenosti do 1000 km .....	39
Priloga 2: Nevarni viri sevanja v Sloveniji .....	41
<b>13. Reference .....</b>	<b>42</b>

## 1. Uvod

Ionizirajoče sevanje je sevanje z dovolj energije, da ionizira snov (povzroči par ion-elektron). 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. Izpostavitvev sevanju in škoda, ki jo človek ob tem utrpi, narašča s časom zadrževanja v območju sevanja (dalj časa več škode - sorazmerno) in z razdaljo do vira sevanja (bližje več škode - s kvadratom razdalje).

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 ( $\alpha$ ) in beta ( $\beta$ ), ker lahko povzroči velike poškodbe organov in drugih tkiv. Izpostavitvev sevanju in škoda, ki jo človek ob tem utrpi, 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 prejeto 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 z večanjem doze narašča, pokaže pa se po daljšem časovnem obdobju. To je stohastični učinek oziroma 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 Državni načrt zaščite in reševanja ob jedrski nesreči [1]. Nuklearna elektrarna Krško 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 ARAO ima Načrt ukrepov v primeru izrednih sevalnih dogodkov NUID Agencije ARAO, ki se nanaša predvsem na Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov Brinje ter tudi ostale aktivnosti agencije. 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 [24] (ki ogroženosti dodaja verjetnost) in povzema oceno ogroženosti za NEK [9] in obravnava nevarnosti tudi iz drugih 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 - UPB1, 95/07 - ZSPJS in 97/10) 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 (ZVISJV-1, Ur. l. RS, št. 76/17). 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. Upravljavec 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) v 7.2 poglavju 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) 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.

## Kategorizacija Virov Nevarnosti

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 bodisi načrt zaščite in reševanja organizacije po zakonu, ki ureja varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami, bodisi 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 dokumentom GSR Part 7 [3] in EPR-Method [4] razvrstimo na pet kategorij glede na grožnjo in možne posledice nesreče:

kategorija I: Reaktorji z močjo večjo od 100 MW<sub>th</sub>; bazeni z izrabljenim gorivom od reaktorjev z močjo 3000 MW<sub>th</sub>; objekti z inventarjem radioaktivnih snovi, ki se lahko razpršijo, kjer je skupna aktivnost inventarja takšna, da razmerje določeno v [4 – Appendix 8], presega 10.000,

kategorija II: Reaktorji z močjo večjo od 2 MW<sub>th</sub> in manj kot 100 MW<sub>th</sub>; bazeni z izrabljenim gorivom iz reaktorjev z močjo od 10 MW<sub>th</sub> do 3.000 MW<sub>th</sub>; objekti z inventarjem radioaktivnih snovi, ki se lahko razpršijo, kjer je skupna aktivnost inventarja takšna, da razmerje določeno v [4 – Appendix 8], presega 10,



- kategorija III: Reaktorji z močjo manjšo od 2 MW<sub>th</sub>; potencialna nevarnost za hitrost doze 100 mSv/h na razdalji 1m pri nezaščitenem viru; objekti z inventarjem radioaktivnih snovi, ki se lahko razpršijo, kjer je skupna aktivnost inventarja takšna, da razmerje določeno v [4 – Appendix 8], presega 0,01,
- 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 (Emergency Preparedness Categories – EPC) in se uporabljajo za načrtovanje in vzdrževanje pripravljenosti. Ne smemo jih zamenjevati s kategorijami iz dokumenta MAAE [14], ki razvrsti zaprte vire sevanja v pet kategorij glede na možne deterministične učinke sevanja. Svet EU je l. 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).

## Jedrski Objekti

### 2.1 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 kategorizacijo v [4] 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. Poleg tega v manjšem obsegu tudi 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.

### 2.2 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, ki sprošča toploto, potrebno 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 toplote je bistveno manj kot med obratovanjem, vendar jo je tudi potrebno odvajati. Sredico reaktorja je tako potrebno hladiti med obratovanjem in tudi dalj 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 radioaktivnih izpustov v okolje in jedrske nesreče.

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 - sekvence dogodkov, ki lahko vodijo do nesreče s taljenjem sredice razdeljeni na več skupin, ki se začnejo s karakterističnim začetnim dogodkom. Takšni začetni dogodki, ki so analizirani v "Verjetnostni varnostni analizi za NEK" [8], 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 napajanja,
- izguba vsega izmeničnega napajanja,
- prehodni pojav brez ustavitve reaktorja,
- izguba bistvene napajalne vode,
- izguba sistema za hlajenje komponent,
- izguba enosmernega napajanja in
- izguba instrumentacijskega zraka.

Samo ena okvara ne vodi do nesreče, ker so bistveni sistemi podvojeni oziroma je potrebno več okvar in napak, da bi prišlo do zaporedja dogodkov, ki vodijo 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, ki lahko tudi 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 situacije med potekom nesreče. Med začetne dogodke, ki lahko vodijo do poškodbe sredice, pa lahko vključimo tudi diverzijo ali sabotazo.

Jedrski objekti in jedrske snovi so v smislu potencialne kraje, sabotaze ali druge oblike ogrožanja kategorizirani v tri kategorije [37], pri čemer ukrepi fizičnega varovanja sledijo »stopenjskemu pristopu«.

Verjetnost pojavljanja dogodka je v smislu ogrožanja fizičnega varovanja precej neoprijemljiv parameter; varnostne in ostale službe morajo zasledovati politiko, da se dogodek lahko dogodi kadar koli, čeprav je zelo malo verjeten. Pri tem gre bolj kot za kvantitativni pristop za zasledovanje



primerljivih dogodkov po svetu v smislu kvalitativnega ovrednotenja, ranljivosti sistemov in zaključkov (»lessons-learned«). Od dogodkov, ki so znani oziroma so odmevali v stroki v zadnjih desetletjih in vsebujejo kriminalno komponento (kriminalno dejanje je ovrednoteno še v 5. poglavju), velja omeniti med drugim naslednje primere:

- 1982: južnoafriška jedrska elektrarna Koeberg (postavitev eksploziva)<sup>1</sup>,
- 2007: kraja/odtujitev in najdba tabletk z uranom (Juzbado, Španija),<sup>2</sup>
- 2007: vdor v južnoafriški jedrski kompleks v Pelindabi (kjer se nahaja visoko obogaten uran),<sup>3</sup>
- 2012: najdba eksploziva v vozilu pred švedsko jedrsko elektrarno Ringhals.<sup>4</sup>

## 2.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

### 2.3.1 Metode za oceno verjetnosti pojavljanja nesreče in oceno njihovih posledic oz. ocena tveganja zaradi delovanja jedrske elektrarne

Verjetnost nastanka in poteka nesreče v jedrski elektrarni ocenjujemo z metodologijo verjetnostnih varnostnih analiz (VVA). VVA je postopek za pridobitev numerične ocene tveganja, ki so mu izpostavljeni okolica in prebivalstvo zaradi obratovanja različnih tehnoloških objektov, oziroma prisotnosti različnih dejavnosti in procesov. VVA temelji na identifikaciji možnih začetnih dogodkov ter na določanju zaporedij dogodkov, ki jih vsak začetni dogodek lahko sproži, skupaj s posledicami. VVA so sestavljene iz treh nivojev:

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

**Nivo 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.**

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

### 2.3.2 Osnovne značilnosti metode

#### Glavni rezultati

Glavni rezultat VVA je verjetnost za poškodbo sredice ter verjetnost, količina in časovni potek radioaktivnih izpustov zaradi odpovedi 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

<sup>1</sup> <https://mg.co.za/article/1995-12-15-how-we-blew-up-koeberg-and-escaped-on-a-bicycle>

<sup>2</sup> [http://elpais.com/diario/2007/10/01/sociedad/1191189602\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2007/10/01/sociedad/1191189602_850215.html)

<sup>3</sup> <http://www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/uploads/nuclearterrorismthreat.pdf>

<sup>4</sup> <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=2054&artikel=5161584>





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 upoštevane nekatere omejitve. Obravnavajo se le potencialni radioaktivni izpusti iz sredice.

### **2.3.3 Tipični redi velikosti rezultatov**

Pričakovana verjetnost poškodbe sredice za NEK je  $4,26 \cdot 10^{-5}$  [15], kar je primerljivo z elektrarnami podobnega tipa in starosti drugje. Ta vrednost vključuje notranje začetne dogodke, dogodke zaradi požarov, poplav, potresov in ostale zunanje dogodke, kamor spadajo padci letal, zunanje poplave, vremenske ujme ipd. Zadrževalni hram zmanjša verjetnost izpustov radioaktivnih snovi v okolje v primeru jedrske nesreče za 10 do 50-krat. Prav tako se podaljša čas, po katerem pride do potencialnega izpusta. To omogoča učinkovitejše ukrepanje po nesreči.

Negotovost rezultatov in razlike pri verjetnostih za poškodbo rezultatov so odvisne od metodologije VVA, zato skoraj nikoli direktno ne primerjamo končnih rezultatov za verjetnost taljenja sredice med posameznimi reaktorji, ne da bi pred tem upoštevali vrsto metodologije. Pri primerjavi rezultatov za verjetnost taljenja sredice za različne reaktorje je potrebno upoštevati le velikostne rede, ne pa podrobnih rezultatov. Glavni namen VVA je odkriti šibke točke tako, da se s čim manjšimi posegi doseže čim večji učinek - čim večje zmanjšanje verjetnosti taljenja sredice.

### **2.3.4 Uporaba VVA pri načrtovanju ukrepov**

#### **Začetni dogodek in sekvence razvoja nesreče**

Pri načrtovanju ukrepov nam VVA omogoča, da glede na začetni dogodek predvidimo možno zaporedje poteka nesreče.

#### **Prevladujoče najkrajše poti odpovedi in prevladujoča zaporedja razvoja nesreče**

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

#### **Izpusti za posamezne skupine nezgodnih stanj elektrarne**

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

## **2.4 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 širše okolje. Stopnja ogroženosti 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 oz. suhi used) ali pa z izpiranjem s padavinami (mokra depozicija oz. mokri used).

Škodljivo ionizirajoče sevanje zaradi radioaktivnega onesnaženja ob jedrski nesreči prihaja do človeka po naslednjih prenosnih poteh:

- 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.

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

### Deterministični učinki

- Velike doze, prejete v kratkem časovnem obdobju, kratkoročno in dolgoročno ogrožajo zdravje izpostavljenih posameznikov. Če so doze dovolj velike, poškodujejo izpostavljene organe, kar povzroči sevalno bolezen ali smrt v nekaj dneh ali mesecih. Sevalna bolezen obsega bruhanje, diarejo, izgubo las, slabost v želodcu, črevesne težave, visoko temperaturo, izgubo teka in splošno slabost. Smrt lahko povzročijo poškodbe pljuč, tankega črevesa in kostnega mozga. Če ne gre za smrtni primer, traja okrevanje zaradi sevalne bolezni od nekaj tednov do enega leta. Po ozdravljeni sevalni bolezni so posamezniki še vedno lahko prizadeti zaradi zakasnelih učinkov sevanja.
- Majhne doze v glavnem ne poškodujejo organov v takšni meri, da bi 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 je določeni zdravstveni učinek dosežen pri 50 % prebivalstva, označimo z D50, pri efektivnih dozah od 0,5 do 1 Sv se pričnejo pojavljati poškodbe organov. Pri efektivnih dozah nad 2,5 Sv pa prvi smrtni primeri. LD50 (lethal dose - smrtna doza) je oznaka za dozo, pri kateri 50 % ljudi, ki je prejelo takšno dozo, umre v 60 dneh. LD50 znaša od 3 Sv do 4,5 Sv, odvisno od medicinske oskrbe.
- Če je efektivna doza okoli 1 Sv podeljena v zelo kratkem času, imamo tudi že pri povprečnem prebivalstvu primere s smrtnim izidom, ki se pojavijo po približno 2 mesecih. Za zdravega odraslega človeka in daljša obdobja obsevanja pa so vrednosti za LD50 premaknjene k 2,5 Sv.

### Stohastični učinki

- Izpostavljenost majhnim dozam, ki jih oseba prejme v daljšem časovnem obdobju, lahko povzroči raka, ki se pojavi po daljšem času in ga ni možno opaziti takoj po obsevanju. Tveganje za raka naj bi bilo sorazmerno z dozo, ne glede na to, kako majhna je ta doza. Nekateri viri [12 - str. 5, 1-3] navajajo podatek, da kolektivna efektivna doza 20 čl-Sv (človek Sievert) 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 (rak ščitnice, 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.

Stopnja ogroženosti se s časom spreminja. Prebivalstvo v bližini kraja nesreče bo v prvih urah po izpustu najprej izpostavljeno zunanemu 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 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) 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 v obliki t. i. "mokrega useda".

## **2.5 Potek in možni obseg nesreče**

### **2.5.1 NEK**

Za jedrsko elektrarno Krško so možni poteki nesreč razdelani v verjetnostni varnostni analizi NEK [8] iz leta 1994. Te analize so bile podrobneje obdelane v oceni ogroženosti NEK [9] iz leta 2015, kjer so opisani tudi vsi možni notranji in zunanji vzroki za nesreče. Ta ocena pa ne vključuje dogodkov ogrožanja fizičnega varovanja. Ti dogodki so analizirani v Načrtu fizičnega varovanja [33]. Med zunanjimi vzroki so analizirani padci letal, potresi, poplave, požari, suša, žled, veter in neurja ter industrijske nesreče v okolici elektrarne.

Različni poteki projektnih nesreč ter scenariji z verjetnostjo za taljenje sredice za NEK so povzeti in opisani v končnem varnostnem poročilu za NEK [10].

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 hrana, se lahko v okolje sprosti znatna količina radioaktivnih snovi in zaščitni ukrepi za prebivalstvo so potrebni.

Ob težki nesreči v jedrski elektrarni (in odpovedi zadrževalnega hrana) 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 I-131 (npr. mleko, listnata zelenjava, pitna voda) ter zaradi zunanjega sevanja iz kontaminiranih tal. Podobno je dolgoročno (meseci in leta po nesreči), ko so pomembni dolgoživi radionuklidi, kot npr. cezij (Cs -137, Cs-134) in stroncij (Sr-90).

Kakšen bo izpust radioaktivnih snovi, je odvisno od mnogih faktorjev: obsega poškodbe sredice, hitrosti puščanja zadrževalnega hrana, ali gre za suh ali za moker izpust itd. Na koncentracijo in pot radioaktivnih snovi v zraku vpliva tudi vreme. Pri resni poškodbi sredice se sprostijo vsi žlahtni plini (Kr, Xe) in dobršen 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). Širjenje 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 (PCFVS - Passive Containment Filtered Vent System), 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 se je leta 2017 izgradila 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 se bodo razporedili približno enakomerno po površini dna in koncentracija radioizotopov v sedimentih bo znašala do 2,3 MBq/m<sup>3</sup>. Predpostavljeno je zadrževanje kontaminiranih sedimentov na dnu bazena 10 let. V tem času ne bodo dosežene vrednosti, ki bi zahtevale uvedbo posebnih varnostnih ukrepov pri ravnanju s sedimenti. Zaradi tesnjenja bazena HE Brežice radioaktivnost ne bo prešla v podzemno vodo in v črpališča pitne vode.

## 2.5.2 Reaktor TRIGA

Končna varnostna ocena za raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici [11] ne predvideva, da bi lahko prišlo do nesreče z radioaktivnim izpustom v okolico, ki bi imel posledice za prebivalstvo. Reaktor je konstruiran tako, da pri nenadnem povečanju moči sam ugasne (verižna reakcija se prekine zaradi negativnega Dopplerjevega koeficienta goriva) še preden se proizvede dovolj toplote, da bi prišlo do taljenja 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 ograde 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 mikroSv na oddaljenosti 100 m od reaktorja TRIGA.

## 2.5.3 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. Nadaljnja možnost izrednega dogodka v skladišču je lahko tudi teroristično dejanje z namenom, da se bodisi izzove požar na lokaciji ali pa da se odtuji radioaktivne odpadke in posledično namerno povzroči radioaktivno kontaminacijo.

## 2.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Analizi [19] in [20] 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 je to območje 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 usmerjeni v določeno smer, tako da je potrebno načrtovati izvajanje zaščitnih ukrepov v vseh smereh istočasno.



Tudi pri staljeni sredici še ne bi bili potrebni takojšnji zaščitni ukrepi v okolju, če zadrževalni hram zdrži (ohrani svojo projektirano tesnost) in ni močnih vetrov. Toda ker se odpovedi zadrževalnega hrama ne da napovedati, je potrebno izvajati preventivne zaščitne ukrepe, npr. evakuacijo bližnjega območja ob razglasitvi splošne nevarnosti.

## **2.7 Verjetne posledice nesreče**

Pri posledicah jedrske nesreče je poleg zdravstvenih posledic (glej poglavje 2.4) 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 na industrijsko proizvodnjo, trgovanje, turizem, pridelovanje hrane, šolstvo in šport.

## **2.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

Ni predvideno, da bi jedrska nesreča sprožila druge nesreče. Morebiti bi lahko spontana evakuacija povzročila porast prometnih nesreč, vendar takšen scenarij ni bil analiziran. Druge nesreče, ki bi lahko morebiti vodile do jedrske nesreče, so zunanji vzroki, ki bi lahko povzročili taljenje sredice. Ta verjetnost je bila ocenjena v okviru verjetnostne varnostne analize za zunanje dogodke in znaša okoli  $4 \times 10^{-6}$  na leto za vse zunanje dogodke (požar, poplava, vihar itd.) razen za potres, ki sam prispeva okoli  $1 \times 10^{-5}$  na leto k verjetnosti za taljenje sredice.

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 (izvorni člen) in morebitni vpliv na njih.

## **2.9 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 post-Fukušimskih ukrepov je NEK izvedla več ukrepov in nabavila večji nabor mobilne opreme, potrebne za obratovanje nujnih varnostnih sistemov elektrarne. V analizi ob izvedbi stresnih testov po nesreči v Fukušimi [43] 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 kakšen kos dodatne mobilne opreme (generatorji, črpalke, kompresorji ipd.).

## **2.10 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 (izvorni člen) in morebitni vpliv na njih.

## **2.11 Načrtovanje zaščitnih ukrepov**

### **2.11.1 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka v NEK**



Za zagotavljanje pravočasnega in ustreznega ukrepanja zaščite in reševanja se izredne dogodke v NEK razvršča v 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 imele 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 in
- **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, ki se potem postopoma slabša in razvije v težko jedrsko nesrečo. 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.

### 2.11.2 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 krajevnih skupnosti
- **Območje takojšnjih ukrepov (OTU)** - območje s polmerom 10 km okrog NEK po mejah krajevnih skupnosti
- **Razširjeno območje ukrepanja (ROU)** - območje s polmerom 25 km okrog NEK po mejah krajevnih skupnosti; območje je zaradi lažjega izvajanja ukrepov razdeljeno na 16 sektorjev po 22,5°
- **Območje splošne pripravljenosti (OSP)** - območje celotne Slovenije

Ob razglasitvi splošne nevarnosti (stopnja 3) se takoj prične izvajati preventivna evakuacija in jodna profilaksa območja OPU. Gre za avtomatično evakuacijo (ang. *reflex evacuation*) z odločanjem na lokalni oz. regijski ravni, tako da je izguba časa čim manjša.

Ob razglasitvi splošne nevarnosti (stopnja 3) se v OTU najprej odredi zaklanjanje in jodno profilakso. Ko je območje OPU evakuirano, se evakuirata tudi celotni OTU, na podlagi strokovne ocene. Odrejanje



ukrepov v OTU je v pristojnosti Poveljnika CZ RS, ker je časovna komponenta manj pomembna, in ker OTU obsega več občin. Preventivno evakuacijo se izvaja v dveh korakih zaradi bolj učinkovite evakuacije OPU.

Ob razglasitvi splošne nevarnosti (stopnja 3) v območju ROU se preventivno odredi zaklanjanje in jodno profilakso 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 evakuacija ni možna. Zaužitje stabilnega joda (jodna profilaksa) pa je vzporedni ukrep k preostalima dvema, ki se ga nikoli ne izvaja samostojno.

Za odločanje o zaščitnih ukrepih v območjih OPU in OTU se uporablja stanje objekta oz. stopnja nevarnosti. V območju ROU se zaščitne ukrepe določa na podlagi izračunov in/ali izvedenih meritev. 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.).

## **uporaba radioaktivnih snovi**

### **2.12 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.

### **2.13 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) in
- **namerno povzročitev** nesreče zaradi osebnih motivov ali organiziranega subverzivnega delovanja.
- 

### **2.14 Verjetnost pojavljanja nesreče**

Dosedanji primeri izrednih dogodkov pri uporabi radioaktivnih virov:



- dogodek z razsuto vsebino igle z 10 mg  $^{226}\text{Ra}$  ki je povzročila kontaminacijo prostorov na Onkološkem inštitutu v letu 1961,
- stalitev  $^{137}\text{Cs}$  v železarni Štore leta 1983,
- iskanje in najdba pogrešanega  $^{137}\text{Cs}$  na območju podjetja Metalne v Mariboru leta 1995,
- poškodovanje merilne sonde podjetja Igmtat d. d. za merjenje vlažnosti in debeline cestišča leta 1998,
- stalitev  $^{60}\text{Co}$  v železarni Acroni d. d. na Jesenicah leta 2001,
- odkritje kontaminacije kot posledice nestrokovnega ravnanja z ionizacijskimi javljalniki požara v podjetjih Iskra Prins d.d. in Zarja Elektronika d. o. o. leta 2004 oziroma 2011,
- izguba dveh strelvodov s  $^{60}\text{Co}$  v Gorišnici leta 2005,
- obsevanost dveh delavcev Q Techna d.o.o pri izvajanju industrijske radiografije leta 2013
- idr.

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,  $^3\text{H}$  in  $^{226}\text{Ra}$  v Slovenski vojski ipd.).

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). Poudariti velja, da so učinkovite doze med takimi dogodki zelo različne, odvisne od vsakega posamičnega primera.

Pojasnilo:

Verjetnost	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 (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.

V zadnjem desetletju in pol 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, strelvodi 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 uskladiščijo v CSRAO.

## 2.15 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,
- Kontaminacijo delovnega okolja z radionuklidi, kot npr. dolgoživim  $^{241}\text{Am}$  ali s srednje dolgoživima  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  ter kratkoživim  $^{131}\text{I}$  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.

## **2.16 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.

## **2.17 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. V primeru namernega obsevanja in/ali kontaminacije zaradi teroristične akcije bi lahko bila prizadeta večja območja in večje število prebivalstva. 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.

## **2.18 Verjetne posledice nesreče**

Za zdravstvene posledice glej poglavje 2.7.

## **2.19 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

Ni možno.

## **2.20 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.



## 2.21 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. Potrebno je fizično zavarovati ustrezno veliko območje okrog vira sevanja oz. 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.

## KRIMINALNO DEJANJE

### 2.22 Viri nevarnosti

Kazenski zakonik opredeljuje kot terorizem tudi uporabo ali grožnjo 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 [30] 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.

### 2.23 Možni vzroki nastanka nesreče

Gre za storitev kaznivega dejanja z naklepom ali iz malomarnosti.

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 storilcih (zaposlenih, "insajderjih") gre pogosto za maščevanje nezadovoljnih posameznikov, nenaklonjenost organizaciji, ki je vpeta v določeno okolje, ali vpliv poslabšanja gospodarske situacije.

### 2.24 Verjetnost pojavljanja nesreče

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

- 1972: oče namensko obseval sina v Teksasu s  $^{137}\text{Cs}$ <sup>5</sup>,
- 1995: najdba kontejnerja s  $^{137}\text{Cs}$ , ki naj bi ga v moskovski park zakopali Čečeni<sup>6</sup>,
- 1998: študent kitajskega rodu, ki je v ZDA poskušal z ukradenim  $^{125}\text{I}$  zastrupiti dve osebi<sup>7</sup>,
- 2005: načrti britanskega državljana, da iz ionizacijskih javljalnikov požara z  $^{241}\text{Am}$  izdelava "umazano bombo"<sup>8</sup>,
- 2013: kraja  $^{60}\text{Co}$  (kategorije 1) v Mehiki med prevozom v skladišče<sup>9</sup> in
- 2016: pošiljanje pisem s sledovi  $^{241}\text{Am}$  na različne naslove na Slovaškem.<sup>10</sup>

<sup>5</sup> <http://www.people.com/people/archive/article/0,,20090374,00.html>

<sup>6</sup> <http://www.nti.org/analysis/articles/chechen-resistance-radiological-terror/>

<sup>7</sup> <http://tech.mit.edu/V118/N59/brown.59n.html>

<sup>8</sup> <http://www.exportlawblog.com/archives/category/nrc>

<sup>9</sup> [https://www.armscontrol.org/act/2014\\_01-02/Cobalt-60-Stolen-Recovered-in-Mexico](https://www.armscontrol.org/act/2014_01-02/Cobalt-60-Stolen-Recovered-in-Mexico)



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 - kriminalna 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".

## **2.25 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 bombo.<sup>11</sup>

## **2.26 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"<sup>12</sup>, bi bili koraki oziroma potek dejanja lahko naslednji: ustanovitev skupine s trdnim ciljem, sprejeta odločitev o nasilju z uporabo jedrskih oz. radioaktivnih snovi, kraja jedrskih oz. 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 kriminalnih dejanjih privzeti možnost, da so storilci lahko med opazovalci v javnosti.

Razstrelitev radioaktivne "umazane bombe" s <sup>137</sup>Cs oziroma s <sup>90</sup>Sr, <sup>241</sup>Am, <sup>226</sup>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 kriminalnega dejanja, kot je bil primer zastrupitve s <sup>210</sup>Po pred leti v Londonu. 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.

---

<sup>10</sup> <https://spectator.sme.sk/c/20395478/police-investigate-series-of-radioactive-letters-as-terrorism.html>

<sup>11</sup> 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) [38] 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«.

<sup>12</sup> (Figure 1.1) [http://www.nti.org/media/pdfs/Securing\\_The\\_Bomb\\_2010.pdf?\\_=1317159794](http://www.nti.org/media/pdfs/Securing_The_Bomb_2010.pdf?_=1317159794)



## **2.27 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. 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.

## **2.28 Verjetne posledice nesreče**

Za zdravstvene posledice glej poglavje 2.7.

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 ...). 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 kriminalnih dejanjih bi bile lahko posledice zelo različne ali bi za njih izvedeli celo po daljšem časovnem obdobju. V tem sklopu velja omeniti namensko obsevanje (RED – *radiation exposure device*), 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 zastropitve s  $^{210}\text{Po}$ , 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.

Kriminalna 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.

## **2.29 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

Ni za pričakovati, da bi kriminalno 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.

## **2.30 Možnost predvidevanja nesreče**

Predvidevanje kriminalnega 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, sabotaze 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").



## 2.31 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Glej tudi poglavje 2.21.

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 kriminalnega ali terorističnega dejanja.

## NENADZOROVANI VIRI SEVANJA

### 2.32 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 preprosto "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.

Nekateri pretekli izredni dogodki z nenadzorovanimi viri:

- Poškodovan zapuščen visoko radioaktivni vir  $^{137}\text{Cs}$  v brazilski Goiãanii leta 1987,
- Stalitev visoko radioaktivnega  $^{137}\text{Cs}$  v španski železarni v Algecirasu leta 1998,
- Najdba visoko radioaktivnega  $^{192}\text{Ir}$  v Egiptu leta 2000,
- Najdba RTG naprav s  $^{90}\text{Sr}$  v Gruziji leta 2001,
- $^{60}\text{Co}$  v odpadnih kovinah v Indiji 2010 ter drugi podobni dogodki.

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 ( $^{137}\text{Cs}$ ). 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  $^{60}\text{Co}$ , ki so bili odkriti v številnih državah po svetu.

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 odpadne kovine, predvsem železo. Tovrstne lokacije so tudi mednarodni mejni prehodi, kjer so portalni ali drugi stacionarni merilniki sevanja oz. se uporablja prenosna detekcijska oprema. 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 talilnice, kjer se ravno tako izvaja nadzor nad vsebnostjo radioaktivnih snovi v vhodnem materialu. V Sloveniji se skoraj vsako leto v okviru raziskovalnih ustanov, industrije in drugih subjektov odkrije manjše količine uranovih ali torijevih spojin, ki predhodno niso bile pod upravnim nadzorom.

### **2.33 Možni vzroki nastanka nesreče**

Vzroki za tovrstne nesreče so praviloma malomarnost upravljavca (oz. 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 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 velika možnost, da končajo v talilnici železarne ali jeklarne oziroma druge livarne.

### **2.34 Verjetnost pojavljanja nesreče**

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

Doslej se največje nesreče, ki so terjale življenje ali pustile hujše zdravstvene posledice posameznikom, dogajajo v svetovnem merilu približno enkrat na pet do deset 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.

V Sloveniji smo beležili pri predelavi kovin stalitev vira sevanja manjše aktivnosti približno enkrat na deset let.

### **2.35 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti**

Vrsta, oblika in stopnje ogroženosti je podobna kot je opisana v poglavju 2.15, medtem ko gre pri taljenju vira v peči železarne ali jeklarne za radioaktivno kontaminacijo produkta (običajno  $^{60}\text{Co}$ ) ali za izpust hlapljivih radioaktivnih snovi v ozračje (običajno  $^{137}\text{Cs}$ ). Dodati je treba, da je izpust v ozračje praviloma zelo razredčen, tako da znatnih doz, ki bi terjale evakuacijo prebivalstva, ni pričakovati.

### **2.36 Potek in možni obseg nesreče**

Potek in možni obseg nesreče je enak kot v poglavju 2.16.

### **2.37 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina**

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

### **2.38 Verjetne posledice nesreče**

Za zdravstvene posledice glej poglavje 2.7.

### **2.39 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

Ni možno.



## **2.40 Možnost predvidevanja nesreče**

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

## **2.41 Načrtovanje zaščitnih ukrepov**

Glej poglavje 2.21.

## **Prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi**

### **2.42 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 malo verjetna. Podatki o virih sevanja so razvidni iz prevozne listine oziroma v primerih, ko je potrebno dovoljenje, tudi iz dovoljenja za prevoz radioaktivne snovi, ki ga izdaja bodisi Uprava RS za varstvo pred sevanji bodisi Uprava RS za jedrsko varnost.

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).

### **2.43 Možni vzroki nastanka nesreče**

Pri prevozu radioaktivnih snovi so lahko vzroki predvsem prometna nesreča, kraja vozila in/ali radioaktivnih snovi 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.

### **2.44 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 nekaj tisoč tovorkov z radioaktivnimi snovmi letno (5700, vključno z medicino in izvzetimi tovorki, ocenjeno navzgor). Na podlagi izkušenj in podatkov iz tujine ocenjujemo, da gre za verjetnost enega dogodka v obdobju več kot petindvajset let. Pri tem je mišljena nesreča pri prevozu radioaktivnih snovi, ki bi bila ovrednotena s stopnjo najmanj 3 po lestvici INES.

Do sedaj v Sloveniji 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.

## **2.45 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 prevaža 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 tudi malo 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, udeleženi 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.

## **2.46 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.

### **2.46.1 Prevoz svežega goriva**

NEK uvozi enkrat na 18 mesecev od 50 do 60 gorivnih elementov (maksimalna obogatitev z  $^{235}\text{U}$  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.

### **2.46.2 Prevoz izrabljenega goriva**

#### **NEK**

Trenutno se vse gorivo iz NEK hrani na lokaciji. Na lokaciji se bo zgradilo suho skladišče izrabljenega goriva. V bližnji prihodnosti se izrabljeno gorivo ne bo 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 bil večji del izrabljenega goriva leta 1999 vrnjen v ZDA. Izdelano je bilo ustrezno varnostno poročilo in pridobljena vsa dovoljenja. Ta prevoz je minil brez posebnosti.

### Tranziti izrabljenega goriva

V zadnjih letih 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 oz. 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.

### 2.46.3 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 ( $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{18}\text{F}$  in  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) in za dobavo stacionarnih virov industriji ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  in  $^{241}\text{Am}$ ). V drugem primeru pa gre za prevoze virov sevanja, ki se uporabljajo pri kontroli zvarov ali gradbenih del na terenu. Najpogostejši radionuklidi so  $^{192}\text{Ir}$  v tovorkih B(U) oz.  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}/\text{Be}$  v tovorkih A. Pogosto se prevažajo še viri sevanja nizke aktivnosti, ki so vgrajeni v prenosne merilne instrumente ( $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  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 oz. 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 ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ali  $^{18}\text{F}$ ) je vpliv nesreče razmeroma kratkotrajen (nekaj dni ali tednov), zato je dekontaminacija praviloma manj zahtevna.<sup>13</sup> 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, udeleženih v nesreči, ki bi jih bilo potrebno ustrezno oskrbeti in dekontaminirati.

### 2.46.4 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 I in II (kategorizacija MAAE). Tovrstni tranziti se dogajajo z različno pogostostjo (kategorija I manj kot enkrat letno; kategorija II večkrat letno, npr. tranziti  $^{192}\text{Ir}/^{75}\text{Se}$ , ki se uporabljata v industrijski radiografiji) in ustrezajo terminologiji ADR kot "radioaktivne snovi s potencialno hudimi posledicami".

<sup>13</sup> Npr. odstranitev zgornje plasti prsti v primeru razlitja I-131 ob cesti ali dekontaminacija vozila s spiranjem, če bi prišlo do razlitja v samem vozilu [25, točka 5.58].



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 s potencialno hudimi posledicami".

### ***2.47 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.

### ***2.48 Verjetne posledice nesreče***

Za zdravstvene posledice glej poglavje 2.7.

### ***2.49 Verjetnost nastanka verižne nesreče***

Ni možno.

### ***2.50 Možnost predvidevanja nesreče***

Ni možno.

### ***2.51 Načrtovanje zaščitnih ukrepov***

Glej poglavje 2.21.



## **Padec satelita z radioaktivnimi snovmi**

### **2.52 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.

### **2.53 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.

### **2.54 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 deset 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.

### **2.55 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 zunanjega sevanja. Območja kontaminacije so trakaste oblike s širino nekaj 10 km in v dolžini nekaj 100 km (referenca 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.  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  ...), ki bi ob nesreči povzročili le neznatno (dodatno) kontaminacijo oziroma obsevanje.

### **2.56 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 km<sup>2</sup>, kar predstavlja približno petkratno velikost Slovenije. Lahko bi bil prizadet znaten del celotnega ozemlja Slovenije ali pa le njen manjši del.



## **2.57 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.

## **2.58 Verjetne posledice nesreče**

Posledice nesreče izvirajo iz visokih doz, ki bi jih posameznik prejel, če bi v pljuča vdihnil vroče delce (za fisijske 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.

## **2.59 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

Ni možno.

## **2.60 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.

## **2.61 Načrtovanje zaščitnih ukrepov**

V primeru padca satelita je potrebno predvideti predvsem ukrepe v prehranski verigi (nadzor kontaminiranosti hrane), lociranje vročih točk in dekontaminacijo.

## **PLOVILA NA JEDRSKI POGON**

### **2.62 Viri nevarnosti**

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

### **2.63 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.

### **2.64 Verjetnost pojavljanja nesreče**



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

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

Za verjetnost hude nesreče s taljenjem 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.  $10^{-1}$  ali  $10^{-3}$  na leto.

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

## **2.65 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti**

V študijah ogroženosti zaradi plovil so ugotovili, da imajo na razpolago nekoliko več podatkov o ruskih plovilih, in da obstaja večje tveganje za nesrečo pri izdelavi plovil in montaži ter servisiranju reaktorjev [38]. Prav tako so analizirali morebitna puščanja pri potopljenih plovilih, ki so bila potopljena daljše časovno obdobje, ko ima korozija znaten vpliv. Vse te predpostavke niso primerne za naš scenarij, saj je plovilo na obisku, pa tudi v primeru potopitve bi ga lahko izvlekli, saj globina morja plitva in ne presega 25 m. Plovilo 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) [38, 39].

Glede scenarija in količine izpusta (t.i. »source terma«) se v literaturi najde kar 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 odvreči na odprto morje. Glede na to, da gre za tlačnovodni reaktor, jo lahko primerjamo z jedrsko elektrarno, ki ima 10-krat manjšo moč kot JE Krško, tako da se v nadaljnjem naslonimo na oceno ogroženosti za JE Krško in jo ustrezno skaliramo, npr. območje takojšnjih zaščitnih ukrepov zmanjšamo za 10-krat, tj. z 10 km na 1 km, kar pomeni, da to območje ne bi segalo do kopnega.

Največji prispevek k dozi 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 [40], 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  $^{60}\text{Co}$  kot korozijski aktivacijski produkt iz primarnega kroga. Izmerjena aktivnost (okoli 1 pCi/g) je bila več kot 10-krat manjša od naravne radioaktivnosti sedimenta.

## **2.66 Potek in možni obseg nesreče**

Podobno kot pri jedrskih nesrečah pride zaradi različnih začetnih vzrokov do taljenja sredice reaktorja, ki je sestavni del plovila. Najugodnejše bi bilo v tem primeru odvreči 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 razloženo, 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 referenčnega nivoja 100 mSv.



## **2.67 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 taljenja 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.

## **2.68 Verjetne posledice nesreče**

Posledice nesreče bi bile zaradi prejetih doz prebivalstva, ki pa naj ne bi presegle referenčne ravni, tako da pričakujemo motnjo, ki jo predstavlja morebitno zaklanjanje v trajanju nekaj ur in psihološke učinke zaradi zaskrbljenosti prebivalstva.

Tu je potrebno pravočasno in ciljano obveščanje, ki naj natančno razloži tveganja in morebitne učinke na zdravje ljudi in ravnanje z hrano, živalmi, predmeti.

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.

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

## **2.69 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

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

## **2.70 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.

## **2.71 Načrtovanje zaščitnih ukrepov**

Glede na izredno majhno verjetnost dogodka je treba oceniti, ali je sploh smiselno izdelovati/dopolnjevati načrt zaščite in reševanja za ta scenarij. Odsvetuje se kakršnokoli načrtovanje območij ukrepanja in podobno v obalnem območju. Velja pa razmisliti o ukrepih, ki bi pozitivno vplivali na javno mnenje, in tudi izvajanje ukrepov, ki bi zagotovili, da imamo nadzor nad situacijo.



## **JEDRSKA NESREČA V TUJINI**

### **2.72 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.

### **2.73 Možni vzroki nastanka nesreče**

Možni vzroki nastanka nesreče so enaki kot v 2.2.

### **2.74 Verjetnost pojavljanja nesreče**

Verjetnost za nesrečo v jedrski elektrarni v tujini ocenimo z verjetnostjo za taljenje sredice na približno  $1,0 \cdot 10^{-4}$  na leto (enkrat na deset tisoč let). Zadrževalni hram zmanjša verjetnost izpustov radioaktivnih snovi v okolje v primeru jedrske nesreče za 10 do 50-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 tisoč let ali še manj.

### **2.75 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti**

Vrsta, oblika in stopnje ogroženosti je podobna kot je opisana v poglavju 2.4, 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).

### **2.76 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 taljenja sredice ob hkratni odpovedi zadrževalnega hrama. Glavne značilnosti poteka nesreče so že opisane v poglavju 2.5.

Jedrski reaktorji tipa VVER-440, pri katerih so fizikalni principi delovanja enaki kot pri tlačnovodnih reaktorjih - PWR, v glavnem nimajo zadrževalnega hrama, kot ga imajo jedrske elektrarne v zahodnoevropskih državah.

### **2.77 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.

### **2.78 Verjetne posledice nesreče**

Za zdravstvene posledice glej poglavje 2.7.



## **2.79 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

Ni možno.

## **2.80 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).

## **2.81 Načrtovanje zaščitnih ukrepov**

V primeru jedrske nesreče 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).

V primeru zelo hude jedrske nesreče v bližini (npr. jedrska elektrarna Paks) bi bilo lahko potrebno izvajati jedno profilakso.





## POŠKODBA ODLAGALIŠČ JALOVINE NA NEKDANJEM RŽV

### 2.82 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 tabelah 10.1 in 10.2.

**Tabela 10.1: Odlagališče Jazbec**

Odloženo	jamska jalovina in rdeče blato 1982-1990 (iz proizvodnje), kontaminiran material, tehnološka oprema 1991-2007 (dekontaminacija, rušenje)
Sanacija končana	2008
Skupna površina	67.325 m <sup>2</sup> (površina odlagališča znotraj drenažnih kanalov) 74.239 m <sup>2</sup> (površina znotraj varnostne ograje)
Višina	spodaj 427 m, zgoraj 509 m (nadmorska višina)
Volumen odloženega materiala	854 500 m <sup>3</sup> rudarske jalovine, 126.000 m <sup>3</sup> rude z nizko vsebnostjo urana, 34.000 m <sup>3</sup> rdečega blata, 2.600 m <sup>3</sup> filtrne pogače iz čiščenja jamske vode, 181.000 m <sup>3</sup> kontaminirane zemlje in ostankov od rušenja predelovalnih obratov in drobilnice 800 m <sup>3</sup> tehnološke opreme iz predelovalnih obratov in drobilnice, Skupni volumen odloženega materiala je 1.198.900 m <sup>3</sup>
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 <sub>3</sub> O <sub>8</sub> /t), 65 kBq/kg rdečega blata ( <sup>230</sup> Th 97 %), 34,4 kBq/kg filtrne pogače (236 g U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> /t), 29,2 kBq/kg rude z nizko vsebnostjo urana (200 g U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> /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 µGy/h (prekrito s prekrivko)

Opomba: večina <sup>230</sup>Th je vsebovana v rdečem blatu kot stranskem produktu nevtralizacije.



**Tabela 10.2: Odlagališče Boršt**

Odloženo	hidrometalurška jalovina 1984-1990 in rudarska jalovina 1984-2004, kontaminiran material 2008-2009
Sanacija končana	2010
Skupna površina	42.000 m <sup>2</sup> (površina telesa odlagališča), 67.923 m <sup>2</sup> (površina znotraj varovalne ograje)
Višina	spodaj 535 m, zgoraj 565 m (nadmorska višina)
Volumen odloženega materiala	339.000 m <sup>3</sup> hidrometalurške jalovine, 70.000 m <sup>3</sup> rudarske jalovine, 6.543 m <sup>3</sup> kontaminiranih materialov Skupni volumen odloženega materiala je 415.543 m <sup>3</sup>
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 dolgoročnega nadzora in vzdrževanja. Vlada Republike Slovenije je s sklepom z dne 23. 2. 2016 določila Agencijo za radioaktivne odpadke (ARAO) za upravljalca vseh parcel odlagališča Jazbec.

Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt ima status sevalnega objekta. Zaradi povečane hitrosti plazenja hribine, na kateri se nahaja odlagališče, sta bili izvedeni dodatni študiji, ki bosta služili kot podlaga za nadaljnje ukrepanje in zaprtje odlagališča. V prvi študiji 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, ki bi izvajali sanacijo odloženih materialov ob strugi Todraščice, Brebovščice in Poljanske Sore.

V letu 2016 je bila izvedena sanacija drenažnega rova pod odlagališčem Boršt, poleg tega pa so bili v letu 2016 in 2017 deloma izvedeni interventni drenažni ukrepi, ki jih je predlagal strokovni projektni svet. Avgusta 2016 je zunanji izvajalec pričel z izdelavo komore 3 (vzhodni prečni rov), nato še komore 2 (zahodni prečni rov) in nazadnje komore 1 (drenažni rov), iz njih je potekalo vrtnanje drenažnih vrtin (udarno vrtnanje). Izvrtanih je bilo skupaj 1.796,5 m drenažnih vrtin, zacevljenih pa 1.342,5 m teh vrtin. Vrtnanje drenažnih vrtin je bilo zaključeno v prvi polovici leta 2017.



### **2.83 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 [26, 28].

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 reološke spremembe v plazu [27].

### **2.84 Verjetnost pojavljanja nesreče**

V primeru nastanka plazu bi prišlo do manjše kontaminacije okolja, zaradi česar bi bili potrebni sanacijski ukrepi. Ocenjujemo, da je verjetnost za ta dogodek zelo majhna [24].

### **2.85 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti**

Opisano v prejšnjih podpoglavjih poglavja 10.

### **2.86 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 [28].

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 [26]. 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 plazu. 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 [27].

### **2.87 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 odlagališča), medtem ko je izhajanje radona iz odlagališča na nivoju vrednosti v naravnem okolju [27].



Na območju odlagališča rudarske jalovine Jazbec ter v njegovi neposredni okolici ni pomembnejših objektov oz. območij naravnih vrednot, na katere bi lahko vplivalo dolgoročno obratovanje odlagališča [25].

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 [24].

## **2.88 Verjetne posledice nesreče**

Ob zapolnitvi obvodnega kanala bi prišlo do erozije materiala v potok Brebovščica. Ker je specifična aktivnost urana in njegovih potomcev v jamski jalovini nizka, poleg tega pa je jamska jalovina bolj grob material, najbrž velike erozije površin in kontaminacije okolja ne bi bilo [30].

Ob nastanku razpok v prekrivki ali zdrsuhidrometalurške 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 zdrsa podlage odlagališča skupaj z odlagališčem [31]. Najnovejša študija modeliranja raztrosa jalovine iz odlagališča Boršt v primeru popolnega razpada odlagališča ocenjuje, da materiala, ki se bo odložil, ne bo zelo veliko. Zaradi mešanja s plavinami sosednjih povodij pa se celotno območje, ki bi bilo poplavljen, smatra kot potencialni vir onesnaženja [27].

Rezultati izračunov študije izpostavljenosti sevanju prebivalcev in delavcev, 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 Todražice, 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 [44].

## **2.89 Verjetnost nastanka verižne nesreče**

Ni možno.

## **2.90 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 [31].

## **2.91 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 [28, 29].



## RAZLAGA POJMOV IN KRATIC

### 2.92 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 spontanih jedrskih prehodov iz tega energijskega stanja v časovnem intervalu $dt$ . Enota za aktivnost je bekerel
človek sievert (čl-Sv)	človek sievert 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 $3 \times 10^{15}$ Hz ali več, ki lahko neposredno ali posredno povzroči tvorbo ionov. 1
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 sievert 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"> <li>- pomembnostjo za varnost, nadzor nad jedrskimi snovmi in za fizično varovanje,</li> <li>- velikostjo možnih nevarnosti,</li> <li>- fazo v življenjski dobi objekta,</li> <li>- načinom uporabe oziroma namembnostjo objekta,</li> <li>- značilnimi lastnostmi objekta,</li> <li>- pomembnostjo sevalnih in nesevalnih nevarnosti in drugimi ustreznimi dejavniki</li> </ul>
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
vsebnik vira	je skupek sestavnih delov, ki je namenjen zadrževanju radioaktivnega vira sevanja, ki ni sestavni del vira sevanja in je namenjen zaščiti vira sevanja med prevozom in ravnanjem z njim ter ima lahko nameščeno zaslonko za nadzorovano obsevanje
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





## 2.93 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
CZ	Civilna zaščita
čl-Sv	Človek sivert
D <sub>1</sub>	Doza (dose) <sub>1</sub>
D <sub>2</sub>	nevarni vir (Dangerous source) <sub>2</sub>
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 <sub>e</sub>	Megavat električne energije
MW <sub>th</sub>	Megavat toplotne energije
NEK	Nuklearna elektrarna Krško
NUID	Načrt ukrepov v primeru izrednega dogodka
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)
RED	Merilec izpostavljenosti sevanju (Radiation exposure device)
ROU	Razširjeno območje ukrepanja
Sv	Sivert
TRIGA	Trening, raziskave, izotopi, General Atomics (Training, Research, Isotopes, General Atomics)
URSVJ	Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost
VVA	Verjetnostna varnostna analiza
VVER (WWER)	serija tlačnovodnih reaktorjev, ki so jih razvili v Sovjetski zvezi (Vodo-Vodjanoj Energetičeski Reaktor) (Water-cooled water-moderated power reactor)



## Priloge

### Priloga 1: Seznam jedrskih elektrarn v oddaljenosti do 1000 km

Država	Jedrska elektrarna	Vrsta	MWe	Km od Ljubljane	Km od mej Slovenije
BE	DOEL-1	PWR	392	951,9	875
	TIHANGE-1	PWR	962	8Bo,2	765
	DOEL-2	PWR	433	951,9	875
	DOEL-3	PWR	1006	951,9	875
	TIHANGE-2	PWR	1008	844,2	765
	DOEL-4	PWR	1008	951,9	875
	TIHANGE-3	PWR	1015	844,2	765
BG	KOZLODUY-5	WWER	953	772,9	638
	KOZLODUY-6	WWER	953	772,9	638
CH	BEZNAU-1	PWR	365	505,7	434
	MUEHLEBERG	BWR	373	562,8	490
	BEZNAU-2	PWR	365	505,7	434
	GOESGEN	PWR	970	519,1	448
	LEIBSTADT	BWR	1165	510,6	440
CZ	DUKOVANY-1	WWER	427	358,8	239
	DUKOVANY-2	WWER	427	358,8	239
	DUKOVANY-3	WWER	427	358,8	239
	DUKOVANY-4	WWER	427	358,8	239
	TEMELIN-1	PWR	963	347,6	289
	TEMELIN-2	PWR	963	347,6	289
DE	PHILIPPSBURG-2 (KKP2)	PWR	1402	576,9	498
	GUNDREMMINGEN-B (KRB B)	BWR	1284	413	335
	GROHNDE (KWG)	PWR	1360	761	688
	GUNDREMMINGEN-C (KRB C)	BWR	1288	413	335
	ISAR-2 (KKI 2)	PWR	1410	328,9	255
	BROKDORF (KBR)	PWR	1410	941,5	872
	EMSLAND (KKE)	PWR	1329	882,7	807
	NECKARWESTHEIM-2 (GKN2)	PWR	1310	519,7	441
FR	FESSENHEIM-1	PWR	880	565	492
	FESSENHEIM-2	PWR	880	565	492
	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



Država	Jedrska elektrarna	Vrsta	MWe	Km od Ljubljane	Km od mej Slovenije
	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
	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	WWER	470	338,8	180
	PAKS-2	WWER	473	338,8	180
	PAKS-3	WWER	443	338,8	180
	PAKS-4	WWER	473	338,8	180
NL	BORSSELE	PWR	482	989,8	913
SI	KRSKO	PWR	688	79,1	17
SK	BOHUNICE-3	WWER	429	361,6	205
	BOHUNICE-4	WWER	410	361,6	205
	MOCHOVCE-1	WWER	436	386,6	260
	MOCHOVCE-2	WWER	436	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 s potencialno hudimi posledicami
$^{192}\text{Ir}$	2	7	9	3
$^{137}\text{Cs}$	4	0	4	0
$^{60}\text{Co}$	1	0	1	0
$^{241}\text{Am}$	2	0	2	0
$^{75}\text{Se}$	0	2	2	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 20. 9. 2018).
- (Trenutno) število (prenosnih) nevarnih virov sevanja, ki so hkrati radioaktivne snovi s potencialno hudimi posledicami: upoštevajoč prevoz/prevažanje in radioaktivne snovi (razred 7 pri prevozu, v skladu z ZPNB in ADR) s potencialno 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 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.



## Reference

- [1] Državni načrt zaščite in reševanja ob jedrski ali radiološki nesreči, Verzija 3, Ljubljana, 22. 7. 2010.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions during a Reactor Accident", IAEA-TECDOC-955, Dunaj, Avstrija, 1997.
- [3] 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.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Method, Dunaj, Avstrija, 2003.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Dunaj, Avstrija, 2006.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency", Safety Series No.109, Dunaj, Avstrija, 1994.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources", Safety Series No. 115, IAEA, Dunaj, Avstrija, 1996.
- [8] NEK, Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, Level 1 Report, January 1994; Initiating Event Analysis, Volume 3.
- [9] Nuklearna elektrarna Krško, Ocena ogroženosti, rev. 4, DCM-RP-051, avgust 2015.
- [10] NEK, Updated Safety Analysis Report, Ch. 15, 2017, Rev. 24.
- [11] Varnostno poročilo za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici, rev. 6, november 2009.
- [12] R-800, Rev.0, Perspectives on Reactor Safety, January 1993, TTC Chattanooga.
- [13] Državni načrt zaščite in reševanja ob uporabi orožij ali sredstev za množično uničevanje v teroristične namene oziroma terorističnem napadu s klasičnimi sredstvi, verzija 4.0, 24. 2. 2005 (ažuriran 11/2015).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, Safety Guide, No. RS-G-1.9, Dunaj, Avstrija, 2005.
- [15] Nuklearna elektrarna Krško, NEK ESD TR-05/18 Evaluation of new RS PSAP NEK baseline model "NEKC30", 2018, rev.0.
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor, EPR-NPP, Dunaj, Avstrija, 2013.
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, No. GSG-2, Dunaj, Avstrija, 2011.

- [18] Poročilo, Delovna skupina za pripravo podlag ocene ogroženosti za jedrsko nesrečo v NEK, maj 2015.
- [19] Analiza ogroženosti območij okoli NE Krško v primeru jedrske nesreče, URSJV-DP/092/2013, Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV), verzija 2.0, januar 2015.
- [20] Revision of Risk Significance Evaluation Based on the Actual Design Characteristic of PAR-s, NEK ESD-TR-12/14, 9. 12. 2014.
- [21] NEK Source Term Recalculation, NEK ESD-TR-09/14, 9. 12. 2014.
- [22] Določitev posledic v okolju zaradi potencialnih izpustov v ozračje, MEIS-NEK-PCFVS-4, februar 2015.
- [23] Planning and Preparing for Emergency Response to Transport Accidents Involving Radioactive Material (IAEA SAFETY GUIDE), No. TS-G-1.2 (ST-3), 2002.
- [24] Ocena tveganja za jedrske in radiološke nesreče v Sloveniji, Uprava RS za jedrsko varnost, izdaja 3, avgust 2018.
- [25] Odlagališče rudarske jalovine Jazbec. Dopolnitev Varnostnega poročila. Rev A. Št. elaborata UZJV – OP/01A. Poglavje: Ocena vpliva na okolje. Ljubljana, september 2012.
- [26] 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, marec 2007.
- [27] Modeliranje raznosa hidrometalurške jalovine odlagališča Boršt v primeru popolnega razpada odlagališča. Geotrias. Arh. št.: 110/15\_TB, rev. 1, januar 2015.
- [28] Ocena varstva izpostavljenosti delavcev pred sevanji pri sevalnem objektu odlagališče rudarske jalovine Jazbec (revizija 2), št.: RŽV/VIII-OV1/R2, Todraž, december 2009.
- [29] Ocena varstva izpostavljenosti delavcev pred sevanji pri sevalnem objektu odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt, št.: RŽV/VIII-OV1, Todraž, junij 2006.
- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Manual for First Responders to a Radiological Emergency, EPR-First Responders, Dunaj, Avstrija, 2006.
- [31] Dolgoročna strategija obratovanja reaktorja TRIGA, IJS, IJS-DP-10797, izdaja 2, marec 2005.
- [32] Federal Register Vol. 77, No. 20, January 31, 2012 strani: 4807–4808.
- [33] Načrt fizičnega varovanja NEK (št. dokumenta: SP-2; revizija 4), 2018.
- [34] Načrt fizičnega varovanja objekta Reaktor TRIGA na Institutu "Jožef Stefan" (ozn. RIC-QA-134, november 2013, revizija 3).
- [35] Načrt fizičnega varovanja objekta CSRAO (ozn. ARAO 04-01-026-016, junij 2018, revizija 5.1).
- [36] Ocena ogroženosti prevozov radioaktivnih snovi v cestnem prometu za leto 2018 (št. 843-53/2017/23 (2112-06) z dne 12. 3. 2018.
- [37] Pravilnik o fizičnem varovanju jedrskih objektov, jedrskih in radioaktivnih snovi ter prevozov jedrskih snovi (Uradni list RS, št. 17/13).
- [38] Ole Reistad et al., A Nordic Approach to Impact Assessments of Accidents with Nuclear-Propelled Vessels, NKS, 2012.

- [39] STUK's Threat Analysis of Nuclear Submarine Accident, Tuomas Peltonen, Tromsø, 14.10.15, Norway.
- [40] P.L. Ølgaard, Accidents in Nuclear Ships, NKS/RAK-2(96)TR-C(3), Risø National Laboratory, 1996.
- [41] Varnostno poročilo za CSRAO, revizija 2, april 2018.
- [42] Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji (Ur. l. RS 18/18).
- [43] Slovenian national report on nuclear stress tests - Final Report, URSJV/RP-085/2011, URSJV, December 2011.
- [44] 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, januar 2016.

### 3.KRITERIJ ZA RAZVRSTITEV OBČIN IN REGIJE V RAZREDE OGROŽENOSTI OB JEDRSKI NESREČI V NEK

Kriteriji za razvrstitev občin in regije v razrede ogroženosti so izdelani na **osnovi območij načrtovanja zaščitnih ukrepov**, ki so določene na osnovi oddaljenosti od NEK.

Definicije območij načrtovanja zaščitnih ukrepov okoli NEK izhajajo iz Kriterijev za ukrepanje ob jedrski ali radiološki nesreči, ki jih je sprejela strokovna komisija za jedrsko varnost leta 1998, mednarodnih priporočil in praks v svetu.

Območja načrtovanja zaščitnih ukrepov so naslednja:

- območje preventivnih zaščitnih ukrepov - OPU, območje oddaljeno 3 km od NEK,
- območje takojšnjih zaščitnih ukrepov - OTU, območje oddaljeno 10 km od NEK,
- razširjeno območje ukrepanja - ROU, območje oddaljeno 25 km od NEK in
- območje splošne pripravljenosti -OSP, območje celotne RS.

Območje načrtovanja zaščitnih ukrepov /km od NEK	Število prebivalcev Vzhodno štajerske regije
OPU (0 - 3)	0
OTU (3-10)	0
ROU (10-25)	0
Ostalo v Vzhodno štajerski regiji	221.819
<b>SKUPAJ</b>	<b>221.819</b>

Preglednica 1: Podatki o številu prebivalcev v območjih načrtovanja zaščitnih ukrepov v VŠR



**Vzhodnoštajerska regija in občine regije so razvrščene v 2. razred ogroženosti, kjer je stopnja ogroženosti majhna, zaradi ogroženosti ob jedrski nesreči NEK.**

Preglednica 2: Razredi in stopnje ogroženosti nosilcev načrtovanja (občin, regij)

Razred ogroženosti	Stopnja ogroženosti
1	Zelo majhna
2	Majhna
3	Srednja
4	Velika
5	Zelo velika

1. razred ogroženosti	2. razred ogroženosti	3. razred ogroženosti	4. razred ogroženosti	5. razred ogroženosti
	Območje oddaljenosti več kot 25 km od NEK	Območje oddaljenosti 10-25 km od NEK	Območje oddaljenosti 3-10 km od NEK	Območje oddaljenosti 0-3 km od NEK

Preglednica 3: Kriteriji za uvrstitev občin oz. regije v razrede ogroženosti ob jedrski nesreči v NEK

### 3.1 Razvrščanje Vzhodno štajerske regije in občin VŠR v razrede ogroženosti

Preglednica 4: Pregled občin VŠR po razredih ogroženosti

Regija/občina	Površina občine v km <sup>2</sup>	Število ljudi	Gostota poseljenosti	Razred ogroženosti
<b>VZHODNO ŠTAJERSKA</b> (22 občin)				2
Benedikt	24,1	2227	92,4	2
Cerkvenjak	24,5	1985	81,0	2
Duplek	40,0	6426	160,7	2
Hoče – Slivnica	53,7	10.275	191,3	2
Kungota	49,0	4660	95,1	2
Lenart	61,7	7048	114,2	2

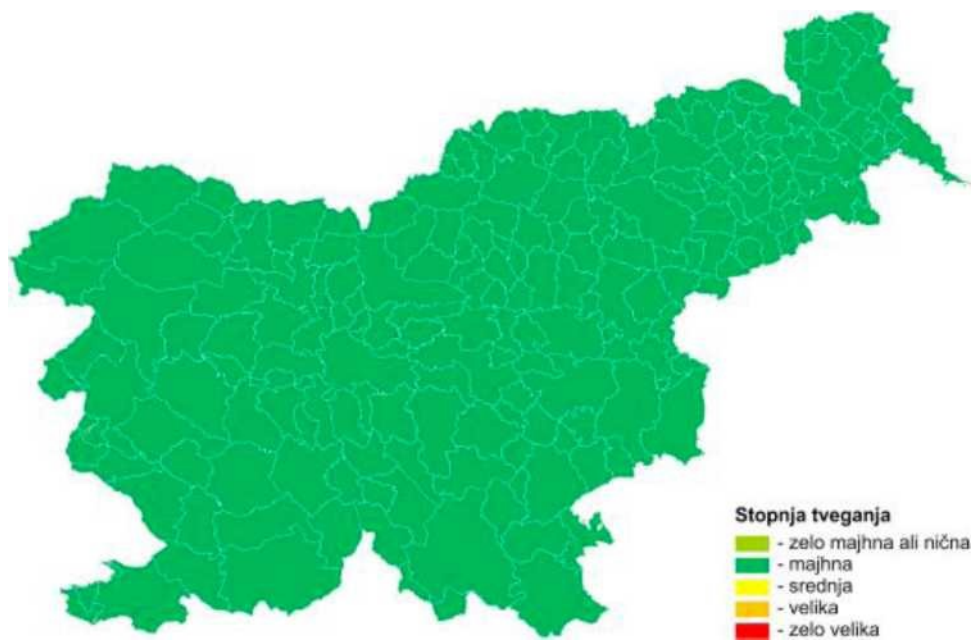
Lovrenc na Pohorju	84,4	3092	36,6	2
Makole	36,9	2080	56,4	2
Maribor	147,5	102.106	692,2	2
Miklavž na Dravskem polju	12,5	5997	479,8	2
Oplotnica	33,2	3945	118,8	2
Pesnica	75,8	7355	97,0	2
Poljčane	37,5	4270	113,9	2
Rače – Fram	51,2	6358	124,2	2
Ruše	60,8	7115	117,0	2
Selnica ob Dravi	64,5	4463	69,2	2
Slovenska Bistrica	260,1	23.674	91,0	2
Starše	34,0	4042	118,9	2
Sveti Jurij v Slov. goricah	30,7	2085	67,9	2
Sveta Trojica v Slov. goricah	26,3	2136	81,2	2
Sveta Ana	37,2	2258	60,7	2
Šentilj	65,0	8222	126,5	2
<i>SKUPAJ</i>	1.310,6	221.819	169,2	

REGIJA	ŠTEVILO PREBIVALCEV	% PREBIVALCEV SLOVENIJE	GOSTOTA POSELITVE	RAZRED OGROŽENOSTI REGIJE
Vzhodnoštajerska	221.819	11,5	169,2	2

#### **4. OGROŽENOST OBČIN ZARADI DRUGIH JEDRSKIH IN RADIOLOŠKIH NESREČ**

V skladu z državnim načrtom zaščite in reševanja ob jedrski ali radiološki nesreči, se obveznosti občin in regij ne razlikujejo, kajti vse občine morajo v delih načrta zaščite in reševanja ob jedrski ali radiološki nesreči razdelati zaščitne ukrepe in naloge ob drugih izrednih dogodkih - druge jedrske ali radiološke nesreče.

#### 4.1 Notranja kategorizacija (geografska porazdelitev) tveganja za nesrečo pri uporabi virov



#### 4.2 Notranja kategorizacija (geografska porazdelitev) tveganja za prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi

