OBČINA LJUBNO
Cesta v Rastke 12
3333 Ljubno ob Savinji

OCENA OGROŽENOSTI OBČINE LJUBNO ZARADI JEDRSKE ALI RADIOLOŠKE NESREČE

VERZIJA: 3.0

	ORGAN	DATUM	PODPIS
Izdelal	ZAME MAJA JENKO s.p.	20.03.2024	Zame Maja Jenko s.p. Prapretno 23. a, 1430 Hrastnik tel.: 041 957 861 davčna št.: 90304609
Odobril	POVELJNIK CIVILNE ZAŠČITE OBČINE LJUBNO	28, 03.24.	
Sprejel	ŽUPAN OBČINE LJUBNO	26.3.2024	
Skrbnik	RADENKO TEŠANOVIČ	26.3.2024	

Številka: 846-02/2024-3
Datum: 20.3.2024

Kazalo vsebine

1 UVOD 3

2 OCENA OGROŽENOSTI OB IZREDNEM DOGODKU V JEDRSKIH OBJEKTIH IN ZARADI RADIOAKTIVNIH SNOVI 4

3 KRITERIJI ZA RAZVRŠČANJE OBČIN IN REGIJE V RAZREDE OGROŽENOSTI OB JEDRSKI NESREČI V NEK 5

4 OGROŽENOST OBČINE LJUBNO ZARADI DRUGIH JEDRSKIH ALI RADIOLOŠKIH NESREČ 8

5 ZAKLJUČEK 14

6 LITERATURA IN VIRI 16

7 PRILOGA - OCENA OGROŽENOSTI OB IZREDNEM DOGODKU V JEDRSKIH OBJEKTIH IN ZARADI RADIOAKTIVNIH SNOVI 18

1 UVOD

Oceno ogroženosti občine Ljubno zaradi jedrske ali radiološke nesreče je izdelala Občina Ljubno skupaj z zunanjimi sodelavci na podlagi Ocene ogroženosti zaradi jedrske ali radiološke nesreče v Republiki Sloveniji (8420-1/2022-260 – DGZR z dne 08. 11. 2023), Ocene ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, izdaja 8, maj 2023 ter Ocene ogroženosti Zahodno Štajerske zaradi jedrske ali radiološke nesreče (8421-16/2021-22 – DGZR z dne 19. 02. 2024).

Izdelana je na podlagi Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Uradni list RS, št. 51/06 – uradno prečiščeno besedilo, 97/10, 21/18 – ZNOrg in 117/22), Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-1O), Navodila o izdelavi ocene ogroženosti (Uradni list RS, št. 39/95), Uredbe o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja (Uradni list RS, št. 24/12, 78/16 in 26/19) in drugimi izvedbenimi predpisi s področja jedrske in sevalne varnosti.

Ocena ogroženosti občine Ljubno zaradi jedrske ali radiološke nesreče je posodobljena Ocena ogroženosti občine Ljubno zaradi jedrske ali radiološke nesreče; Verzija 2.0, številka: 846-7/2017-1, z dne 24.10.2017 in je podlaga za izdelavo Občinskega delnega načrta zaščite in reševanja ob jedrski in radiološki nesreči.

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

Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi v občini Ljubno, katero je občina Ljubno pripravila po Oceni ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi v Sloveniji, je samostojna priloga ocene.

Vsebina Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi vsebuje predvsem naslednje vsebine: klasifikacijo virov nevarnosti in klasifikacijo izrednih dogodkov, jedrske objekte v Sloveniji, problematiko in ogroženost zaradi uporabe radioaktivnih snovi, zlonamernih dejanj, nenadzorovanih virov sevanja, prevoza radioaktivnih in jedrskih snovi, padca satelita z radioaktivnimi snovmi, plovil na jedrski pogon, jedrskih nesreč v tujini.

Na podlagi te ocene sta pripravljena tudi tretje in četrto poglavje ocene, ki opredeljujeta ogroženost občine Ljubno zaradi jedrske in radiološke nesreče.

3 KRITERIJI ZA RAZVRŠČANJE OBČIN IN REGIJE V RAZREDE OGROŽENOSTI OB JEDRSKI NESREČI V NEK

Občine in regije so v tej oceni razvrščene v tri od petih mogočih razredov ogroženosti ob jedrski nesreči v Nuklearni elektrarni Krško.

Tabela 1: Razredi ogroženosti zaradi naravnih in drugih nesreč, v katere se razvršča nosilce načrtovanja

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

Prvi razred predstavlja zelo majhno, drugi razred majhno, tretji razred srednjo, četrti razred veliko in peti razred zelo veliko ogroženosti zaradi obravnavane naravne ali druge nesreče. Ugotovitve iz tega in naslednjega poglavja predstavljajo podlago za določanje obsega obveznosti nosilcev načrtovanju. Obveznosti določa Državni načrt zaščite in reševanja ob jedrski ali radiološki nesreči.

Območja načrtovanja zaščitnih ukrepov so naslednja[1]:

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

[1] Posamezna območja načrtovanja zaščitnih ukrepov ne predstavljajo geometrijskih likov - krogov, ampak so prilagojena izvajanju zaščitnih ukrepov. Zaščitni ukrepi, ki se izvajajo na posameznem območju načrtovanja zaščitnih ukrepov ob nesreči v NEK, so razčlenjeni v Državnem načrtu zaščite in reševanja ob jedrski ali radiološki nesreči, verzija 4.0.

Tabela 2: Podatki o številu prebivalcev v območjih načrtovanja zaščitnih ukrepov; GIS - UJME, URSZR, 2015

Območje načrtovanja zaščitnih ukrepov /km od NEK	Število prebivalcev v RS
OPU (0 - 3)	11 489
OTU (3 - 10)	29 978
ROU(10 - 25)	57 856
Skupaj 0-25	99 323
Ostalo v RS	1 963 551
Skupaj	2 062 874

Slika 1: Območja načrtovanja zaščitnih ukrepov ob jedrski nesreči v NEK



V tabeli 3 so navedeni kriteriji za uvrstitev občin in regij v razrede ogroženosti na osnovi območij načrtovanja zaščitnih ukrepov, ki so določene na osnovi oddaljenosti od Nuklearne elektrarne Krško.

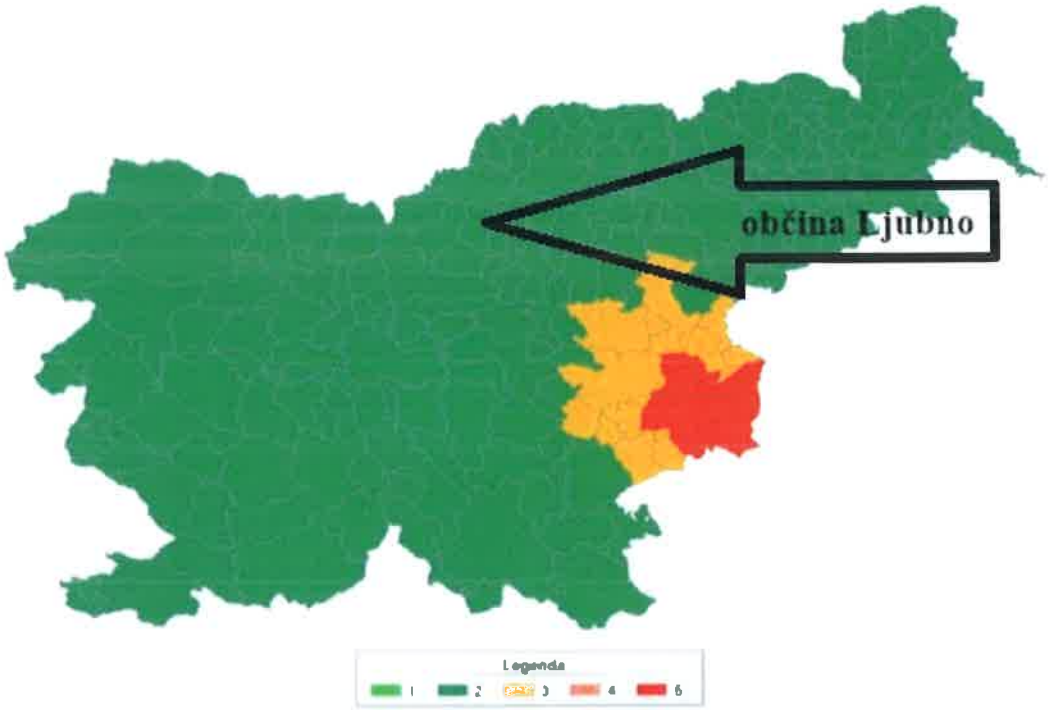
Tabela 3: Kriteriji za uvrstitev občin oziroma regij v razrede ogroženosti ob jedrski nesreči v NEK.

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

Tabela 4: Ogroženost občine Ljubno

Občina	**Razred ogroženosti**
Ljubno	2

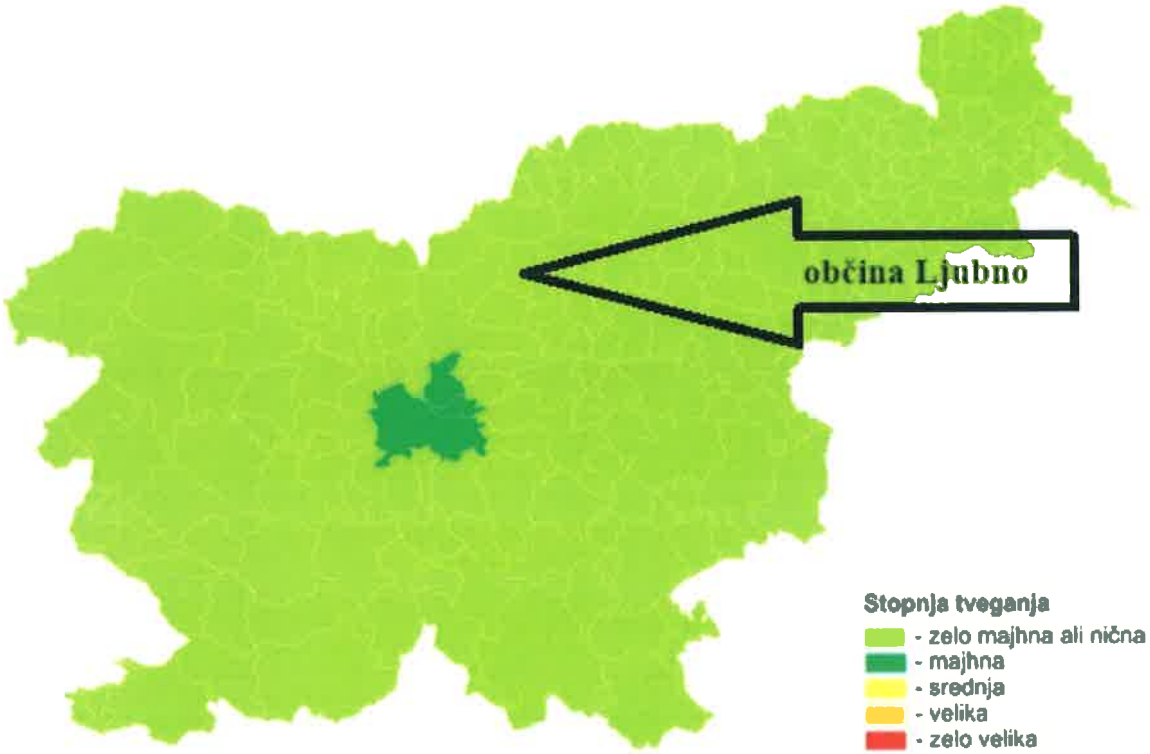
Slika 2: Ogroženost občine Ljubno



4 OGROŽENOST OBČINE LJUBNO ZARADI DRUGIH JEDRSKIH ALI RADIOLOŠKIH NESREČ

Četrti del ocene vsebuje ogroženost občine Ljubno zaradi drugih jedrskih in radioloških nesreč, ki vključuje notranjo kategorizacijo (geografsko porazdelitev tveganja za nesreče). Gre za 10 možnih jedrskih in radioloških nesreč.

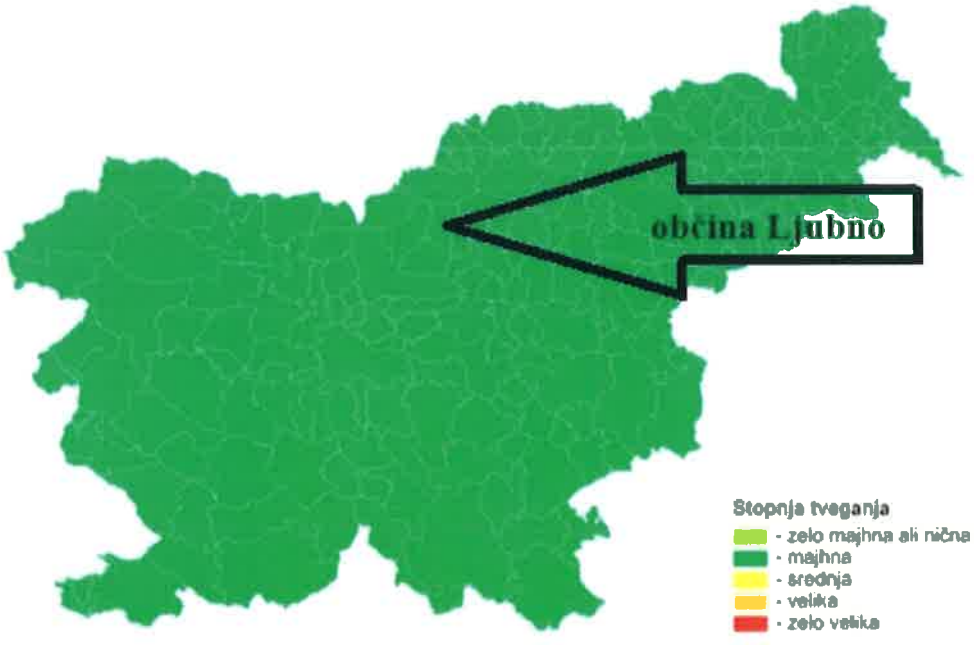
Slika 3: Ogroženost zaradi nesreče v raziskovalnem reaktorju TRIGA (Training, Research, Isotopes, General Atomics) na Brinju



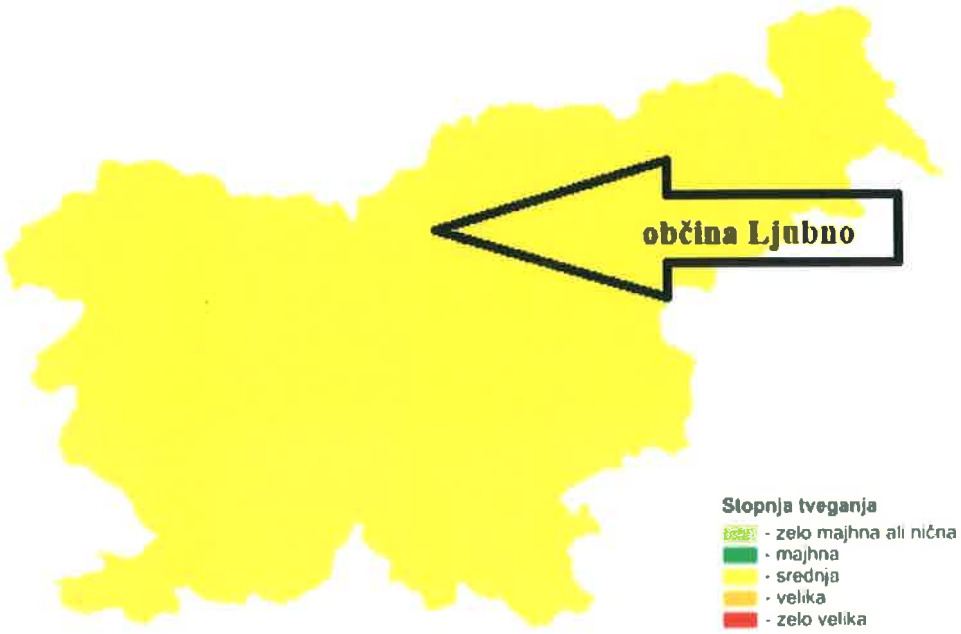
Slika 4: Nesreča v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov na Brinju



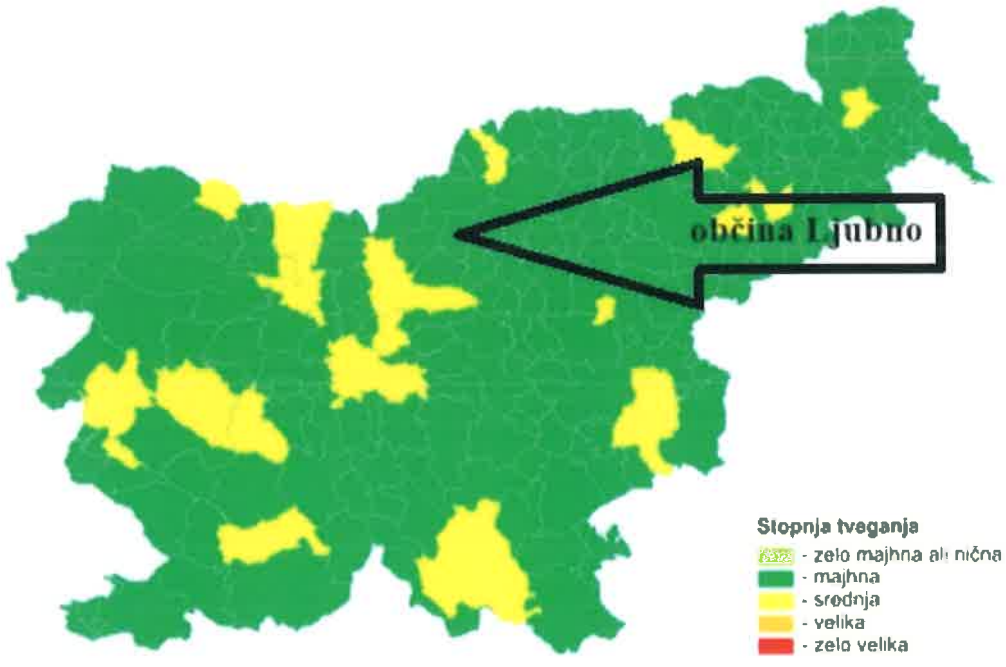
Slika 5: Nesreča pri uporabi radioaktivnih virov



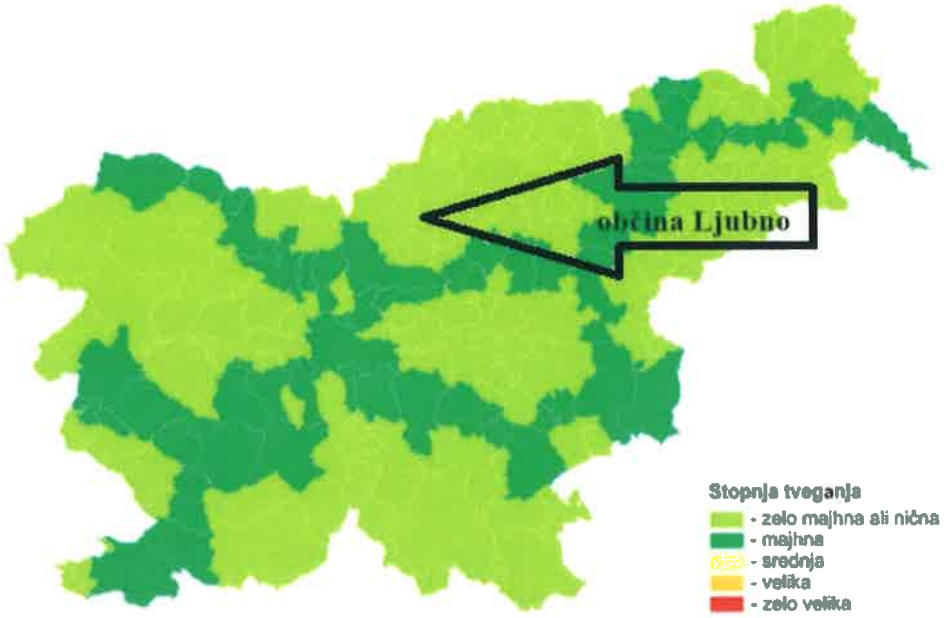
Slika 6: Zlonamerno dejanje



Slika 7: Nesreča zaradi nenadzorovanih virov sevanja



Slika 8: Nesreča med prevozom radioaktivnih snovi[2]



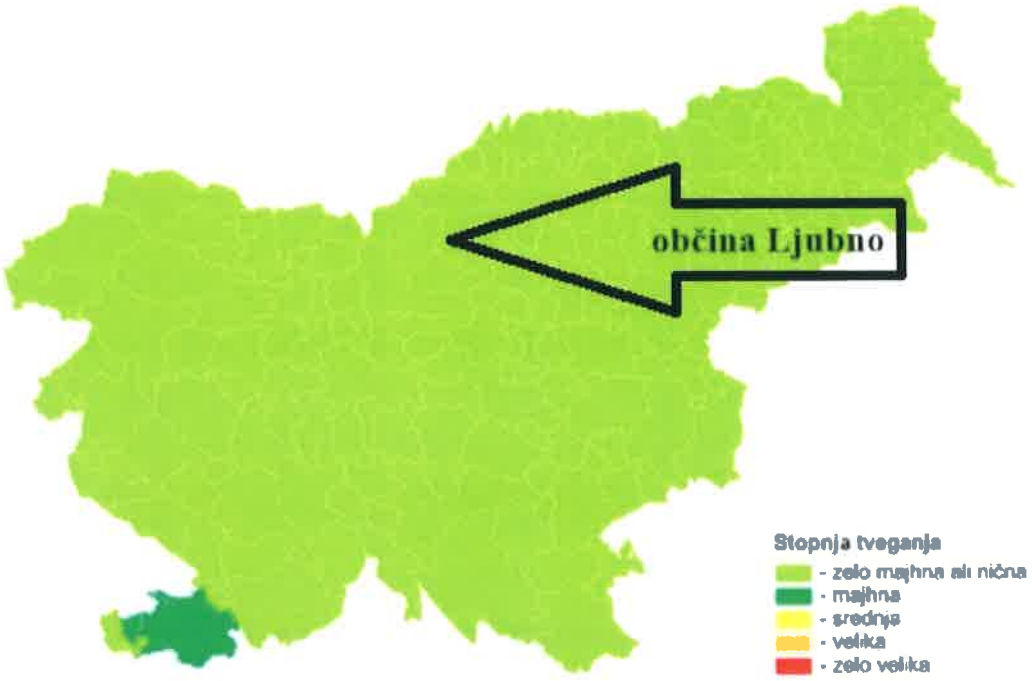
Vir: Ocena ogroženosti ob jedrski ali radiološki nesreči v Republiki Sloveniji, 2023.

Slika 9: Padec satelita z radioaktivnimi snovmi

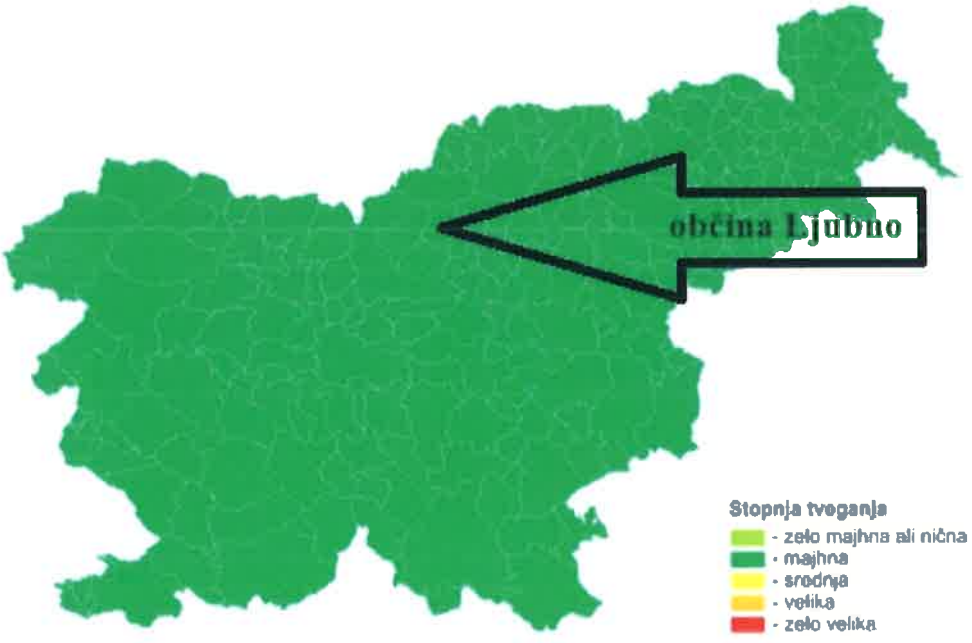


[2] Kot območja z majhnim tveganjem smo označili območja ob avtocestah.

Slika 10: Nesreča na plovilu na jedrski pogon



Slika 11: Jedrska nesreča v tujini



Slika 12: Poškodba odlagališč jalovine na nekdanjem rudniku Žirovski Vrh



Stopnja tveganja občine Ljubno zaradi drugih nesreč (nesreča na reaktorju TRIGA, nesreča v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov na Brinju, nesreča pri uporabi radioaktivnih virov, nesreča zaradi nenadzorovanih virov sevanja, nesreča med prevozom radioaktivnih snovi, padec satelita z radioaktivnimi snovmi, nesreča na plovilu na jedrski pogon, jedrska nesreča v tujini, poškodba odlagališč jalovine na nekdanjem rudniku Žirovski Vrh…) je zelo majhna ali nična in majhna. Srednja ogroženost občine Ljubno je samo v primeru zlonamernega dejanja.

5 ZAKLJUČEK

Občino Ljubno lahko prizadenejo naslednje jedrske ali radiološke nesreče:

- **Nesreča v jedrskih objektih: NEK (I. kategorija), Raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici (III. kategorija) in Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov Brinje (III. kategorija).** Jedrska nesreča širše razsežnosti (z vplivom na prebivalce in okolje) v NEK je zelo malo verjetna, saj ima elektrarna vgrajeno visoko stopnjo pasivne in aktivne varnosti. Celotno območje občine Ljubno leži izven območja načrtovanja takojšnjih zaščitnih ukrepov (OTU, radius 10 km) kot tudi izven območja načrtovanja dolgoročnih zaščitnih ukrepov (ODU, radius 25 km). Občina Ljubno tako spada v območje splošne pripravljenosti (vsa Slovenija), kjer se zaščitni ukrepi izvajajo na podlagi meritev.
- **Uporaba radioaktivnih snovi.** Radiološke nesreče so malo verjetne, vendar so lahko z resnimi posledicami za posameznike.
- **Zlonamerno dejanje.** 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. Možnosti za zlonamerno dejanje se v zadnjem času večajo in predstavljajo čedalje večjo grožnjo tudi v občini Ljubno.
- **Nenadzorovani viri sevanja.** So predvsem viri sevanja, nad katerimi je bil izgubljen nadzor. Verjetnost za tak dogodek – nastanek nesreče z nenadzorovanim visoko aktivnim virom sevanja – je v Sloveniji oziroma občini Ljubno ocenjena na enkrat na dvajset do petindvajset let.
- **Prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi.** Skozi občino Ljubno se prevažajo tudi radioaktivne oziroma jedrske snovi, ki bi ob večji prometni nesreči lahko ogrozile okolje in ljudi. Nesreča lahko povzroči večji izliv jedrske in radioaktivne snovi v stikališče povsem različnih prehodnih geoloških plasti.
- **Padec satelita z radioaktivnimi snovmi.** Verjetnost padca satelita na občino Ljubno 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 občine Ljubno, manj kot 10^{-6} na leto.
- **Plovila na jedrski pogon.** Vir nevarnosti je civilno ali vojaško plovilo na jedrski pogon v slovenskih teritorialnih vodah ali v bližini teh voda. 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.
- **Jedrska nesreča v tujini.** Jedrska nesreča v jedrskem objektu v tujini lahko prizadene občino Ljubno. Območje občine Ljubno je dovolj oddaljeno od vseh jedrskih elektrarn, zato ni ogrožena zaradi neposrednega sevanja iz samih elektrarn. Obstaja pa možnost

onesnaženosti zaradi radioaktivnega oblaka, ki bi se od elektrarne širil v okolje. Stopnja ogroženosti zaradi radioaktivnega oblaka je odvisna predvsem od vremenskih razmer, to je od smeri vetra in od padavin. S padavinami se radioaktivni prah v večjih količinah spušča na tla, zato je tudi kontaminacija tal temu primerno večja. Predvsem gre za kontaminacijo rastlin, živali in vodnih virov ter tudi ljudi, če se pravočasno ne zaščitijo. V primeru jedrske nesreče v NEK ali v kateri drugi jedrski elektrarni, ki bi povzročila onesnaženje na območju občine Ljubno, bi bilo celotno območje predvidoma enakomerno ogroženo, kar pomeni, da bi za vse prebivalce občine veljali enaki zaščitni ukrepi.

- **Poškodba odlagališč jalovine na nekdanjem rudniku Žirovski Vrh.** 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. Občina Ljubno ne bi bila ogrožena v primeru poškodb odlagališč na nekdanjem rudniku (ŽRV).

Obvladovanje nesreče obsega različne ukrepe. Zelo pomembna pri tem je osveščenost prebivalstva, zato jih je potrebno pravočasno seznaniti z navodili o zaščitnih ukrepih. Važno je tudi pravočasno, natančno in sprotno obveščanje prebivalstva, ki ima za posledico hitro in pravilno odzivanje. Onesnaženje tal v primeru radioaktivnih padavin traja dalj časa, zato je potrebno stalno spremljati stanje radioaktivnosti rastlin, živali in vodnih virov. O tem in o potrebnih ukrepih ter omejitvah pa sproti obveščati ogroženo prebivalstvo ter splošno javnost.

6 LITERATURA IN VIRI

Državni načrt zaščite in reševanja ob uporabi orožja ali sredstev za množično uničevanje v teroristične namene oziroma ob terorističnem napadu s klasičnimi sredstvi. Dostopno prek: https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/URSZR/Datoteke/Drzavni-nacrti/dn_terorizem_azuriran_2015.pdf

Načrt zaščite in reševanja ob jedrski in radiološki nesreči. Državni načrt. Verzija 4.0. Dostopno prek: https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/URSZR/Datoteke/Drzavni-nacrti/dn_jedrska_radioloska_2023.pdf

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions during a Reactor Accident", IAEA-TECDOC-955, Vienna, Austria, 1997

IAEA Safety Standards, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, GSR-2, IAEA, Vienna (2002)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Method, Vienna (2003)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2006)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency", Safety Series No.109, Vienna, Austria, 1994

NE Krško, Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, Level 1 Report, January 1994; Initiating Event Analysis, Volume 3

Nuklearna elektrarna Krško, Ocena ogroženosti, rev. 1, DCM-RP-051 (junij 2009).

Ocena ogroženosti pred naravnimi in drugimi nesrečami v občini Ljubno. Verzija 2.0. Številka: 846-7/2017-1 z dne 24.10.2017.

Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi 2018. Dostopno prek: http://www.sos112.si/slo/tdocs/ogrozenost_jedrska.pdf

Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi 2023. Dostopno prek: https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/URSJV/Dokumenti/NUID/Ocena-ogrozenosti-2023-izdaja-8_final.pdf

Ocena ogroženosti ob jedrski ali radiološki nesreči v Zahodno Štajerski regiji. Verzija 3 Dostopno prek: https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/URSZR/Izpostava-Celje/ocene-ogrozenosti/Ocena_ZS_jedrska.pdf

PISO.si.2024. Dostopno prek: https://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=ljubno

Varnostno poročilo za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici, rev. 6, november 2009.

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

1 JEDRSKI OBJEKTI

1.1 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 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.

V Sloveniji in v občini Ljubno ni drugih jedrskih objektov, za katere bi bilo potrebno načrtovati ukrepe za primer izrednega dogodka skladno s kategorizacijo.

1.2 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 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 zunanjega 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 našteti 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 sabotažo (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

1.3. Verjetnost pojavljanja nesreče

1.3.1. 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 na prebivalstvo in okolje zaradi radioaktivnih izpustov, določenih v nivoju 2. Upoštevana je tudi meteorološka, topografska in demografska značilnost lokacije.

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

Pričakovana verjetnost poškodbe sredice za NEK je $4{,}26 \cdot 10^{-5}$, 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 (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi 2023).

1.4 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.

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

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 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 zunanjemu sevanju iz radioaktivnega oblaka žlahtnih plinov, nato pa vdihavanju radioaktivnih delcev, še posebej izotopov radioaktivnega joda, ki se kopičijo v žlezi ščitnici. Srednjeročno (nekaj dni po nesreči) pa prihaja do obsevne obremenitve kratkoživih izotopov zaradi zaužitja kontaminirane hrane, mleka in pitne vode (še posebej v krajih, kjer uporabljajo za pitje deževnico) ter zaradi zunanjega sevanja iz kontaminiranih tal. Med dolgoročno obsevanost prebivalcev štejemo dozo zaradi vnosa radioaktivnih snovi z dolgoživimi radionuklidi (137Cs, 134Cs, 90Sr) s hrano vzdolž celotne prehrambne 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" (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

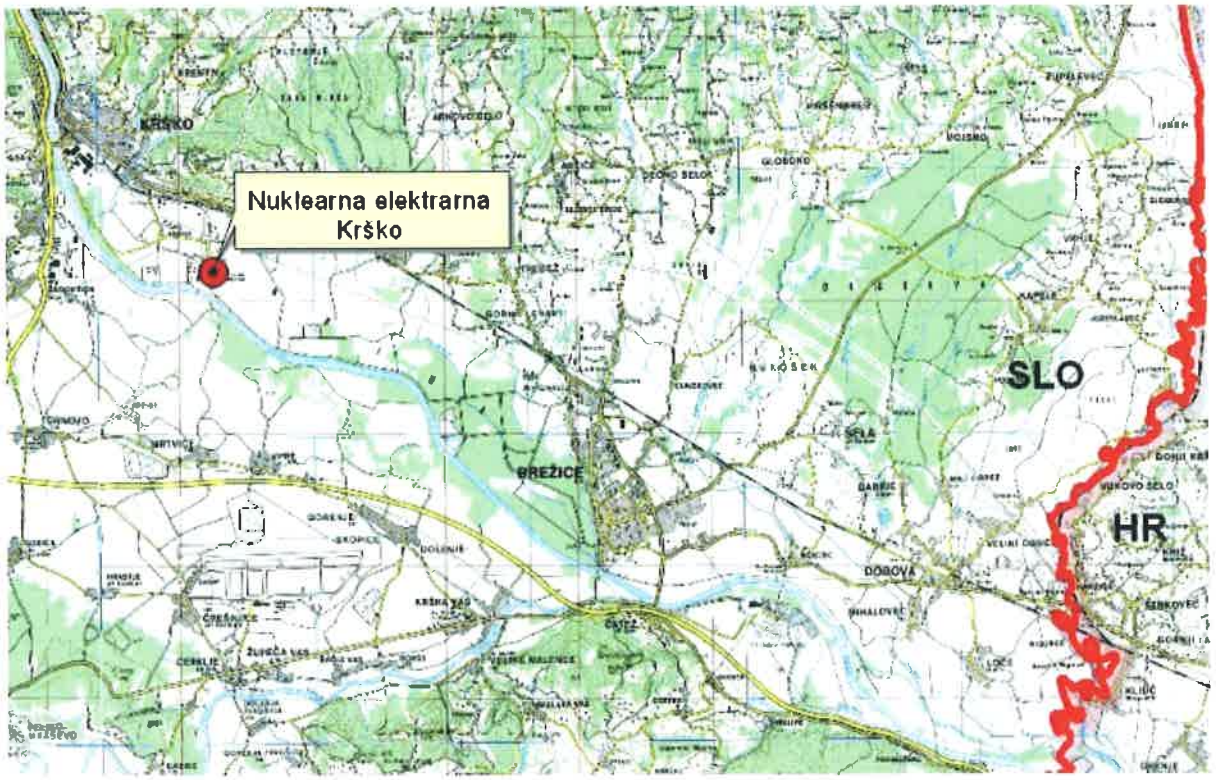
1.5. Potek in možni obseg nesreče

1.5.1. NE Krško

Za nesrečo v jedrski elektrarni Krško je potek nesreče izdelan v »Oceni ogroženosti NE Krško«. Različni poteki projektnih nesreč ter scenariji z verjetnostjo za taljenje sredice za NE Krško so obdelani v »Končnem varnostnem poročilu za NE Krško« in v »Verjetnostni varnostni analizi NE Krško«.

Med nesreče v jedrskih elektrarnah, ki imajo vpliv na prebivalstvo, spadajo nesreče s poškodbo sredice. Jedrske elektrarne z zadrževalnim hramom zadržijo večino radioaktivnih snovi, tako da zaščitni ukrepi za prebivalstvo niso potrebni ali pa so minimalni. Če pride do odpovedi zadrževalnega hrama, se lahko v okolje sprosti znatna količina radioaktivnih snovi in zaščitni ukrepi za prebivalstvo so potrebni. Kakšen bo izpust radioaktivnih snovi, je odvisno od mnogih faktorjev. Širjenje radioaktivnih snovi si lahko predstavljamo kot širjenje oblaka.

Slika 1: Lokacija Nuklearne elektrarne Krško



Oddaljenost NEK (zračna linija) od občine Ljubno je okrog 68 km (zračne linije).

Slika 2: Oddaljenost NEK od občine Ljubno



Vir: Google.si. 2024.

1.5.2. Reaktor TRIGA

Končna varnostna ocena za raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici ne predvideva, da bi lahko prišlo do nesreče z radioaktivnim izpustom v okolico, ki bi imel posledice za prebivalstvo. Reaktor je tako konstruiran, 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 območju 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 območje zunaj ograje reaktorskega centra.

Nesreča z »največjim« vplivom na prebivalstvo pa bi bila poškodba srajčke gorilnega elementa pri premeščanju, kar bi povzročilo dozo nekaj mikroSv na oddaljenosti 100 m od reaktorja TRIGA.

Oddaljenost Raziskovalnega reaktorja TRIGA (zračna linija) od občine Ljubno je okrog 33 km.

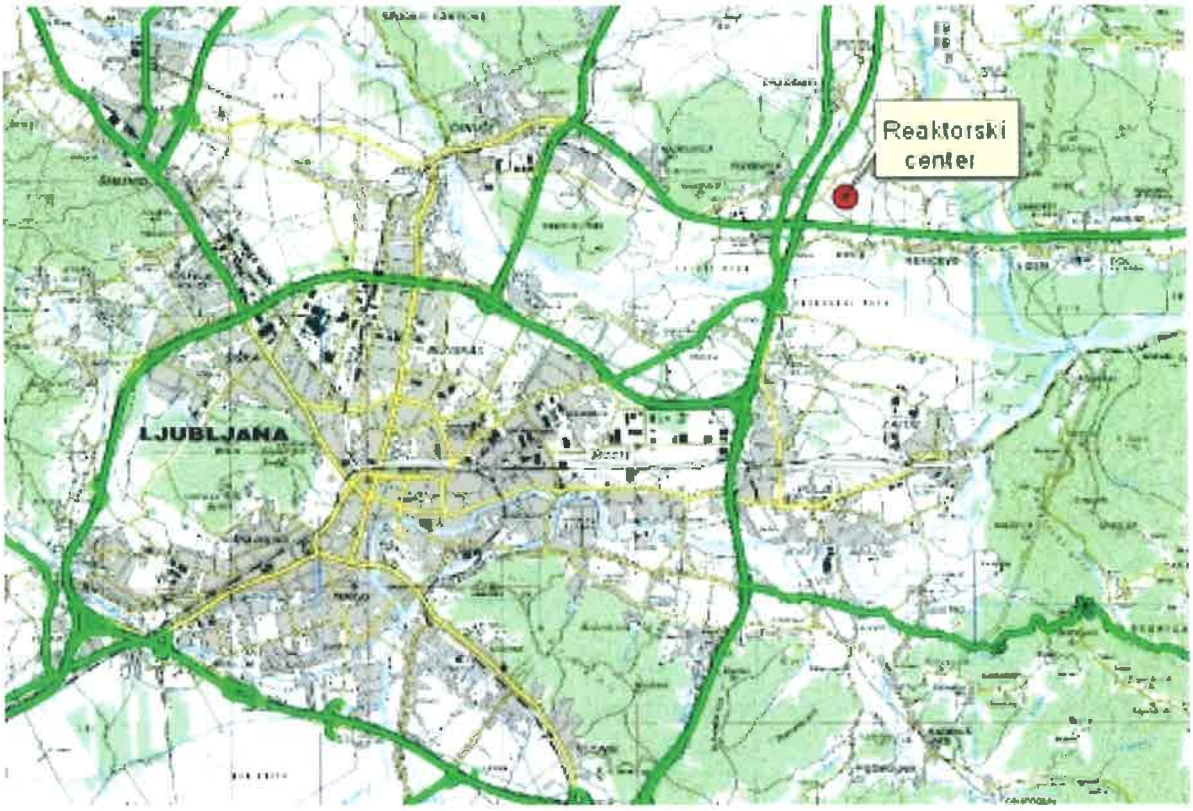
Slika 3: Oddaljenost TRIGA od občine Ljubno



Vir: Google.si. 2024.

1.5.3. Skladišče CSRAO na Brinju

Slika 4: Lokacija Reaktorskega centra



Končno varnostno poročilo za CSRAO predvideva, da bi lahko v primeru požara v skladišču prišlo do kontaminacije okolice z dolgoživimi radionuklidi, ki so skladiščeni. 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.

1.6. Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Ob upoštevanju verjetnosti posameznih začetnih dogodkov in nedavno vgrajenih filtrov, 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 le 1,27 % skupne verjetnosti izpustov, bi bilo ogroženo večje območje.

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 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.

1.7. Verjetne posledice nesreče

Pri posledicah jedrske nesreče je poleg zdravstvenih posledic potrebno upoštevati tudi gospodarske in psihosocialne posledice, ki izvirajo iz zaščitnih ukrepov (npr. zaradi zaklanjanja, evakuacije, zaužitja jodovih tablet, omejitev uporabe hrane). 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.

1.8. Verjetnost nastanka verižne nesreče

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

1.9 Kombinacija jedrske in druge nesreče

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

1.10 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.

1.11 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

1.11.1 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 osebje v izmeni jedrske elektrarne ne bi imelo več pod nadzorom, vplivali na varnost elektrarne in bi vodili v višjo stopnjo nevarnosti;
- **Stopnja 1 - začetna nevarnost** (alert) se razglasi pri nastanku ali razvoju dogodkov, ki imajo ali bi lahko imeli za posledico zmanjšanje varnosti v jedrski elektrarni. Možen je manjši izpust radioaktivnih snovi, ni pa pričakovati večjega tveganja za okolje;
- **Stopnja 2 - objektna nevarnost** (site emergency) se razglasi pri nastanku ali razvoju dogodkov, ki imajo ali bi lahko imeli za posledico večjo odpoved varnostnih funkcij elektrarne in posledično ogroženost osebja jedrske elektrarne in okoliškega prebivalstva. Obstaja možnost ali pa je že prišlo do izpusta radioaktivnih snovi v takem obsegu, ki zahteva zaščitne ukrepe v jedrski elektrarni, vključno z evakuacijo območja jedrske elektrarne in območja, ki je pod neposrednim nadzorom jedrske elektrarne 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.

1.11.2 Stopnje nevarnosti izrednega dogodka pri drugih sevalnih ali jedrskih objektih

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

1.11.3 Območja načrtovanja za jedrsko nesrečo v NEK in zaščitni ukrepi

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

- **Območje preventivnih ukrepov (OPU)** - območje s polmerom 3 km okrog NEK po mejah naselij;
- **Območje takojšnjih ukrepov (OTU)** - območje s polmerom 10 km okrog NEK po mejah naselij;
- **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. V OTU se najprej odredi zaklanjanje in jodno profilakso. Ko je območje OPU evakuirano, se evakuira tudi celotni OTU, na podlagi strokovne ocene, če je evakuacija možna in varna. Evakuacijo v OPU in OTU se izvaja v dveh korakih zaradi bolj učinkovite evakuacije OPU. V območju ROU se preventivno odredi zaklanjanje in 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 evakuacije ni možno varno izvesti. Zaužitje stabilnega joda (jodna profilaksa, za zaščito prebivalcev mlajših od 40 let) je vzporedni ukrep ob evakuaciji in ob zaklanjanju, ki se ga nikoli ne izvaja samostojno.

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

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

Celotno območje občine Ljubno leži izven območja načrtovanja takojšnjih zaščitnih ukrepov (OTU, radius 10 km) kot tudi izven območja načrtovanja dolgoročnih zaščitnih ukrepov (ODU, radius 25 km). Občina Ljubno tako spada v območje splošne pripravljenosti (vsa Slovenija), kjer se zaščitni ukrepi izvajajo na podlagi meritev.

2. UPORABA RADIOAKTIVNIH SNOVI

2.1. Viri nevarnosti

To so stacionarni objekti, kjer uporabljajo radioaktivne snovi (npr. raziskovalni inštituti in bolnišnice). V industriji pa se lahko radioaktivne snovi uporabljajo na določenem mestu (npr. za merjenje debeline pločevine, nivojev v posodah), lahko pa so premični (npr. radiografski viri, sonde za merjenje vlažnosti in gostote cestišča, kalibracijski viri, itd.).

V občini Ljubno ne uporabljajo radioaktivnih snovi. V občini Ljubno delujejo podjetja, ki se ukvarjajo z dejavnostjo katera spadajo po oceni med obrate manjšega in večjega tveganja za nastanek nesreče, ki jo lahko povzročijo s svojo dejavnostjo, vendar pa po javno dostopnih podatkih nobeno ne uporablja radioaktivnih snovi.

2.2. Možni vzroki nastanka nesreče

Vzrok pri nastanku nesreče z radioaktivnimi snovmi je lahko izključno človeška napaka, ker so radioaktivne snovi pasivne naprave, tako da ne more priti do odpovedi delovanja. Vzroke lahko razdelimo na:

a) nepravilno uporabo, vključno z vzdrževanjem, hrambo ali izgubo radioaktivne snovi zaradi malomarnosti, nevednosti, neznanja ali neupoštevanja predpisov varstva pred sevanji,
b) konstrukcijsko napako pri vgradnji vira sevanja (npr. slaba izdelava ščita, neustrezno izdelano orodje za rokovanje z virom),
c) namerna povzročitev nesreče zaradi osebnih motivov ali organiziranega subverzivnega delovanja,
d) kibernetski napad s strani posameznikov (hekerjev), organiziranih skupin, terorističnih organizacij ali držav z namenom sabotaže ali kraje radioaktivnih snovi. Njihovi motivi se razlikujejo, vse od osebnih, finančnih, političnih, prepoznavnosti, vohunjenja idr. (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

2.3. Verjetnost pojavljanja nesreče

Glede na izkušnje v Sloveniji in tujini predpostavljamo, da lahko ob sedanjem številu virov sevanja v občini Ljubno pričakujemo dogodek ali nesrečo z nenamerno kontaminacijo v 10 do 60 letih (glej pojasnilo). Poudariti velja, da so efektivne 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.

2.4. Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

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

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

Pri delu z odprtimi izotopi gre praviloma za raztres 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 (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

2.5. Potek in možni obseg nesreče

Nesreča se zgodi zaradi nevednosti ali površnosti. Ljudje so v takih primerih obsevani zaradi najdbe neoznačenega in nezaščitenega vira sevanja ali pa zaradi njegove izgube, pri čemer pa ne vedo, da so v njegovem območju sevanja. Pri delu z viri sevanja pa lahko pride do izpada kapsule z radioaktivno snovjo iz naprave ali do okvare mehanizma, ki opravlja zaščitno funkcijo, to je da 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

aktivnega in disperzivnega vira sevanja v železarni, pri čemer lahko pride do kontaminacije zaradi zračenega transporta tudi na večje razdalje.

2.6. Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

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

2.7. Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje 1.7.

2.8. Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

2.9. Možnost predvidevanja nesreče

Ni neposrednih znakov nesreče, vendar se da iz inšpekcijskega nadzora, ki ugotovi pomanjkljivo vzdrževanje, izobraževanje, pogoste napake, neupoštevanje predpisov, pomanjkljive postopke, slabo varnostno kulturo ipd., sklepati, da gre za povečano verjetnost, da se zgodi nesreča in je treba pravočasno ukrepati in napake odpraviti.

2.10. Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Prvi ukrep v primeru radiološke nesreče je zavarovanje območja, tako da se omeji sevanje in kontaminacijo. Na ta način 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 določi konzervativno večje območje glede na vrsto dogodka.

3. ZLONAMERNO DEJANJE Z UPORABO JEDRSKIH ALI RADIOAKTIVNIH SNOVI

3.1 Viri nevarnosti

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

Dokument MAAE 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.

3.2 Možni vzroki nastanka nesreče

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

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

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

3.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Glede na dogodke po svetu, ki so znani oziroma so strokovno odmevali v zadnjih desetletjih in vsebujejo kriminalno komponento. Gre za referenčne primere z različnimi izotopi, ki bi se ob konzervativni predpostavki, ki je srednje zanesljiva, pojavljali enkrat v 25 letih ali redkeje, pri čemer so vključena tudi 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 občine Ljubno za skrajno malo verjetne - več velikostnih razredov nižje tveganje kot tveganje za dogodek, ki bi vključeval umazano bombo.

3.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

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

3.5 Potek in možni obseg nesreče

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

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 137Cs oziroma s 90Sr, 241Am, 226Ra ali drugimi radionuklidi ali razpršitev takih snovi na drugačen način kot teroristično dejanje, bi lahko imela zdravstvene posledice za ljudi.

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, kontaminacija vodovodnih sistemov ipd (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2018).

3.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Največjo grožnjo, ki je sicer najmanj verjetna, bi predstavljala "umazana bomba" ali druga razpršitev razpršljivih radioaktivnih snovi z visoko radioaktivnostjo oziroma visoko radiotoksičnostjo. 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 je 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.

3.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje 1.7

Teroristično dejanje z jedrskimi ali radioaktivnimi snovmi bi imelo močan političen vpliv tako v domovini kot v tujini. Znaten 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 zlonamernih dejanjih bi bile lahko posledice zelo različne ali bi za njih izvedeli celo po daljšem časovnem obdobju. V tem sklopu velja omeniti namensko obsevanje (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. Zlonamerna in predvsem teroristična dejanja bi bila najverjetneje povezana z globalnimi političnimi izzivi, njihove posledice pa bi lahko povzročile okrnjeno delovanje državnih organov in ovirale normalno življenje večjega dela prebivalstva.

3.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

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

3.9 Možnost predvidevanja nesreče

Predvidevanje zlonamernega dejanja z uporabo jedrskih ali radioaktivnih snovi ni možno. Vendar je ravno stopenjski pristop, ki velja za uporabo, vključno s prevozom, tisti, ki zagotavlja strožja pravila uporabe, vključno s fizičnim varovanjem oziroma ukrepi varovanja, za tiste snovi, ki predstavljajo višje tveganje v smislu kraje, sabotaže ter drugih ravnanj (npr. namenskega obsevanja). Spremlja se tuje dogodke, ki se jih ustrezno ovrednoti v smislu ocene ogroženosti in na druge načine. V zadnjem obdobju se daje večji poudarek tudi na notranje grožnje ("insajderstvo") (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

3.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

V primeru umazane bombe bi morali biti zaradi varovanja zdravja ljudi zaščitni ukrepi hitri in hkrati dobro premišljeni. Dekontaminacija v urbanem okolju bi bila zahtevna in draga. V smislu namenske izpostavljenosti v urbanem okolju in v cestnem prometu imajo določene službe (npr. carina/FURS, policija) detekcijsko opremo, vključno s tisto, ki se uporablja v vozilih ali se jo nosi na sebi. Oprema bi bila pomembna zlasti v primerih, ko bi obstajala grožnja in bi bilo treba poiskati, kje bi se lahko nahajale jedrske ali radioaktivne snovi. Pri tem bi bili pomembni tudi obveščevalni podatki. Podatki o jedrskih snoveh in visoko radioaktivnih virih sevanja niso

javni. Ustrezno varovanje teh podatkov in informacij je eden od pomembnih preventivnih ukrepov.

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

4. NENADZOROVANI VIRI SEVANJA

4.1. Viri nevarnosti

So predvsem viri sevanja nad katerimi je bil izgubljen nadzor (t.i. »orphan sources« oziroma izgubljeni viri; tudi viri sevanja neznanega izvora). To so lahko viri, na katere se lahko »pozabi« zaradi pomanjkljivega nadzora upravljavca oziroma zaradi pomanjkljivega upravnega in inšpekcijskega nadzora ali pa sploh nikoli niso bili pod nadzorom. Takšni viri sevanja se pogosto pomešajo med sekundarne kovinske surovine, pogosto pa izhajajo iz dejavnosti, ki so bile v preteklih desetletjih pomanjkljivo regulirane glede na sedanje stanje. Ker je odkritje nenadzorovanega vira sevanja povezano z merjenjem sevanja, jih je možno odkriti tam, kjer se to sistematično meri. To so lokacije odpadov, kjer se zbira, obdeluje in predeluje razne odpadke, tudi odpadne kovine, predvsem železo oziroma jeklo pa tudi druge kovine. Tovrstne lokacije so tudi lokacije, kjer so portalni ali drugi stacionarni merilniki sevanja oziroma se uporablja prenosna detekcijska oprema (npr. pošte, mednarodni mejni prehodi). Slovenska policija in carina (FURS) imata na voljo tudi detekcijsko opremo v vozilih, ki bi lahko zaznala povišane vrednosti sevanja. Nenadzorovane vire je možno odkriti tudi na vstopu v livarne, kjer se ravno tako izvaja nadzor nad vsebnostjo radioaktivnih snovi v vhodnem materialu. V Sloveniji se občasno, a redkeje kot v preteklosti, v okviru raziskovalnih ustanov, industrije in drugih subjektov odkrije manjše količine uranovih ali torijevih spojin, ki predhodno niso bile pod upravnim nadzorom.

4.2 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. Določene radioaktivne vire je dostikrat težko odkriti v pošiljkah, pri čemer le-ti prihajajo iz drugih držav ali celo iz drugih celin.

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

4.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost za tak dogodek – nastanek nesreče z nenadzorovanim visokoaktivnim virom sevanja – je v Sloveniji oziroma občini Ljubno 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.

4.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti je podobna kot je opisana v poglavju 2.4, medtem ko gre pri taljenju vira v peči železarne ali jeklarne za radioaktivno kontaminacijo produkta ali za izpust hlapljivih radioaktivnih snovi v ozračje. Dodati je treba, da je izpust v ozračje praviloma zelo razredčen, tako da znatnih doz, ki bi terjale evakuacijo prebivalstva, ni pričakovati.

4.5 Potek in možni obseg nesreče

Potek in možni obseg nesreče je enak kot v poglavju 2.5.

4.6 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 (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

4.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje 1.7.

4.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

4.9 Možnost predvidevanja nesreče

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

4.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

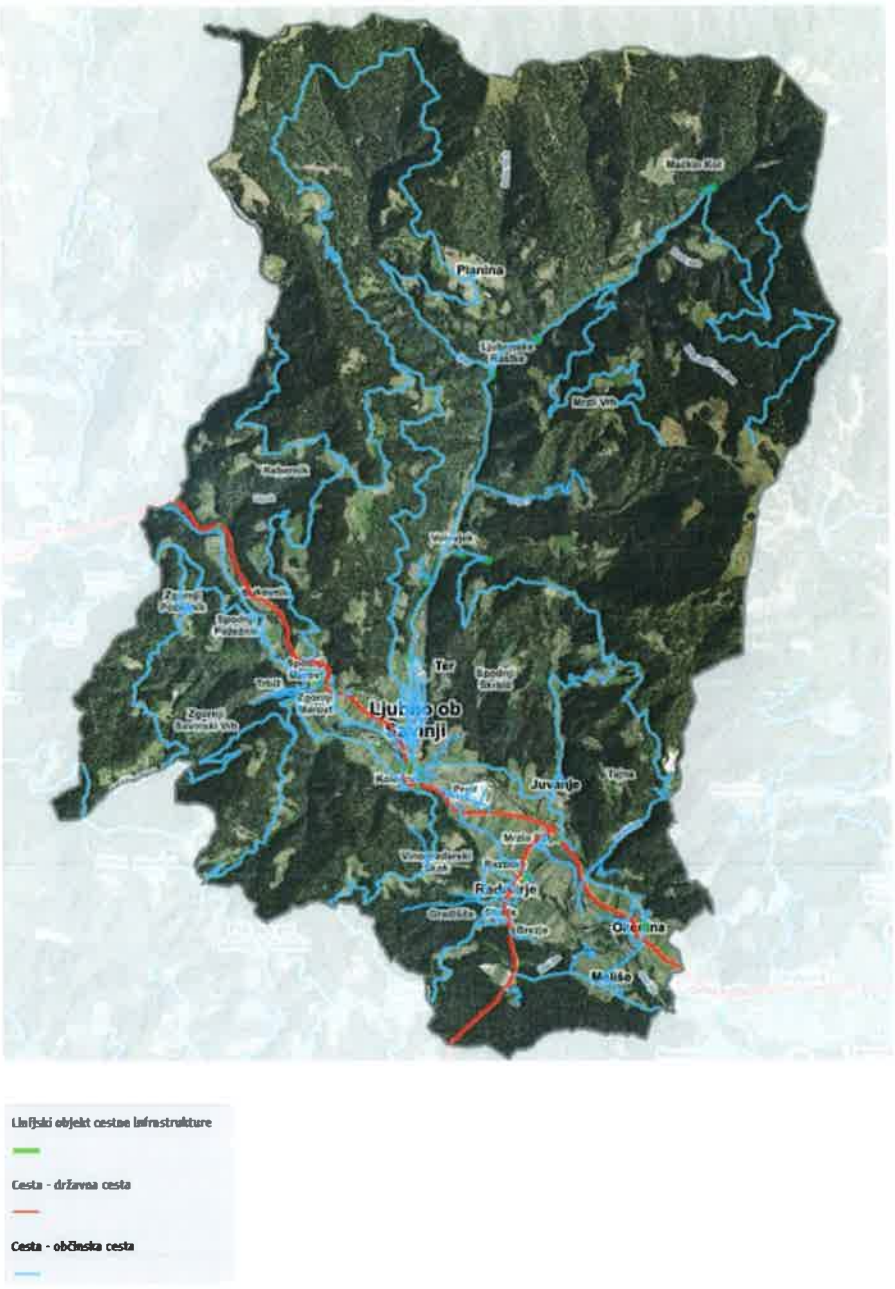
Glej poglavje 2.10.

5. PREVOZ RADIOAKTIVNIH IN JEDRSKIH SNOVI

5.1 Viri nevarnosti

Pri prevozu radioaktivnih in jedrskih snovi se lahko zgodi prometna nesreča; verjetnost za radiološko nesrečo (ko bi prišlo do znatnih povišanj ravni sevanja, puščanja in kontaminacije vozila, okolice) je 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 izdata bodisi Uprava RS za varstvo pred sevanji bodisi Uprava RS za jedrsko varnost.

Slika 5: Prometne poti v občini Ljubno (državne, občinske ceste)



Vir: PISO.si. 2024.

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).

Najpomembnejše cestno omrežje v občini Ljubno predstavljajo naslednje ceste:

- R1 225/1248 Radmirje – Mozirje
- R1 225/1085 Črnivec – Radmirje
- R2 428/1249 Radmirje – Luče
- Lokalne ceste čez naselje Ljubno ob Savinji.

Skozi občino Ljubno se prevažajo tudi radioaktivne oziroma jedrske snovi, ki bi ob večji prometni nesreči lahko ogrozile okolje in ljudi.

5.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Pri prevozu radioaktivnih snovi so lahko vzroki predvsem prometna nesreča, kraja vozila in/ali radioaktivnih snovi (možno je npr. tudi kasnejše obsevanje ob nestrokovnem razstavljanju naprave z radioaktivnim virom) in padec tovorka z radioaktivnimi snovmi iz vozila. Možen vzrok je lahko tudi nesreča med pretovarjanjem radioaktivnih snovi, npr. nakladanje oziroma razkladanje ali padec težkega predmeta pri čakanju na prevoz. Kot kažejo primeri iz tujine, je lahko eden od vzrokov nesreče (povišanih doz, bodisi posadke vozila, bodisi ostalih) tudi odpoved tehničnih elementov v tovorku oziroma embalaži, npr. zaradi napak pri zasnovi. Prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi je lahko vezan na občutljive podatke in informacije, ki so shranjene in uporabljene na raznih digitalnih sistemih. Le-ti pa so dovzetni na kibernetske napade. V primeru izgube zaupnosti, celovitosti in razpoložljivosti teh podatkov in informacij, bi lahko bil ogrožen prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi in vse v povezavi z njim.

5.3. Verjetnost pojavljanja nesreče

Točnih evidenc o številu opravljenih prevozov radioaktivnih snovi in številu prevoženih kilometrov v Sloveniji in občini Ljubno ni (cesta, zračni promet). Na podlagi tujih statistik sklepamo, da je v Sloveniji in ZŠ regiji v prevozu nekaj tisoč tovorov z radioaktivnimi snovmi letno. Na podlagi analize nesreč pri prevozu drugih nevarnih snovi ocenjujemo, da gre za verjetnost enega dogodka v obdobju več kot deset let.

Do sedaj v občini Ljubno 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.

Pri prevozu izrabljenega jedrskega goriva je verjetnost, da bi prišlo do raztrosa jedrskih in radioaktivnih snovi, zanemarljiva, saj so kontejnerji projektirani tako, da zdržijo celo trk z lokomotivo. Lahko tudi ocenimo, 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 Jožeta Pučnika Ljubljana, 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.

5.4. Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Podobno kot v poglavju 2.4. 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, udeleženih v nesreči. Le v primeru požara pri nesreči lahko pride do termične poškodbe vira in v zvezi s tem tudi do morebitne kontaminacije oseb in okolja (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

5.5 Potek in možni obseg nesreče

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

5.5.1 Prevoz svežega goriva

NEK uvozi enkrat na 18 mesecev od 50 do 60 gorivnih elementov (maksimalna obogatitev z 235U 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.

5.5.2 Prevoz izrabljenega goriva

NEK

Trenutno se vse gorivo iz NEK hrani na lokaciji. Na lokaciji je zgrajeno novo suho skladišče izrabljenega goriva, v katerega se bo v več fazah preneslo izrabljeno gorivo iz bazena za

izrabljeno gorivo. V suhem skladišču je izrabljeno gorivo odloženo v posebne zabojnike, katere se lahko transportira izven lokacije NEK. V bližnji prihodnosti ni predvideno, da bi se izrabljeno gorivo prevažalo iz lokacije NEK.

TRIGA

Raziskovalni reaktor TRIGA uporablja za svoje obratovanje jedrsko gorivo, ki je bilo kupljeno v ZDA. V skladu z dogovorom med vladama RS in ZDA je 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.

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

Pošiljke radioaktivnih snovi potekajo bodisi zaradi dobave organizacijam, ki jih uporabljajo, bodisi zaradi prevoza prenosnih virov na mesto uporabe. V prvem primeru gre predvsem za uporabo virov sevanja v medicini (125I, 131I, 18F in 99mTc) in za dobavo stacionarnih virov industriji (137Cs, 60Co, 85Kr, 55Fe, 90Sr in 241Am). V drugem primeru pa gre za prevoze virov sevanja, ki se uporabljajo pri kontroli zvarov ali gradbenih del na terenu. Najpogostejši radionuklidi so 192Ir v tovorkih B(U) oz. 75Se, 137Cs, 241Am/Be v tovorkih A. Pogosto se prevažajo še viri sevanja nizke aktivnosti, ki so vgrajeni v prenosne merilne instrumente (63Ni, 133Ba, 137Cs 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 (131I, 99mTc ali 18F) je vpliv nesreče razmeroma kratkotrajen (nekaj dni ali tednov), zato je dekontaminacija praviloma manj zahtevna. 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 (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

5.5.4 Tranzit radioaktivnih snovi

Veljajo enaki ukrepi in podatki kot pri prevozu v domačem prometu. Posebej pa je potrebno izpostaviti tranzite virov sevanja s pomembno aktivnostjo – tj. tistih, katerih aktivnosti dosegajo kategoriji I in II (kategorizacija MAAE)[3]. 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".

5.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

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

5.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje 1.7.

5.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

5.9 Možnost predvidevanja nesreče

Ni možno.

5.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Glej poglavje 2.10

[3] Tovrstni tranziti se dogajajo z različno pogostostjo (kategorija I manj kot enkrat letno; kategorija II večkrat letno, npr. tranziti 192Ir/ 75Se, ki se uporabljata v industrijski radiografiji) in ustrezajo terminologiji ADR kot "radioaktivne snovi s potencialno hudimi posledicami".

6. PADEC SATELITA Z RADIOAKTIVNIMI SNOVMI

6.1 Viri nevarnosti

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

6.2 Možni vzroki nastanka nesreče

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

6.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost padca satelita na občino Ljubno 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 občine Ljubno, manj kot 10^{-6} na leto (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

6.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Razlikujemo vrsto vira sevanja na satelitu: izvor visoke alfa aktivnosti (izotopi plutonija) ali pa reaktorski vir. V prvem primeru gre za možno kontaminacijo z zelo toksičnim sevalcem alfa. V drugem primeru pomeni padec satelita kontaminacijo s fisijskimi produkti, vendar se ta kontaminacija razlikuje od tiste, ki je posledica jedrske eksplozije. Predvsem ostaja radioaktivnost večinoma vezana na delce z visokimi specifičnimi aktivnostmi in je zanjo značilno, da ne vsebuje ne jodovih in ne cezijevih 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. Zaradi neposredne kontaminacije z radioaktivnimi delci so ogroženi nekateri prehrambni 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[4].

6.5 Potek in možni obseg nesreče

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

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

imajo samo države, ki so lastnice satelita. Območje, ki ga je potrebno preiskati po padcu satelita, da bi ugotovili morebitno kontaminacijo zemljišča, znaša okoli 100.000 km^2, kar predstavlja približno petkratno velikost Slovenije. Tako bi lahko bila prizadeta celotna občina Ljubno.

6.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

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

6.7 Verjetne posledice nesreče

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

6.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

6.9 Možnost predvidevanja nesreče

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

7.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

V primeru padca satelita je potrebno predvideti predvsem ukrepe v prehranski verigi (nadzor kontaminiranosti hrane), lociranje vročih točk in dekontaminacijo (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

7 PLOVILA NA JEDRSKI POGON

7.1 Viri nevarnosti

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

7.2 Možni vzroki nastanka nesreče

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

7.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost pojavljanja tovrstne nesreče je težko oceniti, saj zanesljivih podatkov o nesrečah reaktorjev na plovilih, kjer bi prišlo do poškodbe sredice, ni na razpolago. Za slovenski primer lahko napravimo naslednjo oceno: Obisk takšnega plovila je približno enkrat na 10 let za približno en teden, kar znese za verjetnost obiska 0,2 % na leto. Za verjetnost hude nesreče s poškodbo sredice bomo vzeli, da je podobno kot pri jedrskih reaktorjih za proizvodnjo električne energije, kjer je zelo konservativna ocena 10-4 na leto, čeprav so v času obiska plovila reaktorji ustavljeni ali na nizki moči. Če v oceni upoštevamo, da ladja lahko odpluje, smer vetra, in da izvaja ukrepe (npr. poplavljanje, zapiranje loput/prekatov, filtriranje izpusta), ki bi preprečili znaten izpust radioaktivnih snovi, lahko oceno zmanjšamo še za nekaj velikostnih razredov npr. na 10-1 ali 10-3 na leto. Ko vse to zmnožimo, dobimo verjetnost 2·10-8 ali 2·10-10 na leto, kar je izredno majhna vrednost (primerljiva s padcem satelita) ob dejstvu, da smo drugo verjetnost (za poškodbo sredice) verjetno precenili, saj je reaktor v času obiska ustavljen, na razpolago pa so neomejene količine vode.

7.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

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

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

7.5 Potek in možni obseg nesreče

Podobno kot pri jedrskih nesrečah pride zaradi različnih začetnih vzrokov do poškodbe sredice reaktorja, ki je sestavni del plovila. Najugodneje bi bilo v tem primeru odvleči ladjo na odprto morje. Na potek nesreče bistveno vpliva ravnanje posadke plovila, na katero pa nimamo nobenega vpliva. Za hlajenje tovrstnega reaktorja en dan po ustavitvi, in sicer z izparevanjem vode, potrebujemo približno pol litra na sekundo. Če pa bi reaktor deloval s polno močjo tik pred ustavitvijo pa desetkrat več, vendar kot že opisano, pri stoječih plovilih ta scenarij ni verjeten. Pričakujemo vsaj obvestilo poveljnika plovila o težavah, čeprav ni nobenih zagotovil za to. Pri zelo konservativnem scenariju bi lahko prišlo do izpusta radioaktivnih snovi. V tem primeru je potek nesreče odvisen od meteoroloških pogojev. Radioaktivni oblak bi lahko dosegel kopno ob ustrezni smeri vetra. Na kopnem bi lahko prebivalstvo prejelo doze zaradi vdihavanja in zunanje kontaminacije, ki pa ne bi presegle 100 mSv referenčne ravni za izpostavljenost ob izrednem dogodku.

7.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Ogroženi so tisti prebivalci in živali, ki se nahajajo na območju, ki ga je dosegel radioaktivni oblak, vendar je treba dodati, da so pričakovane vrednosti kontaminacije in prejetih doz tako majhne, da ne zahtevajo uvedbe območja takojšnjega ukrepanje. Najbolj bi bilo ogroženo prebivalstvo, ki se nahaja v smeri vetra. Ogroženost prebivalstva in živali je minimalna. Če bi bilo potrebno, zadostuje že zaklanjanje v zaprte prostore ob izključenem prezračevanju, kar lahko precej zmanjša dozo zaradi vdihavanja. Posebni ukrepi za živali niso potrebni. Za predmete in premoženje pa zadostuje že dekontaminacija z izpiranjem ali pranjem. Ukrepi po kopenski prehrambeni verigi niso pričakovani. Prav tako v primeru potopitve plovila niso pričakovani ukrepi po morski prehrambeni verigi. Če pride do poškodbe sredice in radioaktivnega izpusta, bi merili tudi radioaktivnost morja in ustrezno ukrepali, vendar ni pričakovati, da bi bili preseženi nivoji za omejitev uporabe morske hrane za vse slovensko morje in za daljše obdobje (več kot mesec). Glede na skromen obseg slovenskega ribištva morebitni (praktično neverjetni) ukrepi (prepoved ribarjenja in nadzor morskih ribogojnic) ne bi povzročili večje škode.

7.7 Verjetne posledice nesreče

Posledice nesreče z vidika prejetih doz prebivalstva ne bi presegle referenčnih ravni, zaradi zaskrbljenosti prebivalstva pa lahko pričakujemo morebitno lastno oziroma ne odrejeno zaklanjane v trajanju nekaj ur in psihološke učinke. Zato je potrebno pravočasno in ciljano obveščanje, ki naj natančno razloži tveganja in morebitne učinke na zdravje ljudi in ravnanje s hrano, živalmi, predmeti. Podobno tudi ni pričakovati škode zaradi kontaminirane hrane in predmetov. Lahko pa bi bila potrebna dekontaminacija, da se povrne zaupanje in tudi okrepljen nadzor sevanja v življenjskem okolju za določeno obdobje. Potopljeno plovilo ne predstavlja nevarnosti, še posebej zato, ker lahko pričakujemo da bo država lastnica plovila, le tega dvignila in odvlekla iz slovenskih teritorialnih vod.

7.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

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

7.9 Možnost predvidevanja nesreče

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

7.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Glede na izredno majhno verjetnost dogodka in zelo omejene lokalne posledice, je načrtovanje odziva na nesrečo plovila na jedrski pogon potrebno na lokalni oziroma regijski (obalni) ravni. Odsvetuje se kakršnokoli vnaprejšnje načrtovanje območij ukrepanja v obalnem območju. Odziv ob nesreči s plovilom na jedrski pogon vključuje predvsem ukrepe, s katerimi se zagotovi nadzor nad situacijo in poleg obveščanja prebivalstva v primeru nesreče z izpustom radioaktivnih snovi vključuje dekontaminacijo plovila, prepoved ribarjenja in nadzor morskih ribogojnic ter nadzor sevanja v morju (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

8. JEDRSKA NESREČA V TUJINI

8.1 Viri nevarnosti

Potrebno je načrtovati ukrepe tudi za primer izrednega dogodka v jedrskih elektrarnah v tujini (radij 1.000 km). Za ostale jedrske objekte v tujini načrtovanje zaščitnih ukrepov za primer izrednega dogodka ni predvideno, ker:

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

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

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

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

Velikost navedenih razdalj je odvisna predvsem od eksplozivne moči uporabljenega jedrskega orožja, višine detonacije (nižja detonacija pomeni hujše zgoraj opisane posledice) in vremenskih pogojev (hitrost vetra, količina padavin, stabilnost itd.). Za prvi scenarij, uporaba jedrskega orožja v Ukrajini, so izračuni pričakovanih koncentracij najpomembnejših radioaktivnih snovi v živilih in krmi v srednji Evropi pokazali, da bi v najslabšem primeru (poleti) v posameznih živilih, kot je listnata zelenjava, določene radioaktivne snovi lahko presegale mejne vrednosti EU za hrano. Pri drugem scenariju sta Sloveniji najbližji dve NATO bazi v Italiji, ki skladiščita jedrsko orožje, in sicer baza Aviano, od Slovenije oddaljena 63 km in baza Ghedi-Torre, ki je oddaljena 255 km. Na razdalji 1000 km od Slovenije so naslednje štiri NATO baze: Ramstein v Nemčiji na razdalji 555 km, Fliegehorst Buechel v Nemčiji 630 km, Kleine Brogel v Belgiji (778 km) in baza Volkel na Nizozemskem 815 km. Radiološki vplivi dolgega dosega prizemnih detonacij jedrskega orožja so manj resni, kot so učinki resne nesreče v jedrski elektrarni na primerljivi (veliki) razdalji.

8.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Možni vzroki nastanka nesreče so enaki kot v 1.2.

8.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Verjetnost za nesrečo v jedrski elektrarni v tujini ocenimo z verjetnostjo za taljenje sredice na približno $1{,}0*10^{-4}$ 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.

Verjetnost uporabe jedrskega orožja v tujini je zelo majhna.

8.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Vrsta, oblika in stopnja 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 občini Ljubno so tisočkrat ali večkrat manjše kot tiste, ki so v okolici prizadetega objekta (npr. na razdalji 10 km).

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

8.5 Potek in možni obseg nesreče

Ne glede na vremensko situacijo bi nesreča v tuji jedrski elektrarni lahko imela posledice v občini Ljubno samo, če bi prišlo do taljenja sredice ob hkratni odpovedi zadrževalnega hrama. Glavne značilnosti poteka nesreče so že opisane v poglavju 1.5. 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.

8.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

Lahko zaključimo, da bi bila pri jedrski nesreči v tujini ogrožena celotna občina Ljubno in sicer zaradi mokrega useda.

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

8.7 Verjetne posledice nesreče

Za zdravstvene posledice glej poglavje 1.7.

8.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno v primeru nesreče v jedrski elektrarni.

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

8.9 Možnost predvidevanja nesreče

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

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

8.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

V primeru jedrske nesreče v tujini (in uporabe jedrskega orožja v tujini) je potrebno predvideti predvsem ukrepe v prehranski verigi (nadzor kontaminiranosti hrane) ter ukrepe, ki se nanašajo na potovanja oseb z oziroma na ogroženo področje v tujini (omejitev potovanja, trgovine, stikov ipd. s prizadetim območjem). Na državni meji oziroma zunanji meji EU se ob povečanem nadzoru radioaktivnosti živil in predmetov za splošno rabo izvaja dekontaminacija ljudi in vozil, ki prihajajo s prizadetega območja. V primeru težke jedrske nesreče v bližini (npr. jedrska elektrarna Paks) bi bilo potrebno izvajati zaščitne ukrepe ob upoštevanju splošnih meril in operativnih intervencijskih ravni, ki obsegajo prenehanje uporabe kontaminiranih oziroma lokalno pridelanih živil, vode, krmil ter predmetov, zaužitje tablet kalijevega jodida, uporabo osebnih zaščitnih sredstev, dekontaminacijo, zaščito živali ter zaklanjanje (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).

9 POŠKODBA ODLAGALIŠČ JALOVINE NA NEKDANJEM RUDNIKU ŽIROVSKI VRH (RŽV)

9.1 Viri nevarnosti

Na območju nekdanjega rudnika urana Žirovski vrh se nahajata dve odlagališči, odlagališče rudarske jalovine Jazbec in odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt. Na odlagališčih je odložen material s povišano vsebnostjo naravnih radionuklidov kot posledica pridobivanja uranove rude in proizvodnje uranovega koncentrata.

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

Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt ima status sevalnega objekta. Zaradi povečane hitrosti plazenja hribine, na kateri se nahaja odlagališče, je bilo izvedenih več študij, ki bodo služile kot podlaga za nadaljnje ukrepanje in zaprtje odlagališča. V prvi študiji je ocenjen raznos 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.

9.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Izredna dogodka, ki bi lahko vplivala na celovitost in stanje odlagališč Jazbec in Boršt, sta predvsem potres večje intenzivnosti ter dolgotrajno ali intenzivno deževje. Najbolj neugodno bi bilo istočasno delovanje obeh. Poleg zunanjih vplivov, ki bi lahko privedli do nastanka nesreče na območju odlagališča Boršt, so možni tudi notranji vplivi – človeški faktor (nevzdrževanje sistema), neustrezno ali pomanjkljivo načrtovani ukrepi in geološke spremembe v plazu.

9.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

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

9.4 Vrsta, oblika in stopnja ogroženosti

Opisano v prejšnjih podpoglavjih poglavja 9.

9.5 Potek in možni obseg nesreče

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

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.

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.

9.6 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

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

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

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.

9.7 Verjetne posledice nesreče

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

Ob nastanku razpok v prekrivki ali zdrsu hidrometalurške jalovine bi lahko prišlo do povečanih vrednosti posameznih potomcev urana v tekočih emisijah odlagališča, povečanih vrednosti izhajanja radona iz odlagališča ter povečane hitrosti doze zunanjega sevanja, ki bi jih bilo mogoče izmeriti na mestu poškodbe, zunaj odlagališča Boršt pa ne. Ob potresu in intenzivnih padavinah obstaja tudi možnost premika podlage odlagališča skupaj z odlagališčem. Najnovejša študija modeliranja raztrosa jalovine iz odlagališča Boršt v primeru popolnega razpada odlagališča ocenjuje, da materiala, ki se bo odložil, ne bo zelo veliko. Zaradi mešanja s plavinami sosednjih povodij pa se celotno območje, ki bi bilo poplavljeno, šteje za potencialni vir onesnaženja. 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 efektivnih doz za delavce so pokazali, da bi delavci prejeli manjše doze od mejnih vrednosti za izpostavljene delavce.

9.8 Verjetnost nastanka verižne nesreče

Ni možno.

9.9 Možnost predvidevanja nesreče

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

9.10 Načrtovanje zaščitnih ukrepov

Dolgoročno stanje odlagališč Jazbec in Boršt je določeno s projektom končne ureditve odlagališča ter s projektom izvedenih del. V primeru potrebe po sanaciji odlagališča zaradi izrednega dogodka bo potrebno zavarovati območje pred dostopom nezaposlenih. Z vizualnim ogledom in meritvami stanja se bo ugotovila vrsta, velikost in pomembnost poškodb, počakalo na stabilizacijo razmer, nato pa pristopilo k sanaciji nastalega stanja. Osnovo za sanacijo ugotovljenih poškodb predstavljata projekt za izvedbo del in projekt izvedenih del, kjer so navedeni vsi detajli in normativi za izvedbo ter stanje po izvedbi končne ureditve. Z meritvami se bo preverila kvaliteta izvedenih del in izvedba morebitne potrebne dekontaminacije površin (Ocena ogroženosti ob izrednem dogodku v jedrskih objektih in zaradi radioaktivnih snovi, 2023).