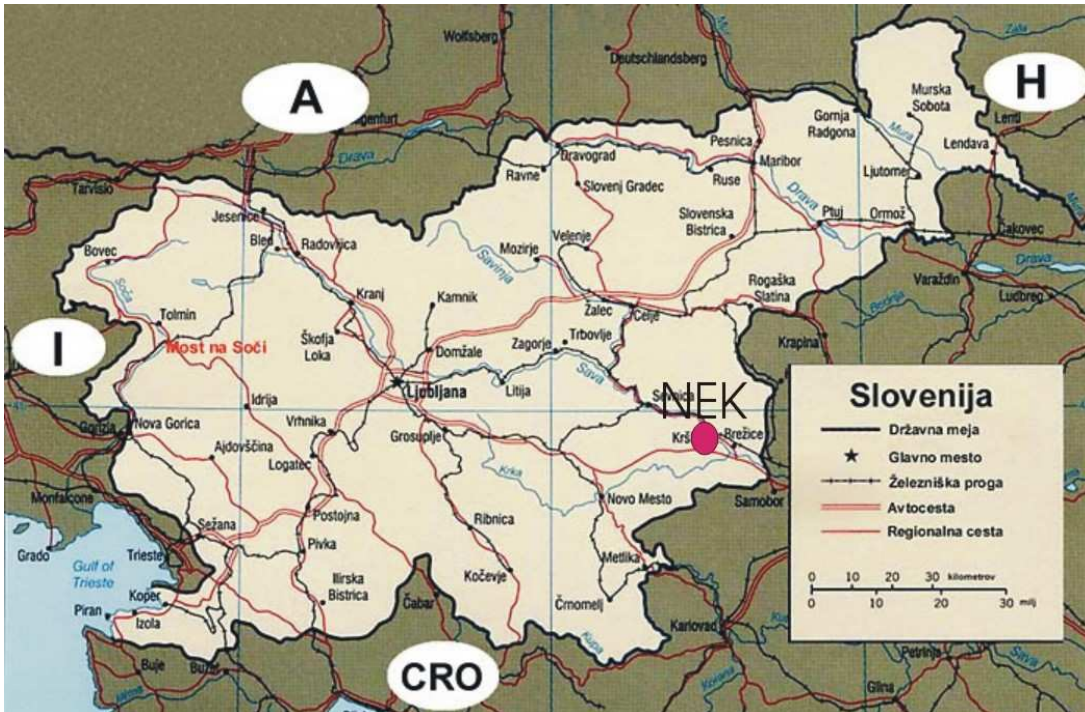


OCENA OGROŽENOSTI ZARADI NEVARNOSTI IONIZIRAJOČEGA SEVANJA

II.7.0. Splošno

Nuklearna elektrarna Krško

NEK je na levem bregu reke Save in je približno 3 km oddaljena od Krškega.



Slika 1: Lega Nuklearne elektrarne Krško

Jedrske elektrarne v tujini

Na območju 1000 km od Slovenije deluje 50 jedrskih elektrarn s 109 energetskimi reaktorji, od tega jih je 32 v 500-kilometrskem pasu.

Viri ionizirajočega sevanja so naravni in umetni. Zaradi radioaktivnih izotopov v okolje (zemlja, zrak, voda, prehrana) je človek na različne načine izpostavljen ionizirajočemu sevanju. Delimo jih na zunanje in notranje obsevanje. Do zunanjega obsevanja pride, če so radioaktivni izotopi v človekovi okolici.

Ob razpadanju obsevajo človeka z oddajanjem prodornih sevanj, kot so npr. žarki γ . Izpostavitvev sevanju je v tem primeru sorazmerna s časom zadrževanja v območju sevanja. Do notranjega obsevanja pride zaradi vnosa radioaktivnih snovi v organizem z vdihavanjem onesnaženega zraka (inhalacija), uživanjem onesnažene hrane in pijače (ingestija) ter zaradi vnosa skozi kožo, zlasti če je poškodovana.

Ob vnosu v organizem pridejo do izraza tudi tisti radioaktivni izotopi, ki zaradi malo prodornih delčnih sevanj niso pomembni kot zunanji sevalci, npr. plutonijevi izotopi, ki so sevalci α . V telo vneseni radioaktivni izotopi različnih elementov se glede na kemijsko obliko obnašajo dokaj različno (čas zadrževanja, kopičenje v specifičnih organih ali tkivih, hitrost in delež izločanja). Pomembno je tudi to, da se po vnosu radioaktivnih izotopov v telo ni mogoče izogniti nadaljnji izpostavljenosti sevanju, ker radionuklidi obsevajo tkiva, dokler se zadržujejo v telesu.

Ionizirajoče sevanje snovi oddaja energijo z ioniziranjem in vzbujanjem atomov in molekul. V tkivu lahko zaradi tega pride do okvar biološko pomembnih molekul, kar lahko privede do poškodbe ali

smrti celice. Ob uničenju velikega števila celic organa ali tkiva so posledice za organizem lahko zelo resne, celo smrtne in se pokažejo relativno hitro po obsevanju. To imenujemo **deterministični učinki**. Za njih je značilno, da imajo prag, saj jih ne opažamo pod dozo, ki je nižja od neke mejne vrednosti. Nad pragom se posledice večajo s prejšnjo dozo.

Po drugi strani pa je sevanje tudi mutageno in v celici povzroči spremembe, ki lahko predstavljajo enega od prvih dogodkov pri razvoju celice v rakasto obliko. Kancerogenost sevanja je učinek, ki verjetno nima praga in z večanjem doze narašča verjetnost za nastanek raka. To je stohastični, naključni učinek sevanja. Kadar sevanje okvari spolne celice, se posledice pokažejo šele na potomcih (dedni ali hereditarni učinki).

II.7.1. Viri nevarnosti

Vire nevarnosti lahko razdelimo v pet skupin:

- 1. Jedrski objekti** – to so jedrske elektrarne, raziskovalni jedrski reaktorji, postroji za obogatitev urana, postroji za izdelavo glavnih elementov, obrati za predelavo in odlaganje obsevanja jedrskega goriva ter objekti namenjeni uskladiščenju, predelavi in odlaganju radioaktivnih odpadkov.
- 2. Objekti, kjer se uporabljajo radioaktivni viri** – to so stacionarni objekti, kjer se uporabljajo radioizotopi (npr. v industriji, raziskovalnih inštitutih in bolnišnicah).
- 3. Prevoz radioaktivnih in jedrskih snovi**
Zaradi posebnih varnostnih ukrepov je verjetnost nesreče pri prevozu zelo majhna, če pa se zgodi je njen vpliv prostorsko omejen na nekaj hektarjev veliko območje, ki ga je potrebno ob nesreči dekontaminirati oziroma omejiti dostop.
- 4. Padec satelita z jedrskim reaktorjem ali satelita, ki ima na krovu radioaktivni material**
Razlikujemo dve vrsti virov sevanja na satelitu in sicer vir visoke alfa aktivnosti (izotopi plutonija) in reaktorski vir. Nevarnost pri tej vrsti nevarnosti obstaja zaradi vdihavanja delcev, ki v posamezniku povzročijo visoke doze in ne zunanje sevanje. Območja onesnaženja so trakaste oblike s širino nekaj 10 kilometrov in dolžino nekaj 100 kilometrov.
- 5. Teroristični napadi** se lahko izvedejo z napadi na jedrske objekte ali z uporabo t.i. »umazanih bomb« katerih namen je povzročiti radiološko kontaminacijo omenjenega obsega.

II.7.2. Nadzor radioaktivnosti ob jedrski nesreči

Nadzor radioaktivnosti ob jedrski nesreči je sestavljen iz štirih osnovnih sestavin: nadzora v okolju, nadzora prebivalstva, nadzora interventnega osebja ter nadzora na državni meji. Vloge posameznih delov nadzora so prikazane na diagramu .

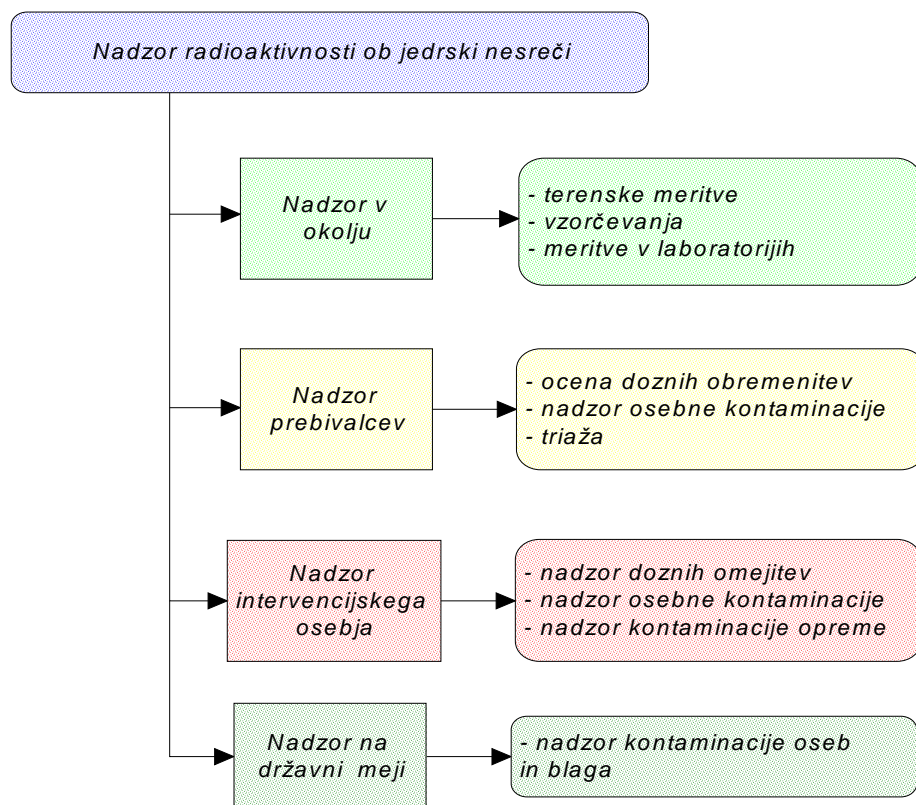


Diagram 1: Sestavine nadzora radioaktivnosti ob jedrski nesreči

Izvajalec nadzora radioaktivnosti regijske pristojnosti je:

- enota CZ za RKB izvidovanje

II.7.3. Možni vzroki nastanka nesreče

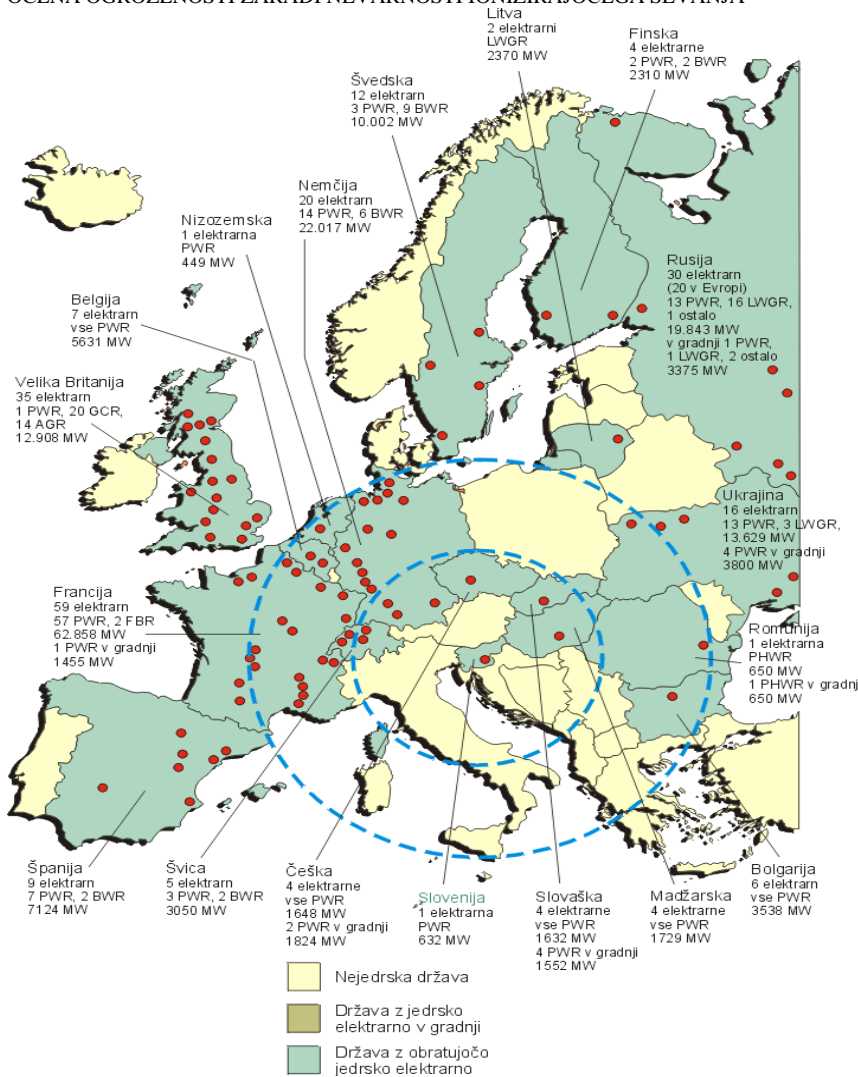
1. Najhujša jedrska nesreča v tem primeru pomeni poškodbo sredice z odpovedjo zadrževalnega hrama.

V Sloveniji je takšen objekt:

- Nuklearna elektrarna Krško (NEK),

v tujini:

- jedrske elektrarne iz 1000 km območja (slika 2)



Slika 2: jedrske elektrarne iz 1000 km območja oddaljene od SLO

- Nastanek nesreče zaradi neupoštevanja varnostnih predpisov v stacionarnem objektu, kjer se uporabljajo radioaktivni viri-to so stacionarni objekti, kjer se uporabljajo radio izotopi (npr. v industriji, raziskovalnih inštitutih in bolnišnicah).
- Nesreča pri prevozu v cestnem oziroma železniškem prometu.
- Padeč satelita na jedrski pogon ali satelita, letala, ki ima na krovu radioaktivni material. Pri posamezniku lahko povzroči visoke doze in ne zunanje sevanje.

II.7.3.1. Možne posledice jedrske nesreče v NEK

Ob jedrski nesreči v NEK je stopnja ogroženosti Notranjske regije odvisna od vremenskih razmer.

Glede na število in zanesljivost varnostnih sistemov v jedrski elektrarni je verjetnost nastanka nesreče, ki bi pomenila nevarnost za prebivalstvo, izredno majhna.

Glede na oddaljenost Notranjske regije od NEK spada to območje v območje splošne pripravljenosti, kjer se zaščitni ukrepi izvajajo na podlagi meritev.

II.7.3.2. Verjetnost ponavljanja nesreče

Pričakovana verjetnost poškodbe sredice za večino tlačno vodnih elektrarn (PWR), kakršna je tudi NE Krško, znaša med $1.0 \cdot 10^{-6}$ in $1.0 \cdot 10^{-4}$ na leto (enkrat na milijon let do enkrat na deset tisoč let). Pri vrelnih reaktorjih (BWR) je verjetnost za poškodbo sredice nekoliko nižja, kar je posledica tehničnih značilnosti tega tipa jedrskih elektrarn. Reaktorji vzhodnega tipa (VVER) imajo verjetnost za poškodbo sredice okoli $1.0 \cdot 10^{-4}$. Možnost nastanka nesreče v objektih, kjer se uporabljajo radioaktivni

viri in transportu je zaradi strogih predpisov zelo majhna. Z oceno o možnosti padca satelita na jedrski pogon ali satelita, ki ima na krovu radioaktivni material ne razpolagamo.

II.7.4. Vrsta oblika in stopnja ogroženosti

Stopnja ogroženosti ob jedrski nesreči zaradi radioaktivne kontaminacije okolja je odvisna od vrste in od količine izpuščene aktivnosti posameznih skupin radionuklidov (žlahtni plini, radio izotopi joda, dolgoživi fisijski produkti). Transport in razširjanje sta odvisna od vremenskih razmer. Radioaktivni delci se med transportom usedajo (suhi used) ali pa izpirajo s padavinami (mokri used) na površine pod njimi.

II.7.5. Potek in možen obseg nesreče

Iz do sedaj navedenega lahko z gotovostjo sklepamo, da bi območje notranjske regije bilo najbolj prizadeto zaradi ionizirajočega sevanja v primeru nesreče v jedrski elektrarni, ko bi prišlo do sprostitve radioaktivnih snovi (radioaktivni plini in radioaktivni delci) pretežno v ozračje in bi se to širilo v obliki radioaktivnega oblaka - radioaktivnih padavin, ki bi kontaminirale naše okolje.

Najhujše posledice za prebivalce, živali, premoženje in kulturno dediščino bi imela nesreča v jedrski elektrarni, ki je locirana manj kot 300 km od regije. Na območju notranjske regije tovrstnih objektov ni. Prebivalci bi bili lahko ogroženi posredno le v primeru radioaktivnih padavin. Radioaktivni viri v stacionarnih objektih so po naših virih prisotni le v zdravstvenih domovih in v bolnišnici Postojna. Radioaktivni viri so zanemarljivi, nevarni so le za delavce v teh ustanovah.

Transport radioaktivnih in jedrskih snovi po cestah oziroma železnici. Tovrstni nevarnosti v notranjski regiji so izpostavljena predvsem mejni prehodi ter območja in naselja ob glavnih cestah in železnici. Zaradi posebnih varnostnih ukrepov je verjetnost nesreče pri prevozu zelo majhna. Če bi se takšna nesreča zgodila, je njen vpliv prostorsko omejen na nekaj hektarjev veliko območje, ki bi ga bilo potrebno po nesreči dekontaminirati in omejiti dostop do njega.

Padec satelita na jedrski pogon ali satelita, ki ima na krovu radioaktivni material bi imel za posledico kontaminacijo s širino nekaj 10 kilometrov in dolžino nekaj 100 kilometrov.

II.7.6. Ogroženost prebivalcev, živali, premoženja in kulturne dediščine

Zaradi radioaktivnih izotopov v okolju (zemlja, zrak, voda, prehrana) je človek na razne načine izpostavljen ionizirajočemu sevanju. Običajno jih delimo na zunanje in notranje sevanje.

Radioaktivno sevanje prihaja do človeka in živali po treh glavnih prenosnih poteh: preko inhalacije radioaktivnih zračnih delcev, preko zaužitja z vodo in hrano ter preko neposrednega zunanjega obsevanja iz radioaktivnega oblaka ali iz kontaminiranih tal. Radioaktivne snovi lahko pridejo v telo tudi preko odprtih ran.

Kontaminirano premoženje in kulturna dediščina predstavlja neposredno nevarnost za ljudi in živali.

II.7.7. Verjetne posledice nesreče

V primeru jedrske nesreče se sprostijo radioaktivne snovi (radioaktivni plini in radioaktivni delci) pretežno v ozračje in se razširjajo v obliki radioaktivnega oblaka v širše okolje. Vrsta in stopnja ogroženosti se s časom spreminjata. Nezaščiteni prebivalci v bližini kraja nesreče bodo v prvih urah po izpustu najprej izpostavljeni zunanjemu sevanju iz radioaktivnega oblaka in vdihavanju radioaktivnih delcev, še posebej izotopov radioaktivnega joda, ki se kopičijo v ščitnici.

Srednje (nekaj dni po nesreči) in dolgoročno pa prihaja do obsevane obremenitve zaradi uživanja kontaminirane hrane (I-131 v mleku, listnati zelenjavi, pitni vodi) še posebej v krajih, kjer uporabljajo za pitje in napajanje živine deževnico ter zaradi zunanjega sevanja iz kontaminiranih tal. V tem obdobju so pomembni dolgoživi radionuklidi kot npr. Cs-137, Cs-134, Rs-90.

II.7.8. Možnost predvidevanja nesreče

V svetu trenutno deluje 437 jedrskih energetskega reaktorjev. Na območju 1000 km od Slovenije deluje 50 jedrskih elektrarn s 109 energetskimi reaktorji, od tega jih je 32 v 500 km pasu.

Elektrarne s tega območja imajo vgrajene v večini tlačno vodne reaktorje (PWR), vrelni (BWR) in lahko vodne reaktorje vzhodnega tipa (VVER).

Pričakovana verjetnost poškodbe sredice za večino tlačno vodnih elektrarn (PWR), kakršna je tudi NE Krško, znaša med $1.0 \cdot 10^{-6}$ in $1.0 \cdot 10^{-4}$ na leto (enkrat na milijon let do enkrat na deset tisoč let). Pri vrelnih reaktorjih (BWR) je verjetnost za poškodbo sredice nekoliko nižja, kar je posledica tehničnih značilnosti tega tipa jedrskih elektrarn. Reaktorji vzhodnega tipa (VVER) imajo verjetnost za poškodbo sredice okoli $1.0 \cdot 10^{-4}$.

Sloveniji so najbližje elektrarne na Madžarskem, Slovaškem, Češkem in v Nemčiji (na Bavarskem). V tabeli 1 so navedene jedrske elektrarne, ki so od mej Slovenije oddaljene manj kot 300km.

DRŽAVA	IME	TIP	REF. MOČ [MWE]	ODDALJENOST V KM (od meje Slovenije)
Madžarska	Paks 1	VVER	430	180
	Paks 2	VVER	433	180
	Paks 3	VVER	433	180
	Paks 4	VVER	433	180
Slovaška	Bohunice 1	VVER	408	205
	Bohunice 2	VVER	408	205
	Bohunice 3	VVER	408	205
	Bohunice 4	VVER	408	205
Češka	Mochovce1	VVER	440	260
	Dukovany 1	VVER	420	239
	Dukovany 2	VVER	420	239
	Dukovany 3	VVER	420	239
Nemčija	Dukovany 4	VVER	420	239
	Isar1	BWR	870	255
	Isar2	PWR	1410	255
	Gundremmingen -B	BWR	1240	335
	Gundremmingen -C	BWR	1248	335

Tabela 1: Jedrske elektrarne iz 300 km območja

II.7.9. Možne posledice nesreč v jedrskih elektrarnah

V primeru jedrske nesreče JE se sprostijo radioaktivne snovi (radioaktivni plini in radioaktivni delci) pretežno v ozračje in se razširjajo v obliki radioaktivnega oblaka v širše okolje. Stopnja ogroženosti ob jedrski nesreči zaradi radioaktivne kontaminacije okolja je odvisna od vrste in od količine izpuščene aktivnosti posameznih skupin radionuklidov (žlahtni plini, radio izotopi joda, dolgoživi fisijski produkti). Transport in razširjanje sta odvisna od vremenskih razmer. Radioaktivni delci se med transportom usedajo (suhi used) ali pa izpirajo s padavinami (mokri used) na površine pod njimi.

Radioaktivno sevanje prihaja do človeka po treh glavnih prenosnih poteh: potom inhalacije radioaktivnih zračnih delcev, potom zaužitja z vodo in hrano ter potom neposrednega zunanega obsevanja iz radioaktivnega oblaka ali iz kontaminiranih tal. Radioaktivne snovi lahko pridejo v telo tudi potom odprtih ran.

Vrsta in stopnja ogroženosti se s časom spreminjata. Nezaščiteni prebivalci v bližini kraja nesreče bodo v prvih urah po izpustu najprej izpostavljeni zunanjemu sevanju iz radioaktivnega oblaka in vdihavanju radioaktivnih delcev, še posebej izotopov radioaktivnega joda, ki se kopičijo v ščitnici. Srednje (nekaj dni po nesreči) in dolgoročno prihaja do obsevne obremenitve zaradi uživanja kontaminirane hrane (I-131 v mleku, listnati zelenjavi, pitni vodi), posebej v krajih, kjer uporabljajo za pitje in napajanje živine deževnico ter zaradi zunanega sevanja iz kontaminiranih tal. V tem obdobju so pomembni dolgoživi radionuklidi kot npr. Cs -137, Cs-134, Rs-90.

II.8. Možne posledice jedrske nesreče (NEK in tujini)

Ob jedrskih nesrečah v oddaljenih jedrskih objektih lahko ob neugodnih vremenskih razmerah pričakujemo kontaminacijo na vsem ozemlju Slovenije predvsem iz objektov, ki so znotraj 1000 km območja. Do izrazitejše kontaminacije lahko pride le v krajih, kjer bo v času prehoda radioaktivnega oblaka čez naše ozemlje deževalo.

ZAKLJUČEK

Glede na oceno nevarnosti in realne možnosti ogroženosti prebivalstva, živali in materialnih dobrin, zaradi ionizirajočega sevanja kot posledice jedrske nesreče v NEK in NE v tujini, nesreče pri transportu radioaktivnih ali jedrskih snovi, nesreče z drugimi viri ionizirajočega sevanja ali nesreče, ki bi jo povzročilo strmoglavljenje satelita na jedrski pogon je bilo potrebno na osnovi državnega načrta zaščite in reševanja ob jedrski nesreči izdelati Regijski načrt zaščite in reševanja ob jedrski nesreči za izvajanje ukrepov in nalog v Notranjski regiji.

V regijskem načrtu ZiR je prav tako določeno, da morajo vse občine na območju Izpostave URSZR Postojna (Cerknica, Loška dolina, Bloke, Postojna, Pivka, Ilirska Bistrica, Sežana, Divača, Hrpelje Kozina in Komen) izdelati občinske načrte zaščite in reševanja ob jedrski nesreči.

VIRI

1. Državni načrt zaščite in reševanja ob jedrski nesreči
2. Regijski načrt zaščite in reševanja ob jedrski nesreči