



Mestna občina Ljubljana
Mestna uprava
Oddelek za zaščito in reševanje

OCENA OGROŽENOSTI MESTNE OBČINE LJUBLJANA ZARADI JEDRSKIH IN SEVALNIH NESREČ

za uporabo v sistemu zaščite, reševanja in pomoči MOL

dokument št: 842-8/2022-2

Za uporabo v sistemu zaščite, reševanja in pomoči MOL odobril
Robert Kus, vodja oddelka
Ljubljana, 15. 3. 2022



Kazalo

1	Uvod.....	4
2	Nesreče v jedrskih objektih.....	5
2.1	Podatki o virih nevarnosti	5
2.2	Možni vzroki nastanka nesreče	5
2.3	Verjetnost pojavljanja nesreče.....	5
2.3.1	Tipični redi velikosti za verjetnost taljenja sredice.....	5
2.3.2	Verjetnost za taljenje sredice v JE Krško.....	6
2.4	Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče	6
2.4.1	Scenarij izpusta radioaktivnih snovi	6
2.4.2	Prenosne poti	7
2.4.3	Posledice jedrske nesreče v neposredni bližini reaktorja.....	7
2.4.3.1	Jedrska elektrarna Krško in morebitne posledice za območje Ljubljane.....	8
2.4.3.2	TRIGA	9
2.4.3.3	Centralno skladišče nizko- in srednje- radioaktivnih odpadkov Brinje.....	9
2.4.3.4	Jedrska nesreča v tujini	9
2.4.3.5	Druge posledice	10
2.4.4	Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini.....	10
2.4.5	Verjetnost nastanka verižne nesreče in možnost predvidevanja nesreče	10
2.4.6	Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče.....	10
3	Sevalne nesreče	13
3.1	Nesreče pri uporabi radioaktivnih snovi	13
3.1.1	Podatki o virih nevarnosti	13
3.1.2	Možni vzroki nastanka nesreč	13
3.1.3	Verjetnost pojavljanja nesreče.....	13
3.1.4	Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče	13
3.1.5	Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini.....	14
3.1.6	Možnost predvidevanja nesreče	14
3.1.7	Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče.....	14
3.2	Prevoz jedrskih in radioaktivnih materialov	15
3.2.1	Podatki o virih nevarnosti, možnih vzrokih ter verjetnosti nastanka nesreč	15
3.2.2	Prevozi jedrskih in radioaktivnih snovi v Sloveniji	15

3.2.3	Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini.....	16
3.2.4	Možnost predvidevanja nesreče	16
3.2.5	Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče	16
3.2.6	Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče.....	16
3.3	Padec satelita	17
3.3.1	Podatki o virih nevarnosti, možnih vzrokih ter verjetnosti nastanka nesreč	17
3.3.2	Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče	17
3.3.3	Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini.....	18
3.3.4	Možnost predvidevanja nesreče	18
3.3.5	Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče.....	18
3.4	Teroristična dejanja z uporabo radioaktivnih materialov.....	19
3.4.1	Podatki o virih nevarnosti, možnih vzrokih ter verjetnosti nastanka nesreč	19
3.4.2	Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče	19
3.4.3	Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini.....	20
3.4.4	Možnost predvidevanja nesreče	20
3.4.5	Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče.....	20
4	Sklep.....	22
5	Literatura:	23

1 Uvod¹

Tveganje pri jedrskih nesrečah zanima strokovnjake že od začetkov uporabe jedrske energije v miroljubne namene. Prva analiza tveganj povezanih z uporabo jedrske energije je študija WASH-740, ki so jo izdelali v Brookhaven National Laboratories v ZDA, in ki jo je objavila takratna USAEC (ameriška komisija za atomsko energijo) – zdaj USNRC (ameriška jedrska regulatorna komisija).

V sedemdesetih letih sta ji sledili študiji WASH-1400 ali Rasmussenova študija, ki je bila izdana leta 1975 z naslovom »Ocena tveganj pri nesrečah v ameriških jedrskih elektrarnah«. Leta 1979 je izšla nemška študija tveganj povezanih z jedrskimi elektrarnami (Deutsche Risikostudie).

S pojmom tveganje razumemo zmnožek (produkt) med verjetnostjo za nesrečo in posledicami nesreče. Za načrtovanje ukrepov v primeru jedrske nesreče je potrebno poznati tveganje.

Razlikujemo med jedrskimi nesrečami, ki bi se zgodile v domačih jedrskih objektih, ali pa med nesrečami, ki bi se zgodile v tujih jedrskih objektih. Privzamemo lahko, da dobra pripravljenost na jedrsko nesrečo, ki bi se zgodila v lastni državi, zagotavlja tudi solidno osnovo za učinkovito ukrepanje na lastnem ozemlju ob morebitni nesreči, ki bi se zgodila v tujini. Razvoj (potek) jedrske nesreče in možne posledice so neodvisni od tega, ali se nesreča zgodi doma ali v tujini, zato je najprej podana splošna obravnava in nato, kakšen del obravnavanega je potrebno upoštevati pri analizi domačih oziroma tujih razmer. Obravnavali bomo nesreče v naslednjih jedrskih objektih:

- Jedrska elektrarna Krško,
- raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici,
- Centralno skladišče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov Brinje,
- jedrske elektrarne v tujini.

S pojmom sevalne nesreče razumemo nesreče, ki nastanejo z viri sevanja, ki so lahko radioaktivne snovi oziroma naprave (pospeševalniki, rentgeni), vendar pri tem izvzamemo nesreče v jedrskih objektih. Obravnavali bomo naslednje vrste sevalnih nesreč (izrednih dogodkov):

- nesreče pri uporabi radioaktivnih snovi (bodisi v medicini ali industriji),
- nesreče pri transportu jedrskih ali radioaktivnih snovi,
- padec satelita, ki nosi na krovu radioaktivne snovi,
- uporaba radioaktivnih snovi za teroristične namene.

Vse zgoraj navedene vire nevarnosti bomo analizirali glede na njihovo verjetnost pojavljanja na območju Mestne občine Ljubljana oziroma, če se zgodijo drugod in imajo daljnosežne posledice, na njihov vpliv na območje Mestne občine Ljubljana.

¹ Avtor ocene ogroženosti je mag. Igor Grlicarev, Uprava RS za jedrsko varnost, Železna c. 16, 1001 Ljubljana

2 Nesreče v jedrskih objektih

2.1 Podatki o virih nevarnosti

Med jedrske objekte sodijo jedrske elektrarne, raziskovalni jedrski reaktorji, postroji za obogatitev urana, postroji za izdelavo gorivnih elementov, obrati za predelavo in odlaganje obsevanega jedrskega goriva ter objekti, namenjeni za uskladičenje, predelavo in odlaganje radioaktivnih odpadkov.

Pri jedrski nesreči pride do sproščanja radioaktivnih snovi, ali pa obstaja potencialna nevarnost, da bo prišlo do takšnega sproščanja radioaktivnih snovi, da je že ali pa bo ogroženo zdravje in življenje ljudi. Pri izpustih med nesrečo so znatno presežene omejitve, ki so predpisane z veljavno zakonodajo, zato je potrebno sprejeti in izvajati zaščitne ukrepe.

Obravnavali bomo nesreče v naslednjih jedrskih objektih:

- Jedrska elektrarna Krško,
- raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici,
- Centralno skladišče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov Brinje,
- jedrske elektrarne v tujini.

2.2 Možni vzroki nastanka nesreče

Jedrske elektrarne so projektirane tako, da samo ena okvara ne vodi do nesreče, ker so bistveni sistemi podvojeni oziroma je potrebno več okvar, da bi prišlo do scenarija, ki vodi k poškodbi sredice reaktorja. Samo pri poškodbi sredice reaktorja se lahko sprostijo takšne količine radioaktivnih snovi, ki bi zahtevale izvajanje zaščitnih ukrepov v okolici jedrske elektrarne. Poleg notranjih začetnih dogodkov, ki lahko sprožijo verigo dogodkov, ki vodijo do nesreče, obstajajo tudi zunanji začetni dogodki, kot so npr. požar, poplava, potres, vihar, padec letala. Pod notranje začetne dogodke razumemo odpovedi opreme oziroma njihovih delov zaradi različnih vzrokov (izrabljenosti, napak v materialu, konstrukcijskih napak, pomanjkljivega oziroma neustreznega vzdrževanja in podobnih vzrokov).

Pri obravnavanju nesreče seveda ne moremo mimo človeških napak, ki se lahko pojavijo v vsaki fazi nesreče, in ki so lahko vzrok za začetek nesreče ali za poslabšanje situacije med potekom nesreče. Med začetne dogodke, ki lahko vodijo do poškodbe sredice, lahko vključimo tudi diverzijo ali sabotazo.

2.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

2.3.1 Tipični redi velikosti za verjetnost taljenja sredice

Za marsikatero jedrsko elektrarno v svetu so bile opravljene verjetnostne varnostne analize, pri katerih je bila izračunana verjetnost za taljenje sredice, za različne začetne dogodke.

Pričakovana verjetnost poškodbe sredice za večino tlačnovodnih elektrarn (PWR), kakršna je tudi NE Krško, znaša med $1.0 \cdot 10^{-6}$ na leto (enkrat na milijon let) in $1.0 \cdot 10^{-4}$ na leto (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. Tlačnovodni reaktorji vzhodnega tipa (VVER) imajo verjetnost za poškodbo sredice okoli $1.0 \cdot 10^{-4}$. (Vir: R-800, Rev.0, Perspectives on Reactor Safety, January 1993, TTC Chattanooga; NE Krško; Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, Level 1 Report, January 1994; NE Krško, Post Modernization NEK PSA Baseline Model Update and IAEA IPSART Mission Comments Implementation, January 2001.)

Zadrževalni hram je kovinska ali železobetonska zgradba, ki zdrži nadtlak nekaj barov in pri projektnem nadtlaku ne pušča več kot 1% na dan. 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, obenem pa tudi zadrževanje radioaktivnih snovi v zadrževalnem hramu. (Vir: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Eine Untersuchung zu dem durch Stoerfaelle in Kernkraftwerken verursachten Risiko, Hauptband, Verlag TUeV Rheinland, Bonn 1979.)

Negotovost rezultatov verjetnostnih varnostnih analiz in razlike pri verjetnostih za poškodbo sredice so odvisne od metodologije verjetnostnih varnostnih analiz, zato skoraj nikoli neposredno ne primerjamo končnih rezultatov za verjetnost taljenja sredice med posameznimi reaktorji, ne da bi pred tem upoštevali vrsto uporabljene metodologije. Pri primerjavi rezultatov za verjetnost taljenja sredice za različne reaktorje se v glavne upošteva le velikostni red ne pa tudi podroben rezultat. Glavni namen verjetnostnih varnostnih analiz je odkriti šibke točke (pomanjkljivosti pri načrtovanju sistemov; sistemi, ki bolj vplivajo na verjetnost taljenja sredice), ki jih je potrebno odpraviti s fizičnimi spremembami (modifikacijami) ali pa z bolj pogostim vzdrževanjem in preizkušanjem. Na ta način se doseže zmanjšanje verjetnosti taljenja sredice.

2.3.2 Verjetnost za taljenje sredice v JE Krško

Januarja 2001 je bilo izdelano poročilo, ki obravnava verjetnost taljenja sredice za JE Krško po opravljeni modernizaciji (zamenjavi uparjalnikov) v letu 2000 in z modifikacijami, ki so bile izvedene do konca remonta v letu 2000. Celotna verjetnost taljenja sredice za JE Krško zdaj znaša $1.17 \cdot 10^{-4}$ na leto, medtem ko je prejšnja vrednost (pred modernizacijo) znašala $2.2 \cdot 10^{-4}$ na leto. Tudi novejši izračuni so blizu te številke, zato bomo kot tipično vrednost taljenja sredice za JE Krško privzeli $1.0 \cdot 10^{-4}$ na leto. Zmanjšanje verjetnosti za taljenje sredice je predvsem posledica zanesljivejšega delovanja obnovljenih in zamenjanih komponent, medtem ko so prispevki k taljenju zaradi zunanjih vzrokov (npr. požar, poplava, potres, vihar) ostali nespremenjeni. Glede na možne vzroke za taljenje sredice je tako na prvem mestu potres, sledijo mu notranji vzroki, na tretjem mestu pa je poplava in nato požar. Med notranjimi vzroki je najbolj pomemben izguba električnega napajanja, ki onemogoči delovanje večine sistemov v jedrski elektrarni. (Viri: NE Krško, Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, Level 1 Report, January 1994; Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, External Event Report, October 1995; Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, Level 2 Report, August 1995; NE Krško, Updated Safety Analysis Report, Revision 14.)

2.4 Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče

2.4.1 Scenarij izpusta radioaktivnih snovi

Kot merilo za posledice nesreče vzamemo efektivno dozo, ki jo prejme najbolj izpostavljeni posameznik, ali pa kolektivno efektivno dozo, ki jo prejme prizadeto prebivalstvo.

Ob morebitni jedrski nesreči se sprostijo radioaktivne snovi, ki se nahajajo v sredici reaktorja (radioaktivni plini in radioaktivni delci) pretežno v ozračje in se razširjajo v obliki radioaktivnega oblaka v širše okolje. Kakšen bo izpust radioaktivnih snovi je odvisno od mnogih faktorjev: obsega poškodbe sredice, hitrosti puščanja zadrževalnega hrama, ali gre za suh ali za moker izpust. Na koncentracijo in pot radioaktivnih snovi v zraku vpliva tudi vreme. Širjenje radioaktivnih snovi si lahko predstavljamo kot širjenje oblaka. (Vir: R-800, Rev.0, Perspectives on Reactor Safety, January 1993, TTC Chattanooga.)

Pri resni poškodbi sredice se sprostijo vsi žlahtni plini (Kr, Xe), dobršen del izotopov joda (J). Zelo hlapljiv je tudi cezij (Cs), ki nastopa kot aerosol vodotopnih snovi (CsJ, CsOH). Hlapne snovi, ki nastopajo v malo topnih oksidih so telur, stroncij in barij (Te, Sr, Ba). Malo hlapne snovi pa so rutenij, lantan in cerij (Ru, La, Ce).

Hudo nesrečo vedno povezujemo s taljenjem reaktorske sredice, ker se večina radioaktivnih snovi nahaja v sredici reaktorja. V ostalih delih jedrske elektrarne jih je premalo, da bi lahko povzročili hudo nesrečo v okolju. Če označimo aktivnost v reaktorski sredici obratujočega reaktorja s 100%, potem imata za namen študij posledic nesreč z izrabljenim gorivom 2/3 reaktorske sredice (polovica je bila je bila odstranjena iz reaktorja pred tremi dnevi, druga polovica pa pred 180 dnevi) le še 20% aktivnosti reaktorske sredice. 10 gorivnih elementov ima po 180 dnevih še 0,3% aktivnosti reaktorske sredice, aktivnost v vseh ostalih sistemih je zanemarljiva (manj kot 0,1%). Primer velja za tlačnovodni reaktor nemške konstrukcije (1300 MWe). (Vir: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Eine Untersuchung zu

dem durch Stoerfaelle in Kernkraftwerken verursachten Risiko, Hauptband, Verlag TUeV Rheinland, Bonn 1979.)

Potrebno je poudariti, da za mora priti poleg taljenja sredice tudi do odpovedi zadrževalnega hrama, da se znaten del radioaktivnih snovi sploh lahko sprostí v okolje in da bi bilo potrebno začeti izvajati takojšnje zaščitne ukrepe.

2.4.2 Prenosne poti

Radioaktivno onesnaženje prihaja do človeka po treh glavnih prenosnih poteh: preko inhalacije radioaktivnih zračnih delcev, preko uživanja vode in hrane ter preko neposrednega zunanjšega obsevanja iz radioaktivnega oblaka ali iz kontaminiranih tal. V primeru poškodb vstopajo lahko radioaktivne snovi tudi preko odprtih ran.

Prenosne poti se s časom spreminjajo. 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 ščitnici. Srednjeročno (nekaj dni po nesreči) pa prihaja do obsevné obremenitve zaradi uživanja kontaminirane hrane in pitne vode (še posebej v krajih, kjer uporabljajo za pitje deževnico) ter zaradi zunanjšega sevanja iz kontaminiranih tal. Sevanju zaradi kontaminiranih tal se izognemo z evakuacijo. Med bolj dolgoročno obsevanost prebivalcev pa štejemo dozo zaradi vnosa radioaktivnih snovi z dolgoživimi radionuklidi (Cs-137, Cs-134, Sr-90) s hrano vzdolž celotne prehranske verige.

2.4.3 Posledice jedrske nesreče v neposredni bližini reaktorja

Samo pri zelo hudih nesrečah z odpovedjo zadrževalnega hrama lahko pride do smrtnih primerov zaradi takojšnjih učinkov sevanja. Za preučitev takšnih učinkov sevanja so bili narejeni izračuni v študiji WASH-1400 Reactor Safety Study. V primeru »PWR 4« iz te študije je privzeto, da se sprostí 60% žlahtnih plinov in 5 % do 10 % vseh izotopov joda in cezija iz sredice. »PWR 4« predpostavlja takojšnjo katastrofalno odpoved zadrževalnega hrama za meteorološke pogoje povprečnega dneva. »Katastrofalna odpoved« pomeni 100% puščanje zadrževalnega hrama. Rezultati kažejo, da vdihavanje radionuklidov najmanj prispeva k efektivni dozi. Sevanje iz radioaktivnega oblaka ne bi povzročilo smrtnih žrtev, toda 24-urno obsevanje s tal bi povzročilo efektivne doze 0.5 do 1 Sv na razdalji približno 10 km. Meja za učinke, ki povzročijo smrt (2 Sv) pa bi bila dosežena na 5 km. V takšnih primerih je potrebna hitra evakuacija, saj bi po približno 6 urah ljudje prejeli dozo, ki presega prag zgodnjih učinkov, po 12 urah pa bi bile prejete doze že tolikšne, da bi bil dosežen prag za smrtne učinke. Doze za ščitnico izvirajo v glavnem iz vdihavanja. Doza 10 Gy na ščitnico, ki povzroči prenehanje delovanja ščitnice, pa bi bila presežena na območju znotraj 5 km. Potrebno je dodati, da so nesreče s taljenjem sredice in zgodnjo odpovedjo zadrževalnega hrama skrajno malo verjetne. (Vir: R-800, Rev.0, Perspectives on Reactor Safety, January 1993, TTC Chattanooga.)

V primeru, da je stabilnost atmosfere D (to je stabilnost atmosfere ponoči, oziroma pri velikih hitrostih vetra podnevi), hitrost vetra 2 m/s, izpust pri tleh, ter za 1000 MWe reaktor, lahko zaključimo, da tudi pri staljeni sredici še niso potrebni takojšnji zaščitni ukrepi v okolju, če zadrževalni hram zdrži (ohrani svojo projektirano tesnost). Če zadrževalni hram zdrži izpust za 12 ur in izpusti v enem dnevu ves inventar, ki nastane pri staljeni sredici, potem je potrebno evakuirati območje v radiju 10 km okoli reaktorja (intervencijski nivo za evakuacijo znaša 50 mSv v 7 dneh) in v območju 25 km okoli reaktorja razdeliti tablete kalijevega jodida₂ (intervencijski nivo za zaužitje tablet kalijevega jodida znaša 100

² Princip delovanja tablet KJ je naslednji. Pred vnosom radioaktivnega joda v telo je potrebno zaužiti tableto z neradioaktivnim KJ. V tem primeru se neradioaktivni jod nakopiči v ščitnici, ki ne sprejema več joda in se odvečni (v tem primeru radioaktivni jod) relativno hitro izloči iz telesa. Literatura (npr. Health Physics, June 2000) omenja, da je za prebivalstvo, ki ima dovolj joda v prehrani učinkovitost tablet KJ pri zaužitju po 2 urah oziroma po 8 urah po vnosu 80% oziroma 40%, pri prebivalstvu pa, ki nima dovolj joda v prehrani pa je učinkovitost tablet KJ pri zaužitju po 2 urah oziroma po 8 urah po

mSv). Primer je iz dokumenta TECDOC-955, Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions During a Reactor Accident, IAEA, August 1997.

Zadrževalni hram je bistven pri omejevanju in preprečevanju posledic jedrske nesreče, pri kateri pride do taljenja sredice. Deutsche Risikostudie, ki je bila narejena za nemške jedrske elektrarne, ima podobne zaključke kot WASH-1400:

- verjetnost za taljenje reaktorske sredice je ocenjena 10^{-4} na leto,
- zadrževalni hram v 93% primerov opravi svojo nalogo in prepreči znatnejši izpust radioaktivnih snovi v okolje,
- pri ostalih 7% primerov, ko pride do znatnejšega izpusta radioaktivnih snovi v okolje so okoliščine takšne (vremenski pogoji, porazdelitev prebivalstva okoli elektrarne), da pri več kot 99% taljenj sredice pričakujemo, da ne pride do zgodnjih učinkov sevanja pri prebivalstvu,
- iz vsega navedenega sledi, da je verjetnost za nesrečo s hudimi posledicami manjša od 10^{-6} na leto.

2.4.3.1 Jedrska elektrarna Krško in morebitne posledice za območje Ljubljane

Za JE Krško so izračunali s pomočjo verjetnostnih varnostnih študij, da v primeru, ko pride do taljenja sredice, 22% dogodkov vodi do velikega sproščanja radioaktivnih snovi, kot posledica obvoda (bypass) ali odpovedi zadrževalnega hrama. Učinki sevanja oziroma prejete doze so seveda odvisni od meteoroloških pogojev v času izpusta in tudi od časa, ki je pretekel od taljenja sredice do samega izpusta.

Glede na poglavje 2.3.2 in zgornji odstavek lahko povzamemo, da je verjetnost, da bi prišlo do znatnega izpusta iz JE Krško približno enkrat na 50 000 let. Če upoštevamo, da so razredčitveni faktorji (če množimo z njimi izpust radioaktivnih snovi potem dobimo zmanjšanje koncentracije izpusta na določeni razdalji) za približno desetkrat manjši na razdalji 100 km glede na razdaljo 10 km, oziroma vsaj stokrat manjši glede na razdaljo nekaj km od elektrarne (npr. 1-3 km) potem lahko za območje Ljubljane zaključimo naslednje:

- verjetnost za dogodek z znatnim izpustom radioaktivnih snovi je izredno majhna (približno enkrat na 50 000 let).
- glede na meteorološke pogoje (smer in hitrost vetra) ni verjetno, da bi ves čas izpusta veter pihal proti Ljubljani. Ravno nasprotno, prevladujoči vetrovi so iz zahodnih in ne vzhodnih smeri pa tudi hitrost vetra je v povprečju majhna; v več kot 90 % časa je hitrost vetra manjša od 2 m/s, kar pomeni, da bi oblak potoval več kot en dan. V tem času pa bi veter tudi spremenil smer in znatno razmazal radioaktivni oblak, ki bi se razredčil tudi zaradi razdalje.
- verjetnost, da bi potrebovali izvajanje takojšnjih zaščitnih ukrepov (evakuacija, zaklanjanje, delitev tablet in uživanje kalijevega jodida) v Ljubljani je praktično zanemarljiva.
- smiselno pa bi bilo načrtovati ukrepe za prehrabeno verigo, ki bi prišli v poštev tudi pri nesreči iz oddaljenega jedrskega objekta (čeprav najbližje jedrske elektrarne na Madžarskem in Slovaškem ter Češkem ležijo v vzhodni smeri, kar je ugodno glede na prevladujočo smer vetra oziroma razvoja vremena), medtem ko so druge bližje jedrske elektrarne v Nemčiji (Bavarska) in Švici, ki ležijo v severozahodni smeri, bolj oddaljene).

vnosu le še 65% oziroma 15%. Podrobnejša navodila v zvezi s t.i. jodovo profilakso so v »Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents«, WHO, Geneva, 1999.

Klasifikacija izrednih dogodkov, pogostnost in predvideni izpusti iz JE Krško so v preglednici.

Klasifikacija dogodka	Pogostnost	Doze v neposredni okolici NEK	aktivnost sproščenih radioak. snovi v okolje
nenormalni dogodek	Enkrat do dvakrat letno	< 0,1 mSv	/
začetna nevarnost	Enkrat na 10 do 100 reaktorskih let	0,1 - 1 mSv	3.7 10 ¹¹ Bq ekv. I-131 3.7 10 ¹⁴ Bq ekv. Xe-133
elektrarniška (objektna) nevarnost	Enkrat na 100 do 5000 reaktorskih let	manj kot 100 mSv	<3.7 10 ¹³ Bq ekv. I-131 <3.7 10 ¹⁶ Bq ekv. Xe-133
splošna nevarnost	Manjša od enkrat na 5000 reaktorskih let	Več ali enako kot 100 mSv	>3.7 10 ¹³ Bq ekv. I-131 >3.7 10 ¹⁶ Bq ekv. Xe-133

Preglednica : Klasifikacija dogodkov, pogostnost, doze v okolici elektrarne, sproščena aktivnost za NE Krško (Vir: Nuklearna elektrarna Krško, Ocena ogroženosti (april 1997))

2.4.3.2 TRIGA

Končna varnostna ocena za raziskovalni reaktor TRIGA Mark II v Podgorici iz Varnostnega poročila ne predvideva, da bi lahko prišlo do nesreče z radioaktivnim izpustom v okolico, ki bi imel posledice za prebivalstvo. Reaktor je konstruiran tako, da pri nenadnem povečanju moči sam ugasne (veržna reakcija se prekine zaradi negativnega Dopplerjevega koeficienta goriva) še preden se proizvede dovolj toplote, da bi prišlo do taljenja sredice. Najhujša predvidena nesreča za tovrstni reaktor bi bila izguba vode iz reaktorskega tanka, kar bi povzročilo zelo veliko hitrost doze v reaktorski hali brez vpliva na področje zunaj ograje reaktorskega centra. Za reaktorje tipa TRIGA lahko zaključimo, da stalitev sredice ni možna (verjetnost je enaka nič). (Vir: Varnostno poročilo za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici)

Nesreča z "največjim" vplivom na prebivalstvo pa bi bila poškodba srajčke gorivnega elementa pri premeščanju, kar bi povzročilo uhajanje žlahtnih plinov iz gorivnega elementa, kar da dozo nekaj mikroSv na oddaljenosti 100 m od reaktorja TRIGA.

2.4.3.3 Centralno skladišče nizko- in srednje- radioaktivnih odpadkov Brinje

Skladišče nizko- in srednje- radioaktivnih odpadkov Brinje, ki se nahaja na območju občine Dol pri Ljubljani, po zakonodaji sicer štejemo med jedrske objekte, vendar v njem ni uskladiščenih jedrskih snovi, zato nesreče v tem objektu ne bi šteli med jedrske, možna pa je sevalna nesreča. Skladišče Brinje ni predvideno za končno odlagališče in ni mišljeno, da bi v njem dolgoročno hranili radioaktivne snovi. Morebitno nesrečo v tem objektu lahko obravnavamo kot sevalno nesrečo.

2.4.3.4 Jedrska nesreča v tujini

V primeru nesreče v oddaljenih jedrskih objektih lahko pričakujemo enakomernejšo kontaminacijo po vsem ozemlju Slovenije. Ob černobilski nesreči pa se je pokazalo, da je ogroženost zaradi sevanja bolj izrazita v krajih z večjo količino padavin. Padavine namreč izperejo iz radioaktivnega oblaka radioaktivne snovi v obliki t. i. »mokrega vseda«. Černobilska nesreča je tudi pokazala, da je prebivalstvo prejelo precejšnjo ščitnično dozo ne zaradi vdihavanja radioaktivnega joda, ampak zaradi uživanja preko prehranske verige, zato bi bil ustrežnejši ukrep omejitev določene hrane kot pa, na primer, uživanje tablet kalijevega jodida.

Glede na velikost Slovenije lahko zaključimo, da bi bil pri jedrski nesreči v tujini ogrožena kar celotna Slovenija. V primeru jedrske nesreče v tujini je potrebno predvideti predvsem ukrepe v prehrabni verigi, ter ukrepe, ki se nanašajo na potovanja oseb z oziroma na ogroženo področje v tujini.

2.4.3.5 Druge posledice

Pri posledicah jedrske nesreč je poleg zdravstvenih posledic potrebno upoštevati tudi gospodarske in psihične 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, promet, trgovanje, turizem, pridelovanje hrane, šolstvo in šport.

2.4.4 Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini

Ob predpostavljenem vplivu nesreče v jedrskih elektrarnah v tujini in Krškem je ogroženo celotno območje Mestne občine Ljubljana, ob nesrečah drugih obravnavanih jedrskih objektih pa je ogroženo območje znotraj obrata.

2.4.5 Verjetnost nastanka verižne nesreče in možnost predvidevanja nesreče

Ocenjujemo, da na območju Mestne občine Ljubljana ni pričakovati nastanka verižnih nesreč zaradi nesreč v obravnavanih jedrskih objektih.

V primeru počasnega razvoja od nenormalnega dogodka do jedrske nesreče je mogoče pričakovati, da bodo pristojni državni organi izvedli pravočasno obveščanje in alarmiranje.

2.4.6 Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče

Glede jedrske nesreče (bodisi iz JE Krško ali iz tujine) je za področje Ljubljane smiselno načrtovati ukrepe po prehrabni verigi. Tu gre za najprej za vzorčenje (jemanje vzorcev) hrane in pijače (kmetijskih pridelkov, sadja, zemlje, mleka, vode), ki se pridelajo oziroma nahajajo na območju Ljubljane. Ustrezne pooblašene organizacije, na območju Ljubljane sta Institut Jožef Stefan in Zavod za varstvo pri delu, lahko opravljajo meritve vzorcev, pristojni državni organi pa svetujejo glede uporabe hrane, sprejemajo in uveljavljajo prepovedi.

Izhodiščne vrednosti operativnih intervencijskih nivojev za takojšnje zaščitne ukrepe ter omejitev uporabe živil in pitne vode so (iz Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur.l. RS, št. 49/2004) navedene v preglednici.

Merilna veličina ali radionuklid	Oznaka operativnega intervencijskega nivoja	Izhodiščna vrednost operativnega intervencijskega nivoja		Priporočljiv intervencijski ukrep
Hitrost doze iz	1	1 mSv/h ^(a,c)		Evakuacija ali učinkovito zaklanjanje in jodna profilaksa (v primeru zaklanjanja) ^(b)
Oblaka	2	0,1 mSv/h ^(c)		Jodna profilaksa, zaklanjanje v hišah z zaprtimi vrati in okni; navodila za prebivalstvo po radiu in TV
Hitrost doze iz useda radioaktivnih snovi na zemljišče	3	1 mSv/h		Evakuacija ali učinkovito zaklanjanje v tem območju
	4	0,2 mSv/h ^(d,e,f)		Začasna preselitev
	5	0,001 mSv/h nad naravnim ozadjem		Takojšnja omejitev uporabe potencialno kontaminirane hrane in mleka v območju, dokler niso znani rezultati podrobnejših analiz
Površinska kontaminacija zemljišča z:		Hrana	Mleko	
I-131 ⁽ⁱ⁾	6	10 kBq/m ² (d,g)	2 kBq/m ² (d,h)	Omejitev uživanja hrane in mleka
Cs-137 ⁽ⁱ⁾	7	2 kBq/m ² (d,g)	10 kBq/m ² (d,h)	
Kontaminacija hrane, mleka, vode z:		Hrana	Mleko, pitna voda	
I-131 ⁽ⁱ⁾	8	1 kBq/kg ^(d,g)	0,1 kBq/kg (d,g)	Omejitev uživanja hrane, mleka in pitne vode
Cs-137 ⁽ⁱ⁾	9	0,2 kBq/kg (d,g)	0,3 kBq/kg (d,g)	

kjer imajo oznake naslednji pomen:

- če ni znamenj, da je prišlo do taljenja sredice, je operativni intervencijski nivo (1) = 10 mSv/h, ker k prejeti dozi prispeva samo zunanje obsevanje, ne pa tudi vdihavanje (inhalacija) radioaktivnih snovi, ki je bila upoštevana pri izračunu izhodiščne vrednosti operativnih intervencijskih nivojev;
- učinkovito zaklanjanje je mogoče v za to zgrajenih zakloniščih, v kletah ali v notranjosti velikih zgradb. Zaklanjanje ne sme trajati več kot en ali dva dni. Učinkovitost zaklanjanja je na območjih z visokimi hitrostmi doz treba preverjati z meritvami;
- potreben je nadzor kontaminiranih evakuirancev; prebivalstvo pa mora dobiti navodila o priročnih postopkih dekontaminacije;
- na osnovi analiz vzorcev je treba čim prej ovrednotiti vrednosti operativnih intervencijskih nivojev, ki nadomestijo izhodiščne;
- od 2 do 7 dni po izrednem dogodku;
- če je začasno preselitev zelo težko izvesti, lahko izvajalec intervencijskih ukrepov uporabi višji

operativni intervencijski nivo;

- g) če živil primanjkuje ali če se kontaminacija s pripravo hrane pred zaužitjem odstrani (pranje, lupljenje, radioaktivni razpad), lahko izvajalec intervencijskih ukrepov odredi višje vrednosti operativnih intervencijskih nivojev;
- h) za kozje mleko se vrednost deli z 10.

Preglednica: Izhodiščne vrednosti operativnih intervencijskih nivojev za takojšnje zaščitne ukrepe ter omejitve uporabe živil in pitne vode (Vir: Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur.l. RS, št. 49/2004))

Za ukrepe na območju Ljubljane pridejo v poštev začetni intervencijski nivoji z oznakami (številkami) 6, 7, 8 in 9 iz zgornje preglednice.

3 Sevalne nesreče

3.1 Nesreče pri uporabi radioaktivnih snovi

3.1.1 Podatki o virih nevarnosti

Nesreče z radioaktivnimi snovmi se lahko zgodijo v objektih, kjer uporabljajo radioizotope (npr. raziskovalni inštituti, industrija, bolnišnice). V industriji se radioizotopi uporabljajo na določenem mestu (npr. za merjenje debeline pločevine, nivojev v posodah), lahko pa so premični (npr. radiografija zvarov, merjenje vlažnosti in gostote cestišča).

3.1.2 Možni vzroki nastanka nesreč

Vzrok pri nastanku nesreče z radioaktivnimi viri je v večini primerov človeška napaka, ker so radioaktivni viri pasivne naprave, ki imajo malo gibljivih delov. Vzroke lahko razdelimo na:

- a) nepravilno uporabo, hrambo ali izgubo radioaktivnega vira zaradi malomarnosti, nevednosti, neznanja ali neupoštevanja predpisov varstva pred sevanji,
- b) konstrukcijsko napako pri vgradnji vira (slaba izdelava ščita, neustrezno izdelano orodje za rokovanje z virom),
- c) ilegalno uporabo (kraja, sabotaža).

3.1.3 Verjetnost pojavljanja nesreče

Glede na izkušnje v Sloveniji (en dogodek z razsuto vsebino radijeve igle in kontaminacijo prostorov na Onkološkem inštitutu v začetku šestdesetih let; stalitev cezijevega radioaktivnega izvora v železarni Štore leta 1983; iskanje pogrešanega radioaktivnega izvora na dvorišču Metalne v Mariboru leta 1995; poškodovanje instrumenta z radioaktivnim izvorom za merjenje vlažnosti in debeline cestišča leta 1998) ugotovimo, da lahko pričakujemo ob sedanjem številu radioaktivnih virov Sloveniji nesrečo z nenamerno kontaminacijo z verjetnostjo en dogodek na nekaj deset let, iskanje pogrešanega radioaktivnega izvora pa z verjetnostjo en dogodek na nekaj let.

Če te izkušnje preslikamo na območje Ljubljane in upoštevamo pomembnost Ljubljane kot glavnega mesta (npr. da v njej prebiva približno 15% slovenskega prebivalstva, in da približno podoben odstotek gravitira na to območje, oziroma da ima v Ljubljani sedež ali podružnico kar precej večjih slovenskih podjetij), potem lahko zgornje verjetnosti delimo s številom tri do štiri.

3.1.4 Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče

Za razliko od jedrskega objekta gre pri delu z *zaprtimi* radioaktivnimi viri v glavnem za naslednje možne scenarije nesreče:

- nenamerni zunanji obsev osebja, ki dela z radioaktivnim virom, ali drugih oseb, ki pridejo v bližino vira,
- kontaminacijo prostorov v glavnem z enim samim radionuklidom (npr. s srednje dolgoživim Am-241 ali z dolgoživima Cs-137, Co-60).

Pri delu z *odprtimi* viri gre praviloma za raztres ali razlitje virov nižje aktivnosti, ki prizadenejo predvsem delovno osebje, manj ogroženo je splošno prebivalstvo. Običajno gre za kratkožive izotope, tako da ogroženost ni niti trajnega niti akutnega značaja.

Nesreča se po navadi zgodi zaradi nevednosti: obsevanje ljudi zaradi neoznačenega in nezaščitene radioaktivnega vira ali obsevanje ljudi zaradi izgubljenega vira, za katerega ne vedo, da so v njegovem območju sevanja. Lahko pride do okvare mehanizma, ki opravlja zaščitno funkcijo, tako da vrne izvor znotraj zaščitne posode, da zmanjša sevanje, ali da zapre pot med uporabnikom in izvorom z zaščitnim zaslonom ali steno.

Pri delu z *odprtimi* viri lahko pride do kontaminacije pripomočkov ali prostora. Če pripomočkov ali sobe ne dekontaminiramo oziroma omejimo dostop, se lahko kontaminacija raznese po zgradbi in tudi

po širši okolici. Obseg nesreče je omejen na lokalne razsežnosti ali na prostore, saj zaradi precej definirane lokacije virov ni pričakovati kontaminacije ali povišane dozne hitrosti na širšem območju. Izjema so primeri, ko bi prišlo do taljenja visoko aktivnega vira v železarni (vir sevanja za teleterapijo, iradiacijo ipd.), kjer lahko pride do zračnega transporta tudi na večje razdalje (tudi nekaj 100 km ali nekaj 1000 km). Maja 1998 so pomotoma stalili cezijev vir v železarni v Algecirasu, Španija. Sledove cezija, ki se je razširil po južni in srednji Evropi je bilo zaznati tudi v Sloveniji.

V Ljubljani ni železarn, so pa zbirališča odpadnega železa (npr. Dinos), kjer občasno najdejo kakšen vir sevanja, ki je prišel v Slovenijo iz drugih držav (predvsem iz držav zahodnega Balkana). Iz podatkov iz letnih poročil o sevalni in jedrski varnosti za zadnja leta (2005-2007) lahko ocenimo, da se verjetnost, da najdejo radioaktivni vir med odpadnim železom na območju Ljubljane približno enkrat na leto. Verjetno se je zaradi sprejetje Uredbe o preverjanju radioaktivnih pošiljk odpadnih kovin (Ur. list RS 84/2007), ki je začela veljati 1.1.2008 ta verjetnost nekoliko zmanjšala, vendar se še ne da oceniti za koliko.

Do nesreče lahko pride tudi kot posledica kraje, sabotaze ali izsiljevanja - tu so možni različni poteki - od izgubljenega vira do namernega obsevanja.

Lahko pride tudi do obsevanja ljudi zaradi uničenja radioaktivnega izvora ali najdbe izgubljenega radioaktivnega izvora.

V običajnih primerih gre za ogroženost nekaj ljudi, ki pridejo v neposreden stik z radioaktivnim izvorom, če gre za zaprt vir. Če pa pride do poškodovanja zaprtega vira in raztros radioaktivnega materiala pa je lahko posledica relativno obsežno kontaminirano območje, ki po navadi vsebuje tudi področje naselitve (hiše, stanovanja, poti, vrtovi). Takšen primer se je zgodil v Goiānii v Braziliji leta 1987.

3.1.5 Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini

Lahko poudarimo, da so radioaktivni viri nevarni predvsem tistim, ki delajo z njimi. Zaradi malomarnosti ali nevednosti pa lahko takšen vir kontaminira tudi večje področje (stavbo, cesto) in prizadene večje število ljudi.

3.1.6 Možnost predvidevanja nesreče

Ob intervencijah ob nesrečah v obratih oziroma objektih, kjer uporabljajo radioizotope, morajo intervencijske službe predvidevati, da nesreča lahko vključuje vir sevanja in pred pričetkom intervencije preveriti raven sevanja. Da je v objektu oziroma njegovem posameznem prostoru vir sevanja mora biti ustrezno označeno.

3.1.7 Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče

Za ukrepanje pri nesrečah z uporabo radioaktivnih snovi obravnavamo naslednje scenarije ob upoštevanju, da aktiviramo enote oziroma osebje pooblaščenih organizacij Institut Jožef Stefan in Zavod za varstvo pri delu:

- a) Izgubljen radioaktivni vir oziroma kraja radioaktivnega in vzpostavitev nadzora nad takšnim virom

Izguba radioaktivnega vira z aktivnostjo, da ga lahko opredelimo kot nevaren vir (podrobna definicija oziroma tabela z navedenimi aktivnostmi za vsak izotop je v dokumentu IAEA, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Method, Vienna (2003)) lahko povzroči trajne poškodbe. Preprosta opredelitev nevarnega vira je pravzaprav podobna: »To je vir, ki povzroči, če ga nekaj ur nosimo tesno ob telesu (npr. v žepu), deterministične poškodbe oziroma učinkovito dozo večjo od 1 Sv. Oziroma, če ga vdihavamo ali zaužijemo povzroči deterministične pogodbe (npr. 6 Gy absorbirane doza za pljuča)«. Kontaminacija s takšnim virom zahteva takojšnje čiščenje (dekontaminacijo). Rokovanje z nezaščitenim virom (t.j. ni v vsebniku oz. zaščitnem ohišju) z aktivnostjo, ki jo

lahko opredelimo kot nevaren vir lahko povzroči trajne poškodbe zaradi zunanjega obsevanja. Če pa so aktivnosti od 10 do 100 kratne kot je vrednost za »nevaren vir«, potem so osebe, ki pridejo v stik z virom, lahko življenjsko ogrožene.

b) Radioaktivni vir v požaru

Primarni vir nevarnosti je požar. Obstaja majhna verjetnost, da bi bil poškodovan vsebnik oziroma zaščita, potem je nevarnost enaka kot v prejšnjem odstavku. V primeru nepoškodovanega vsebnika je nevarnost majhna oziroma zanemarljiva in zadostujejo običajni ukrepi, ki se uporabljajo ob požaru (nošenje dihalne opreme, da se prepreči v dihanje snovi, ki so se sprostile ob požaru. Če traja zadrževanje ob vsebniku, ki vsebuje radioaktivni vir, omejen čas (npr. nekaj deset minut) v splošnem ni nevarno.

3.2 Prevoz jedrskih in radioaktivnih materialov

3.2.1 Podatki o virih nevarnosti, možnih vzrokih ter verjetnosti nastanka nesreč

Pri prevozu radioaktivnih snovi je najbolj verjeten vzrok prometna nesreča oziroma pretovor radioaktivnega materiala.

Po evidenci Zdravstvenega inšpektorata Republike Slovenije je bilo ugotovljeno, da je bilo v letu 1996 opravljenih 363 prevozov radioaktivnih snovi skozi mejne prehode in 254 prevozov znotraj države. Od leta 1991 do 1999 ni bilo uradno evidentiranih nesreč pri prevozu radioaktivnih snovi. Verjetnost, da pri prevozu radioaktivnih snovi po cesti pride do nesreče, obstaja, vendar je izredno majhna.

Iz podatkov pri prevozu nevarnih snovi lahko ugotovimo naslednje: v letu 1994 je bilo 33 nesreč, od tega 4 nesreče z razlitjem nevarne snovi; v letu 1995 je bilo 50 nesreč, od tega 3 nesreče z razlitjem snovi; v letu 1996 je bilo 47 nesreč in v letu 1997 52 nesreč. Glede na to, da je prevozov radioaktivnih snovi vsaj 100 krat manj kot prevozov nevarnih snovi, je verjetnost nesreče, pri kateri pride do poškodbe embalaže radioaktivnega materiala: en dogodek na nekaj deset let ali še bolj poredko.

Za območje Ljubljane lahko iz razlogov, navedenih v poglavju 3.1.3 verjetnosti iz prejšnjega odstavka delimo najmanj s 3 ali večjim številom (npr. 5). Če upoštevamo vso svetovno prakso do zdaj ni prišlo do nesreče s hujšimi posledicami (obsevanje z determinističnimi učinki) pri prevozu radioaktivnih snovi.

Iz podatkov v letnih poročilih o sevalni in jedrski varnosti za zadnja leta (2005-2007) dobimo, da je za celo Slovenijo izdanih približno 20 do 30 uvoznih dovoljenj za nabavo virov sevanja, ki jih izdala Uprava RS za varstvo pred sevanji za vire v uporabi v medicini in veterinarstvu, medtem ko Uprava RS za jedrsko varnost izda dovoljenja za uvoz vseh drugih virov. V to število dovoljenj ni vštete vnosa virov iz drugih držav EU.

3.2.2 Prevozi jedrskih in radioaktivnih snovi v Sloveniji

a) Prevoz svežega goriva:

Jedrska elektrarna Krško uvozi enkrat na leto 24 do 40 gorivnih elementov v skupni teži do 20 t (maksimalna obogatitev z U-235 je 4,35 %). Sveže gorivo se prevaža po morju, cesti, železnici in tudi po zraku.

b) Prevoz izrabljenega goriva:

Trenutno se vse gorivo iz NE Krško hrani na lokaciji. Izrabljeno jedrsko gorivo se bo prepeljalo v novo skladišče, v končno odlagališče ali pa na predelavo. Doslej še ni bil opravljen noben transport izrabljenega goriva iz NE Krško. Raziskovalni reaktor TRIGA uporablja za svoje obratovanje jedrsko gorivo, ki je bilo nabavljeno v ZDA. V skladu z dogovorom med vladama RS in ZDA je bil večji del izrabljenega goriva leta 1999 vrnjen v ZDA. Pri prevozu izrabljenega jedrskega goriva je verjetnost, da bi prišlo do raztresa radioaktivnega materiala zanemarljiva, saj so kontejnerji projektirani tako, da zdržijo trk z lokomotivo.

c) Prevoz radionuklidov za potrebe bolnišnic, industrije in inštitutov

Pošiljke so po navadi majhne aktivnosti (izjema so viri sevanja, ki so namenjeni za terapijo in kalibracijske izvore; zanje je značilno, da imajo daljšo razpolovno dobo). Radionuklidi so vnaprej znani, prav tako tudi uporabniki, prevozniki pa morajo imeti navodila, kako ukrepati v primeru nezgod, in

posebno dovoljenje za uvoz in prevoz. Najpogosteje se uvažajo naslednji izotopi: Xe-133, J-131, Tl-201, Ga-67, Tc-99m generator (Mo-99), J-125, In-111, S-35, P-32, Cr-51.

3.2.3 Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini

Zaradi nesreče pri prevozu jedrskega ali radioaktivnega materiala 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.

3.2.4 Možnost predvidevanja nesreče

Ob intervencijah ob nesrečah, kjer so vozila, tovor oziroma tovorki označeni z znakom za vir sevanja, morajo intervencijske službe predvidevati, da nesreča lahko vključuje vir sevanja in pred pričetkom intervencije preveriti raven sevanja.

3.2.5 Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče

Pri nesreči z radiografskim ali iradiacijskim virom lahko nastanejo sevalna polja z visoko dozno hitrostjo. Glede na zahtevano usposobljenost osebja, ki prevažajo radioaktivne vire visokih aktivnosti, ni pričakovati visokih prejetih doz sevanja.

Malo verjetna je ogroženost zaradi kontaminacije površinskih vodotokov ali podtalnice, ker je aktivnost tekočinskih radioaktivnih izvorov glede na volumen podtalnice majhna (prišlo bi do velikega razredčenja radioaktivne snovi). Razlitje ali raztros sta tudi malo verjetna zato, ker so praviloma tovrstni viri ustrezno zapakirani in zaščiteni. Ob nesreči pri prevozu je možna kontaminacija embalaže, vozila ter v nesreči udeleženih oseb iz spremstva.

Zaradi prometne nesreče lahko pride do poškodbe embalaže radioaktivnega vira in razsutja radioaktivnega materiala na mestu nesreče.

3.2.6 Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče

Transportna nesreča:

Tveganja za reševalce (first responders) pri tovrstni nesreči so naslednja:

- Inhalacija zaradi sproščanja radioaktivnih snovi v zrak (to velja v neposredni bližini vira),
- Kontaminacija, ki je nevarna, če pride v telo z zaužitjem (preko rok v usta, ali kmetijskih pridelkov),
- Visoke hitrosti doz, ki onemogočajo, da bi kdo bil daljši čas v bližini vira.

Običajna zaščitna oprema (vključno z dihalnimi aparati), ki jo imajo gasilci je zadostna, potreben pa je nasvet o času zadrževanja v bližini vira.

Ukrepanje ob tej nesreči lahko strnemo v naslednje korake:

Prevoznik:

- lahko poskrbi za ponesrečenca, če sam ni poškodovan,
- prepreči okoliškim opazovalcem dostop do mesta nesreče,
- pokliče pomoč in obvesti pristojne organe.

Vodja intervencije:

- poskrbi za reševanje življenj, če je potrebno,
- poskrbi za pogasitev ognja,
- poišče radiološki nasvet,
- poišče medicinskega svetovalca za koordinacijo medicinske pomoči,
- poskrbi za osebe za stike z mediji, da bo lahko podala relevantno informacijo,
- vzpostavi varnostni radij skladno s preglednico v poglavju 3.4.5,

- poskrbi za transport morebiti kontaminiranih oseb v bolnišnico (obvesti bolnišnico, da so morebiti kontaminirani) in poskrbi, da je (so) ponesrečenec zavrt v odejo, da prepreči kontaminacijo, in da tudi reševalci skrbijo, da niso kontaminirani,
- ukrepanje je precej odvisno od oznake na tovorku – Izdelati postopek po vzoru sheme A7-1 iz INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Method, Vienna (2003).

Svetovalec (npr. IJS) za sevanje poskrbi za oceno dogodka, ki vključuje:

- izvajanje meritev gama, kot tudi beta ter alfa sevanja,
- oceno ali gre za nevaren nevtronski vir (npr. Cf-252 ali Be/Am),
- svetovanje vodji intervencije.

Preprečitev oziroma zmanjšanje verjetnosti za takšno nesrečo dosežemo s spoštovanjem zakonodaje tako prevoznika kot upravljalca vira (ustrezno vozilo, spoštovanje prometnih predpisov, predpisana in jasno označena embalaža ter izpolnjevanje drugih zahtev, ki jih nalagajo predpisi s področja prevoza radioaktivnih snovi).

3.3 Padec satelita

3.3.1 Podatki o virih nevarnosti, možnih vzrokih ter verjetnosti nastanka nesreč

Na satelitih, ki krožijo okoli Zemlje, uporabljajo dve vrsti jedrskih virov energije: jedrske reaktorje in generatorje toplote z radioaktivnimi izotopi (RTG – radioisotopic thermal generator). Padec satelita oziroma povratek satelita na Zemljo lahko povzroči trk satelita z drugim predmetom, ki kroži v orbiti okoli Zemlje, izguba zveze in s tem nadzora nad satelitom, odpoved motorja, ki dvigne satelit na višjo orbito, ali okvara navigacijskih naprav. Vsi naštetih vzroki vodijo k prezgodnjemu vstopu satelita v nizko orbito in nato k padcu na Zemljo.

Verjetnost padca satelita na Slovenijo je težko oceniti, saj ni dovolj podatkov o satelitih in materialu, ki ga nosijo na krovu.

3.3.2 Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče

Padec satelita z RTG lahko povzroči kontaminacijo z močno toksičnim sevalcem alfa. Poudariti je treba močno konstrukcijo kapsule z RTG, radioaktivna snov pa je vgrajena v keramični material, ki močno zmanjša možnost raztresa in raztapljanja v vodi. Omenimo pa lahko, da je pri satelitih, ki so namenjeni za raziskovanje teles v osončju ali zunaj njega, in ki z »mimoletom« (fly-by) izkoriščajo privlačnost Zemlje, da dobijo še dodatno energijo za svoje potovanje po vesolju, eliptična ali hiperbolična orbita precej sploščena. Takšen satelit pridobi veliko hitrost, in je velika verjetnost, da bo v primeru napake priletel v Zemljino ozračje pod položnim kotom ter zgorel in razpadel na veliko število delov.

Satelit z jedrskim reaktorjem na krovu lahko povzroči kontaminacijo s fisijskimi produkti, vendar se ta kontaminacija razlikuje od tiste, ki je posledica jedrske eksplozije. Za reaktorje, ki obratujejo manj kot leto dni, pade aktivnost po enem letu od ustavitve na 1% aktivnosti, ki je bila ob ustavitvi. Predvsem ostaja radioaktivnost večinoma vezana na delce z visokimi specifičnimi aktivnostmi, in je zanjo značilno, da ne vsebuje ne jodovih in ne cezijeve izotopov. Ogroženost izvira pretežno zaradi inhalacije teh delcev, ki v posamezniku lahko povzročijo visoke doze, in ne od zunanjega sevanja.

Posledice nesreče izvirajo iz visokih doz, ki bi jih posameznik prejel, če bi v pljuča vdihnil "vroče delce" (npr. delec velikosti 10 mikrometrov z aktivnostjo 50 Bq; takšen delec da efektivno dozo 3 mikroSv). To so drobni delci, ki se lahko resuspendirajo (dvignejo) s tal v zrak in imajo veliko specifično aktivnost. Takšne delce se lahko vnese v telo tudi z uživanjem neumitega sadja in zelenjave. Posledice vnosa "vročih delcev v telo" za prebivalstvo se lahko pojavijo v obliki stohastičnih učinkov sevanja.

Izkušnje s padcem satelita, ki je imel reaktor na krovu, izvirajo iz padca satelita Kozmos-954, ki je leta 1978 razpadel nad nenaseljenimi področji Kanade. Povprečna hitrost doze, ki bi jo dobili na sredini

kontaminiranega območja, če bi bila kontaminacija enakomerna, bi znašala 0,05 mikroSv/h (hitrost doze naravnega ozadja v Sloveniji je okoli 0,1 mikroSv/h). Na področju 600 km x 20 km so našli približno 80 radioaktivnih »predmetov«, pri katerih je bila največja izmerjena hitrost doze na dotiku 5000mSv/h, največja izmerjena hitrost doze na razdalji 1 m pa do 2mSv/h.

Pri satelitih z RTG na krovu, ki bi razpadel pri povratku na Zemljo, predstavlja težavo iskanje delcev plutonija, ker zelo šibko sevajo v področju gama. Košček goriva, ki vsebuje plutonij, velikosti 1 cm³ povzroči hitrost doze zaradi sevanja gama le 10 mikroSv/h na razdalji 1 m, zato bi jih bilo potrebno iskati na druge načine, npr. z uporabo infrardeče kamere. Specifična toplotna moč, ki jo proizvaja RTG je približno 4 W/cm³. (Vir: Safety Series No. 119. Emergency Planning and Preparedness for Re-entry of a Nuclear Powered Satellite)

3.3.3 Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini
Področje, ki ga je potrebno preiskati po padcu satelita, da bi ugotovili morebitno kontaminacijo zemljišča, znaša okoli 100 000 km², kar predstavlja približno petkratno velikost Slovenije.

Območja kontaminacije so površinsko manjša in so trakaste oblike s širino nekaj 10 km in v dolžini nekaj 100 km. Zaradi neposredne kontaminacije z radioaktivnimi delci so ogroženi le nekateri prehrabni artikli (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.

3.3.4 Možnost predvidevanja nesreče

Padec satelita je sicer možno napovedati več tednov vnaprej, vendar točnega kraja, kam bodo satelit oziroma njegovi deli padli, praktično ni možno določiti. V poštev pridejo vsi kraji, ki ležijo pod orbito satelita. Tik pred padcem se satelit nahaja v nizki krožni orbiti nad Zemljo z obhodnim časom približno 90 minut. Pričakovati je, da bo država lastnica satelita obvestila preko Mednarodne agencije za atomsko energijo ostale pogodbenice Konvencije o zgodnjem obveščanju v primeru jedrske nesreče, in da bo, če bo potrebno, ponujena tudi pomoč prizadetim državam skladno s Konvencijo o pomoči v primeru jedrskega ali radiološkega izrednega dogodka.

3.3.5 Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče

Ob padcu satelita je potrebno nemudoma obvestiti prebivalstvo o področju, na katerem je padel satelit in odsvetovati približevanje oziroma prijemanje česarkoli, kar je povezano s satelitom oziroma, da prebivalstvo o tem obvesti pristojne institucije. Smiselno je tudi odložiti dela na prostem, ki niso nujna, če se sumi, da bi tam lahko bili ostanki satelita.

Ker je področje padca satelita obsežno, bi verjetno v tem primeru pri iskanju ostankov oziroma radioloških meritvah sodelovalo več držav, ki bi aktivirale ustrezno število specializiranih ekip za merjenje radioaktivnosti. Verjetnost (oz. tveganje), da bi se kje našel zelo radioaktiven del satelita je majhna, vendar lahko ljudi opozorimo, da je to možno in naj bodo previdni in naj sporočijo, če so našli ostanke satelita. Osebe za merjenje radioaktivnosti je smiselno nemudoma poslati na takšno mesto. Sistematsko preiskovanje področja s pomočjo naprav za izvidovanje iz zraka pa je smiselno koordinirati na državni oziroma mednarodni ravni.

Preprečitev tega dogodka je v rokah države lastnice satelita, ki ga lahko usmeri v nenaseljeno področje ali morje, če je satelit vodljiv oziroma ga razstrelji nad atmosfero, če ta možnost obstaja. V splošnem ni veliko možnosti razen spremljanja satelita, ki ga lahko opravijo države, ki imajo ustrezne opazovalne sisteme.

3.4 Teroristična dejanja z uporabo radioaktivnih materialov

3.4.1 Podatki o virih nevarnosti, možnih vzrokih ter verjetnosti nastanka nesreč

Teroristični scenariji po navadi vključujejo distribucijo zaprtih virov, raztros radioaktivnih snovi (radiological dispersal device) ali celo eksplozijo primitivnega jedrskega orožja.

Verjetnost terorističnega napada je skoraj nemogoče oceniti brez podatkov, ki se nanašajo na teroristično ogroženost države in s katerimi razpolaga varnostno obveščevalna agencija oziroma ustrezne službe.

3.4.2 Verjeten potek in možen obseg nesreče, vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter verjetne posledice nesreče

Scenariji se razlikujejo glede na posledice (ogroženost življenja), vendar se je potrebno zavedati, da vsak tak dogodek lahko povzroči veliko število žrtev. Značilnosti oziroma posledice terorističnih dejanj z radioaktivnimi snovmi bodo veliko število prizadetih in takojšnje pomanjkanje medicinskega osebja, ki bi obvladovalo situacijo.

Scenarij	Ogroženost (porazdelitev oseb, ki jih je prizadelo)			
	Življenjska ogroženost		Življenje ni ogroženo	
	Takojšnje poškodbe	Zakasnele poškodbe	Sevanju izpostavljeni posamezniki	Število posameznikov s psihološkimi učinki (brez izpostavljenosti sevanju)
Jedrsko orožje	Veliko	Veliko	Veliko	Veliko
Distribucija zaprtih virov	Malo	Srednje	Veliko	Veliko
raztros radioaktivnih snovi (radiological dispersal device)	Malo	Malo	Srednje	Veliko

Preglednica : značilnosti nesreč po različnih scenarijih

Distribucija zaprtih virov ne predstavlja tveganja za kontaminacijo, če viri ostanejo nepoškodovani. Zaprti viri ne povzročijo znatnih sevalnih poškodb pri ljudeh, ki se le kratek čas zadržujejo v njihovi bližini. Za tiste, ki rokujejo s temi viri, je nevarno, da dobijo deterministične poškodbe. Ni pričakovati večjega števila življenjsko ogroženih poškodovancev.

Pri napravah za raztros radioaktivnih snovi gre lahko za eksplozivne ali ne-eksplozivne naprave, katerih namen je povzročiti čim večje kontaminirano območje. Pri tem se kontaminirajo tudi osebe, zato je eden od učinkovitih ukrepov takojšnja zapustitev kontaminiranega območja. Ni pričakovati večjega števila življenjsko ogroženih poškodovancev, zato pa je mnogo večje število ljudi, ki se počutijo ogrožene in zaskrbljene in bodo doživeli psihološki stres. Seveda je potrebno kontaminirane ljudi čim prek dekontaminirati (npr. z menjavo obleke in umivanjem).

Kadar je uporabljena eksplozivna naprava za raztros radioaktivnih snovi, največja nevarnost prihaja od same eksplozije in v manjši meri zaradi izpostavljenosti sevanju oziroma kontaminaciji. Največje sevalno tveganje je povezano z vdihavanjem in zaužitjem snovi, ki jih je raztresla eksplozija ali so izhlapele v zrak zaradi požara, oziroma z zbiranjem radioaktivnih ostankov neeksplozivne naprave.

Tveganje je zanemarljivo, če naprava vsebuje le količine pod mejo za nevaren vir (glej razlago za nevaren vir v poglavju Nesreče pri uporabi radioaktivnih snovi). Če gre za količine okoli 10-kratne vrednosti za nevaren vir, potem lahko predvidimo življenjsko nevarnost za nezaščitene osebe.

Nevarnost lahko izvira zaradi vdihavanja hlapov, če je substanca hlapljiva oziroma gori.

3.4.3 Podatki o ogroženih prebivalcih, živalih, premoženju in kulturni dediščini

Glede na sedanja teroristična dejanja po svetu ocenjujemo, da bi bilo tako dejanje izvedeno z namenom povzročitve čim večjega števila človeških žrtev.

3.4.4 Možnost predvidevanja nesreče

Državne obveščevalne službe morda imajo omejeno možnost predvidevanja nastanka takega dogodka.

3.4.5 Predlogi za izvajanje zaščite, reševanja in pomoči ter preprečitev oziroma ublažitev in odpravo posledic nesreče

V primeru terorističnih dejanj je zelo težko v začetku oceniti, ali sploh gre za toksično snov in za katero, zato se privzame, da gre za kemično-biološko-jedrsko ogroženost dokler se ne ugotovi dejanskega stanja. Pričakovati je takojšnje pomanjkanje medicinskega osebja in zmogljivosti zdravstvenih ustanov glede na veliko število pacientov in značilnosti poškodb.

Principi ukrepanja:

- zdravstvena ogroženost je prioriteta pred radiološkim tveganjem,
- nadzor oziroma obravnava notranje kontaminacije je ena od nujnih nalog, da se zmanjša kopičenje radioaktivnih snovi v telesu (v določenih organih),
- zunanja kontaminacija mor biti prav tako nadzorovana, da se prepreči širjenje kontaminacije v okolje, kontaminacijo reševalcev in drugega osebja. Če ni na razpolago posebnih ukrepov so minimalni ukrepi preoblačenje in tuširanje. S tem se tudi preprečuje možnost interne kontaminacije.
- reševalci morajo biti ustrezno izurjeni za posredovanje v takšnih dogodkih, predvsem pa morajo znati zaščititi sebe,
- tudi običajno medicinsko osebje mora biti ustrezno usposobljeno, da ukrepa primerno in ne podleže morebitni paniki oziroma zavračanju poškodovancev zaradi kemično-biološko-jedrškega terorističnega dejanja.

Kadar je uporabljena eksplozivna naprava za raztros radioaktivnih snovi, je okvirna vrednost varne razdalje po eksploziji 100 m. Zunanja kontaminacija v glavnem ni nevarna toda vdihavanje in nenameren vnos v telo (npr. s kontaminiranimi rokami v usta) je lahko nevaren. Krajše zadrževanje v bližini neeksplodirane naprave ni nevarno, vendar je potrebno odsvetovati prijemanje in držanje delov naprave, ker lahko povzročijo sevalne poškodbe v nekaj minutah. Gasilci so običajno opremljeni z dihalno opremo, ki nudi zadostno zaščito pred vdihavanjem radioaktivnih in drugih snovi (izolirni dihalni aparat). Običajni instrumenti za merjenje sevanja (npr. dozne hitrosti) zaznavajo zunanje sevanje, vendar niso primerni za merjenje oziroma oceno nevarnosti zaradi vdihavanja (npr. dvigovanje v zrak plutonija (resuspenzija Pu), ki je raztresen po površini).

Nekaj splošnih navodil za vodjo intervencije v primeru terorističnih dejanj z uporabo radioaktivnih materialov:

- opazuje z razdalje in skuša ugotoviti ali gre za eksplozivno napravo,
- če je prišlo do eksplozije izvede nujne reševalne akcije za reševanje življenj preden opravi merjenje radioaktivnosti,
- če gre za eksplozivno napravo, poišče pomoč strokovnjakov za deaktiviranje bomb,
- skuša ugotoviti, ali gre za napravo, ki vsebuje radioaktivnost (ali je bila grožnja najavljena?, ali je kakšno sporočilo na kraju dogodka?, ali je kakšen znak sevanje (ne povsem dober kazalnik – lahko gre za lažno informacijo)?, ali so meritve hitrosti doze znatno nad ozadjem (npr > mikroSv)?
- ali gre za sekundarne eksplozivne naprave, ki so še zakrite?
- Če gre za radioaktivno napravo:
 - o Vzpostavi se omejeno področje skladno s priporočili iz preglednice (radij 300-400m).

- Vzpostavi se stik oziroma poišče pomoč s policijo.
- Intervencijske ekipe naj uporabljajo zaščito dihal in nosijo ustrezno obleko, ki ščiti pred kontaminacijo.
- Zahteva pomoč strokovnjaka za sevanje.
- Če je naprava eksplodirala, naj se približevanje omeji na minimum (samo za reševanje življenj), dokler niso opravljene meritve sevanja.
- Poskrbi za transport morebiti kontaminiranih oseb v bolnišnico (obvesti bolnišnico, da so morebiti kontaminirani) in poskrbi, da je (so) ponesrečenec zavrt v odejo, da prepreči kontaminacijo, in da tudi reševalci skrbijo, da niso kontaminirani.
- Poskrbi za morebitno kontaminirane oz. sevanju izpostavljene osebe: pošlje jih na zbirno točko, odredi popis njihovih podatkov, poskrbi za triažo (medicinsko in radiološko obravnavo).

Kot pripomoček za ukrepanje intervencijskih služb pri obravnavanih nesrečah lahko služi preglednica priporočenih začetnih radijev (razdalj), pri katerih se vzpostavi omejitev gibanja oziroma dostop do področja, kjer poteka intervencija. Te razdalje so mišljene za intervencijsko osebje, ki naj bo na teh razdaljah ali večjih, če nima neposrednih nalog pri intervenciji. Te razdalje so namenjena za odprt prostor, v stavbah so ustrezno manjše. Za splošno javnost so razdalje seveda večje, da ne motijo poteka intervencije.

Dogodek	Začetni radij, pri katerem se vzpostavi omejitev gibanja oziroma dostop
Nepoškodovan tovorek z oznako I-(bela barva), II-(rumena) in III-(rumena)	Neposredno okoli tovorka
Poškodovan tovorek z oznako I-(bela barva), II-(rumena) in III-(rumena)	30 m ali na razdalji: - kjer je hitrost doze 100 mikroSv/hr, - kjer je kontaminacija (used) 1000 Bq/cm ² za gama/beta sevalce, - kjer je kontaminacija (used) 100 Bq/cm ² za alfa sevalce,
Nepoškodovan vir za splošno uporabo (potrošniški izdelek-npr. dimni detektor)	Nič
Nezaščiten ali neznan vir (poškodovan ali nepoškodovan)	30 m ali na razdalji: - kjer je hitrost doze 100 mikroSv/hr, - kjer je kontaminacija (used) 1000 Bq/cm ² za gama/beta sevalce, - kjer je kontaminacija (used) 100 Bq/cm ² za alfa sevalce,
Razlitje	Področje razlitja in še dodatnih 30 m okoli
Večje razlitje	Področje razlitja in še dodatnih 300 m okoli
Požar, sum naprave za raztres radioaktivnih snovi, izrabljeno gorivo,	300 m (ali več, če se sumi, da lahko pride do eksplozije) ali na razdalji: - kjer je hitrost doze 100 mikroSv/hr, - kjer je kontaminacija (used) 1000 Bq/cm ² za gama/beta sevalce, - kjer je kontaminacija (used) 100 Bq/cm ² za alfa sevalce,

Preglednica : Priporočeni začetni radiji (razdalje), pri katerih se vzpostavi omejitev gibanja. (Vir: IAEA, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Method, Vienna, 2003.)

4 Sklep

Glede na posledice pri morebitni jedrski nesreči je potrebno upoštevati naslednje:

- Za območje Ljubljane je za primer nesreče v jedrskih elektrarnah načrtovati ukrepe za prehrabno verigo (omejitev uživanja oziroma uvoza določene hrane ali krme) ter ukrepe, ki so povezani s prizadeto državo oziroma območjem (potovanje v to državo, trgovanje ali promet z njo); drugi ukrepi pa ne pridejo v poštev.

Pri načrtovanju ukrepov ob morebitni sevalni nesreči je potrebno upoštevati:

- Za nesreče pri uporabi radioaktivnih snovi je potrebno imeti usposobljeno ekipo, ki je sposobna najti vir, ga ustrezno varno spraviti, oziroma opraviti dekontaminacijo manjšega obsega (nekaj 100 m²). V Sloveniji takšne naloge opravlja Ekološki laboratorij z mobilno enoto, ki je državna enota, enako kot mobilna enota Zavoda za varstvo pri delu. Te enote bi lahko uporabili tudi na ljubljanskem območju. Veliko izkušenj pri morebitni kontaminaciji prostorov in stavb ima osebje za dekontaminacijo iz Jedrske elektrarne Krško. Predvsem pa je potrebno imeti organiziran nadzor nad nabavo in uporabo radioaktivnih virov, da se prepreči izguba virov, nepravilna uporaba oziroma kraja virov, za kar je pristojna Uprava RS za jedrsko varnost, za vire v medicini in veterini ter izobraževanje pa Uprava RS za varstvo pred sevanji.
- V Sloveniji je nesreča pri prevozu jedrskih ali radioaktivnih snovi je zelo malo verjetna, pa tudi morebitne posledice takšne nesreče ne bi prizadele večjega števila ljudi.
- V primeru terorističnega napada z radioaktivnimi ali jedrskimi snovmi bi v splošnem ravnali oziroma načrtovali pripravljenost kot za nesrečo pri uporabi radioaktivnih snovi. Seveda pa je pri tem potrebno upoštevati določene posebnosti: morebiten večji obseg kontaminacije, večje število ogroženih ljudi in s tem povezane medicinske in druge kapacitete (za psihološko pomoč). Prav tako je potrebno predvideti sodelovanje z drugimi enotami, npr. za odstranjevanje eksplozivnih naprav, če gre za eksplozivno napravo, sodelovanje z drugimi enotami (kemijskimi oz. biološkimi), saj v prvem trenutku ni mogoče izključiti da gre za kemijski ali biološki napad, ter z enotami Policije (za boj proti terorizmu, kriminalistično policijo, drugimi posebnimi enotami) ter varnostno-obveščevalno službo.
- Posebna pripravljenost glede ljudi in opreme na radioaktivno kontaminacijo v primeru padca satelita ni potrebna, zadostuje že načrtovanje ukrepov, ki obsega poznavanje nevarnosti. V primeru radioaktivne kontaminacije zaradi padca satelita je pričakovati pomoč tehnološko razvitih, pa tudi sosednjih držav, saj bi bilo območje morebitnega raztresa delov satelita mnogo večje od Slovenije.

Priporočljiva literatura za izdelavo postopkov:

Za vse tiste, ki so prvi na kraju dogodka (first responders) je dobra referenca za postopke: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Manual for First Responders to a Radiological Emergency, EPR-First Responders, IAEA, Vienna (2006)

Za ekipe za ukrepanje in meritve radioaktivnosti je literatura naslednja. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency, IAEA TECDOC-1162, Vienna (2000).

Za medicinske ekipe je priporočljiva literatura: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Procedures for Medical Response during a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Medical, IAEA, Vienna (2005)

5 Literatura:

1. Varnostno poročilo za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici
2. Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Eine Untersuchung zu dem durch Stoerfaelle in Kernkraftwerken verursachten Risiko, Hauptband, Verlag TUV Rheinland, Bonn 1979
3. R-800, Rev.0, Perspectives on Reactor Safety, January 1993, TTC Chattanooga
4. Nuklearna elektrarna Krško, Ocena ogroženosti (april 1997)
5. NE Krško, Final Safety Analysis Report, Ch. 15, Oct. 1989, Rev.0
6. NE Krško, Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, Level 1 Report, January 1994
7. Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, External Event Report, October 1995
8. Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plant Krško, Level 2 Report, August 1995
9. TECDOC-955 Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions During a Reactor Accident, IAEA, August 1997
10. SS-109, Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency, IAEA, Vienna 1994
11. NE Krško, Post Modernization NEK PSA Baseline Model Update and IAEA IPSART Mission Comments Implementation, January 2001
12. NE Krško, Updated Safety Analysis Report, Revision 14
13. SS-119, Emergency Planning and Preparedness for Re-entry of a Nuclear Powered Satellite, IAEA, Vienna, 1996
14. IAEA, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Method, Vienna (2003)