

RAZSEŽNOSTI JEDRSKE NESREČE V ČERNOBILU

Milan Čopić* Rafael Martinčič**

V članku so obravnavani problemi družbene samozaščite v primerih jedrskih nesreč s širšimi radiološkimi posledicami. Na začetku so obravnavana splošna načela varstva pred sevanji v primeru radioloških nezgod na osnovi naših izkušenj pri pripravi in preverjanju načrtov civilne zaščite za jedrsko elektrarno v Krškem, osrednji del članka pa opisuje dogodke v Černobilu.

Navedeni so vzroki in potek nesreče ter opisani ukrepi za zmanjšanje posledic ter sanacijo elektrarne. Na kratko so navedene radiološke posledice nesreče v Sovjetski zvezi. Opisani so ukrepi, ki smo jih po nesreči sprejeli in izvajali v SR Sloveniji. V zaključkih so povzete naše izkušnje.

The paper presents aspects of the Civil Protection Organization applying to radiological emergencies with potentially wide radiological consequences; general philosophy applied in Slovenia to the problem of radiation protection with respect to the application of the civil protection planning and preparedness to radiological emergencies at the Krško nuclear power plant; relevant data on Chernobyl accident and its consequences; the protective measures undertaken in Slovenia and finally experiences gained due to that accident.

Jedrska nesreča, ki se je zgodila 26. aprila 1986 zgodaj zjutraj na četrtem bloku jedrske elektrarne v Černobilu, kakih sto kilometrov severno od Kijeva v Sovjetski socialistični republiki Ukrajini, je nedvomno daleč največja nesreča na kakršnem koli jedrskem reaktorju v zgodovini uporabe jedrske energije. Zaradi ogromnih količin izvrženih radioaktivnih snovi, ki so jih vetrovi raznesli ne samo prek Ukrajine in bližnje Belorusije, temveč tudi prek cele Evrope in znatnih delov severne poloble, predstavlja černobilska nesreča tudi največje radiološko nezgodo v miru, ki po obsegu radioaktivnega onesnaženja celo presega posledice preizkusov jedrskega orožja v začetku šestdesetih let. Mednarodni značaj nesreče je sprožil vrsto družbenih, političnih in strokovnih dogajanj, od takojšnjih odzivov za zmanjšanje posledic neposredno po nesreči do sprejemanja novih mednarodnih konvencij, s katerimi naj bi v prihodnje uredili vprašanja obveščanja in medsebojne pomoči v primerih jedrskih nesreč in radioloških nezgod.

Iz širokega obsega vprašanj, ki jih je odprla nesreča v Černobilu, se v pričujočem članku omejujemo predvsem na probleme družbene samozaščite v primerih jedrskih nesreč s širšimi radiološkimi posledicami. Zato so v začetku obravnavana splošna načela varstva pred sevanji v primeru radioloških nezgod na osnovi naših izkušenj pri pripravi in preverjanju načrtov civilne zaščite za Nuklearno elektrarno Krško v primerjavi z dogajanjem po Černobilu. Za lažje razumevanje obsega nesreče v Černobilu je podan še kratek pregled dosedanjih jedrskih nesreč v svetu in njihovih vplivov na okolje.

Osrednji del članka opisuje dogodke v Černobilu. Navedeni so vzroki in potek nesreče ter opisani ukrepi za zmanjševanje posledic ter sanacijo elektrarne. Na kratko so navedene radiološke posledice nesreče v Sovjetski zvezi.

Posebej so opisani ukrepi, ki smo jih po nesreči sprejeli in izvajali v SR Sloveniji. V zaključkih so povzete naše izkušnje.

RADIOLOŠKE NEZGODE

Stvarne ocene ogroženosti

Sodobna industrijska družba si je z vrsto proizvodov, ki so sicer koristni za razne namene od poljedelstva do medicine, naprtla breme potencialno nevarnih snovi, ki v človekovem okolju ob preveliki uporabi ali zaradi obratnih nesreč pri proizvodnji in uporabi ogrožajo zdravje in življenje prebivalstva. Mednje spadajo tudi radioaktivne snovi. Vojaška in civilna uporaba jedrske energije sta izredno povečali količine le-teh v vseh fazah pridobivanja, predelave in uporabe, pa tudi v odpadkih.

S sodobno tehnologijo čiščenja vseh odpadnih snovi lahko med rednim obratovanjem zmanjšamo izpuščanje nevarnih snovi v okolje na družbeno sprejemljivo stopnjo. Za primere nesreč na velikih objektih, kot so jedrske elektrarne, pa načrtujemo in izvajamo ukrepe civilne zaščite, da bi lahko tudi ob nesrečah zmanjšali posledice na raven, ki jo z razpoložljivimi sredstvi lahko dosežemo. Vse dosedanje izkušnje jasno kažejo, da so ukrepi v primerih nesreč bolj uspešni, če so bili vnaprej načrtovani, organi, enote in drugi nosilci ukrepov zaščite in reševanja pa čim bolj usposobljeni. S tega stališča je kritična ocena našega delovanja po nesreči na jedrski elektrarni v Černobilu pomembna ne samo glede učinkovitosti sprejetih ukrepov za zmanjšanje posledic te nesreče v SR Sloveniji, temveč še veliko bolj kot šola v realnih pogojih radiološkega onesnaženja širšega ozemlja republike za vse organizacije in organe, ki so zadolženi za varstvo

pred ionizirajočimi sevanji, pa tudi za ukrepanje v primeru drugih večjih ekoloških nesreč.

Osnova za ustrezno načrtovanje ukrepov je kakovostna in stvarna ocena ogroženosti. Prve izkušnje na tem področju smo dobili pri pripravi načrtov civilne zaščite za primer jedrske nesreče v Nuklearni elektrarni Krško. Jeseni leta 1982 smo jih preverili na dvodnevni vaji civilne zaščite »Posavje 82«, v kateri so sodelovale delovne organizacije, krajevne skupnosti, občine Krško, Brežice, Šmarje in Novo mesto ter republiški organi in organizacije. Izmed organov in organizacij republiškega pomena je treba posebej omeniti Komisijo za jedrsko varnost in Ekološki laboratorij z mobilno enoto, ki sodeluje tudi v rednem nadzoru radiološkega onesnaženja okolja Nuklearne elektrarne Krško.

Stvarna ocena ogroženosti ob morebitni jedrski nesreči temelji na naslednjih delnih presojah, ki tvorijo osnovo za načrtovanje ukrepov in aktivnosti:

- 1) ocene izpustov po vrsti in aktivnostih posameznih skupin radionuklidov;
- 2) transport in razpršitev radioaktivnih snovi po zračni poti ter njihovo usedanje in izpiranje iz oblaka na tla;
- 3) zunanje sevanje, ki so mu osebe izpostavljene ob prehodu radioaktivnega oblaka, ter notranje sevanje zaradi vdihavanja radioaktivnih snovi, ki lebdi v zraku;
- 4) onesnaženja tal, obdelovalnih površin, površinskih voda ter povrtnin in poljščin, predvsem sveže zelenjave, ki gre takoj v uporabo;
- 5) onesnaženje pitne vode, predvsem kapnice, ter mleka in mesa;
- 6) onesnaženje preostalih prehrambenih izdelkov.

Ocen ogroženosti za NE Krško nismo mogli neposredno uporabiti kot osnovo za ukrepanje po nesreči v Černobilu iz več razlogov. Predvsem je bilo v prvih dneh preveč neznank, da bi lahko kakor koli ocenili vir onesnaženja. Sovjetska zveza je prvo sporočilo o jedrski nesreči celo zadrževala nekaj dni, tako da smo o njej zvedeli posredno prek Švedske iz dnevnih poročil. Zato smo lahko ukrepali samo na podlagi izmerjenih vrednosti vzorcev, ki so bili najprej vzeti v Ljubljani, nato pa smo jih dobili še iz drugih delov Slovenije. Poti onesnaženja, ki so bile nadzorovane z meritvami vzorcev v SR Sloveniji v prvih dneh po nesreči v Černobilu, so prikazane na sliki 1. Seveda nismo mogli meriti virov onesnaženja, prenos in razpršitev pa sta bila ocenjena na osnovi meteoroloških kart Hidrometeorološkega zavoda SRS. K onesnaženju v

* Dr., Republiški komite za energetiko, Gregorčičeva 25, Ljubljana

** Dr., Inštitut Jožef Stefan, Univerza E. Kardelja, Jamova 39, Ljubljana.

Sloveniji je največ prispeval dež, ki je izpiral radioaktivne snovi iz oblaka na višini nad tisoč metrov.

Zaščitni ukrepi in intervencijski nivoji

Z zaščitnimi ukrepi moramo pri jedrskih nesrečah doseči dvoje: preprečiti moramo akutne posledice sevanja za zdravje in življenje ljudi ter zmanjšati možnosti dolgoročnih zdravstvenih posledic ob upoštevanju vseh družbenih dejavnikov.

Ker imajo vse akutne posledice sevanja bolj ali manj dobro definiran prag, pod katerim ni pričakovati pojavov akutnega obolenja ali smrti, so odločitve o preprečevanju akutnih posledic na osnovi zanesljivih prognoz oziroma opravljenih meritev enostavne in nedvoumne. Z ukrepi je treba preprečiti, da bi ljudje prešli večje doze sevanja, kot je prag akutnega obolenja. V preglednici 1 so prikazani nivoji doz, pod katerimi ni pričakovati akutnih učinkov sevanja. V pri-

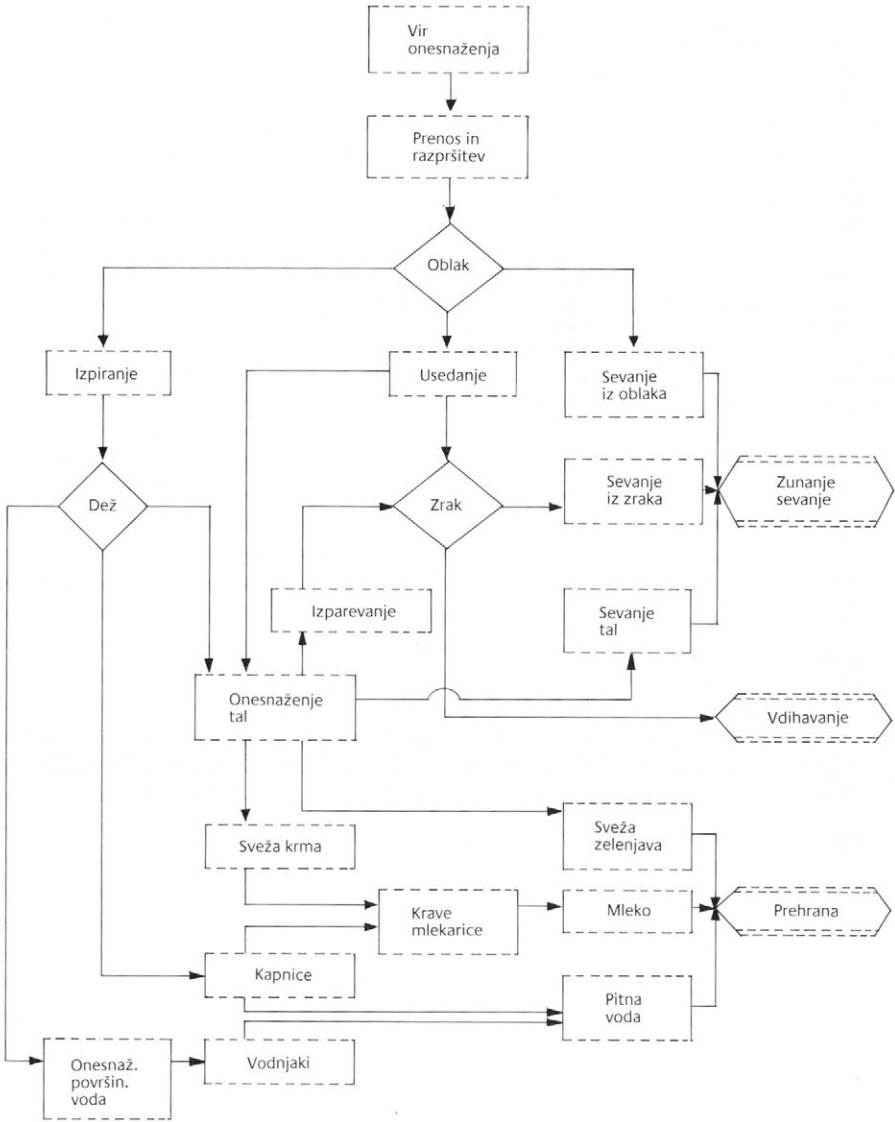
PREGLEDNICA 1.
Nivoji doz, pod katerimi ni pričakovati pojavov akutnih učinkov.

Table 1: Levels of dose in organs and tissues below which non-stochastic effects will be avoided.

Doza (Gy)	Organ/tkivo	Učinek
0,1	fetus	teratogeneza
0,5	celo telo	bruhanje
1	celo telo	smrt
3	koža	epilacija, eritema
5	pljuča	pneumonitis
10	pljuča	smrt
10	ščitnica	hipotiroidizem

merih prognoziranja večjih doz je nujno zaklanjanje prebivalstva s hermetizacijo bivalnih prostorov in, v ekstremnem primeru, evakuacija prebivalstva z ogroženega območja. V Sovjetski zvezi so evakuirali prebivalstvo v okolici Černobila vse do razdalje 30 km od elektrarne.

Pri načrtovanju in sprejemanju ukrepov za zmanjševanje dolgoročnih posledic sevanja so stvari precej bolj zapletene. Zanesljive podatke o pogostosti rakastih obolenj kot posledice sevanj imamo samo za razmeroma velike doze in ocene faktorjev tveganja pri majhnih dozah so samo ekstrapolacija teh vrednosti. V preglednici 2 so prikazani faktorji tveganja smrti za rakasta obolenja ter za dedne posledice. Na sliki 2 je za primerjavo prikazano smrtno tveganje tako za akutno radiacijsko bolezen, kjer je očiten prag pri dozi enega sieverta, kakor tudi za zakašnele posledice rakastih obolenj, za katere predpostavljamo, da se lahko pojavljajo tudi pri najmanjših dozah. Za ilustracijo so v spodnjem delu slike označena območja doz, katerim so bili izpostavljeni prebivalci Slovenije in mesteca Pripjat v bližini Černobila do evakuacije ter obratovalno osebje jedrske elektrarne.



Slika 1. Poti razširjanja radioaktivnega onesnaženja v prvih dneh po jedrski nesreči.
Figure 1. Exposure pathways in the first days of the accident.

PREGLEDNICA 2.
Faktorji tveganja.

Table 2:
Risk factors.

Organ/tkivo	Tveganje** (10 ⁻³ Sv ⁻¹)	
	smrtni rak	dedne posledice
gonade	—	4*
prsa	2,5	—
rdeči kostni	—	—
mozeg	2	—
pljuča	2	—
ščitnica	0,5	—
površina kosti	0,5	—
drugi notranji organi	5	—
koža	0,1	—
Skupaj	12,6	4

* V prvih dveh generacijah in še 1-krat toliko v vseh naslednjih.
** Faktor tveganja je ocenjen za efektivne doze posameznih organov.

ne Černobil v dneh nesreče. Za primerjavo je prikazan tudi obseg doz, ki jih prejmejo ljudje vsako leto iz naravnih virov sevanja.

Ker načeloma izhajamo iz predpostavke, da vsako povečanje prejetih doz povečuje verjetnost nastopa rakastih obolenj v naslednjih letih in desetletjih, je nujno, da se odločimo za intervencijske nivoje, pri katerih sprejemamo določene ukrepe zaščite prebivalstva za zmanjšanje dolgoročnih posledic. Določitev intervencijskih nivojev in pripadajočih ukrepov je po mednarodni praksi prepuščena pristojnim upravnim organom. Za Nuklearno elektrarno Krško jih je predpisal Republiški komite za zdravstvo in socialno varstvo, pri čemer je upošteval priporočila Mednarodne agencije za atomsko energijo. Skladno s temi priporočili sta bili za NE Krško vpeljeni tudi dve območji ogroženosti, in sicer:

- a) območje ogroženosti iz oblaka do 10 km, za katero so predvideni takojšnji ukrepi (zaklanjanje, evakuacija, radiopro-

filaktična sredstva) s pripadajočimi intervencijskimi nivoji (nivo priporočenega ukrepanja in nivo nujnega ukrepanja);

b) območje ogroženosti po prehranbeni verigi do 25 km, v kateri so predvideni ukrepi nadzora, prepoved uporabe prehranbenih izdelkov in živinske krme ter prepoved paše.

Smotrnost uporabe intervencijskih nivojev za ukrepanje v primeru jedrske nesreče v NE Krško sloni na evropski praksi za elektrarne istega tipa na populacijsko podobnih območjih, predvsem v Zvezni republiki Nemčiji. Njihova izvedljivost v naših družbenih razmerah je bila preverjena, vsaj za najpomembnejše ukrepe v območju ogroženosti iz oblaka, ob pripravi in izvedbi vaje civilne zaščite »Posavje 82«.

Prav smotrnost intervencijskih nivojev iz načrta civilne zaščite za NE Krško v primeru ogroženosti cele Slovenije, kakršno je povzročila nesreča v Černobilu, je bila vprašljiva načeloma in konkretno, takoj ko smo dobili prve podatke o hitrosti zunanjih doz in o radioaktivni onesnaženosti deževnice. Vzrokov za tako stanje je bilo več:

- pomanjkanje konkretnih podatkov o

nesreči v Černobilu in negotovost glede nadaljnjih izpustov;

- pomanjkanje takojšnjih ocen doz iz merjenih koncentracij radioaktivnih snovi, predvsem joda-131 v deževnici in v zraku, da bi dobili stvarne ocene ogroženosti našega prebivalstva;
- neenotnost med predstavniki posameznih strok (naravoslovja, zdravstva, varstva pred sevanji, veterine) glede nujnosti in učinkovitosti posameznih zaščitnih ukrepov ter njihove izvedljivosti v danih razmerah (prvomajski prazniki!);
- pritisk javnosti in sredstev javnega obveščanja za nasvete glede potrebnega ukrepanja in javljanja podatkov o onesnaženosti (v veliki meri na osnovi poročil o ukrepih v sosednjih državah);
- zmešnjava, ki jo je povzročila nenavajenost na nove enote (becquereli/Bq, grayi/Gy) in sieverti/Sv) v primerjavi s starimi enotami (curiji, radi, rentgeni in remi), kakor tudi neenotnost in netočnosti pri navajanju posameznih enot v dnevnih poročilih.

Posledica takega stanja so bila znatno ostrejša merila pri sprejemanju zaščitnih ukrepov v prvih dneh, kot bi bilo nujno potrebno, če bi bili vnaprej pripravljeni na tako jedrsko nesrečo. Zato so bili

družbeni stroški, vključno s stroški nekatere delovnih organizacij, predvsem mlekar, večji, kot bi bili, če bi bili intervencijski nivoji in ukrepi družbeno optimizirani na strokovnih podlagah za vso državo (ali vsaj za republiko) brez pritiska javnega mnjenja in neposredne nujne takojšnjega ukrepanja ob sami nesreči.

Takojšnje in strogo ukrepanje ima seveda to prednost, da ni nič zamujeno in da se z razvojem dogodkov ukrepi lahko omilijo, ni jih pa treba še bolj zaostri. Koliko pretirani ukrepi prispevajo k prekomerni in škodljivi družbeni psihozi strahu, ki ima negativne posledice (povečanje števila abortusov, pretirano omejevanje dejavnosti otrok ipd.), bi morali psihologi in zdravniki posebej oceniti. Dejstvo je, da nas je černobilska nesreča našla deloma nepripravljene kljub določenim izkušnjam pri pripravah za nesrečo v NE Krško. Po drugi strani pa tako kot v Sloveniji tudi v drugih evropskih državah na jedrsko nesrečo takih razsežnosti niso bili pripravljeni in so imeli posod podobne težave.

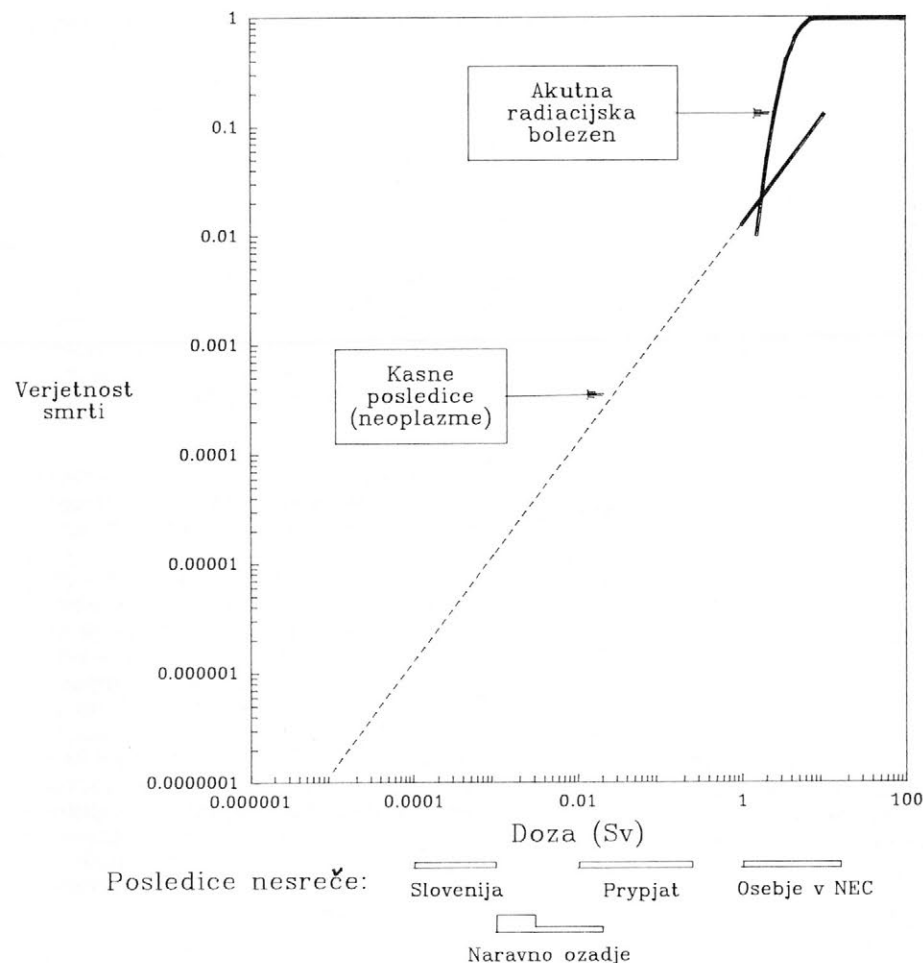
DOSEDANJE JEDRSKE NESREČE

Raziskovalni in razvojni reaktorji

Zaradi majhne količine jedrskega goriva in razmeroma nizke stopnje izgoravanja se v raziskovalnih in razvojnih reaktorjih naberejo tako majhne količine radioaktivnih snovi, da tudi ob hujših nesrečah ne ogrožajo širše okolice. V takih primerih so zaradi direktnega sevanja iz reaktorja prizadeti predvsem delavci v njihovi neposredni bližini. V začetnem obdobju razvoja reaktorske tehnike, ko še niso bili razviti varnostni sistemi, se je na takih reaktorjih zgodilo kar nekaj resnih nesreč, celo s smrtnimi žrtvami; na primer v Vincu na RB reaktorju ničte moči in na SL-1 poskusnem vojaškem reaktorju v Idahu v ZDA. V obeh primerih je nesrečo povzročila nekontrolirana verižna reakcija zaradi vnosa prevelike pozitivne reaktivnosti, ki je pripeljala do hitrega naraščanja moči reaktorja. V obeh primerih je bila neposreden vzrok nesreče napaka operaterjev, — nepravilno ravnanje z reaktorjem in nespoštovanje pravil obratovanja.

Predelovalni obrati za izrabljeno jedrsko gorivo

Največje količine radioaktivnih snovi so nakopičene v skladiščih in predelovalnih obratih tovarn za predelavo jedrskega goriva in pridobivanje čistega plutonija. Najbolj znane take vojaške tovarne so Hanford in Savannah River v ZDA ter Sellafield v Veliki Britaniji. V njih se je zgodilo kar nekaj obratnih jedrskih nesreč.



Slika 2. Tveganje zaradi izpostavljenosti sevanju in ocene doz zaradi nesreče v Černobilu.
Figure 2. Risks for fatal cancer due to exposure and some dose estimates as a result of the Chernobyl accident.

Proizvodni in energijski reaktorji

Največja jedrska nesreča pred Černobilom se je zgodila 1957. leta v Windsvalu v Veliki Britaniji na vojaškem reaktorju za proizvodnjo plutonija. Reaktor je bil podobnega tipa kot černobilski.

V javnosti in v strokovnih krogih je doslej sprožila največ razprav jedrska nesreča na Otoku treh milj (TMI-2), ki se je zgodila marca 1979. Vzroki nesreče so bili odpovedovanje opreme in grobe napake operaterjev. Zaradi postopne izgube hladila v reaktorju se je gorivo pregrelo in deloma stalilo. Zadrževalni hram okoli reaktorja je zadržal večino radioaktivnih snovi.

Pomembni primerjalni podatki o nekaterih nesrečah so podani v preglednici 3.

JEDRSKA NESREČA V ČERNOBILU

Vzroki nesreče

Pomanjkljivosti projekta. Černobilski model RBMK reaktorja je novejša verzija sovjetskega dvonamenskega reaktorja za proizvodnjo plutonija in električne energije. Reaktor je grafitna kopa z vertikalnimi kanali, v katerih so nameščeni gorivni elementi iz uranovega oksida z rahlo obogatenim uranom (2%). Gorivne elemente hladi vrela voda. Za reaktor je značilen pozitiven koeficient reaktivnosti mehurčkov pare, kar pomeni tudi, da izguba hladila v kanalih dvigne reaktivnost reaktorja, ki povzroči hitro naraščanje moči reaktorja. Ker je sredica reaktorja zelo velika, je zaradi teh lastnosti potrebna avtomatska lokalna regulacija porazdelitve moči po sredici reaktorja. Celotno krmiljenje reaktorja je hierarhično organizirano. Kljub možnostim nestabilnega delovanja reaktorja projektanti niso predvideli avtomatiziranih blokad, ki bi preprečevale, da bi reaktor prišel v nestabilna stanja, temveč so se zanesli na dosledno spoštovanje administrativnih ukrepov, predpisov in obratovnih navodil.

Grobe napake operatorjev. Nesreča se je zgodila pri izvajanju načrtovanega poskusa dodatnega krmiljenja napajalne napetosti generatorja na 8. turboagregatu neposredno pred načrtovanim letnim remontom 4. bloka elektrarne. Navodilo za izvedbo poskusa ni vsebovalo nobenih varnostnih ukrepov, niti ni bilo potrjeno s strani glavnega projektanta v Moskvi. Operatorji so pred izvedbo poskusa izključili vrsto varnostnih in varovalnih sistemov, grobo kršili obratovna navodila in začeli izvajati poskus, ko je bil reaktor v nedopustnem stanju. Državna komisija je v poročilu navedla kar

PREGLEDNICA 3.

Primerjalni podatki nekaterih jedrskih nesreč.

Table 3: Comparative data for some accidents in the nuclear installations.

Kraj nesreče	Leto	Vzrok	Izpusti I-131 10 ¹² Bq	Maks. ocena doze za ščitnico mGy	Smrti (delavci)
Windscale	1957	požar	700	160	—
Vinča	1959	kritičnost	—	—	1
SI-1	1961	vzriv moči	3	0,35	3
Hanford	1963	—	6	0,3	—
Savannah R.	1964	—	0,6	1	—
TMI-2	1979	izguba hladila	600 000	0,05	—
Černobil	1986	vzriv moči	—	300	31

šest grobih kršitev predpisov in obratovnih navodil. Posadka 4. bloka je veljala za eno boljših. Vodilni motiv za kršenje pravil je bila želja, da bi poskus na vsak način izvedli pred začetkom remonta.

Potek nesreče

Poskus naj bi potekal pri 200 MW toplotne moči reaktorja. Z zmanjševanjem moči so začeli na 4. bloku 25. aprila ob

1.00. Z vrsto manipulacij in posameznih izključitev so operaterji uspeli navidezno stabilizirati moč reaktorja (vendar v nedopustnem stanju, kot je kazal izpis računalnika) in začeli 26. aprila ob 1.23 s preizkusom turboagregata. Čez kakih dvajset sekund je sicer vodja izmene dal nalog za ustavitev reaktorja, vendar je bilo očitno že prepozno. Varnostne palice niso več šle v sredico. V presledku manj kot dveh sekund sta se zvrstili dve eksploziji.

Prva eksplozija je bil tipičen vzriv moči zaradi prevelike pozitivne reaktivnosti. Zaradi silne toplotne obremenitve se je razletelo oksidno gorivo, pregreta para je raztrgala cevi hladilnih kanalov in hermetično jekleno ovojnico reaktorja ter privzdignila njegovo zgornjo zaščitno ploščo.

Druga eksplozija je vrgla v zrak kose goriva in grafita ter do kraja razrušila zgornji del reaktorske stavbe. V drugi eksploziji je bil udeležen tudi vodik. Goreči kosi so zanetili požare na sosednjih strehah, predvsem na strehi 3. in 4. bloka.

Razrušena sredica reaktorja je začela goriti. Gorenje grafita in oksidacijske procese v sredici so obvladali šele po desetih dneh. Dimni plini in vroč zrak so iz sredice odnašali radioaktivne snovi: vse žlahtne pline, večino lahkih plinov, mnogo prahu, ter kake 3 % urana in plutonija. Vroč steber zraka se je dvigal do višine kakih 1200 m. Sestav in količine izpustov podaja preglednica. 4

Gašenje požara

Ob 1.30 so gasilske enote že začele z akcijami lokaliziranja požarov. Do 2.10 so obvladali požare na strehi strojnice in ob 2.30 tudi na strehi reaktorske stavbe (osrednji del in nad 3. blokom). Ob 5.00 so bili vsi požari pogašeni. Gasilske enote na strehah in v notranjih prostorih so bile v prvih urah po eksploziji najbolj izpostavljene sevanju. Največ poškodb je bilo zaradi mehkega sevanja beta. Zato so pri poškodovanih prevladovala ope-

PREGLEDNICA 4.

Sestav in količine radioaktivnih izpustov iz poškodovanega reaktorja v Černobilu (celoten izpust preračunan na 6. maj — sovjetski podatki).

Table 4: The radioisotopic composition of the release and the amount of activity released from the damaged unit in Chernobyl.

Izotop	Aktivnost izpuščenih snovi (10 ¹⁶ Bq)	Delež v %
Xe-133	166,5	do 100
Kr-85	3,3	do 100
I-131	27,0	20
Te-132	4,8	15
Cs-134	1,9	10
Cs-137	3,7	13
Mo-99	11,1	2,3
Zr-95	14,1	3,2
Ru-103	11,8	2,9
Ru-106	5,9	2,9
Ba-140	15,9	5,6
Ce-141	10,4	2,3
Ce-144	8,9	2,8
Sr-89	8,1	4,0
Sr-90	0,8	4,0
Pu-238	0,003	3,0
Pu-239	0,002	3,0
Pu-240	0,004	3,0
Pu-241	0,52	3,0
Pu-242	0,000007	3,0
Cm-242	0,08	3,0
Np-239	4,4	3,2

kline kože do 4. stopnje. Najvišje prejete doze so bile ocenjene na 16 Sv.

Sanacija poškodovanega reaktorja

Zasipavanje jaška reaktorja. Da bi zmanjšali izpuste iz poškodovane sredice, zadušili požar in vsaj deloma ohladili sredico, so iz helikopterjev zmetali v jašek reaktorja kakih 5000 ton snovi: boraks, dolomit, pesek in glino ter svinec. V začetnih dneh je zasipanje pomagalo zmanjšati izpuste, po 2. maju pa so začeli izpusti ponovno naraščati (slika 3).

Dodatno hlajenje sredice. Da bi znižali temperaturo sredice in zmanjšali koncentracijo kisika, so v spodnji prostor pod sredico dovajali dušik iz kompresorske postaje. Z znižanjem temperature preostalega goriva so pojenjali tudi izpusti, tako da so 6. maja že padli na bolj sprejemljiv nivo.

Hlajena temeljna plošča. Da ne bi prišlo do večjega taljenja goriva, ki bi se zaradi lastnega segrevanja pretalilo skozi temelje reaktorja, so se že v prvih dneh po nesreči odločili, da zgradijo pod reaktorjem dodatno hlajeno betonsko ploščo. Dograjena je bila konec junija.

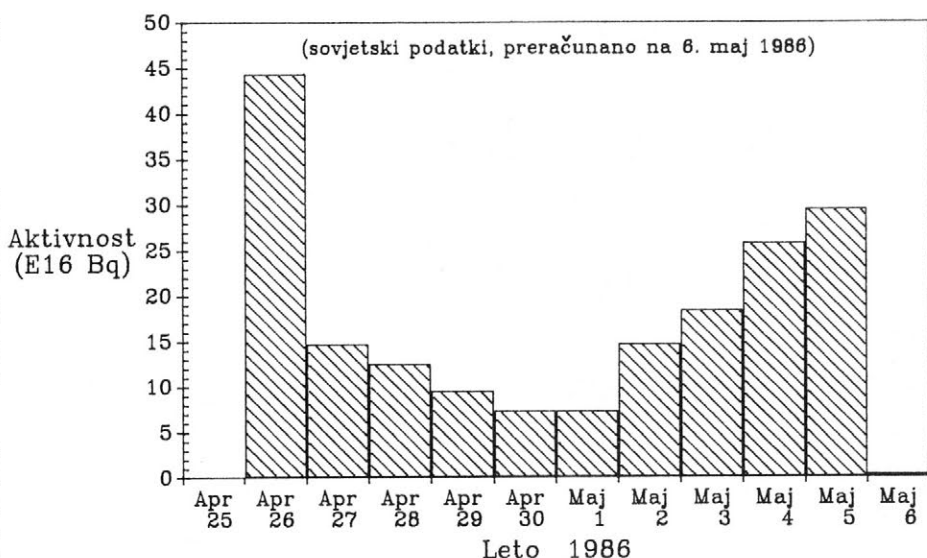
Sarkofag. Začasna sanacija poškodovanega reaktorja na 4. bloku je bila končana z izgradnjo ventiliranega sarkofaga. Njegove stranske stene so debele od 1 do 2 metrov, da zmanjšajo direktno sevanje iz reaktorja. Z dodatnimi predelnimi in zaščitnimi stenami je ločen od reaktorja 3. bloka. Tako so razdeljeni tudi strojnica ter stranski prostori. Zgoraj je sarkofag zaključen z železobetonsko streho. Z ventilacijo odvajajo toploto iz poškodovane sredice.

Sanacija elektrarne

Dekontaminacija zgradb. Celotno območje elektrarne je bilo zelo onesnaženo zaradi izmeta radioaktivnih snovi ob sami eksploziji kakor tudi zaradi usedanja grobega prahu med gorenjem sredice. Da bi zmanjšali ali preprečili raznašanje radioaktivnega prahu, so obdali strehe strojnice in nekatere druge površine z različnimi polimernimi premazi. Stene zgradb so izprali. Najbolj onesnaženo opremo so odstranili.

Dekontaminacija platoja. Na odprtih površinah so odstranili 5 do 10 cm zgornjega sloja zemlje in jo v sodih odpeljali v skladišče trdnih odpadkov na 5. bloku, ki je bil še v gradnji. Po potrebi so nekatere površine prekrili z novimi ploščami betona. Preostale proste površine so prekrili s premazi, ki tvorijo zaščitne sloje. Posledica čiščenja je bilo zmanjšanje hitrosti doze v okolici 1. bloka na 0,2 do 0,3 mGy/h.

Ponoven zagon 1. in 2. bloka. Prvi blok ponovno obratuje od začetka oktobra,



Slika 3. Dnevni izpusti radioaktivnih snovi iz reaktorja v Černobilu.

Podatki so povzeti iz sovjetskega poročila Mednarodni agenciji za atomsko energijo.

Figure 3. Daily release of radioactive substances to the atmosphere from the damaged unit in Chernobyl.

drugi blok pa od novembra. Zaradi še vedno razmeroma močnega okoliškega sevanja je delo posadk na elektrarni omejeno na dva tedna, nakar jih zamenjajo. Delavci stanujejo v novem bližnjem naselju, ki je primerno zaščiteno in postavljeno prav v ta namen.

Ponoven zagon 3. bloka. Ker je 3. blok v neposredni bližini poškodovanega reaktorja, bo odločitev o njegovem ponovnem zagonu padla šele po dograditvi sarkofaga ter po opravljenih pregledih in meritvah.

RADIOLOŠKE POSLEDICE NESREČE

Žrtve akutne radiacijske bolezni

Dva delavca sta izgubila življenje neposredno ob nesreči: enega so pogrešali takoj po eksploziji, drugi pa je umrl zaradi hudih opeklin okrog 6. ure.

26. aprila zjutraj je bilo zaradi opeklin in znakov akutne radiacijske bolezni hospitaliziranih že 108 delavcev. Diagnoze, ki so jih v prvih treh dneh opravili na pacientih v Kijevu in Moskvi, so po sovjetski klasifikaciji opredelile 101 bolnika z II.—IV. stopnjo akutne radiacijske bolezni ter 82 bolnikov s I. stopnjo. Zaradi sevanja beta je močno prevladoval sindrom kožnih opeklin, tako na koži kakor na notranjih sluznicah zaradi vdihavanja radioaktivnega prahu. Prizadetost kostnega mozga je bila opazna le pri manjšem številu bolnikov.

Zdravniški pregledi okoliškega prebivalstva niso ugotovili nobenega primera akutne radiacijske bolezni.

Evakuacija okoliškega prebivalstva

Krizni štab, ki so ga sestavljali predstavniki zveznih ustanov iz Moskve in Ukrajinske SSR, je 26. aprila zvečer na podlagi analize stanja sklenil, da počaka z evakuacijo prebivalstva do naslednjega dne. Evakuacija najbližjega naselja, mesteca Pripjat s 45 000 prebivalci, se je začela 27. aprila ob 14. uri, že prejšnji dan pa je bil izdan nalog, naj se prebivalci zadržujejo v zaprtih prostorih. Vsem otrokom v vrtcih so dali profilaktične doze joda.

V naslednjih dneh so bili izseljeni prebivalci vseh naselij v radiju 30 km okoli elektrarne. Skupno je bilo evakuiranih 135 000 prebivalcev. Ocenjeno je, da ti prebivalci do evakuacije in med njo niso prejeli več kot 0,25 Sv, z izjemo manjšega števila prebivalcev v najbolj izpostavljenih zaselkih, ki so prejeli do 0,4 Sv.

Nadzor radioaktivnosti okolja

Okolica černobilske elektrarne je zdaj razdeljena na nekaj območij. Ožje območje do 10 km je povsem zaprto, prehodi pa so opremljeni z dekontaminacijskimi postajami za vozila. Vozila tudi menjajo. Zunanje območje do 30 km je pod nadzorom, dostop je dovoljen samo specializiranim ekipam.

Vsa okolica je pod radioekološkim nadzorom, ki je bil vzpostavljen nekaj dni po nesreči.

Efektivna višina izpustov je bila nad 1000 m. Poleg tega v dneh neposredno po nesreči nad Ukrajino in Belorusijo ni bilo dežja, zaradi česar je bilo tako sevanje iz oblaka kakor onesnaženje tal razmeroma majhno v primerjavi z obsegom izpustov. To pojasnjuje razliko med ugotovljenimi dozami prebivalstva in neka-

terimi apriornimi napovedmi iz zahodnih virov. Po ustaljeni metodi ameriške Jedske regulativne komisije (US NRC) se namreč v primeru jedskih nesreč zaradi konservativnih predpostavk vedno računa na izpusti »pri tleh«.

Širjenje oblaka prek Evrope

Topel jugo-jugovzhodni veter je nosil prvi onesnaženi oblak od Černobila prek Belorusije in baltiških republik proti Skandinaviji. Južno Finsko in vzhodno obalo Švedske je dosegel v nedeljo, 27. aprila, zvečer. Nad Skandinavijo se je oblak srečal s hladno fronto in dež je izpral radioaktivnost iz oblaka na tla. Ta proces pojasnjuje veliko variabilnost lokalnega onesnaženja tal in prizemnega sloja zraka ne samo na Švedskem in Finskem, temveč tudi kasneje prek cele Evrope.

V naslednjih dneh se je veter zasukal in od 29. aprila do 2. maja raznesel radioaktivnost po državah srednje in deloma južne Evrope. Zaradi stacionarnega stanja in šibkih vetrov se je oblak kar nekaj dni zadrževal nad srednjo Evropo in severnim Sredozemljem.

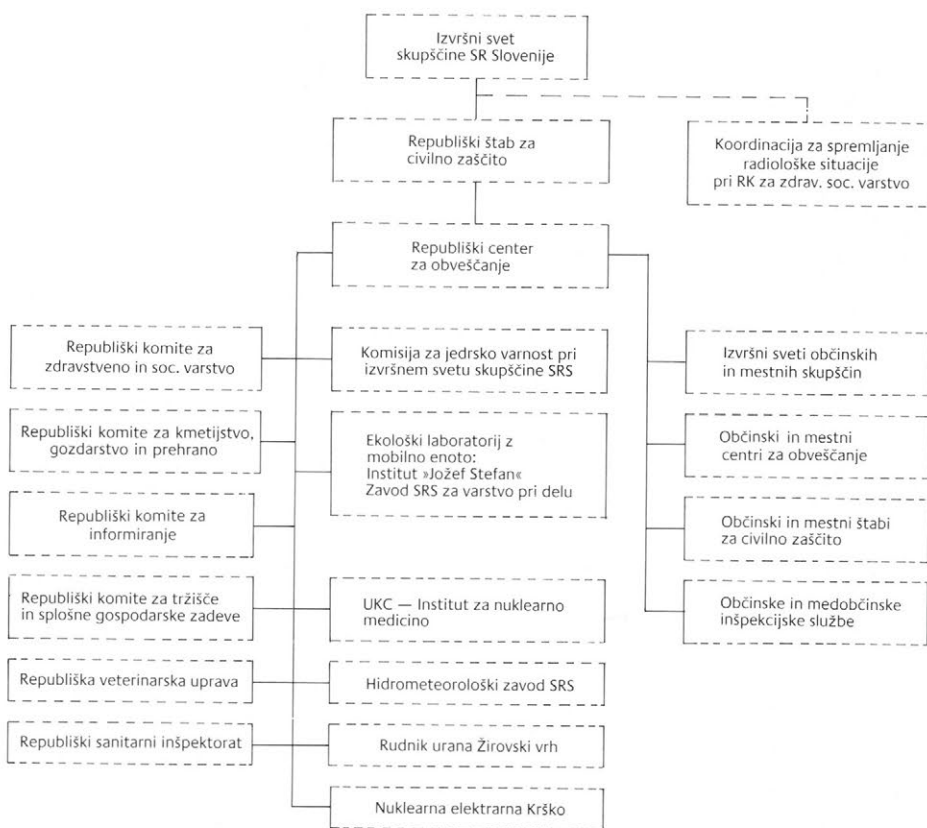
Novico o nesreči v jedrski elektrarni v Černobilu je naši javnosti v jutranjih poročilih 29. 4. 1986 sporočila RTV Ljubljana, nad Slovenijo pa smo zaznali prvo povečanje aktivnosti v zraku v noči od 29. na 30. april.

Ukrepi v SR Sloveniji

Že 29. aprila je bila sestavljena strokovna skupina Republiškega štaba za civilno zaščito, ki je naslednje dni pripravljala in izvajala ukrepe za nadzor onesnaženja in zaščito prebivalstva. Delno so se sicer ravnali po načrtih ukrepanja v primeru jedske nesreče na **Nuklearni elektrarni Krško**, vendar pa so predlagali ukrepe že pri nižjih intervencijskih nivojih, kot so predvideni v načrtih za NE Krško, na osnovi ocene smiselnosti in izvedljivosti teh ukrepov, saj je bilo v tem primeru prizadeto prebivalstvo cele republike.

Že na začetku je bilo jasno, da na območju SR Slovenije ni prišlo do take stopnje onesnaženja, ki bi neposredno ogrožala zdravje prebivalstva (niti ne zaradi uživanja kontaminirane hrane ali pitja deževnice, še manj pa zaradi zunanje obsevanja). Vsi zaščitni ukrepi in priporočila so bili zato sprejeti z namenom, da se zmanjša verjetnost za zakasnele učinke na najmanjšo možno stopnjo, oziroma zmanjša nepotrebne obremenitve prebivalstva na minimum. Shema organov in organizacij, ki so v maju spremljale radiološko situacijo, kaže slika 4.

Od 30. aprila do 19. maja 1986 je IS SR Slovenije oziroma njegov štab za civilno zaščito (glej sl. 4) sprejel vrsto preventivnih zaščitnih ukrepov in priporočil prebivalstvu SR Slovenije.



Slika 4. Shema organov in organizacij, ki so spremljale radiološko situacijo v SR Sloveniji ob jedrski nesreči v ZSSR (od 30. 4. do 5. 5. 1986).

Figure 4. Organizational scheme of organisations and institutions playing their role in the first days of May.

Opomba:

Od 6. 5. 1986 do 19. 5. 1986 je radiološko situacijo spremljala KOORDINACIJA ZA SPREMLJANJE RADIOLOŠKE SITUACIJE pri Republiškem komiteju za zdravstveno in socialno varstvo.

Uveljavljeni so bili naslednji ukrepi:

Prepovedi:

- uporabe sveže deževnice za prehrano in napajanje živine (določen je bil dovoz sveže vode);
- pašnje krav mlekaric;
- uporabe sveže zelenjave;
- lovljenja parkljastih divjadi.

Zahteve:

- po preprečitvi dotoka sveže deževnice v vodnjake;
- po obvezni predelavi oporečnega mleka v mlečne izdelke;
- po obveznem pregledu potnikov in prtljage iz Sovjetske zveze.

Priporočila:

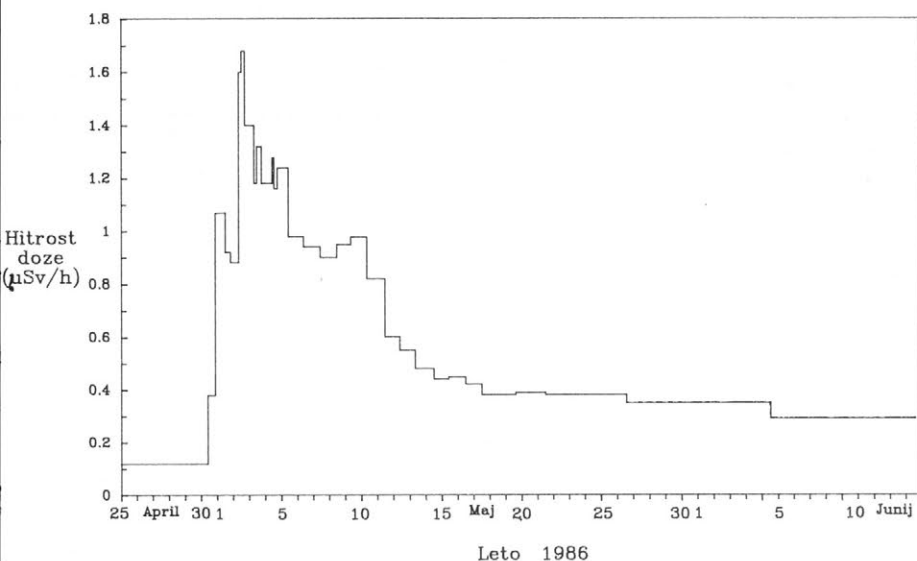
- prebivalstvu, predvsem nosečnicam in majhnim otrokom, naj se zadržujejo v zaprtih prostorih;
- materam, naj za dojenčke uporabljajo mleko v prahu iz starih zalog;
- športnim in drugim organizacijam, naj se odrečejo prireditvam ter tekmovanjem na prostem, ki zahtevajo intenzivno fizično obremenitev;
- naj se majhni otroci ne igrajo v peskovnikih in travi;
- naj se mladina do 15. leta ne udeleži prireditev ob 9. maju.

Sprejete so bile tudi meje in pogoji uporabljenosti kontaminirane hrane.

Večina ukrepov je bila podprta z meritvami onesnaženosti našega okolja. V tem času smo v Sloveniji merili vsebnost radionuklidov v zraku, padavinah, kapnicah, vodovodih, zemlji in naslednjih živilih: mleku in mlečnih izdelkih, zelenjavi in sadju, mesu in drugih prehrabnih izdelkih. Opravljali smo stalne meritve hitrosti doze ter merili vsebnost joda 131 v ščitnici in urinu. Pri teh meritvah smo uporabljali naj sodobnejše metode določanja radionuklidov: visokoločilnostno spektrometrijo gama, radiokemijske metode in spektrometrijo alfa.

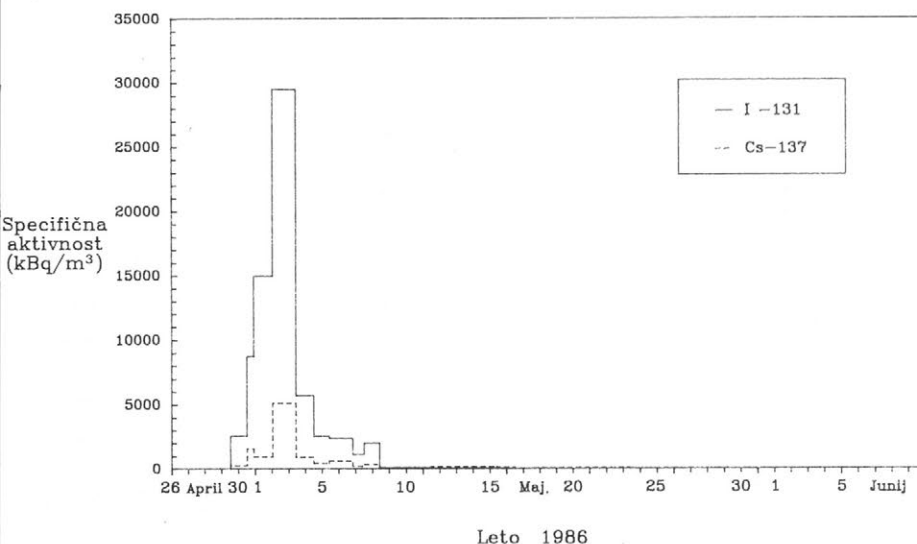
V laboratorijih Ekološkega laboratorija z mobilno enoto je bilo maja opravljenih prek 2000 raznih analiz. Na sliki 5 so kot primer prikazani rezultati meritev hitrosti doze, na sliki 6 pa vsebnost joda 131 in cezija 137 v deževnici. V Sloveniji smo poleg teh dveh izotopov zaznali še kar 29 drugih radionuklidov, ki so pobegnili iz reaktorja v Černobilu.

Ker so se koncentracije radionuklidov v okolju nato zmanjšale, je bil nujni program meritev julija prekinjen. Vendar pa obe pooblaščenici (Inštitut



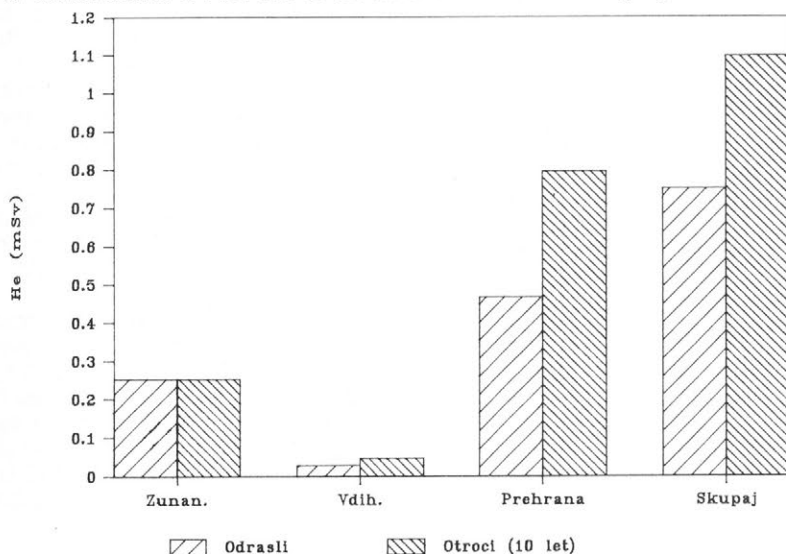
Slika 5. Hitrost doze v Ljubljani, merjena na dvorišču Inštituta »Jožef Stefan«.

Figure 5. Dose rate in Ljubljana, measured at the J. Stefan Institut.



Slika 6. Onesnaženost deževnice v Ljubljani. Prikazana sta samo jod-131 in cezij-137 kot predstavnika kratkoživih in dolgoživih radionuklidov.

Figure 6. Concentration of I-131 and Cs-137 in rainwater collected in Ljubljana.



Slika 7. Ocena posameznih doprinosov k dozi posameznika v SR Sloveniji za leto 1986 kot posledica nesreče v Černobilu.

Figure 7. Dose estimate for the population in Slovenia in 1986 due to the accident in Chernobyl.

J. Stefana in Zavod SR Slovenije za varstvo pri delu) še vedno spremljata vsebnost dolgoživih radionuklidov v različnih živilih rastlinskega in živalskega izvora. Za potrebe slovenske prehranske industrije, ki ta živila izvažajo ali uvažajo, sproti in stalno ugotavljata vsebnosti radionuklidov, predvsem obeh cezijevih izotopov. Le izjemoma naletita na primere, ki skupno presegajo 600 Bq aktivnosti v kilogramu sveže hrane, kar predstavlja mejno vrednost za kilogram ali liter sveže snovi prehranskega izdelka po merilih Evropske gospodarske skupnosti.

Izračuni na osnovi merjenih vrednosti onesnaženosti okolja in prehranskih izdelkov ter ocen onesnaženosti do konca leta 1986 kažejo, da je dobil zaradi nesreče v Černobilu odrasel človek v Sloveniji v letu 1986 v povprečju dodatno efektivno dozo 0,72 mSv. Za otroke je ocenjena doza nekaj višja, in sicer 1,1 mSv (posamezni prispevki k dozi so prikazani na sliki 7). To je manj kot enoletna doza zaradi naravnih virov v našem okolju, ki znaša okoli 2 mSv. Naša predvidevanja se v okviru možne natančnosti in ob upoštevanju omenjenih lokalnih variacij povsem ujemajo z ocenami doz v sosednjih državah.

IZKUŠNJE NESREČE V ČERNOBILU

Povečanje varnosti jedrskih elektrarn

V Sovjetski zvezi so pristojni upravni in strokovni organi takoj sprejeli kratkoročni in dolgoročni program za izboljšanje varnosti obratovanja jedrskih elektrarn z RBMK reaktorji. V prvi vrsti so ukrepi za hitro ustavitev reaktorja in za zmanjšanje pozitivnega koeficienta reaktivnosti parnih mehurčkov.

Širši pomen imajo dolgoročni ukrepi za zmanjšanje posledic napak operatorjev in za nadaljnji razvoj izboljšanja odnosov med človekom in strojem. Tu je potrebno mednarodno sodelovanje in Mednarodna agencija za atomsko energijo je te naloge že vnesla v svoje programe. Poleg tega je okrepila nekatere dosedanje programe, kot so varnostne misije, ocenjevanje izrednih dogodkov, revizije varnostnih kodeksov in priporočil ipd.

Izboljšanje poročanja in medsebojne pomoči

V prvih dneh po nesreči v Černobilu je obveščanje v prizadetih evropskih državah odpovedalo na vseh ravneh in v vseh smereh. Ukrepi niso bili usklajeni, obveščanje javnosti je bilo bolj alarmantno, kot bi bilo potrebno glede na strokovne argumente in opravljene meritve. Največ

zamer pa je upravičeno letelo na vodstvo Sovjetske zveze, ker ni pravočasno in dovolj podrobno obvestilo mednarodno javnost o nesreči in njenih možnih posledicah.

Vrsta evropskih držav je predlagala svetu guvernerju Mednarodne agencije za atomsko energijo, naj agencija v najkrajšem času pripravi za ureditev teh odnosov mednarodno konvencijo. Na izrednem septembrskem zasedanju generalne skupščine agencije sta bili sprejeti dve konvenciji, in sicer:

- a) Konvencija o takojšnjem poročanju o jedrskih nesrečah,
- b) Konvencija o medsebojni pomoči v primeru jedrskih nesreč in radioloških nezgod.

Vrsta strokovnih in upravnih vprašanj z navedenimi akti ni razrešena in lahko pričakujemo, da bodo potrebni še znatni napor, da bomo na mednarodni ravni v kvantitativnem smislu poenotili akcijske in intervencijske nivoje za poročanje in za posamezne ukrepe zaščite v primeru jedrskih nesreč ali radioloških nezgod. Razčiščevanje teh vprašanj nas čaka tudi v Jugoslaviji in morali jih bomo razrešiti na zvezni ravni.

ZAKLJUČKI

Vzpostavljena organizacijska struktura za ukrepanje v primeru jedrskih nesreč v SR Sloveniji, ki zajema poleg štabov za civilno zaščito in njenih RBK enot tudi specializirane strokovne enote na ravni republike in v NE Krško, je omogočila takoj po obvestilu o nesreči v Černobilu formiranje operativne delovne skupine, aktiviranje štabov civilne zaščite po občinah ter angažiranje Ekološkega laboratorija z mobilno enoto za izvajanje prepotrebni meritev. V tem smislu kakor tudi v primerjavi z nekaterimi sosednjimi deželami smo imeli v SR Sloveniji znatno prednost pred drugimi republikami in avtonomnimi pokrajinama v Jugoslaviji. Zato lahko ocenimo njihovo delovanje in ukrepanje kot uspešno; upoštevajoč pri tem vse omejitve in težave zaradi domačih in mednarodnih pogojev, posebno še zaradi prvomajskih praznikov.

Širša analiza dogajanj pri nas po nesreči v Černobilu kaže na potrebo po vrsti izboljšav, da bomo v prihodnje odpravili pomanjkljivosti majskih in kasnejših dogodkov. Med njimi so najbolj nujne naslednje:

- a) pripraviti strokovne podlage za ukrepanje v primeru radioloških nesreč z izdelanim sistemom intervencijskih nivojev in ukrepov, ki morajo biti interdisciplinarno usklajeni, da zagotavljajo enotno ukrepanje;
- b) pripraviti strokovne podlage in navodila za realno ocenjevanje stopenj ogroženosti s sodobnimi sredstvi, vključno s programi usposabljanja;

- c) nabaviti in vzdrževati potrebno merilno opremo v strokovnih enotah in opremljati avtomatizirane meteorološke postaje ter ANAS postaje z merilniki zunanjega sevanja s teleprenosom;
- d) opremiti občinske štabe za civilno zaščito (RBK enote) s primernimi radiološkimi instrumenti (sedanji za take primere, kot je bil majski, niso uporabni);
- e) organizacijsko utrditi postopke, metode obveščanja in preverjanje na vseh ravneh ter zboljšati delovanje zveznih organov (občutno je bilo pomanjkanje informacij in neusklajeno delovanje znotraj Jugoslavije);
- f) posredovati javnosti kakovostne informacije po izdelanih postopkih (obvezni del redne dejavnosti profesionalnih skupin), izboljšati zveze s sredstvi javnega obveščanja ter še posebej izdelati postopke za obveščanje v primeru radioloških nesreč.

Černobilska nesreča je prizadela tudi Slovenijo. Toda čeprav opravljene meritve in analize kažejo, da bodo zdravstvene posledice te nesreče v SR Sloveniji majhne v primerjavi z drugimi tveganji sodobnega človeka in ostalimi negativnimi ekološkimi vplivi industrializirane družbe, moramo tudi takim nesrečam posvetiti vso pozornost in na osnovi pridobljenih izkušenj graditi našo pripravljenost za morebitne nove primere.

1. Information Exchange after Chernobyl. IAEA Bulletin, vol. 28, No. 3. Vienna, Autumn 1986.
2. Preparedness and Response in Radiation Accidents. U. S. Department of Health and Human Services, FDA. August 1983.
3. Principles for Establishing Intervention Levels for the Protection of the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency. Safety Series No. 72. IAEA. Vienna, 1985.
4. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Pergamon Press, Oxford : New York : Frankfurt, 1977.
5. The Accident at the Chernobyl "Nuclear Power Plant and its Consequences, Information compiled for the IAEA Experts" Meeting, USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, 25—29 August 1986, Vienna.

Milan Čopić
Rafael Martinčič

The Nuclear Disaster in Chernobyl (Consequences in Slovenia)

Civil defence plans are, in general, based on documents covering the following fields: risk assessment, analysis of conditions and possibilities for protective action, special conditions regarding the organization and tasks of civil defence, preparation of civil defence plans, and basic planning principles. According to the general guide for the preparation of civil defence plans, these must contain: a preparedness plan, a mobilization plan and an operational plan.

For radiological emergencies at nuclear power plants, the Republic of Slovenia's Civil Defence Headquarters issued, in September 1982, "Guidelines for the Preparation of Risk Assessments and for the Preparation of Civil Defence Measures against Nuclear Accidents at Krško NPP". The guidelines include a description of the emergency planning zones and intervention levels. These radiological criteria were not applicable for the introduction of emergency countermeasures in the case of Chernobyl, and new intervention levels have been specified.

In emergency situations, the laboratories measuring radiation levels are combined into a so-called Ecological Laboratory with a mobile unit, reporting directly to the Republic's Civil Defence Headquarters.

Monitoring of the consequences of the Chernobyl accident provided sufficient data for the initiation of protective measures, for informing the public and for the evaluation of radiation doses. A conservative estimate of the effective dose equivalent in 1986 in Slovenia was carried out for two population groups: adults and children (10 y). Values of 0.72 mSv and 1.1 mSv were obtained for adults and children respectively, the main contribution being due to ingestion.