

OSNOVE PLANIRANJA ZAŠTITE I SPAŠAVANJA STANOVNIKA I DOBARA U SLUČAJU NESREĆA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

SAŽETAK: U članku je riječ o osnovama planiranja zaštite i spašavanja u slučaju nesreća u nuklearnim elektranama u našem susjedstvu (Krško u Sloveniji i Paks u Mađarskoj) kod kojih bi stvarno moglo biti nužno i na području Hrvatske primijeniti određene mjere masovne zaštite pučanstva. Poznato je kakva je, zbog neorganiziranosti za zaštitu od te vrste ugrožavanja, bezrazložna uzbuna (dakako i štetne materijalne posljedice) u Hrvatskoj uslijedila za vrijeme nesreće u tisuću kilometara udaljenoj nuklearnoj elektrani u Černobilju u Ukrajini. Zbog toga što je NE Krško relativno blizu Zagreba, a zbog neriješenih odnosa Hrvatske i Slovenije koji mogu itekako, utjecati na sigurnost rada te elektrane nužno je što prije izraditi plan zaštite i spašavanja (za Hrvatsku) za slučaj nesreće u toj elektrani i (ili) je privremeno staviti izvan pogona.

Ključne riječi: zaštita i spašavanje stanovništva, nesreće, nuklearne elektrane

UVOD

U uporabi nuklearne energije posebna pozornost se mora poklanjati sigurnosti jer nesreća u nuklearnoj elektrani u kojoj se mogu osloboditi velike količine radioaktivnih tvari može nanijeti iznimno teške posljedice, kako materijalne, tako i one koje mogu ugroziti život i zdravlje ljudi. Cilj svih aktivnosti u području sigurnosti nuklearnih elektrana je:

1. smanjiti vjerojatnost nastajanja nesreća na minimum
2. što je moguće više smanjiti ispuštanje radioaktivnih tvari u okoliš ako se dogodi nesreća

3. mjerama zaštite i spašavanja dovesti na racionalni minimum ozračenje i kontaminaciju ljudi i dobara ako se oslobode radioaktivne tvari u okoliš.

Aktivnosti 1. i 2. skupine su one vezane uz projekt - konstrukciju, kao i one vezane uz organizaciju i ljude, izbor mjesta izgradnje, izgradnju te pogon i održavanje nuklearne elektrane. Brojni su sustavi za pouzdan rad nuklearne elektrane i barijere širenju radioaktivnosti ako zbog bilo kojeg razloga dođe do nenormalnog rada nuklearne elektrane. Sam projekt - konstrukcija i izgradnja elektrane, uzeli su u obzir nastajanje tzv. projektiranih nezgoda kada se odstupi od normalnog rada elektrane. Posljedice tzv. projektiranih nezgoda u okolišu su zanemarive. Takve projektirane nezgode obično su razvrstane u nekoliko kategorija i opisane su u završnom sigurnosnom izvješću elektrane (FSAR - Final Safety Analysis Report).

^{*} Dr. sc. Branimir Molak, dipl. ing, 10000 ZAGREB.

^{**} Radi boljeg razumijevanja ovog članka bilo bi dobro da zainteresirani čitatelj pročita članak B. Molaka: Radioaktivnost i kako se zaštititi, Sigurnost 40 (3) 209-223, 1998.

Pogon i održavanje elektrane je najvažnija karika u sprečavanju zakazivanja njezinih sigurnosnih sustava. Za provjeru sigurnog rada elektrane, uz brigu njezinog operatera - vlasnika i odgovarajućeg kontrolnog tijela državne uprave zemlje vlasnika, uobičajena je povremena međunarodna kontrola sigurnosti njezina rada. Tu kontrolu (tzv. OSART) provode neovisni eksperti za različita područja bitna za sigurnost nuklearne elektrane, a izvještaj podnose vlastima države koja može biti njezinim radom ugrožena. Ta kontrola obuhvaća: rukovođenje, organizaciju i upravljanje elektranom; osposobljenost i kvalificiranost kadra; proizvodnju; održavanje; tehničku potporu i poboljšanja na osnovi proizvodnog iskustva; radiološku zaštitu; kemiju u elektrani te planiranje i pripravnost za slučaj nesreće. Analiza sigurnosti je kontinuiran proces i obveza državne uprave u zemljama korisnicama nuklearne energije.

Unatoč činjenici kvalitetnog projekta - konstrukcije i izgradnje elektrane zbog pogrešaka u njezinom pogonu i održavanju, ali i mogućih pogrešaka u projektu - konstrukciji i izgradnji koje nisu bile ustanovljene prilikom puštanja elektrane u pogon, može zakazati njezin rad i mogu se osloboditi opasne radioaktivne tvari u okolinu. Radi se o tzv. neprojektiranim nesrećama i operateri - vlasnici nuklearnih elektrana vrlo nerado govore o njima. To što oni o tome ne žele govoriti, ne znači da se ne treba pripremiti za slučaj takvih nesreća. Uobičajeno je u svijetu da elektrana ne može dobiti dozvolu za rad, dakle ne može krenuti u proizvodnju električne energije, ako ne postoje zadovoljavajući planovi pripravnosti i djelovanja za spašavanje stanovnika, dobara i okoliša za slučaj takvih havarija.

Za treću skupinu aktivnosti, važnih za sigurnost, potreban je visok stupanj organiziranosti i pripremljenosti kako bi se brzo i učinkovito djelovalo. Sve aktivnosti na provedbi zaštite moraju biti pažljivo planirane. Nepripremljenost, neorganiziranost i nizak stupanj informiranosti pučanstva o radioaktivnom zračenju i nuklearnoj energiji može izazvati neželjene posljedice kao što se u nas 1986. godine dogodilo za vrijeme nesreće u udaljenoj elektrani u Černobilju. Zastrasnost stanovnika radioaktivnim zračenjem i nuklearnom energijom uz nedovoljnu organiziranost službi, koje bi trebale biti odgovorne za zaštitu i spašavanje, može rezultirati prekomjernim štetama ako se dogodi nesreća na nekoj od elektrana u našem susjedstvu (Krško u Sloveniji i Paks u Mađarskoj).

NESREĆE, AKCIJE ZAŠTITE I INTERVENCIJSKE DOZE

Prilikom fisije ^{235}U koji se koristi kao gorivo u termalnim reaktorima (reaktori u kojima dolazi do fisije Urana - 235 usporenim ili tzv. termalnim neutronima) nastaje niz radionuklida srednje teških elemenata najrazličitijih vremena poluraspada. Osim njih stvara se niz radionuklida koji su rezultat aktivacije neutronima stabilnih ili nestabilnih atomskih jezgri (produkata fisije). Ukupne aktivnosti radionuklida u jezgri reaktora snage 1.000 MW(e) dosežu (kod PWR tipa reaktora - lakovodni reaktor s vodom pod pritiskom) uoči izmjene goriva 3×10^{20} Bq (10^{20} je deset na dvadesetu potenciju - broj s dvadeset ničica nakon jedinice).

Uobičajeno je da se govori o tri stanja rada elektrane: 1. normalnom radu, 2. projektiranim nezgodama (vjerojatnim) i 3. teškim nesrećama (malo vjerojatnim, ali ipak mogućim). Rizik rada nuklearne elektrane može se iskazati očekivanim ispuštanjem radionuklida u okoliš koje je umnožak aktivnosti ispuštene iz elektrane i vjerojatnosti da to ispuštanje nastane. Očekivano ispuštanje radionuklida može se iskazati smjesom radionuklida svedenom na djelovanje ekvivalentno ^{131}I (Jod-131), koje za tri stanja elektrane (prema američkim analizama) iznosi u 10^{10} Bq/reaktor godini: normalni rad - 6,3; projektirane nezgode - 0,4 do 1,1 i teške nesreće - 2000. Očito je ono najveće za teške nesreće, iako je vjerojatnost njihova nastupanja veoma mala. Stoga se za takve nesreće treba pripremiti zaštita i spašavanje stanovnika. Vidljivo je da su normalni rad i tzv. projektirane nesreće sasvim perifernog značaja po posljedicama u okolišu.

Po veličini ispuštanja radionuklida u okoliš, teške nesreće su (prema američkoj praksi) podijeljene u pet kategorija (Tablica 1.). Najteža je prva kategorija u kojoj nastaje trenutno razaranje reaktorske zgrade. Za usporedbu su u Tablici 1 prikazana i oslobađanja radionuklida u nesreći u Černobilju (zanimljivo je da se za vrijeme nesreće u Černobilju tvrdilo da ta elektrana nema zaštitne zgrade - kontejnmenta).

Tablica 1. Kategorije ispuštanja radionuklida u teškim nesrećama

Svojstva ispuštanja	Kategorije ispuštanja					Černobilj
	SST1	SST2	SST3	SST4	SST5	
Tip nesreće	taljenje jezgre	taljenje jezgre	taljenje jezgre	ispuštanje iz međuprostora gorivo - košuljica	ispuštanje iz međuprostora gorivo - košuljica	taljenje jezgre
Vrsta kvara kontejnenta	nadpritisak	eksplozija vodika ili gubitak izolacije	-	-	-	nadpritisak eksplozija pare
Propuštanje kontejnenta	veliko	veliko	1%/dan	1%/dan	0,1%/dan	veliko
Trajanje ispuštanja (h)	2	2	4	1	1	9 dana
Ispušteni dio jezgre:						
Xe-Kr skupina	1,0	0,9	6xE-3	3xE-6	3xE-7	1,0
I skupina	0,45	3xE-3	2xE-4	1xE-7	1xE-8	0,2
Cs-Rb skupina	0,67	9xE-3	1xE-5	6xE-7	6xE-8	0,10-0,13
Te-Sb skupina	0,64	3xE-2	2xE-5	1xE-9	1xE-10	0,15
Ba-Sr skupina	0,07	1xE-3	1xE-6	1xE-11	1xE-12	0,04-0,056
Ru skupina	0,05	2xE-3	2xE-6	0	0	0,023-0,029
La skupina	9xE-3	3xE-4	1xE-6	0	0	0,023-0,032

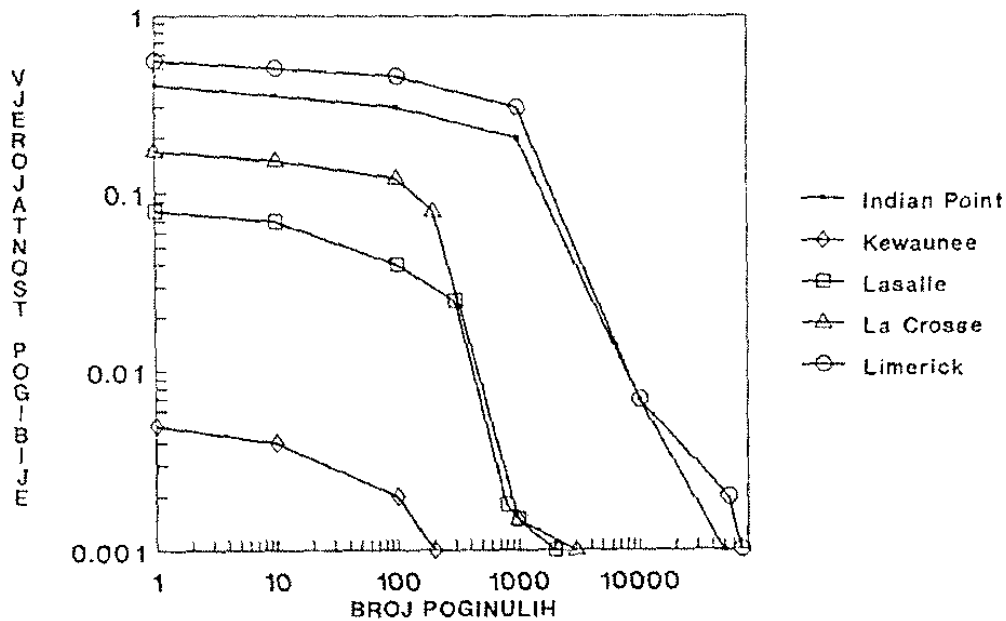
Napomena: Navedene kategorije ispuštanja služe za procjenu posljedica nesreća u okolišu i s tog stajališta za vrednovanje kvalitete mjesta za izgradnju nuklearnih elektrana. Radi usporedbe u tablici su dani podaci i za nesreću u Černobilju. Što se tiče apsolutnih iznosa radionuklida u jezgri PWR reaktora (1.120 MWe) prije izmjene goriva i černobiljskog RMBK-1000 reaktora oni se ponešto razlikuju. U načelu su manji u RMBK-1000 zbog drukčijeg načina izmjene goriva i nekih drugih činitelja.

Najteža nesreća kod koje u okolišu završi velik udio svakog od 54 najzastupljenija radionuklida reaktorske jezgre (svrstana u sedam skupina) može usmrtniti nekoliko stotina, pa i nekoliko tisuća ljudi (slika 1), a područje oko elektrane može biti trajno izgubljeno za korištenje. U reaktorskoj jezgri nastaje više od 500 različitih radionuklida, različitih poluvremena raspada, od kojih su izabrana 54 najznačajnija.

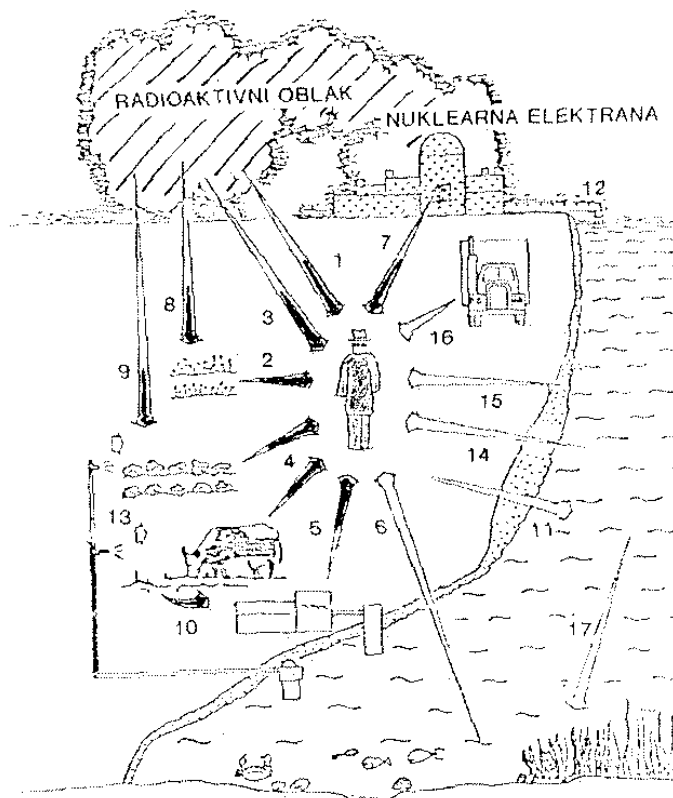
Na slici 1 na ordinati je naznačena vjerojatnost da će u slučaju najteže nesreće poginuti broj ljudi naznačen na apscisi. Rezultati nisu učinci stvarnih podataka reaktor-lokacija (elektrane u SAD-u) nego je pretpostavljeno: da se na svakoj lokaciji nalazi reaktor snage 1.120 MWe, da je prosječno dobro izvedena evakuacija. Korištena je reprezentativna meteorologija, stvarna naseljenost uokolo elektrane i stvarna ruža vjetrova. Noviji rezultati istraživanja upućuju da je kategorija ispuštanja radionuklida u slučaju nesreće SST1 možda prevelika.

Što je pojedina krivulja niža, to je lokacija sa stajališta posljedica povoljnija. Posljedice su veće kod elektrana u gušće naseljenim područjima (Limerick i Indian Point) nego u onima slabije naseljenim.

Radioaktivni oblak koji se oslobađa prilikom teške nesreće u nuklearnoj elektrani na nekoliko načina može ozračiti ljude (slika 2). To su: vanjsko ozračenje zbog potopljenosti u oblak, vanjsko ozračenje zbog istaloženosti radioaktivnih čestica na tlo, unutrašnje ozračenje zbog udisanja radioaktivnih tvari, unutrašnje ozračenje zbog unosa u organizam kontaminirane hrane (voće, povrće, hrana životinjskog podrijetla) i vode. Utjecaj izravnog zračenja razvaline reaktora zbog apsorpcije zračenja u zraku je zanemariv na udaljenostima većim od nekoliko stotina metara. Isto tako, zanemarivi su u usporedbi s putovima ozračenja radioaktivnim oblakom, i malo vjerojatni putovi ozračenja zbog ispuštanja radioaktivnih tvari u vodotoke, ali trebaju biti razmatrani.



Slika 1. Vjerojatnost pogibije stanovnika u slučaju nesreće s ispuštanjem radionuklida kategorije SST1 za neke američke nuklearne elektrane

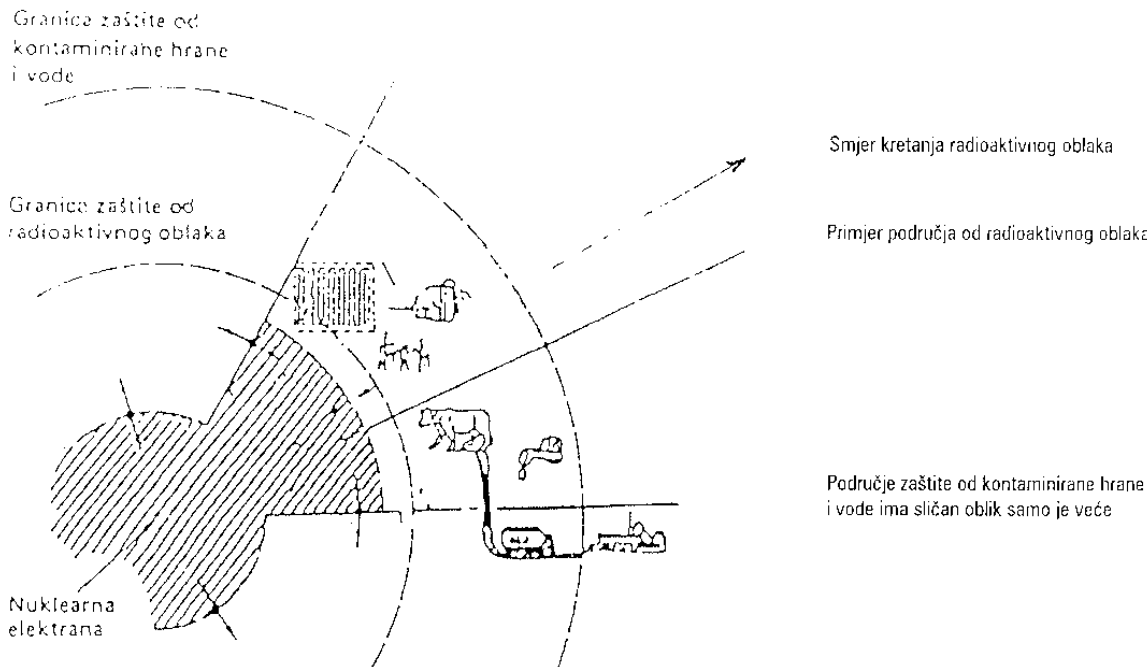


- Oznake: 1. vanjsko ozračenje zbog potopijenosti u oblak, 2. vanjsko ozračenje od istaloženih radionuklida na tlo, 3. unutrašnje ozračenje zbog udisanja radioaktivnih tvari, 4. unutrašnje ozračenje zbog unošenja u organizam kontaminirane hrane (voće, povrće, hrana životinjskog podrijetla: meso, mlijeko itd.), 5. unutrašnje ozračenje zbog unosa u organizam kontaminirane vode, 6. unutrašnje ozračenje zbog unosa u organizam kontaminirane ribe i ostale morske ili slatkovodne hrane, 7. izravno ozračenje razvaline reaktora, 8. taloženje radionuklida na tlo i površinu vode, 9. taloženje na biljke i povrće, 10. prehrana životinja, 11. ispiranje radionuklida s kopna u vodu oborinama, 12. ispuštanje radionuklida u vodu (za normalna rada elektrane), 13. navodnjavanje kontaminiranom vodom, 14. izloženost radionuklidima kupanjem, 15. izloženost na obali nuklidima u vodi, 16. transport radioaktivnih tvari (normalni rad), 17. apsorpcija radionuklida u vodenoj flori i fauni

Slika 2. Putovi ozračenja ljudi u slučaju nesreće i normalnog rada nuklearne elektrane

Zbog specifične aktivnosti u radioaktivnom oblaku - koji nastaje kao rezultat ispuštanja radionuklida u okoliš, a zbog disperzije pada s udaljenošću od nuklearne elektrane - mjere zaštite planiraju se do ograničenih udaljenosti (slika 3).

Mjerama zaštite i spašavanja posljedice se mogu smanjiti, no i mjere zaštite i spašavanja imaju svoju cijenu. Kod poduzimanja akcija zaštite mora se voditi računa o tome da zaštita bude optimalna, odnosno da šteta izazvana nesrećom i troškovima mjera

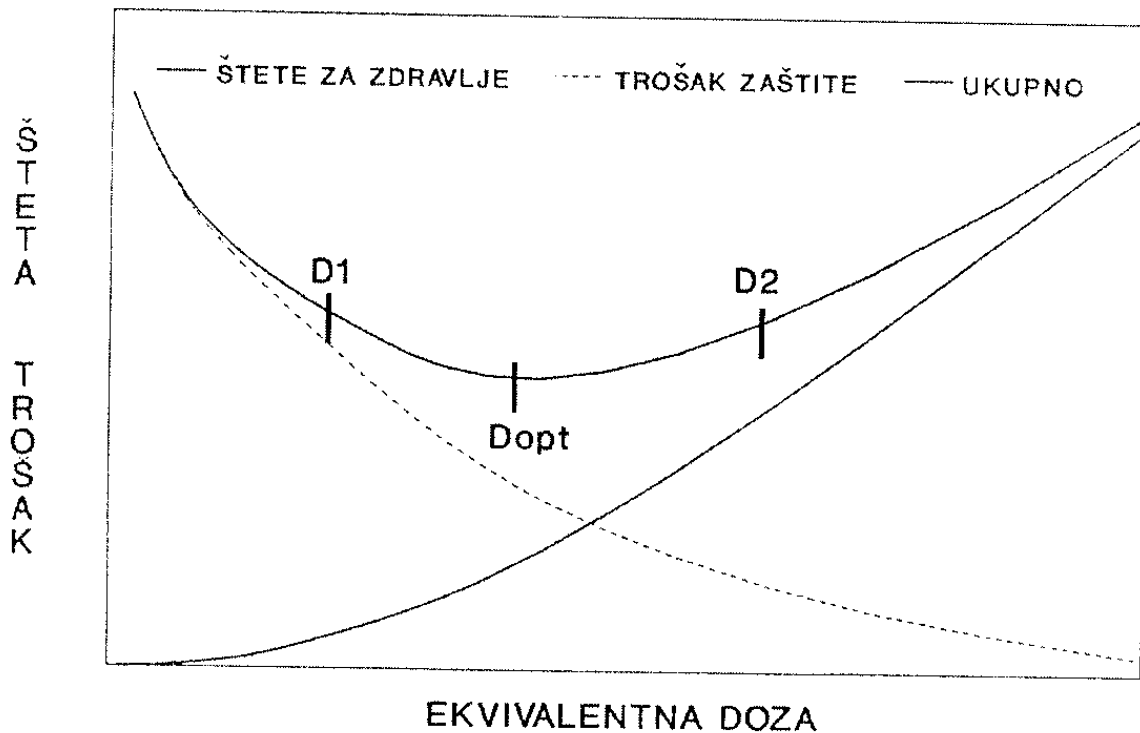


Slika 3. Zone planiranja za slučaj nesreće u nuklearnoj elektrani

Primjerice mjere zaštite (evakuacija i ostajanje u zatvorenim prostorima) u nekim zemljama planiraju se do sljedećih udaljenosti od elektrane: Finska 20 km, Francuska 5 km, Japan 10 km, Njemačka 10 km, SAD 16 km, Španjolska 10 km, Švedska 15 km, Švicarska 20 km, Velika Britanija 3 km. Mjere zaštite od kontaminirane hrane i vode planiraju se do udaljenosti: u Finskoj 100 km i u SAD-u 80 km od nuklearne elektrane. Jasno je da se u slučaju nesreće, osim ovih planiranja u prostoru, mora uzeti u obzir stvarno stanje ozračenosti u okolišu utvrđeno mjerenjima. Obično se planovi zaštite izrađuju za nešto blaže kategorije ispuštanja od najteže i zbog toga su i razlike u udaljenostima od elektrane koje koriste pojedine zemlje u ovisnosti s koliko ozbiljnom nesrećom računaju u pojedinoj zemlji i o snazi elektrane. Ako računaju s najtežom nesrećom, udaljenosti su veće.

Svaka nesreća, ne samo nesreća s oslobađanjem radioaktivnih tvari, rezultira određenim posljedicama.

zaštite bude minimalna. Budući da taj minimum nije uvijek jednostavno odrediti, međunarodne organizacije (IAEA - Međunarodna agencija za atomsku energiju, WHO - Svjetska zdravstvena organizacija, ICRP - Međunarodna komisija za radiološku zaštitu) publicirale su preporuke kod kojih, u nesreći, očekivanih ekvivalentnih doza treba poduzimati akcije zaštite i spašavanja stanovnika. Ako je očekivana ekvivalentna doza za trajanje povećane radioaktivnosti veća od praga D2 (vidi sliku 4), zaštitne mjere moraju se poduzimati jer će šteta biti manja. Iznosi li očekivana ekvivalentna doza između D1 i D2, akcije zaštite se mogu, ali se ne moraju poduzimati ovisno o procjeni je li ekvivalentna doza s lijeve ili s desne strane minimuma. Ako je očekivana ekvivalentna doza manja od D1, ne provodi se zaštita jer nanosi veću štetu nego korist (na primjer bacanje nisko kontaminirane hrane bogate vitaminima, zadržavanje male djece u zatvorenim prostorijama itd.).



Slika 4. Određivanje optimalne intervencijske doze

Pet je osnovnih akcija zaštite. To su: 1. ostajanje u zatvorenim prostorijama (za prolaska radioaktivnog oblaka), 2. upotreba jodnih spojeva (da bi se njime zaštitila štitnjača i spriječilo ozračenje štitnjače), 3. evakuacija, 4. kontrola prehrambenih proizvoda i

vode i ograničenje njihove uporabe te 5. relokacija (preseljenje stanovnika nakon prolaska oblaka s kontaminiranog područja). Prve tri akcije valja poduzeti što brže nakon nesreće. U Tablici 2. dane su doze D1 i D2 kod kojih se poduzimaju akcije zaštite.

Tablica 2. Doze kod kojih se poduzimaju akcije zaštite

Mjere zaštite	Doza (mSv ili mGy)	
	cijelo tijelo	ugroženi organ
Ostajanje u zatvorenim prostorijama	5 - 50	50 - 500
Uporaba jodnih spojeva	-	50 - 500
Evakuacija	50 - 500	500 - 5000
	Ekvivalentna doza u prvoj godini poslije nesreće (mSv)	
	cijelo tijelo	ugroženi organ
Kontrola prehrambenih proizvoda i vode	5 - 50	50 - 500
Relokacija	50 - 500	-

Osim osnovnih intervensijskih razina (Tablica 2.), postoje izvedene intervensijske razine (DIL (i,p) nuklida "i" puta ozračenja "p"). S njima se - u nedostatku valjanih, a vrlo složenih računalnih modela za proračun ekvivalentne doze svih putova ozračenja (koji su uz to bez potpunog poznavanja njihovih svojstava i ograničenja nepouzdati za nedovoljno upućenog korisnika) - vrlo brzo mogu usporediti mjerene ekspozicijske doze ili specifične aktivnosti (L(i,p) nuklida "i" puta "p") te, ako je potrebno, poduzimati mjere zaštite. Izvedene intervensijske razine (DIL (i,p) izračunane su tako da je zadana ekvivalentna doza (osnovna intervensijska razina) kojom je ozračen čovjek jednim od putova ozračenja s jednim izotopom tako da je modeliran složeni put ozračenja (na primjer kod unosa kontaminirane hrane u organizam važni su sljedeći činitelji: varijacija koncentracije nuklida u hrani s vremenom, metabolizam unesena nuklida, dozimetrijski model za ugrađene nuklide u tkivo, priprema i prerada hrane). Brojčane vrijednosti izvedene intervensijske razine (DIL) za različite nuklide i putove ozračenja prikazane su u priručnicima. Prije poduzimanja zaštite određuju se omjeri izmjerenih ekspozicijskih doza ili specifičnih aktivnosti (L(i,p): i izvedenih intervensijskih razina (DIL(i,p)): $L(i,p)/DIL(i,p)$), pa se zbroje po svim putovima ozračenja (slika 2) i nuklidima. Ako je njihov zbroj veći od jedan, poduzimaju se akcije zaštite tako da se djeluje određenom akcijom zaštite (Tablica 2.) na put - izotop koji u zbroju daje najveći doprinos (najveći razlomak).

Na primjer, izvedene intervensijske razine (DIL) za radionuklide u mlijeku su za ^{131}I - 2×10^3 Bq/l, za ^{137}Cs - 2×10^4 Bq/l, a mesu za ^{131}I - 10^4 Bq/kg, za ^{137}Cs - 10^4 Bq/kg. Kada se mjerenjem odrede specifične aktivnosti ili ekspozicijske doze L(i,p), izvodi se zbroj po svim putovima ozračenja i izotopima:

$$L(^{131}\text{I}, \text{mlijeko}) + L(^{137}\text{Cs}, \text{mlijeko}) + L(^{131}\text{I}, \text{meso}) + L(^{137}\text{Cs}, \text{meso}) + \dots + \text{ostali putovi ozračenja i izotopi}$$

-----+-----+-----+-----+-----

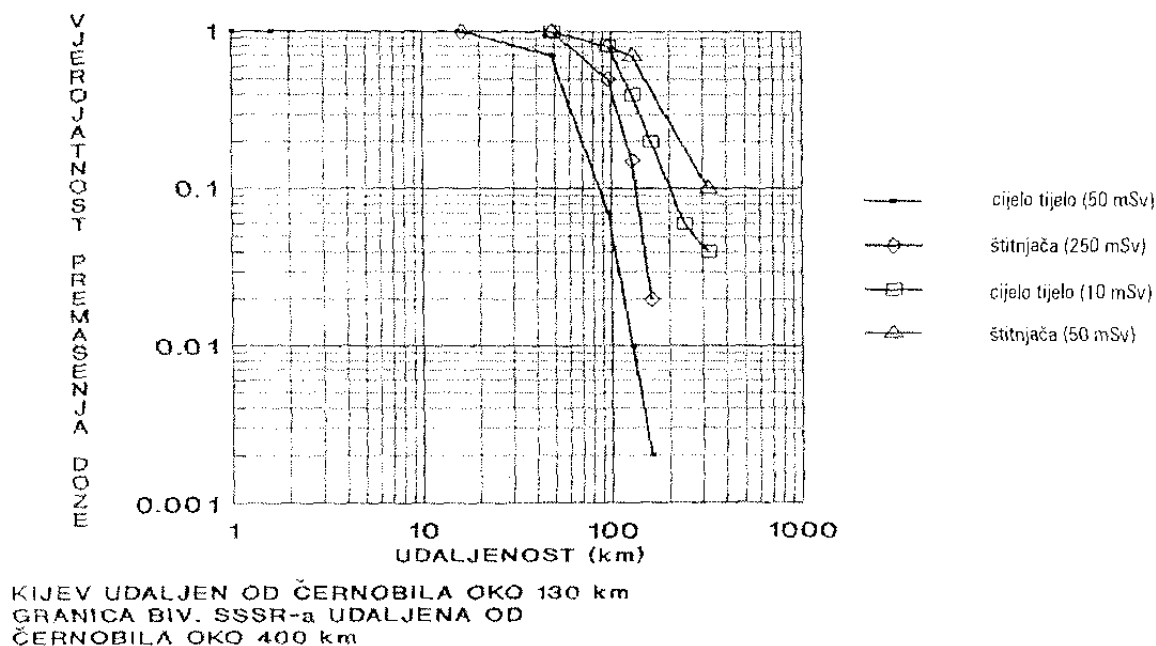
2×10^3 2×10^4 10^4 10^4

Ako su izmjerene vrijednosti L(i,p) bliske DIL (i,p) (nazivnici razlomaka zbroja), jasno je da zbroj premašuje jedan i zaštita je nužna.

Problemi i nesporazumi u uvođenju određenih mjera zaštite proizašli su iz upotrebe normi koje služe za postavljanje ograničenja za normalan rad nuklearnih objekata i za rad s radionuklidima, a koji nisu primjenjivi za slučaj nesreće jer im to nije niti svrha. Za slučaj nesreće ništa ne znače tzv. maksimalno dopustive specifične aktivnosti u pojedinim medijima (zrak, voda, hrana) jer su neupotrebive u slučaju nesreće, a i samo izvođenje određenih iznosa (standarda zaštite) zasniva se na sasvim drugim načelima nego što su primjenjivi za nesreće.

POSljedICE NESREĆE U ČERNOBILJU

Neposredno kad se dogodila nesreća u Černobilju znalo se da nema potrebe za zaštitu stanovnika na znatnim udaljenostima od elektrane. Naime, pod pretpostavkom da se dogodila najteža nesreća s najvećim ispuštanjem (SST-1) izvedeni su proračuni vjerojatnosti da će biti premašena doza (50 mSv - za cijelo tijelo) kod koje se mora zaštititi stanovnike na različitim udaljenostima od elektrane. Uočljivo je (slika 5) da je na udaljenosti 400 km - udaljenost granica bivšeg SSSR-a sa susjednim zemljama - vjerojatnost premašivanja doze ($D_2 = 50$ mSv za cijelo tijelo) kod koje treba štititi stanovnike zanimariva (manja od 0,001 ili 0,1%). Čak i na manjim udaljenostima, na primjer za Kijev (oko 130 km udaljen od Černobilja) ta vjerojatnost je manja od 1%. Tu činjenicu treba uzeti u obzir za tumačenje slike (na TV) iz Kijeva u kojem je život u vrijeme černobiljske nesreće tekao normalno, dok su naši gradovi, iako znatno udaljeni od mjesta nesreće, zahvaljujući "preporukama za zaštitu stanovnika" (koje su davale osobe koje ne poznaju metodologiju zaštite u slučaju katastrofa u nuklearnim elektranama) bili pusti. Kasnije analize ekvivalentnih doza stanovnika Kijeva pokazale su da su one bile manje od $D_2 = 50$ mSv i bile su bliske donjoj intervensijskoj razini (vrlo strogoj) od $D_1 = 5$ mSv.



Slika 5. Vjerojatnost premašenja intervencijskih doza u slučaju nesreće kategorije SST1 u PWR reaktoru od 1.120 MWe (doza cijelog tijela i žlijezde štitnjače)

Na osnovi mjerenja ekspozicijskih doza i specifičnih aktivnosti nuklida u različitim medijima (zrak, voda, hrana) diljem Europe dobivene su ekvivalentne doze koje su bile manje od donjih vrijednosti intervencijskih doza D1, a pogotovo od gornjih D2, kada se mora provesti zaštita (Tablica 2.). Ekvivalentne doze odraslih stanovnika europskih zemalja u jedno-godišnjem razdoblju nakon černobiljske nesreće osim u Ukrajini, Bjelorusiji, Rusiji i graničnim područjima Poljske, bile su manje od doza izazvanih prirodnim zračenjem (prosječna godišnja ekvivalentna doza zbog prirodnog zračenja je oko 2 mSv). Sljedećih godina te doze su bile dvadesetak puta manje i zanemarive su.

Iako mnogo manje od onih kada treba intervenirati, doze i specifične aktivnosti u nizu zemalja bile su više nego one izmjerene u bivšoj Jugoslaviji i Hrvatskoj, a razna ograničenja na uvoz hrane bila su u suprotnom smjeru (iz bivše Jugoslavije). U nizu zemalja savjetovano je stanovnicima da primijene određene mjere zaštite iako objektivnih potreba za to nije bilo. Štete izazvane tim "mjerama zaštite" u pojedinim zemljama, u prvom redu, ovisile su o vremenu proteklom do osvješćivanja i objektivne obaviještenosti javnosti. Ostaje otvoreno pitanje zbog čega su se izvan bivšeg SSSR-a preporučivale štetne mjere zaštite kod tako malih doza. Odgovor je možda u činjenici da je struka (u ovom slučaju

radiološka zaštita) još jednom prepustila mjesto politici i to ne samo u nas. Hrvatska je od toga imala štete. Prema podacima mjerodavnog tijela državne uprave za procjenu šteta, štete u Hrvatskoj izazvane nesrećom u Černobilju iznosile su 5,6 milijuna USD, a tome su pridonijele u biti nepotrebne akcije zaštite. Ipak, u usporedbi sa štetama od elementarnih nepogoda od 1981. do 1992. godine koje iznose oko 300 milijuna USD godišnje, ili 800 tisuća USD na dan, od čega se na suše odnosi najveći dio - čak 42 posto, to ipak nije mnogo.

Loše je to što se u nas od te nesreće ništa nije naučilo. Iako Hrvatska na svojem teritoriju nema nuklearne elektrane, ima ih kod naših susjeda: Slovenija 16 km od granice i Mađarska (4 reaktora) oko 70 km od naše granice. One postižu sasvim dobre rezultate u proizvodnji električne energije, no bilo bi zanimljivo znati koliko su one sigurne te svakako izraditi plan pripravnosti i djelovanja za zaštitu na području Hrvatske, ako se u njima dogodi nesreća (oslobađanje radioaktivnih materijala), jer bi posljedice u Hrvatskoj zbog njihove blizine mogle biti znatne (panika, kontaminacija stanovnika i dobara). To se osobito odnosi na Nuklearnu elektranu Krško, kod koje zbog nesuglasica Hrvatske i Slovenije oko vlasništva i upravljanja elektranom sigurnost može biti ozbiljno dovedena u pitanje.

Od nesreće u Černobilju prošlo je više od trinaest godina. U tom razdoblju izrađene su brojne studije o njezinim posljedicama. Ono što se pouzdano zna jest to da je 31 osoba poginula u toj nesreći ili umrla ubrzo nakon nje. Nadalje, 137 osoba pokazivalo je znakove akutne ozračenosti. Poginule osobe ili osobe sa znacima akutne ozračenosti profesionalno su bile uključene u sanaciju nesreće i tamo su ozračene. Zamjetljiv je bio strah i ekonomski problemi stanovništva na ugroženim područjima bivšeg SSSR-a. Što se tiče dugoročnih učinaka, među ostalim primijećen je porast pojave raka štitnjače djece i odraslih na izloženim područjima Bjelorusije za 20 ili više puta od 1990. do 1994. u odnosu prema razdoblju do 1990. Broj oboljelih od te bolesti još je u porastu, no to može biti i posljedica (tvrdi Svjetska zdravstvena organizacija) drugih činitelja, a ne samo zračenja. Zamijećen je pomak u vremenu pojavljivanja tih bolesti i nesreće koja se dogodila godine 1986.

Dugoročne radiološke posljedice nesreće u Černobilju sažeto jesu:

1. Površina područja u okolini elektrane koja je kontaminirana Cezijem-137 specifične aktivnosti veće od 185 kBq/m^2 (ta specifična aktivnost je ona koja izaziva ekvivalentnu dozu 5 mSv za trajanja života, što je prema standardima radiološke zaštite dopustivo za trajanja života, dok je godišnje dopustivo 1 mSv) na osnovi mjerenja procjenjuje se na 16.500 km^2 u Bjelorusiji, 8.100 km^2 u Ukrajini i 4.600 km^2 u Rusiji. Ostali radionuklidi za dugotrajno ozračenje su zanemarivi bilo zbog kratkog vremena poluraspada, bilo zbog male specifične aktivnosti ili učinaka u okolišu u odnosu na CS-137. Elektrana je u Ukrajini, u blizini granice s Bjelorusijom (i Rusijom), ali je područje Bjelorusije zbog smjera vjetrova za vrijeme oslobađanja radioaktivnih tvari u većem opsegu kontaminirano (u slučaju nesreće u NE Krško moglo bi se također dogoditi slično, tj. da područje Hrvatske bude jače kontaminirano od područja Slovenije na kojem je elektrana).

2. Ukupna ekvivalentna doza za stanovništvo koje živi na kontaminiranom području aktivnosti u rasponu $185\text{-}555 \text{ kBq/m}^2$ je od 5 do 20 mSv za razdoblje od 1986. do 2056. godine.

3. Za stanovništvo koje živi na još jače kontaminiranom području $555\text{-}1.480 \text{ kBq/m}^2$ ta doza za isto razdoblje iznosi od 20 do 50 mSv , a najvećim dijelom je od vanjskog ozračenja.

4. Na područjima gdje je osobito visok prijenos nuklida iz tla u poljoprivredne proizvode, koji se koriste za prehranu, doza zbog samog unutrašnjeg zračenja može premašiti 50 mSv za razdoblje od 70 godina.

5. Za cjelokupno stanovništvo ($7,1$ milijun ljudi) na kontaminiranom području i zoni strogo kontrolirana pristupa smrtni slučajevi zbog pojave raka izazvanog nesrećom u Černobilju procjenjuju se na oko 6.600 u razdoblju od 85 godina poslije nesreće. U tom razdoblju zbog pojave raka koji nije posljedica Černobilja umrijet će 870 tisuća ljudi.

U svijetu postoje područja povišene radioaktivnosti i ekvivalentne doze iznose znatno više od svjetskog prosjeka (2 mSv na godinu), a znatno su više od onih u kontaminiranim područjima u okolini Černobilja. Te doze iznose u granitnim područjima Sri Lanke od 30 do 70 mSv/god. , u području Minas Gerais u Brazilu $17\text{-}120 \text{ mSv/god.}$, u Kerali (Indija) $8\text{-}80 \text{ mSv/god.}$, na plažama Rio de Janeiro (Brazil) $5,5\text{-}12,5 \text{ mSv/god.}$

Neki stručnjaci postavljaju pitanja zašto ljudi nisu evakuirani iz tih područja ili na primjer i iz Norveške gdje je na nekim područjima ekvivalentna doza za trajanja života izazvana radionuklidima u okolini 365 mSv , ili iz nekih područja u Indiji gdje je veća od 2.000 mSv ili u Iranu gdje prelazi i 3.000 mSv , a u gradu Ramsaru (Iran) prelazi 17.000 mSv za trajanja života, a nema tragova pojavi bolesti izazvanih zračenjem.

Strah i njegove posljedice u kontaminiranim zonama oko Černobilja, prema nekim autorima, povezan je s političkom definicijom radiološkog rizika (ograničenje ekvivalentne doze za trajanja života na 5 mSv) koja je konzervativna i ne pretkazuje stvarne (ustanovljive) zdravstvene učinke zračenja. Naime, granica dopustivog ozračenja stanovništva za prosječnog trajanja života iznosi 5 mSv (iako je godišnje dopušteno 1 mSv) te je vrlo niska. U nju ne ulazi zračenje iz prirode i zračenje zbog primjene u medicini. Zračenje iz prirode u svijetu je za trajanja života oko 140 mSv u prosjeku, a u medicini je

također relativno visoko, tj. oko 30 mSv u prosjeku. Pritom je dopušteno ozračenje iz svih ostalih ljudskih aktivnosti samo oko 3% (5/170) ukupnog prosječnog zračenja kojem su ljudi izloženi, a pokazano je da postoje iznimno velike varijacije u izloženosti prirodnom zračenju. U biti ljudi tih 3% u odnosu na zračenje kojem su inače izloženi ne mogu niti doseći, osim u slučaju teških nesreća u nuklearnim elektranama ili zbog izloženosti nuklearnom ili termonuklearnom oružju. Mnogo je patnji stanovnika (relokacija-iseljavanje, gubitak ili obezvređivanje imovine) u bivšem SSSR-u prouzročeno primjenom nedokazanih i prestrogih standarda zaštite od zračenja nakon prolaska radioaktivnih oblaka (za vrijeme njegova prolaza je itekako bilo osnove zaštititi ljude), što je uz gubitak elektrane golem udarac cjelokupnom životu na ozračenom području. Jedan od vodećih svjetskih stručnjaka za biološke učinke zračenja - radiobiolog u svojoj knjizi "Je li radiološka zaštita opasna za zdravlje?" - tvrdi da je "radiološka zaštita najveći znanstveni skandal ovog stoljeća". Golem novac potrošen na tu aktivnost mogao bi se mnogo korisnije upotrijebiti u drugim ljudskim aktivnostima koje su mnogo veći rizik za zdravlje ljudi.

U Europi (izvan bivšeg SSSR-a), dakako nema promjena u odnosu na broj oboljelih od raka, što bi se dakako moglo pripisati nesreći u Černobilju. Naravski to je razumljivo s obzirom na ekvivalentne doze kojima su bili izloženi stanovnici Europe. Te doze su u mnogim zemljama manje nego one u doba testiranja nuklearnog oružja šezdesetih godina.

Poznato je da se objektivni podaci mogu uveličati ili umanjivati zbog raznih interesa, pa vjerojatno nisu u tome iznimke ni podaci u vezi sa Černobiljem. Također, u nesreći u kemijskoj tvornici u Bhopalu u Indiji (17.12.1984.) nekontrolirano oslobođen otrovni plin (metilcijanid) usmratio je oko 2.500 ljudi, a vrlo je teško ozlijeđeno oko 150 tisuća ljudi od kojih je nekoliko tisuća umrlo ili su ostali doživotni invalidi. No, dugotrajni zdravstveni učinci te nesreće nisu istraživani, a niti je deseta obljetnica te nesreće, mnogo teže od černobiljske, obilježena. Sličan je odnos i prema nesreći u Ciudad Mexicu (19.11.1984.) gdje je eksplodiralo skladište tekućeg plina. Riječ je o 452 poginula, 4.248 ozlijeđenih i oko 1.000 nestalih.

ZAKLJUČAK

Poznata su trajna sporenja Hrvatske i Slovenije oko Nuklearne elektrane Krško. Valjalo bi elektranu privremeno staviti izvan pogona do rješavanja vlasničkih odnosa, uspostave kompetentne međudržavne kontrole rada elektrane i uspostave odgovarajućih planova zaštite i spašavanja u slučaju havarije (za područje Hrvatske). Sasvim je neizvjesno, s obzirom na to da od početka pogona elektrane (1981. god.) do danas nije, hoće li u Hrvatskoj prije prestanka rada elektrane (2023. god.?) biti izrađen plan zaštite i spašavanja za slučaj havarije ili će ona biti zaustavljena prije izrade. Elektrana ne bi mogla biti puštena u pogon bez takvog plana u zemljama zrelih za primjenu nuklearne elektrane.

O pitanju državne kontrole sigurnosti elektrane, premda stanovništvo i dobra u Hrvatskoj (u određenim uvjetima) mogu biti čak i više ugrožena u slučaju nesreće nego u Sloveniji, slovenska strana odlučuje sama i nema govora o tome da bi se provodila zajednički. Upitna je sigurnost elektrane u uvjetima neriješenog vlasništva, pritisaka i miješanja nekompetentnih osoba u rad elektrane, neriješenog financiranja sve bliže i, dakako, nužne zamjene dotrajalih parogeneratora (za sigurnost bitnih dijelova elektrane). Zamjena parogeneratora nije modernizacija, nego nužan preduvjet za poboljšanje narušene sigurnosti ili smanjenja snage zbog njihove pohabanosti (začepljenje oštećenih cijevi i smanjen prijenos topline).

HEP (Hrvatska elektroprivreda) i vlada RH trebaju se izboriti da Hrvatska ima ravnopravan utjecaj i potpunu informaciju o sigurnosti NE Krško (što sada nipošto nije slučaj), jer je uložila polovinu sredstava u izgradnju, kao i zato što snosi polovinu troškova pogona i održavanja (što treba, dakako, uredno plaćati). Treba ostvariti da se, makar u tom osjetljivom području, odluke u Hrvatskoj donose na osnovi struke i uvažavanja mišljenja stručnjaka. Tako bi, dakako, trebalo biti i u Sloveniji. U svakom poslu, pa tako i o NE Krško lakše bi se dogovorili oni koji poznaju problematiku, nego oni koji ne znaju o čemu se dogovaraju (da je tako bilo od početka njezina rada, tj. da se dopustilo da o elektrani raspravljaju i odlučuju stručnjaci bez miješanja političara i nekih drugih osoba, ne bi niti bilo nesuglasica).

Dogovor o elektrani posebno je važan i zbog toga što je ona relativno blizu Zagreba, najvećeg populacijskog središta u njezinoj okolini (37 km od središta Zagreba), na koji u slučaju havarije može itekako utjecati.

Uobičajeno je postojanje zajedničkih državnih kontrola sigurnosti za elektrane, koje su blizu granica država čak i onda ako nisu u suvlasničkom odnosu. Vlada RH trebala bi što prije zajedno s vladom Slovenije, a možda i Austrije osnovati tim eksperata (školovanih ljudi za pojedine sigurnosne elemente nuklearne elektrane) za praćenje sigurnosti NE Krško. Zajednički poslovodni i drugi odbori u kojima nekompetentne osobe za ovu problematiku donose odluke nadglasavanjem nisu jamstvo sigurna rada elektrane, dapače, velika su opasnost. Također bi bilo dobro da se ima informacija o sigurnosti NE Paks u Mađarskoj (koja je udaljenija od granice Hrvatske nego NE Krško), jer i nesreća u toj elektrani može zahtijevati mjere zaštite i spašavanja u Hrvatskoj.

Zna se kako trebaju izgledati planovi masovne zaštite i spašavanja stanovnika od različitih vrsta ugrožavanja, pa tako i u slučaju nesreće u nuklearnoj elektrani. Područja u kojima treba štititi pučanstvo u slučaju nesreće u nama bliskim nuklearnim elektranama Krško u Sloveniji i Paks u Mađarskoj zadiru i u Hrvatsku. Stoga u Hrvatskoj odgovorne institucije (treba ih tek uspostaviti) trebaju izraditi odgovarajuće planove kako bi se u slučaju nesreće spriječila panika i prekomjerne štete koje bi zacijelo bile mnogo veće nego kada se 1986. godine bezrazložno uzbudila javnost i prouzročile štete u Hrvatskoj prilikom nesreće u tisuću kilometara udaljenoj elektrani Černobilj u Ukrajini.

Poznato je da se u Hrvatskoj zbog nedovoljne informiranosti o radioaktivnom zračenju i njegovim posljedicama manipulira javnošću tobožnjim problemom skladištenja radioaktivnog otpada i nebitnim informacijama o radu NE Krško. Za ono što je bitno i što stvarno može ugroziti stanovnike - a to je problem sigurnosti NE Krško u našoj blizini i uspostava odgovarajućih planova zaštite i spašavanja u slučaju nesreće - nema interesa, novca, niti institucija koje bi se time kvalificirano bavile.

LITERATURA

Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9, IAEA, Vienna, 1982.

Denning, R.: *Introduction to severe Accident Analysis*, IAEA NP course, Argonne, 1983.

Derived Intervention Levels for application in Controlling Radiation Doses to public in the Event of Nuclear accident of Radiological emergency, Safety Series No. 81, IAEA, Vienna, 1986.

Dukelow, J.: *Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA: Chernobyl Discussion*, Jan 1997. (e-mail).

INSAG Summary report on the post-Accident review Meeting on the Chernobyl accident, IAEA, Vienna, 1986.

Johnson, J.H.: *Planning for Spontaneous evacuation During a radiological emergency*, *Nuclear Safety*, 25, 1984. 2, 186-194.

Molak, B., Srdoć, D.: *Program mjerenja radioaktivnosti u okolišu nuklearne elektrane. 13. jugoslavenski simpozij zaštite od zračenja*, Pula, 155-159, 1985.

Molak, B.: *Kako poslije černobiljske nesreće odlučiti o lokacijama za nove nuklearne elektrane. Konferencija o tehnologiji, ekonomiji i ekologiji nuklearnih elektrana*, Opatija, 29-41, 1987.

Molak, B.: *Zaštitne mjere o slučaju nesreće u nuklearnoj elektrani, 13. internacionalni seminar ISE-MEC 87*, Ljubljana, 143-152, 1987.

Molak, B.: *Zaštita stanovnika i odlučivanje o tehnologijama (nesreće u nuklearnim elektranama i proizvodnja električne energije)*, *Nuklearna tehnologija (Vinča)*, 1988., 1, 26-32.

Molak, B.: *Planiranje za slučaj kriza ili izvanrednih stanja*, *Policija i sigurnost*, 5., 1996., 3, 287-304.

Molak, B.: *Školovanje za potrebe sustava zaštite i spašavanja u krizama ili izvanrednim stanjima*, *Policija i sigurnost*, 5., 1996., 4-5, 462-473.

Molak, B.: *Aktivnosti prije i poslije katastrofa izazvanih prirodnim nepogodama, djelovanjem čovjeka i ratnim sukobima*, *Hrvatske vode*, 5, 1997., 19, 137-146.

Molak, B.: Radioaktivnost i kako se zaštititi, *Sigurnost*, 40, 1998., 3, 209-223.

Muckerheide, J.: *Cs 137 in Soil and Cancer Risk*, Jan 1997. (e-mail).

Planning for Off-Site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities, Safety Series No. 55, IAEA, Vienna, 1981.

Preparedness of Public Authorities for Emergencies at Nuclear Power plants, Safety Series No. 50-SG-G6, IAEA, Vienna, 1982.

Preparedness of the Operating Organization (Licensee) for Emergencies at Nuclear Power Plants, Safety Series No. 50-SG-06, IAEA, Vienna 1982.

Principles for Establishing Intervention Levels for the Protection of the Public in the Event of a Nuclear Accident of Radiological Emergency, Safety Series No. 72, IAEA, Vienna, 1985.

Rozental, J.J.: *Chernobyl*, Jan 1997. (e-mail).

Technical Guidance for Siting Criteria Development, NUREG/CR-2552, U.S. NRC, (Sandia NL), Washington, 1982.

ESSENTIALS OF SAFETY AND PROTECTION OF PUBLIC AND GOODS IN CASE OF NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENTS

SUMMARY: The article discusses the essentials of emergency planning of public protection in the case of nuclear power plant accident in our area (Krško in Slovenia and Paks in Hungary), with actual protective measures that may be needed for large scale public protection. The extent of unreasonable anxiety and poor organisation in Croatia and the material consequences of the Chernobyl accident in Ukraine are a well-known fact. The Krško nuclear power plant is a relatively short distance from Zagreb and, since the relations between Croatia and Slovenia are burdened with some unresolved difficulties that might have a negative effect on the safety of the nuclear power plant operation, it is imperative that an emergency plan for protection and rescue in case of accident be developed or temporary stop of the plant.

Key words: *protection and rescue of public, accidents, nuclear power plants*

*Professional paper
Received: 1998-09-01
Accepted: 1998-12-23*