

DESET LET PO ČERNOBILU

Andrej Stritar*

UDK 621.311.25:621.039 (47 Černobil)

Nesreča v jedrski elektrarni Černobil-4 se je zgodila 26. aprila 1986 ob 1. uri in 23 minut zaradi slabo projektirane elektrarne in več človeških napak. Reaktor je razneslo, v ozračje se je sprostil veliko radioaktivnih snovi. Požar v reaktorju so pogasili v nekaj urah. Čez dan in pol so evakuirali okoli 47 000 prebivalcev iz mesta Pripjat. Sprostilo se je okoli dva milijona TBq. Takoj po nesreči je umrlo 31 ljudi, 137 so jih ozdravili akutnega radiacijskega sindroma. Uničeno elektrarno je saniralo 600 000 do 800 000 likvidatorjev. Po letu 1991 se je opazno zvečalo število otrok, ki so zboleli za rakom na ščitnici. V daljšem obdobju je pričakovati še več rakastih bolezni. Te pa bo med vsemi drugimi primeri raka, ki se sicer pojavljajo v vsaki populaciji, težko prepoznati. Radiološke posledice drugod po Evropi niso nikjer dosegle stopnje, zaradi katere bi sprejeli obsežnejše omejitve ali varnostne ukrepe.

Letos mineva deset let od jedrske nesreče v četrti enoti elektrarne v Černobilu. To je bila najhujša nesreča s sproščanjem radioaktivnih snovi doslej. Posledice smo čutili vsi prebivalci Evrope, najbolj pa seveda ljudje okoliških območij Ukrajine, Belorusije in Rusije. Ta dogodek se ne bi smel zgoditi in je lahko v sramoto jedrske stroki, nekdanji Sovjetski zvezi in vsemu človeštvu.

Deset let po nesreči precej natančno poznamo njene vzroke, točno vemo, kako so se vrstili dogodki, nekoliko bolj negotovi pa smo glede posledic. V javnosti se pojavljajo različne novice, ki so velikokrat točne, marsikdaj pa popačene zaradi nepoznavanja problematike, zelo pogosto pa iz različnih političnih nagibov tudi namerno potvorjene. Jedrski strokovnjaki in strokovnjaki za radiološko zaščito po vsem svetu so skrbno spremljali vsa dogajanja in ugotovitve po nesreči. V večjih državah in mednarodnih združenjih so jih strnili v poročila, ki naj pomagajo pri ugotavljanju dejstev.

V članku sem povzel osnovne ugotovitve predvsem iz poročil British Nuclear Industry Forum (1), Nuclear Energy Agency pri Organizaciji za ekonomsko sodelovanje in razvoj (OECD) (2), Zveze jedrskih združenj Francije in francoskega elektrogospodarstva (3), Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) (4) s prevodom v slovenščino (5) ter knjižice prevodov *Černobil, nesreča, posledice, nauki* (6).

Konstruktivske lastnosti reaktorja elektrarne v Černobilu

Jedrska cepitev

Na lokaciji jedrske elektrarne Černobil v Ukrajini so leta 1986 obratovali štirje

reaktorji tipa RBMK. Prvi je bil zgrajen leta 1977 in je imel moč 721 MW, drugi enake moči leta 1978, tretji moči 925 MW leta 1981 in četrti, v katerem se je zgodila nesreča, moči 925 MW leta 1983. Tretja in četrti enota sta si delili skupno turbinsko zgradbo.

Gorivo v jedrskem reaktorju je sestavljeno iz dveh izotopov urana: cepljivega urana-235, ki ga je v gorivu le 0,7 do 3,0 %, in preostanka v obliki izotopa urana-238. Jedrska cepitev poteka tako, da jedro urana-235 absorbira prosti nevtron. Nato se jedro urana ponavadi razcepi na manjši jedri, pri čemer se sprosti veliko energije in dva ali trije novi prosti nevtroni. V jedrskem reaktorju želimo absorbirati vse odvečne nevtrone, na vsako cepitev želimo ohraniti le po enega od sproščenih nevtronov, ki bo lahko najprej razcepil eno uranovo jedro. Tako je možno vzdrževati verižno jedrsko reakcijo v ravnovesju.

S cepitvijo sproščeni prosti nevtroni se gibljejo zelo hitro in se zato le odbijajo od uranovih atomov (sipanje). Treba jih je upočasniti – "moderirati", da se bodo lažje ujeli v jedra uranovih atomov in povzročili njihovo cepitev. Kot moderator se uporabljajo tri snovi: težka voda, grafit in navadna (lahka) voda.

V tlačnovodnem jedrskem reaktorju (Pressurized Water Reactor – PWR), kakršen je v Krškem, je sredica z jedrskim gorivom v tlačni posodi, kjer je hladjena z vodo pod visokim tlakom. Voda, ki izstopa iz reaktorja, ima okoli 325 °C, kar je precej več od temperature vrelišča pri atmosferskem tlaku. Vroča voda nato preda toploto sekundarnemu hladilnemu sistemu, v katerem pa voda vre in nastala para poganja turbino in generator električnega toka. Primarna voda je hladila, ki odvaja toploto iz reaktorske sredice, in moderator, ki upočasnjuje nevtrone, da v sredici lahko poteka verižna reakcija. Voda nekaj nevtronov tudi absorbira.

Če bi vsa voda iztekla iz reaktorskega hladilnega sistema ali se uparila, bi se v reaktorju absorbiralo manj prostih nevtronov in jedrska reakcija bi lahko z

množenjem presežka prostih nevtronov v vsaki od naslednjih generacij nenadzorovano pobegnila. Ker pa je voda tudi moderator, se zdaj večina nevtronov giblje prehitro, da bi lahko povzročili cepitev uranovega jedra. Zato se jedrska cepitev ustavi.

Reaktor tipa RBMK

Moderator reaktorja tipa RBMK, kakršen je bil černobilski, je grafit. Gorivo se nahaja v posebnih tlačnih ceveh, skozi katere teče voda in ga hladi. Kot moderator pa poleg vode v tlačnih ceveh deluje tudi grafit, v katerega so te cevi vložene. Če bi se v takšnem reaktorju voda uparila in odtekla ali bi se bistveno povečal delež pare v tlačnih ceveh, bi se v vodi absorbiralo manj nevtronov. Število prostih nevtronov (nevtronski fluks) bi se tako zvečalo. Ker bi grafitni moderator še naprej upočasnjeval dovolj teh nevtronov, bi verižna reakcija tekla naprej. Reakcija cepitve se torej ne bi ustavila kakor v tlačnovodnem reaktorju. Zaradi presežka prostih nevtronov bi se njena intenzivnost celo zelo hitro zvečevala.

Ob normalnih močeh lastnost takega černobilskega reaktorja ni problematična. Vzrok je v gorivu navzoči uran-238, ki je pri visokih temperaturah dober nevtronski absorber. Pojav absorpcije nevtronov v uranu-238 se meri s t.i. Dopplerjevim koeficientom reaktivnosti. Pri normalnih obratovalnih močeh je Dopplerjev koeficient močno negativen in prevlada nad vplivom pozitivnega koeficienta praznin. Celotni koeficient moči je torej negativen: če se moč zveča, reaktor nasprotuje spremembi moči in se vrača v stabilno obratovanje pri določeni moči.

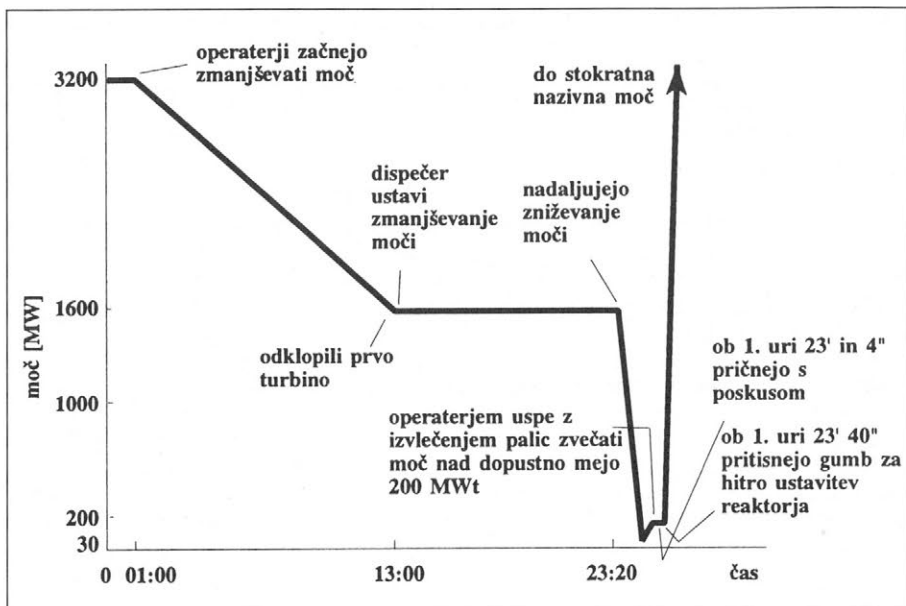
Vendar pa sta pri obratovanju reaktorja pri majhnih močeh vlogi obeh vplivov zamenjani: pozitivni koeficient praznin prevlada nad zmanjšanim Dopplerjevim koeficientom, rezultat je torej pozitiven koeficient moči.

Povzemimo: morebitno zmanjšanje količine vode (kapljevine) v sredici reaktorja tipa RBMK se kaže v dveh nasprotujočih

* prof. dr., Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana

276 si posledicah: zmanjšanju absorpcije nevtronov v vodi in povečanju absorpcije nevtronov v uranu-238. Od temperature goriva je odvisno, katera od obeh posledic bo prevladala. Pri normalnih obratovalnih močeh reaktorja je povečanje absorpcije v uranu-238 večje od zmanjšanja absorpcije v vodi, medtem ko je pri majhnih močeh reaktorja obratno. Zato so sovjetska obratovalna navodila za reaktor RBMK predpisovala, da reaktor ne sme nikoli dalj časa obratovati z manj kot 20 % svoje nazivne moči.

Kadar je v sredico reaktorja RBMK vstavljen dovolj regulacijskih palic, je z njimi možno precej hitro povečati absorpcijo nevtronov in tako kompenzirati morebitno povečevanje nevtronskega fluksa zaradi vretja vode, dokler to ni prehitro.



Slika. Potek nesreče v Černobilu
Figure. The development of the accident

Nesreča

Nesreča se je zgodila, ne da bi predhodno odpovedala katera od komponent. Po zasnovi je bila varnost elektrarne odvisna od operaterjev, ki naj bi upoštevali določena varnostna navodila. Zahodni pristop vedno predvideva, da operater lahko dela velike napake. Prvo načelo zahodnih projektov jedrskih elektrarn je, naj reaktor "odpušča" tudi večje operaterjeve napake. Operater samo s svojimi posegi torej ne sme povzročiti nesreče z večjim izpustom radioaktivnih snovi v okolje.

Nesreča se je zgodila med "varnostnim poskusom" turbogeneratorja, to je dela elektrarne, ki spreminja energijo pare v električno energijo. Načrt tega poskusa je izdelalo zunanje elektroinženirsko svetovalno podjetje. Z njim so želeli pokazati, da bo turbogenerator med ustavljanjem po pretrganju dotoka pare še nekaj časa proizvajal dovolj električne energije za pogon nekaterih varnostnih sistemov.

Prvotno so nameravali poskus izvesti pri ugasnjenem reaktorju samo z zakasnelo toploto iz razpada cepitvenih produktov. Ker pa so si želeli operaterji zagotoviti tudi možnost za ponovitev morda prvič neuspešnega poskusa, so se odločili izvesti poskus med obratovanjem elektrarne pri majhni moči. Takšno obratovanje pa so obratovalna navodila strogo prepovedala. Operaterji so 25. aprila 1986 ob 14. uri celo izključili sisteme za zasilno hlajenje, ki bi sicer samodejno ugasnili reaktor, še preden bi bilo možno izvesti načrtovani poskus.

Načrtovalci poskusa so menili, da ga bodo lahko opravili 25. aprila popoldne, ko je bila predvidena ustavitev elektrarne zaradi rednih vzdrževalnih del. Opoldne je elektrarna obratovala s polovično močjo, iz dispečerskega centra v Kijevu pa so zahtevali, da elektrarna zaradi velikega pomanjkanja električne energije še naprej obratuje. Druga elektrarna je namreč nepričakovano zamujala s ponovno vključitvijo v omrežje. Izvedba poskusa je bila zato prestavljena na 26. april ob enih ponoči, opravila pa naj bi ga nočna izmena brez sodelovanja po-

klicnih jedrskih inženirjev in fizikov. V vsaki elektrarni so namreč ponoči le dežurni operaterji, specialisti za posamezna področja pa delajo samo dopoldne med običajnim delovnim časom.

Nevaren obratovalni režim, v katerem je elektrarna obratovala dan pred nesrečo (25. april), se je še poslabšal ob zmanjšanju moči reaktorja zaradi vplivov t.i. zastrupitve sredice s ksenonom. Nekaj ur po zmanjšanju moči se v reaktorju namreč povečuje koncentracija izotopa elementa ksenona, ki zelo močno absorbira nevtrone in s tem "zastruplja" reaktor. Ksenon nastaja pri radioaktivnem razpadu.

Operaterji so pri poskusu zvečanja moči reaktorja nad predpisanih 20 % nazivne moči iz sredice izvlekli skoraj vse regulacijske palice, vendar jim je uspelo povečati moč le na okoli 200 MW(t), kar je le približno 6 % nazivne vrednosti. Reaktor je zato obratoval v izredno nevarnih okoliščinah. Tako so bile ustvarjene razmere, pri katerih se je lahko začelo неконтроліровано povečevanje nevtronskega fluksa.

Ob 1. uri in 23 minut ponoči so operaterji ustavili dotok pare v turbogenerator. Instrumenti so pokazali postopno povečevanje števila prostih nevtronov v reaktorju, zaradi česar bi se lahko moč nenadzorovano zvečala. Zato so ob 1. uri 23 minut in 40 sekund poskusili v sredico vstaviti regulacijske palice, ki bi absorbirale vse nevtrone in ugasnile reaktor. Vendar pa je zaradi konstrukcijskih pomanjkljivosti, posebno še zaradi grafitnega dodatka na koncih regulacijskih palic, njihovo vstavljanje eksplozijo le pospešilo: najprej se je močno povečala moč reaktorja, zaradi katere so se razpočili gorivni kanali, potem je sledila močna parna in grafitna eksplozija, ki je uničila reaktor. Ta močna kemična eksplozija je odpihnila pokrov reaktorja. Reaktor v četrti notri je bil povsem uničen, izbruhnilo je več kot 30 lokalnih požarov.

Ukrepi v elektrarni takoj po nesreči

Gašenje požara

Ob 1. uri in 28 minut je prispela prva gasilska brigada. Ob dveh in 10 minut je bil pogašen požar na strehi turbinske zgradbe, glavni požar v sredici pa ob šestih in 35 minut. Operaterji so medtem varno ustavili preostale tri reaktorje v elektrarni. Neposredno po nesreči je bilo najpomembnejše omejiti požar in ugotoviti, ali se v uničenem reaktorju še lahko sproži verижna reakcija jedrske cepitve. Računi so to možnost zavrnili.

Radioaktivne snovi so iz razbitega reaktorja uhajale do 6. maja. Omejili so jih šele potem, ko so v reaktor zmetali približno 5000 ton bora (nevtronski absorber), dolomita, peska in ilovice (da bi napolnili reaktorsko zgradbo in preprečili nadaljnje izpuste) ter svinca (prevažanje toplote). Iz reaktorja so v rezervoarje prečrpali približno 7000 m³ zelo kontaminirane vode, s katero so gasili požar.

Likvidatorji

Okrogel betonski pokrov reaktorja, ki tehta približno 2000 ton, je obležal pod kotom 12° proti navpičnici na ostankih cilindrične reaktorske posode. Precejšnje količine zelo radioaktivnega goriva in grafitna so bile raztresene okoli reaktorske zgradbe in po strehi reaktorske zgradbe sosednje, tretje enote. Te ostanke so v naslednjih mesecih počistili tako imenovani "likvidatorji". Stekli so na streho za 20 sekund do 1 minute, porinili po en

radioaktivni kos v četrti reaktor ali na tla in se nato vrnili v zaklon. Med tretjim in četrtim reaktorjem so zgradili zaščitno, za sevanje nepropustno steno. Tretja enota je bila še uporabna in obratuje še danes.

Sarkofag

Med julijem in novembrom 1986 je bil četrti reaktor "pokopan" v zgradbo, ki je postala znana kot *sarkofag*. Vsebuje 6000 ton kovinskih konstrukcij in 3000 ton betona, projektirana pa je bila za 30 let. Zgrajena je bila na slabih temeljih, med njimi na betonu, ki je bil med gašenjem požara prepojen z vodo. V bližnji prihodnosti jo bo treba nadomestiti.

Morebitna porušitev sarkofaga ne bi povzročila nesreče s posledicami, primerljivimi s tistimi iz leta 1986. Vendar pa je v reaktorski zgradbi veliko razpadlega goriva. Ti prašni delci bi lahko onesnažili območje elektrarne in bližnje okolice. Posledice bi občutilo predvsem osebje v jedrski elektrarni.

Leta 1993 je bil mednarodni natečaj za konstrukcijo zgradbe, ki bi nadomestila sarkofag. Noben projekt še ni bil izbran, za študij izvedljivosti pa so v okviru programa TACIS namenili tri milijone ekujev. Mednarodna zveza, ki jo sestavlja šest britanskih, francoskih in nemških podjetij, je rezultate študije izvedljivosti objavila julija 1995 v Kijevu. Predlagali so načrt za utrditev sedanjega sarkofga in postavitev nove zaščitne konstrukcije v skupni vrednosti 1,6 milijarde dolarjev.

Ukrepi v okolici elektrarne

Prva skrb takoj po nesreči je bila namenjena varnosti delavcev v elektrarni. Zaradi poznih nočnih ur je bilo v njej le približno 200 delavcev in nekaj vzdrževalnih ekip. V jedrski elektrarni je skupno zaposlenih okoli 4000 delavcev.

Najprej so prepovedali razširjanje informacij o nesreči.

Evakuacija Pripjata

Neposredno po nesreči je veter pihal stran od Pripjata (proti severozahodu). Ljudje so spali po domovih, zato so bile v tej fazi prežete doze veliko manjše, kakor če bi bili na prostem. Veter je spremenil smer 27. aprila zjutraj. Opoldne, torej 34 ur in pol po nesreči, je bila zaradi izmerjenega večanja radioaktivnosti v mestu Pripjat (7 do 10 mSv na uro) sprejeta odločitev o evakuaciji 47 000 prebivalcev. Neorganizirano gibanje posameznikov ni bilo dovoljeno zaradi nevarnosti tako imenovanih vročih mest, ker je bilo radioaktivno onesnaženje okolice zelo neenakomerno.

Mesto so evakuirali v 24 urah, v njem je ostalo le najnujnejše vzdrževalno osebje. Nekaj prebivalcev (po poročilih okoli 20) se je skrillo oblastem in tako izognilo odhodu, sicer pa je postopek tekkel zelo gladko. Danes je mesto prazno, v njem

občasno prebivajo le posamezne skupine znanstvenikov. Evakuiranci iz mesta Pripjat živijo večinoma v novo zgrajenem mestu Slavutič, ki je 50 kilometrov vzhodno od elektrarne.

Prve štiri do pet dni po nesreči niso razdeljevali jodovih tablet. V tem času bi bile zleze ščitnice izpostavljenih prebivalcev že nasičene z radioaktivnim jodom, ki se je sprostil med nesrečo. Celo pozneje ljudje v bližnji okolici niso bili poučeni o uporabi jodovih tablet.

Domnevajo, da so iz tega izhajajoče prevelike doze lahko povezane s poznejšimi boleznimi ščitnice med prebivalstvom tega območja.

Ukrepi po nekaj dneh

Med 2. in 3. majem je bilo evakuirano območje v krogu desetih kilometrov okoli elektrarne, do 6. maja so izselili tudi 90 000 prebivalcev z območja 30 kilometrov. V naslednjem letu je to območje zapustilo že 25 000 prebivalcev.

Tridesetkilometrsko izključitveno območje še velja. Ljudem priporočajo, naj se ne vračajo, vendar jim morebitne prostovoljne vrnitve ne preprečujejo. Do konca leta 1988 se jih je vrnilo okoli 1000. Leta 1990 so zaradi prejetih doz in težav pri oskrbi z neoporočeno hrano izselili že 50 000 ljudi. V sosednji Belorusiji so evakuirali manj kot 25 000 ljudi.

Junija 1986 so razglasili omejitve za uporabo nekaterih živil, posebno mleka in zelenjave, s čimer so nameravali zmanjšati doze prebivalstva na kontaminiranih predelih zunaj izključitvenega območja. Vendar pa so te omejitve ob pomanjkanju merilne opreme in brez ustreznega nadzora zelo slabo upoštevali vse do zagotovitve primerne opreme leta 1989. Odtlej se je nadzor izboljševal; danes je v Belorusiji razvita učinkovita mreža za nadzor vplivov radiacijskega onesnaženja.

Petdeset kilometrov vzhodno od elektrarne so s finančno pomočjo osmih sovjetskih republik zgradili mesto Slavutič. V njem živi okoli 26 000 ljudi. Njihovo življenje je v celoti povezano s črnoobilsko elektrarno, ki danes proizvaja okoli 6 % ukrajinske električne energije. V njej dela okoli 6000 ljudi. Doze, ki jih prejemaajo ti delavci, so v skladu z mednarodno sprejetimi omejitvami, ki jih je določila Mednarodna komisija za radiološko zaščito (International Commission on Radiological Protection).

Sevanje in lokalne zdravstvene posledice

Radioaktivni izpusti

Na podlagi prvih izračunov so domnevali, da se je med nesrečo v okolje sprostilo okoli 3,5 % materiala iz reaktorske

sredice. Oblak z radioaktivnimi snovmi je segel več kot 1200 metrov visoko. Aktivnost izpusta je bila približno 2 milijona terabecquerelov (Tbq), pri čemer niso upoštevani sproščeni žlahtni plini. Po grobi oceni je bila aktivnost sproščenih radioaktivnih snovi tisočkrat večja kakor med nesrečo v britanskem reaktorju Windscale (1957) in milijonkrat večja kot aktivnost izpusta med nesrečo v ameriški jedrski elektrarni na Otoku treh milj (1979). Po drugi strani pa je bila aktivnost izpusta približno dvajsetkrat manjša od radioaktivnega onesnaženja atmosfere med preizkušanjem jedrskega orožja pred podpisom sporazuma o delni prepovedi jedrskih poskusov (1963).

Nejvarnejši kratkoživi elementi so bili žlahtni elementi (ksenon in kripton), telur in jod-131. V človeško telo prispejo z vdihavanjem. Kripton-85 ima sicer dolgo razpolovno dobo 121 let, vendar se zelo hitro razredči v atmosferi. Nasprotno pa ima jod-131 zelo kratko razpolovno dobo (osem dni), vendar se zbira v ščitnici. Po približno treh mesecih, ko so izotopi žlahtnih plinov v veliki meri razpadli, sta postala najbolj nevarna radioaktivna izotopa cezij in stroncij. Oba se lahko absorbirata v človeškem telesu ali drugih živih organizmih, kjer nadomestita kalij in kalcij. Med dolgoživimi radioaktivnimi izotopi so najpomembnejši uran, plutonij in druge težke kovine.

Akutna radiacijska bolezen

Po uradnih poročilih je zaradi akutne radiacijske bolezni umrlo 26 ljudi, ki so bili med nesrečo v elektrarni. Med njimi so tudi žrtve iz gasilske brigade. Štirje ljudje so umrli v požaru in med ruševinami. To je skupaj 30 smrtnih žrtev. En človek je umrl zaradi srčnega napada, ki ni bil neposredno povezan z nesrečo, zato pogosto navajajo število 31 smrtnih žrtev.

Poleg umrlih so zaradi suma na akutno radiacijsko bolezen zdravili še okoli 300 ljudi, ki so bili 26. aprila med nesrečo v elektrarni. Pri 134 je bila bolezen potrjena. Vsi so pozneje ozdraveli. Nihče od ljudi, ki med nesrečo niso bili v elektrarni, ni zbolel za akutno radiacijsko boleznijo.

Zapoznele posledice

Zdravstvene posledice črnoobilске nesreče se bodo pokazale večinoma kot t.i. zapoznele posledice, tako kakor pri večini drugih nesreč, pri katerih so bili ljudje izpostavljeni radioaktivnemu sevanju. Med njimi so rak, ki se lahko razvije pozneje v življenju kot posledica izpostavljenosti radioaktivnemu sevanju, in druge bolezni, ki jih povzročata strah in zaskrbljenost zaradi radioaktivnega onesnaženja (bolezenska stanja, združena v pojem "radiofobija").

Približno 600 000 do 800 000 ljudi, ki so jih poslali v elektrarno odpravljati posledice nesreče, imenujejo *likvidatorji*. Predvidevajo, da so nekateri izmed njih, posebno tisti, ki so odstranjevali visoko radioaktivne razbitine s strehe tretjega reaktorja, verjetno prejeti doze do 250 mSv ali celo večje (doz niso merili neposredno). Doze posameznikov so skušali omejiti na 50 mSv.

278 Usode likvidatorjev je težko spremljati, saj so se vrnili na domove po vsej nekdanji Sovjetski zvezi. V vsaki populaciji 600 000 ljudi bi v desetletnem obdobju umrlo nekaj deset tisoč ljudi. V zahodnih državah je npr. stopnja umrljivosti približno 0,3 % na leto. Med 600 000 prebivalci bi jih torej v desetletnem obdobju t.i. naravne smrti umrlo okoli 18 000. Poleg tega vse bolezni, npr. bolezni srca, na katere se sklicujejo v tej populaciji, niso posledica izpostavljenosti radioaktivnemu sevanju.

Rak žleze ščitnice

Po letu 1991 se je izrazilo zvečala pogostost raka žleze ščitnice pri otrocih prizadetih območij. To so najprej opazili v beloruski pokrajini Gomel, kjer ima trenutno na milijon otrok do petnajstega leta starosti raka na ščitnici približno sto bolnikov. Na najbolj kontaminiranih ruskih in ukrajinskih območjih zbolijo 10 do 60 ljudi na milijon prebivalcev. V Veliki Britaniji, na primer, je povprečna pogostost te oblike raka približno 0,5 na milijon prebivalcev. Na prizadetih območjih je zbolelo približno 500 ljudi, deset med njimi jih je že umrlo. Te posledice so nedvomno povezane z izpusti radioaktivnega joda med nesrečo, kar potrjuje tudi dejstvo, da se je pogostost raka ščitnice zvečala tudi med ljudmi, rojenimi pred letom 1987. Rak na ščitnici je lahko povezan z nepravilno uporabo jodovih tablet, kar pa je težko ugotoviti. Možno je, da je zelo malo ljudi, ki imajo sedaj bolezni ščitnice, takrat dobilo jodove tablete.

Mutacije

Občasno so poročali o mutacijah med otroki (in živalmi), ki so bili rojeni po nesreči, vendar sistematične raziskave tega niso potrdile. Glede na stališča Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) je malo verjetno, da so prirojene napake povezane z izpostavljenostjo radioaktivnemu sevanju. Če bi, na primer, prebivalstvo prejelo doze, ki bi bile dovolj velike za povzročitev takih posledic, bi bilo poleg njih opaziti tudi veliko drugih zdravstvenih posledic, posebej levkemije.

Druge vrste raka

V daljšem obdobju se bo verjetno kot posledica nesreče pojavilo še več rakastih bolezni. Izračuni se razlikujejo; začetna ocena Mednarodne komisije za radiološko zaščito (International Commission on Radiological Protection) je 5000 do 10 000 smrtnih primerov zaradi raka v naslednjih 70 letih, medtem ko Mednarodna agencija za atomsko energijo (IAEA) predvideva manj kot 25 000 dodatnih smrtnih primerov za ves svet. Ameriški Nacionalni svet za radiološko zaščito in meritve je število ljudi, ki bodo umrli za rakom v nekdanji Sovjetski zvezi, ocenil na 10 000. Te številke je treba primerjati s podatkom, da bo v tem obdobju za rakom iz drugih vzrokov umrlo 40 do 70 milijonov ljudi. Tudi če bi bile ocene črnobilskega prispevka nekoliko višje, ni verjetno, da bi tako majhno zvečanje

sploh lahko statistično zaznali. Raziskovalci bodo tako verjetno morali ostati zgolj pri ocenjevanju prejetih doz in našem dosedanjem razumevanju njihovih posledic.

Dodatna ovira pri raziskavah posledic črnobilske nesreče so različni interesi. Na eni strani so to težnje prizadetih območij, da bi z nekoliko pretirano predstavljajo zdravstvenih problemov pridobili več pomoči zahodnih držav. Njihovo gospodarstvo se je namreč "sesedlo" s padcem komunizma. Po drugi strani pa zaradi potrebe po nadaljnji uporabi in razvoju jedrske tehnologije javno mnenje ne sme biti preveč nenaklonjeno njeni uporabi. Položaj še poslabšuje dejstvo, da so nosilci različnih interesov zdaj razdeljeni v tri države (Ukrajina, Rusija in Belorusija). Razlike pri interpretacijah istih podatkov so lahko zelo velike.

Posledice v Evropi

Veter, ki je v dnevih po nesreči večkrat spreminjal smer, je raznesel radioaktivne snovi skoraj po vsej Evropi. Doze, ki jih je nesreča v Černobilu povzročila zunaj mej nekdanje Sovjetske zveze, so bile v primerjavi z naravnim ozadjem na teh območjih zelo majhne. Povprečna letna absorbirana doza zaradi radioaktivnega sevanja iz naravnih virov je v Sloveniji okoli 2,4 mSv.

Povprečne življenjske absorbirane doze zaradi črnobilskega radioaktivnega izpusta so bile ocenjene za nekaj držav (vir NRPB, National Radiation Protection Board, Velika Britanija):

Preglednica. Povprečne življenjske absorbirane doze (v mSv) zaradi črnobilskega radioaktivnega izpusta

Table. Average lifetime absorbed doses (mSv) due to radioactive release from Chernobyl

država/country	mSv
Velika Britanija/Great Britain	0,05
Anglija/England	0,03
Wales/Wales	0,09
Škotska/Scotland	0,16
Belgija/Belgium	0,08
Danska/Denmark	0,10
Francija/France	0,08
Nemčija/Germany	0,36
Grčija/Greece	0,53
Irska/Ireland	0,17
Italija/Italy	0,31

Nizozemska/the Netherlands 0,10

Slovenija/Slovenia¹ 0,72

¹ Ta relativno visoka ocena je bila narejena leta 1986, kmalu po nesreči. Pozneje je UNSECAR (odbor Združenih narodov za analizo radioloških posledic) izračunal za nekdanjo Jugoslavijo skupno povprečno dozo 0,45 mSv. Žal ni ocen, ki bi temeljele na novejših podatkih in dognanjih.

Melo verjetno je, da bo v evropskih državah zunaj nekdanje Sovjetske zveze zaznati kakršnekoli zdravstvene posledice teh zelo majhnih doz.

Dogajanja in posledice pri nas (7)

Prvi dnevi

Prvo novico o nesreči je naši javnosti sporočil Radio Ljubljana v jutranjih poročilih v torek, 29. aprila 1986. Takoj so bile opravljene dodatne kontrolne meritve, ki so pokazale, da se pri nas radioaktivnost v okolju še ni zvečala. Tovrstne meritve v Sloveniji izvajata Institut Jožef Stefan in Zavod republike Slovenije za varstvo pri delu, ki sta ob izrednih radioloških dogodkih povezana v Ekološki laboratorij z mobilno enoto. Pri meritvah po črnobilski nesreči sta delno sodelovala tudi jedrska elektrarna Krško in Rudnik urana Žirovski vrh. Tisto dopoldne je bil sklican tudi koordinacijski sestanek predstavnikov Komisije za jedrsko varnost, Republiškega štaba za civilno zaščito, Ekološkega laboratorija z mobilno enoto, Hidrometeorološkega zavoda in še nekaterih drugih ustanov oziroma upravnih organov. Dogovorjeno je bilo, da morebitne akcije zaščite prebivalstva in dobrin vodijo za to pristojni republiški strokovni in operativni organi, merilni sistemi in radiološke ekipe Ekološkega laboratorija pa naj bodo pripravljeni.

Naslednjega dne, 30. aprila zjutraj, so tudi v Sloveniji zaznali povečanje radioaktivnosti v ozračju in padavinah. Sprožili so obširen program meritev radioaktivnega onesnaženja okolja in prehranske verige. V prvih dneh maja je o vrsti kontrolnih vzorcev odločala strokovna skupina Republiškega štaba za civilno zaščito, pozneje pa je to vlogo prevzela posebej imenovana koordinacijska skupina. Izredni program meritev je bil ustavljen, vlogo kontrole pa so ponovno prevzeli redni programi nadzora radioaktivnosti.

Preventivni ukrepi

Od 30. aprila do 19. maja 1986 so Izvršni svet Skupščine SR Slovenije, Republiški štab za civilno zaščito ter drugi republiški komiteji in upravni organi sprejeli vrsto preventivnih ukrepov in priporočil prebivalstvu. Namen zaščitnih ukrepov ob radioaktivnemu onesnaženju okolja je preprečiti vse takojšnje učinke ionizirajočega sevanja ter zmanjšati poznejše posledice

na sprejemljivo raven. Že takoj je bilo jasno, da v Sloveniji stopnja onesnaženja ni bila tolikšna, da bi neposredno ogrozila zdravje prebivalstva. Skrb zbujajoče ni bilo ne uživanje kontaminirane hrane ali pitja deževnice, še manj pa zunanje sevanje. Vse zaščitne ukrepe so sprejeli zato, da se na najmanjšo možno mero zmanjša verjetnost poznejših učinkov rakastih bolezni in dednih posledic oziroma da se zmanjša nepotrebna obremenitev prebivalstva na najmanjšo možno raven. Tako so prepovedali uporabo sveže deževnice za prehrano in napajanje živine, pašo krav mlekaric, uporabo sveže zelenjave in lovljenja parkljaste divjadi. Predpisali so obvezno predelavo oporečnega mleka v mlečne izdelke, uvedli pregled potnikov in prtljage iz Sovjetske zveze, sprejeli meje in pogoje uporabnosti kontaminirane hrane in dali praktična priporočila prebivalstvu za zmanjšanje izpostavljenosti sevanju.

Večino ukrepov in priporočil so podprli z meritvami.

Izmerili so vsebnost radioaktivnih izotopov v različnih vrstah hrane, pitni vodi, mleku, deževnici in zraku. Radioaktivni jod je bil v zraku zaznaven le približno deset dni. Zunanje sevanje je bilo največje četrty dan po dotoku onesnaženega zraka, nato pa se je zaradi razpada kratkoživih izotopov postopno zmanjšalo.

V začetni kontaminaciji okolja so zaznali okrog 30 radioaktivnih izotopov. Od kratkoživih je bil radiološko najpomembnejši jod-131 (^{131}J , razpolovna doba osem dni), ki se kopiči v žlezi ščitnici. Najbolj so bili onesnaženi pridelki, ki so rasli v času ispiranja radioaktivnih snovi iz radioaktivnega oblaka. Jod-131 je v nekaj mesecih popolnoma razpadel. Od dolgoživih pa je v okolju še vedno cezij-137 (^{137}Cs , razpolovna doba 30 let). Zaradi slabe topnosti je cezij na neobdelanem zemljišču še danes v zgornjih nekaj centimetrih zemlje. Rastline ga zelo malo vsrkajo in zato kmetijski pridelki niso kontaminirani. Cezij na neobdelanih zemljiščih nekoliko povečuje izpostavitve zunanemu sevanju, vendar so dodatne doze nepomembne v primerjavi z izpostavljenostjo iz naravnih virov. V Sloveniji danes zaradi posledic nesreče v Černobilu ni potrebna omejitev uporabe nobenega živila.

Sklep

Ozadje nesreče v Černobilu danes v veliki meri poznamo. Vzroki zanjo so bili predvsem slaba zasnova elektrarne in številne človeške napake operaterjev.

Posledice za okoliško prebivalstvo so katastrofalne in jih je težko kakor koli ovrednotiti in dojeti. Zaradi zapletenega zdravstvenega, demografskega, gospodarskega, političnega in socialnega položaja je težko natančno oceniti njihovo medsebojno povezanost in odvisnost.

S stališča upravljalcev jedrskih elektrarn se je pri tej elektrarni izkazala pomembnost ukrepov, delovnih navad in postop-

kov, ki jih imenujemo *varnostna kultura*. Zaradi izredno hudih možnih posledic je pri vseh dejavnostih, povezanih z jedrsko elektrarno, nujno strogo spoštovati načela kakovostnega dela, odgovornosti in motiviranosti. Vse, na videz še tako drobne dejavnosti v jedrskem gorivnem krogu, so za varnost pomembne in jim je treba posvečati zadostno pozornost. Stalen nadzor dejavnosti je nujen tako na delovni ravni po posameznih službah v elektrarni, na ravni elektrarne, ter med ustreznimi državnimi organi in elektrarno. Pomemben je tudi stalen nadzor medijev, in s tem celotne javnosti, ki naj kritično preverjajo delovanje stroke.

Največ se lahko iz černobilske zgodbe naučijo tisti, ki so zadolženi za ukrepanje zunaj objekta med tako nesrečo. Spet se je pokazalo, kako pomembne so hitre in uigrane dejavnosti že v prvih urah po radioaktivnemu sproščanju. Odločitev o razdelitvi jodovih tablet mora biti, na primer, sprejeta takorekoč takoj, saj jih mora prizadeto prebivalstvo dobiti že v prvih urah po nesreči. Podobno velja za odločitev o evakuaciji in njena izvedba. Pomemben je torej skrbno pripravljen načrt ukrepov v izrednih razmerah, ki ga je treba pogosto vaditi.

1. The Chernobyl Accident Factsheets. London: British Nuclear Industry Forum, 1995.
2. Chernobyl, ten Years On, Radiological and Health Impact. Paris: Nuclear Energy Agency, OECD, 1996.
3. Chernobyl: True, False and Uncertain. Paris: Société Française d'Énergie Nucléaire, april 1996.
4. Health consequences of the Chernobyl accident, result of the IPHECA pilot projects and related programmes. Geneva: World Health Organization, 1995. ISBN 92 4 1561815.
5. Zdravstvene posledice nesreče v Černobilu; Rezultati pilotnih projektov IPHECA in sorodnih nacionalnih programov. Ljubljana: Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije in Uprava republike Slovenije za jedrsko varnost, maj 1996. ISBN 961 6207 01 6.
6. Černobil, nesreča, posledice, nauki. Ljubljana: Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije in Društvo Slovenije za varstvo pred sevanji, april 1996. ISBN 961 6207 01 6.
7. Rafael Martinčič, Bogdan Pucelj: Posledice černobilske nesreče v Sloveniji. Černobil, nesreča, posledice, nauki, str. 77-80. Ljubljana: Društvo jedrskih strokovnjakov in Društvo Slovenije za varstvo pred sevanji, april 1996.

Andrej Stritar

Ten Years after Chernobyl: What happened; What we learned from it

Ten years after the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant we know

much about its reasons, about the scenario of events, but we are still uncertain about the consequences. The accident happened on 26 April, 1986 at 1:23 in the morning without any failure of hardware components. It was completely caused by a set of human errors. The most important flaw was the design of the RBMK nuclear power plant, which made it possible for the operators to bypass safety system and bring the plant into an unsafe condition. That morning they brought the plant to a power level below 20 % nominal power, which was prohibited according to operating procedures. The reactor became supercritical, the core disintegrated and the fire started. About 2 million Bq of radioactivity was released into the atmosphere.

Immediately after the accident, fire-fighters extinguished the fire. Only 36 hours after the explosion the nearly town of Prypjat was evacuated. Later a 30 km exclusion zone around the plant was emptied. In the few months from 600,000 to 800,000 people, called liquidators, were involved in cleanup and construction of the big building around the wrecked plant, called the sarcophagus.

After 1992 an increase of thyroid cancer among children could be observed in Belarus and Ukraine. There is no evidence yet for the increase of any other cancer type which could be linked to the accident. However, it is expected that from 6,000 to 25,000 people will develop some kind of cancer as a consequence caused by other reasons, since in that population some 40 to 70 million people will die because of that disease.

The radioactive cloud has brought radioactivity to almost every part of Europe. Some restrictions were imposed in different countries on the use of certain agricultural products immediately after the event. Today there are no restriction necessary anymore and there is no danger to the general population.

In Slovenia the first preventive steps were made on the morning of 29 April 1986, when the news about the event came. The increased radioactivity was first registered at the Žirovski vrh uranium mine in the early morning of 30 April 1986. The coordinating body of responsible authorities prepared recommendations for the public in order to reduce unnecessary radiological load. They prohibited the use of fresh rain water, use of fresh vegetables, they introduced the screening of freight and people from the USSR etc. Measurements in the environment were performed throughout. Today there are no restriction in food consumption resulting from the Chernobyl accident necessary in Slovenia.

UJMA