

# ČERNOBIL

**NESREČA  
POSLEDICE  
NAUKI**

# ČERNOBIL

Nesreča, posledice in nauki

# ČERNOBIL

Nesreča, posledice in nauki

*Prevod treh poročil:*

- I. Chernobyl, Ten Years On, Radiological and Health Impact  
Nuclear Energy Agency, OECD
- II. The Chernobyl Accident Factsheets  
British Nuclear Industry Forum
- III. Chernobyl, True, False and Uncertain  
Electricité de France

*ter originalni prispevek:*

dr. Rafael Martinčič, mag. Bogdan Pucelj: Posledice černobilske nesreče v Sloveniji

Prevod:

Radko Istenič

Oton Gortnar

Urednik:

dr. Andrej Stritar

ISBN 961-6207-01-6



Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije



Društvo Slovenije za varstvo pred sevanji

marec 1996

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

621.311.25(477.41 Černobil):504.056

620.039.58:621.311.25(477.41 Černobil)

Černobil: nesreča, posledice in nauki/[prevod Radko Istenič,

Oton Gortnar ; urednik Andrej Stritar]. - Ljubljana:

Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije, 1996.

ISBN 961-6207-01-6

1. Stritar, Andrej

58603776

Po mnenju Ministrstva za kulturo številka 415-332/96-mb/sp z dne 2. aprila 1996 šteje knjižica *Černobil, nesreča, posledice in nauki* med proizvode, za katere se na osnovi 13. točke tarifne številke 3 Tarife davka od prometa proizvodov in storitev plačuje 5 % davek od prometa proizvodov.

## PREDGOVOR

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 bolj ali manj vsi prebivalci Evrope, najbolj pa seveda prebivalstvo okoliških področij Ukrajine, Belorusije in Rusije. Ta dogodek se ne bi smel zgoditi in je lahko v sramoto jedrski stroki, nekdanji državi Sovjetski zvezi in človeštvu kot celoti.

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 popačene zaradi nepoznavanja problematike, zelo pogosto pa tudi namerno potvorjene iz različnih političnih nagibov. Jedrski strokovnjaki in strokovnjaki za radiološko zaščito po vsem svetu so skrbno spremljali vsa dogajanja in dognanja po nesreči. V večjih državah in mednarodnih združenjih so jih strnili v krajša ali daljša poročila, ki naj pomagajo zainteresiranim pri ugotavljanju dejstev. Pred vami je knjižica s tremi pogledi na černobilsko katastrofo:

1. *Razširjeni povzetek knjižice, ki jo je letos objavila Agencija za jedrsko energijo (Nuclear Energy Agency, NEA) pri Organizaciji za gospodarski sodelovanje in razvoj (OECD).*
2. *Prevod poročila, ki ga je pripravil Britanski svet za jedrsko industrijo (British Nuclear Industry Forum, BNIF) avgusta 1995.*
3. *Prevod komentarjev o resničnih, neresničnih in negotovih podatkih v javnosti o Černobilu, ki ga je aprila 1994 pripravilo francosko elektrogospodarstvo (Electricité de France, EdF).*

*Vsako poročilo je napisano kot celota in bolj ali manj podaja vse znane informacije. Pozoren bralec bo opazil, da se nekateri podatki v treh poročilih med seboj razlikujejo. To velja predvsem za dejstva o posledicah. Tako na primer govori prvo poročilo o 800.000 "likvidatorjih", drugo o 600.000 in tretje o 650.000. Vse tri številke so ocene, natančnega števila pa ne ve nihče, saj, kot kaže, sovjetska oblast ni vodila podrobne evidence o sodelujočih pri odpravi posledic. Podobno velja tudi za druge podatke, pri katerih prihaja do razlik. Vsako poročilo je povzetek večjega števila znanstvenih študij, med njimi pa obstajajo razlike predvsem zaradi izredne negotovosti pri določevanju posledic v tako veliki populaciji, na tako velikem teritoriju in v tako družbeno, socialno, ekonomsko in politično zapletenem sistemu, kot so države nekdanje Sovjetske zveze.*

*Na koncu smo dodali še kratek pregled dogajanj takoj po nesreči pri nas in opis posledic v Sloveniji.*

*Knjižica naj bo v pouk in informacijo, predvsem pa vir čim bolj realnih (čeprav nezanesljivih) podatkov. Nauki Černobila naj preprečijo, da bi se nesreča takšnih razsežnosti še kdaj ponovila.*

*V Ljubljani, marca 1996*



# KAZALO

<b>ČERNOBIL.....</b>	<b>1</b>
<b>Deset let kasneje.....</b>	<b>1</b>
<b>Radiološki in zdravstveni vplivi.....</b>	<b>1</b>
Uvod.....	3
Nesreča.....	3
Širjenje in odlaganje radioaktivnih izotopov.....	4
Reakcije državnih organov.....	5
Ocene doz sevanja.....	6
Zdravstveni vplivi.....	7
Vplivi na poljedelstvo in okolje.....	8
Preostala možna tveganja.....	9
Nauki černobilske nesreče.....	10
Sklep.....	11
<b>Dejstva o nesreči v jedrski elektrarni Černobil.....</b>	<b>13</b>
Povzetek strokovne ocene razmer.....	15
Pregled.....	16
Reaktor tipa RBMK.....	17
Dodatek - nekaj osnov iz reaktorske fizike.....	19
Človeški dejavniki, povezani s černobilsko nesrečo.....	22
Sovjetsko ukrepanje po nesreči (1) - v elektrarni.....	24
Sovjetsko ukrepanje po nesreči (2) - zunaj elektrarne.....	25
Sarkofag.....	28
Sevanje in zdravstvene posledice (1) - v elektrarni.....	29
Sevanje in zdravstvene posledice (2) - v nekdanji Sovjetski zvezi.....	31
Sevanje in zdravstvene posledice (3) - Evropa.....	35
Energetske razmere in jedrska energija v Ukrajini.....	36
Podatki o sedanjem stanju reaktorjev RBMK.....	37
Mednarodna prizadevanja za izboljšanje jedrske varnosti v državah nekdanjega vzhodnega bloka.....	39
Izjavili so o Černobilu.....	42
Primerjava s smrtnimi žrtvami drugih nesreč.....	44
Reference.....	45
<b>KAJ JE RES.....</b>	<b>49</b>
Vzroki nesreče: predvsem konstrukcija černobilskega reaktorja.....	49
Človeški dejavnik.....	49
Začetna evakuacija.....	50
Kontaminirana območja in pozna evakuacija.....	50
Povratak na prepovedana območja.....	51
"Likvidatorji".....	52
Vpliv nesreče na vegetacijo.....	52

Vpliv nesreče na živali.....	53
Medicinski nadzor .....	53
Doze ščitnice pri otrocih.....	54
Rak na ščitnici pri otrocih.....	54
Psihološki in psihosomatski problemi prebivalstva .....	55
Slab vtis francoskega prebivalstva o informacijah po črnobilski nesreči .....	56
<b>KAJ JE NAPAČNO.....</b>	<b>57</b>
Tveganje obolenja za rakom.....	57
Povečanje števila primerov levkemije .....	57
Prirojene deformacije in genetske nenormalnosti .....	58
Kronična sevalna bolezen .....	58
Opis učinkov pri hudem obsevanju.....	59
Pojem nevarnih doz .....	59
Delovanje radioaktivnih izotopov.....	60
Nevarnost sterilnosti .....	60
Pomen omejitve doze.....	61
Črnobilski oblak.....	61
Predpisi o prehrani.....	62
Kontaminacija na Korziki.....	62
Rak na ščitnici v Franciji .....	63
<b>KAJ JE NEGOTOVO .....</b>	<b>64</b>
Doze, ki jih je prejelo prebivalstvo.....	64
Število mrtvih zaradi črnobilske nesreče.....	64
Število mrtvih, ki jih je mogoče pričakovati zaradi črnobilske nesreče .....	65
Žrtve črnobilske nesreče .....	65
Smrtnost dojenčkov .....	66
Rak na ščitnici pri odraslih .....	66
Problemi z zdravjem in imunostjo .....	66
Prirojene deformacije in genetske nenormalnosti pri otrocih .....	67
Splavi.....	67
Prirojene deformacije in genetske nenormalnosti pri živalih.....	67
Ekonomski stroški.....	68
<b>UČINKI IONIZIRAJOČEGA SEVANJA: NEKAJ ŠTEVILK .....</b>	<b>69</b>
<b>POSLEDICE ČERNOBILSKE NESREČE V SLOVENIJI .....</b>	<b>71</b>

**ČERNOBIL**  
**Deset let kasneje**  
**Radiološki in zdravstveni vplivi**

Ocena  
Komiteja za varstvo pred sevanji in zdravstvo  
pri Agenciji za jedrsko energijo (NEA)

November 1995

*Prevedeno in tiskano z dovoljenjem*

NUCLEAR ENERGY AGENCY  
ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND  
DEVELOPMENT



Delni prevod angleškega originala, ki predstavlja uradno verzijo publikacije z naslovom *Chernobyl, Ten Years On, Radiological and Health Impact*; Copyright OECD, Paris, 1995

OECD-NEA ne prevzema odgovornosti za slovenski prevod.

### **Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)**

V skladu s prvim členom konvencije, ki so jo podpisali v Parizu 14. decembra 1960 in je stopila v veljavo 30. septembra 1961, mora Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj razvijati politiko za:

- doseganje največje trajnostne gospodarske rasti in zaposlovanja in rastočega življenjskega standarda v državah članicah ter pri tem vzdrževati finančno stabilnost in s tem prispevati k razvoju svetovnega gospodarstva;
- prispevek k zdravi gospodarski rasti članic kot tudi držav nečlanic v okviru gospodarskega razvoja;
- prispevek k širjenju svetovne trgovine na večstranskih, nediskriminacijskih temeljih v skladu z mednarodnimi obvezami.

Države ustanoviteljice OECD so Avstrija, Belgija, Kanada, Danska, Francija, Nemčija, Grčija, Irska, Italija, Luksemburg, Nizozemska, Norveška, Portugalska, Španija, Švedska, Švica, Turčija, Velika Britanija in ZDA. Naslednje države so postale članice kasneje: Japonska (28. april 1964), Finska (28. januar 1969), Avstralija (7. junij 1971), Nova Zelandija (29. maj 1973), Mehika (18. maj 1994) in Češka republika (21. december 1995). Dejavnosti OECD se udeležuje tudi Komisija Evropske skupnosti (13. člen konvencije OECD).

### **Agencija za jedrsko energijo Nuclear Energy Agency (NEA)**

Agencija za jedrsko energijo pri OECD je bila ustanovljena 1. februarja 1958 kot OEEC European Nuclear Energy Agency. Preimenovali so jo 20. aprila 1972, ko je Japonska postala prva članica zunaj Evrope. Članice NEA so danes vse evropske članice OECD ter Avstralija, Kanada, Japonska, Republika Koreja, Mehika in ZDA. Dejavnosti NEA se udeležuje tudi Komisija Evropske skupnosti (13. člen konvencije OECD).

Glavna naloga NEA je pospeševanje sodelovanja med vladami držav članic pri razvoju jedrske energije kot varnega, okoljevarstveno sprejemljivega in gospodarnega vira energije.

Glavno nalogo opravlja:

- s spodbujanjem usklajevanja nacionalnih upravnih postopkov in prakse, s posebnim poudarkom na varnosti jedrskih objektov, varstvu pred ionizirajočim sevanjem, varovanju okolja, ravnanju z radioaktivnimi odpadki ter odgovornosti tretjih udeležencev in zavarovanju;
- z oceno prispevka jedrske energije k splošni preskrbi z energijo s spremljanjem tehničnih in ekonomskih vidikov rasti jedrske energetike in z načrtovanjem potreb in preskrbe za različne faze jedrskega gorivnega kroga;
- z razvojem izmenjave znanstvenih in tehničnih informacij, predvsem z udeležbo pri skupnih storitvah;
- z vzpostavitvijo mednarodnih raziskovalnih in razvojnih programov ter skupnih projektov.

Pri izvajanju naštetih in sorodnih nalog NEA tesno sodeluje z Mednarodno agencijo za jedrsko energijo na Dunaju, s katero ima sklenjen sporazum o sodelovanju. Sodeluje tudi z drugimi mednarodnimi organizacijami na jedrskem področju.

## **POVZETEK**

### **Uvod**

Šestindvajsetega aprila 1986 se je v jedrski elektrarni Černobil v Ukrajini zgodila huda nesreča, ki ji je sledilo dolgotrajno sproščanje večjih količin radioaktivnih snovi v atmosfero. Okoliščine sproščanja so bile ugodne za širjenje radioaktivnosti po vsej severni polobli, predvsem pa po Evropi. K temu so prispevale še spremembe meteoroloških razmer in smeri vetrov med obdobjem sproščanja. Radioaktivnosti, ki jo je nosilo več oblakov iz Černobila, niso izmerili le v severni in južni Evropi, temveč tudi v Kanadi, na Japonskem in v Združenih državah Amerike. Nekontaminirana je ostala le južna zemeljska polobla.

Dogodek je imel resne radiološke, zdravstvene in socialno - ekonomske posledice za prebivalstvo Belorusije, Ukrajine in Rusije, ki jih deloma še vedno občutijo. Čeprav je bil radiološki vpliv nesreče v drugih državah na splošno zelo majhen in zunaj Evrope nepomemben, je dogodek zelo povečal zaskrbljenost javnosti po vsem svetu glede tveganja ob uporabi jedrske energije.

To je eden od razlogov za obnovljeno pozornost in prizadevanja, ki so jih zadnje desetletje oblasti in jedrska industrija namenili študijam varnosti reaktorjev in pripravljenosti na ukrepanje v sili. To je tudi razlog stalne pozornosti javnosti do položaja v Černobilu.

Bližajoča se deseta obletnica nesreče se zdi zato pravi trenutek za pregled stanja našega znanja o resnih vidikih vpliva nesreče, za inventuro nabranih informacij in potekajočih znanstvenih študij pa tudi za oceno stopnje, do katere so nacionalne oblasti in strokovnjaki uresničili številne nauke iz nesreče v Černobilu.

To kratko poročilo, pripravljeno pod okriljem Komiteja za varstvo pred sevanjem in zdravstvo (Committee on Radiation Protection and Public Health - CRPPH) pri Agenciji za jedrsko energijo (Nuclear Energy Agency - NEA) Organizacije za ekonomsko sodelovanje in razvoj (OECD), predstavlja skupno stališče izvedencev OECD za varstvo pred sevanjem.

### **Nesreča**

Četrty reaktor jedrske elektrarne v Černobilu so nameravali 25. aprila 1986 ustaviti zaradi rednega vzdrževanja. Odločili so se, da bodo ob tej priložnosti preizkusili, ali oprema elektrarne daje dovolj električne energije za pogon zasilnega hlajenja reaktorja in nujnih sistemov v časovnem intervalu med izpadom glavnega električnega napajanja in zagonom zasilnih dizelskih agregatov.

Menili so, da je ta poskus povezan le s sekundarnim delom elektrarne. Nesrečno so ga izvedli brez natančne izmenjave informacij in koordinacije med skupino, odgovorno za poskus, in osebjem, odgovornim za obratovanje in varnost jedrskega reaktorja. Program

poskusa zato ni vseboval primernih varnostnih ukrepov, obratovalno osebje pa ni bilo opozorjeno na vpliv na jedrsko varnost in potencialno nevarnost tega električnega poskusa.

Zaradi pomanjkljive koordinacije in slabe usposobljenosti, kar je bil rezultat nezadostne stopnje varnostne kulture osebja elektrarne, so operaterji izvedli vrsto ukrepov, ki so se razlikovali od uveljavljenih varnostnih procedur in privedli do potencialno nevarnega položaja. Potek ukrepov je bil povezan s pomembnimi pomanjkljivostmi v zasnovi reaktorja, ki so naredile elektrarno nestabilno in zelo občutljivo z izgubo regulacije ob napakah operaterjev.

Kombinacija teh dejavnikov je izzvala nenaden in neobvladljiv dvig moči, kar je povzročilo uničevalne eksplozije in skoraj popolno razrušitev reaktorja. Posledice tega katastrofalnega dogodka so še poslabšali požari grafitnega moderatorja in drugih materialov, ki so izbruhnili v zgradbi in prispevali k obsežnemu in dolgotrajnemu sproščanju radioaktivnih snovi v okolje.

## **Širjenje in odlaganje radioaktivnih izotopov**

V atmosfero sproščene radioaktivne materiale so sestavljali plini, aerosoli in drobni delci jedrskega goriva. Sprostitev je bila po količini izredno velika in je obsegala velik delež radioaktivnih izotopov, ki jih je vseboval reaktor. Trajanje sproščanja je bilo nepričakovano dolgo, daljše od enega tedna. To trajanje in velika višina, ki so jo dosegli sproščeni izotopi, sta bila predvsem posledica požara grafita, ki ga je bilo zelo težko pogasiti.

Zaradi teh razlogov in sočasnih pogostih sprememb smeri vetra med sproščanjem je bilo območje, ki ga je prizadel radioaktivni oblak in njemu sledeče usedanje radioaktivnih snovi na tla, izredno veliko. Obsegalo je celotno severno zemeljsko poloblo. Vendar pa so zunaj nekdanje Sovjetske zveze občutili znatno kontaminacijo le v nekaterih delih Evrope.

Vzorec kontaminacije tal in v prehrabnih verigah je bil zelo neenakomeren zaradi vpliva padavin med prehodom oblaka. Ta neenakomernost pri usedanju je bila posebno izrazita na večjih oddaljenostih od lokacije reaktorja.

## Reakcije državnih organov

Obseg in resnost černobilske nesreče nista bila predvidena in sta presenetila večino državnih organov, odgovornih za javno zdravstveno varnost in ukrepe v sili. Obstoječi intervencijski nivoji in postopki večine držav niso bili primerni za nesrečo takega obsega in so bili le v majhno pomoč ob odločanju in sprejemanju zaščitnih ukrepov. Poleg tega je bilo kmalu po nesreči na razpolago le malo informacij. Odgovorne osebe so zaradi javnega dojemanja sevalne nevarnosti občutile precejšen politični pritisk.

V teh okoliščinah so se zdeli potrebni takojšnji previdnostni ukrepi. V mnogih primerih so bili uvedeni takšni, ki so bili pretirano na varni strani ter znanstveno in strokovno neutemeljeni.

Na ozemlju nekdanje Sovjetske zveze so bili kratkoročni ukrepi obsežni ter na splošno razumno pravočasni in učinkoviti. Vendar pa so se pojavile težave, ko so oblasti poskušale vzpostaviti merila za dolgoročno ravnanje na kontaminiranih območjih in s tem povezano preseljevanje velikih skupin prebivalstva. V letih po nesreči so bili predlagani različni načini obravnave in uporabljena različna merila. Končno so bila za preseljevanje prebivalstva s kontaminiranih področij sprejeta merila, v katerih so bile pomešane zahteve radiološke zaščite in vidiki ekonomskih odškodnin. To je bilo in še vedno je vir zmede in možnih zlorab.

Širjenje kontaminacije na velike razdalje od mesta nesreče je povzročilo znatno zaskrbljenost v mnogih državah zunaj nekdanje Sovjetske zveze. Reakcije državnih organov so bile v tem položaju izredno različne in so segale od enostavne poostitve normalnega nadzora okolja brez posebnih protiukrepov do obveznih omejitev prodaje in uporabe živil.

Ne glede na objektivne razlike v stopnjah kontaminacije in upravnih ter zdravstvenih sistemih med različnimi državami izvira eden od glavnih vzrokov za različno ravnanje v raznih državah iz različnih meril za izbiro in uporabo intervencijskih nivojev ob uvajanju zaščitnih ukrepov. Do teh neskladnosti je v nekaterih primerih prišlo zaradi napačne interpretacije in napačne uporabe mednarodnih smernic za varstvo pred sevanjem (še posebno pri kontaminaciji hrane), še povečala pa jih je prevladujoča vloga neradioloških dejavnikov (npr. socialno - ekonomskih, političnih in psiholoških) ob določanju protiukrepov.

Tak položaj je v javnosti povzročil zaskrbljenost in zmedo, osuplost med strokovnjaki in težave državnih organov, s problemi javne kredibilnosti vred, prav tako pa nepotreben trud in ekonomske izgube. Ti problemi so bili zaradi različnih reakcij organov in medijev v sosednjih državah posebno zaznavni v bližini mednarodnih mej. Vendar pa so bili vsi ti problemi kmalu prepoznani kot področje, iz katerega se je treba nekaj naučiti. Bilo je tudi precej mednarodnih prizadevanj za usklajevanje meril in načinov ukrepanja v sili.

## Ocene doz sevanja

Prebivalstvo severne zemeljske poloble je bilo različno izpostavljeno sevanju zaradi černobilske nesreče. Po več letih zbiranja dozimetričnih podatkov iz vseh dosegljivih virov in izračunov rekonstruiranih doz na podlagi kontaminacije okolja ter matematičnih modelov je sedaj mogoče razumno, čeprav ne zelo natančno oceniti obseg doz, ki so jih prejele različne skupine prebivalstva.

Najpomembnejše so doze na ščitnico zaradi zunanjšega obsevanja, vdihavanja in zaužitja radioaktivnih izotopov joda ter doze celega telesa zaradi zunanjšega obsevanja in zaužitja cezijevih izotopov. Trenutne ocene kažejo naslednji položaj različnih izpostavljenih skupin:

- *Evakuiranci*. Prvih nekaj tednov po nesreči je bilo evakuiranih več kot 100.000 ljudi, predvsem z območja 30 km okrog Černobila. Ti ljudje so prejeli znatne doze na celo telo in na ščitnico, čeprav je bila porazdelitev zelo odvisna od njihovega položaja ob nesreči in zakasnitve evakuacije.

Ugotovili so, da je to prebivalstvo pred evakuacijo prejelo na ščitnico doze, ki so segale od 70 milisievertov<sup>1</sup> (mSv) pri odraslih do približno 1000 mSv (tj. 1 sievert) pri majhnih otrocih, na vse telo pa individualno povprečno po 15 mSv. Mnogi od teh ljudi so bili še naprej, čeprav manj, izpostavljeni sevanju po evakuaciji s trideskilometrskega območja, odvisno od kraja naselitve.

- *"Likvidatorji"*. Stotisoči delavcev, ocenjeno do 800.000, med njimi veliko vojaškega osebja, so sodelovali pri nujnih ukrepih na lokaciji med nesrečo in v kasnejših postopkih čiščenja, ki so trajali več let. Te delavce so imenovali "likvidatorji".

Omejeno število, približno 400 ljudi, vključno z osebjem elektrarne, gasilci in osebjem za medicinsko pomoč, ki so bili na lokaciji med nesrečo in neposredno po njej, je prejelo zelo visoke doze iz različnih virov in po različnih poteh. Med njimi so vsi tisti, pri katerih je nastal akutni radiacijski sindrom in so potrebovali nujno zdravljenje. Doze teh ljudi so segale od več grayev<sup>2</sup> do krepko prek 10 grayev na vse telo zaradi zunanjšega obsevanja. Primerljive ali celo višje so bile notranje doze, zlasti na ščitnico, zaradi vnosa radioaktivnih izotopov v telo. Številni znanstveniki, ki so občasno opravljali razne tehnične dejavnosti znotraj območja porušenega reaktorja, so v več letih akumulirali primerljive doze.

---

<sup>1</sup> Sievert je enota za ekvivalentno dozo, glej stran 75 (op. prev.).

<sup>2</sup> Gray je enota za absorbirano dozo, glej stran 75 (op. prev.).

Večina likvidatorjev je različno dolgo sodelovala v postopkih čiščenja nekaj let po nesreči. Čeprav niso več delali v razmerah hitre sanacije po nesreči, temveč pod nadzorom ter pri veljavnih omejitvah doz, so dobili znatne doze, ki so segale od nekaj deset do nekaj sto milisievertov.

- *Prebivalstvo na kontaminiranih območjih nekdanje Sovjetske zveze.* Približno 270.000 ljudi še vedno živi na kontaminiranih območjih, kjer aktivnost usedlega cezija presega 555 kilobecquerelov na kvadratni meter (kBq/m<sup>2</sup>) in kjer so še vedno zahtevani zaščitni ukrepi. Doze na ščitnico so bile prejete prve tedne po nesreči predvsem zaradi zauživanja z radioaktivnim jodom kontaminiranega kravjega mleka. Kot kaže, so otroci v beloruski pokrajini Gomel prejeli najvišje doze na ščitnico, ki so segale od zanemarljivih stopenj do 40 sievertov, v povprečju okrog 1 sieverta za otroke do 7 let. Zaradi nadzora živil je večina izpostavljenosti sevanju na teh območjih od poletja 1986 nastala kot posledica zunanjega obsevanja z radioaktivnim cezijem, ki se je usedel na tla. Doze na vse telo v letih od 1986 do 1989 so ocenjene na 5 do 250 mSv, povprečno pa na 40 mSv.
- *Prebivalstvo zunaj nekdanje Sovjetske zveze.* Med nesrečo sproščeni hlapljivi radioaktivni materiali (kot sta jod in cezij) so se razširili po vsej severni zemeljski polobli. Doze, ki jih je prejelo prebivalstvo zunaj nekdanje Sovjetske zveze, so razmeroma nizke in zelo različne od države do države, odvisno od padavin med prehodom radioaktivnega oblaka. Segajo od spodnje najnižje vrednosti nekaj mikrosievertov (μSv) do nekaj deset mikrosievertov zunaj Evrope in do zgornje najvišje vrednosti 1 ali 2 milisieverta (mSv) v nekaterih evroskih državah. Slednja vrednost je približno enaka letni dozi sevanja zaradi naravnega ozadja.

## **Zdravstveni vplivi**

Zdravstvene vplive černobilske nesreče lahko razdelimo na akutne zdravstvene učinke (smrt, huda zdravstvena okvara), zakasnele zdravstvene učinke (rak) in psihološke učinke, ki utegnejo vplivati na zdravje.

Akutne zdravstvene učinke so utrpeli osebje elektrarne in ljudje, ki so posredovali v fazi nujnih ukrepov (gašenje požara, nujna medicinska pomoč, takojšnje čiščenje). Za posledicami nesreče je umrlo skupno 31 ljudi, približno 140 ljudi pa je imelo različne stopnje radiacijske bolezni. Nihče od preostalega prebivalstva ni imel takih posledic.

Med zakasnele zdravstvene učinke štejemo povečanje pogostosti raka. V desetletju po nesreči se je resnično in opazno povečalo število rakov na ščitnici med otroki, ki živijo na kontaminiranih območjih nekdanje Sovjetske zveze. Dokler ni dokazano drugače, jih moramo pripisati nesreči. Možno je tudi povečano število rakov na ščitnici med odraslimi, ki živijo na teh območjih. Glede na opaženo povečevanje števila rakov na ščitnici je mogoče pričakovati, da vrh še ni bil dosežen in da bo število primerov te vrste raka še nekaj časa višje od naravno pričakovanega na tem območju.

Po drugi strani pa znanstvena in medicinska opazovanja prebivalstva niso odkrila nobenega povečanja pogostosti drugih vrst raka kakor tudi ne levkemije, prirojenih anomalij, prekinitev nosečnosti ali kakršne koli druge sevalno pogojene bolezni, ki bi jo bilo mogoče pripisati černobilski nesreči. To opažanje velja za celotno prebivalstvo znotraj in zunaj nekdanje Sovjetske zveze. Da bi pridobili dodaten vpogled v možne zdravstvene učinke v prihodnosti, se izvajajo obširni znanstveni in epidemiološki raziskovalni programi, od katerih jih je nekaj pod pokroviteljstvom Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) in Evropske komisije (EC). Vendar pa splošno sprejete ocene doz prebivalstva nakazujejo, da izpostavljenost sevanju najbrž ne bo pokazala ugotovljivih sevalnih učinkov (z izjemo obolenj ščitnice) nad naravno pogostostjo istih bolezni. Kar zadeva likvidatorje, je treba to napoved jemati s previdnostjo.

Pomemben učinek nesreče, ki vpliva na zdravje, je široko razširjen pojav psihološkega stresa med prizadetim prebivalstvom. Resnost tega pojava, ki je opazen predvsem na kontaminiranih območjih nekdanje Sovjetske zveze, najbrž kaže na strah javnosti pred neznanimi vplivi sevanja kakor tudi na nezaupanje do državnih organov in uradnih strokovnjakov. Poslabšuje ga tudi razkroj družbenega tkiva in tradicionalnega načina življenja, ki so ga sprožili nesreča in njene dolgoročne posledice.

## **Vplivi na poljedelstvo in okolje**

Vpliv nesreče na poljedelske navade, pridelovanje in uporabo hrane ter drugi vidiki, povezani z okoljem, so bili in so še vedno mnogo večji od neposrednega zdravstvenega vpliva na ljudi.

Preizkusili so več tehnik obdelave in dekontaminacije prsti, s katerimi naj bi zmanjšali nabiranje radioaktivnosti v poljedelskih proizvodih, kravjem mleku in mesu. V nekaterih primerih so bili rezultati pozitivni. Vendar pa so v nekdanji Sovjetski zvezi še vedno velika poljedelska območja izločena iz uporabe in bodo najbrž ostala izločena še dolgo. Na mnogo širšem območju, na katerem sicer potekajo poljedelske in mlekarske dejavnosti, pa je proizvedena hrana pod strogim nadzorom in zanjo veljajo omejitve ob prodaji ter uporabi.

Podobne probleme pri nadzoru in omejevanju uporabe, čeprav mnogo milejše, so imele nekatere evropske države zunaj nekdanje Sovjetske zveze, v katerih so za poljedelsko in živinorejsko proizvodnjo po nesreči veljale različno dolgo trajajoče omejitve. Večina jih je bila ukinjena pred več leti. Vendar so v Evropi še območja, kjer veljajo omejitve za klanje in prodajo živali. S tem je povezanih npr. nekaj sto tisoč ovac v Združenem kraljestvu in veliko število ovac in severnih jelenov v nekaterih nordijskih državah.

Gozd je tisto okolje, kjer so se in se še vedno pojavljajo posebni problemi. Usedanje radioaktivnosti je bilo v gozdu pogosto večje kakor na drugih območjih, ker je za drevesa značilno močno filtriranje. Skrajni primer je bil tako imenovani "rdeči gozd" blizu lokacije. Sevanje je bilo tam tako močno, da je ubilo drevesa, ki jih je bilo nato treba uničiti kot radioaktivni odpadki. Na splošno pa so gozdovi kot vir lesa, divjačine, jagod in gob ter kot

prostor za rekreacijo in delo na nekaterih območjih še vedno v zaskrbljujočem stanju in bodo najbrž še dolgo radiološki problem.

Kontaminirane reke, jezera in zbiralniki so lahko zaradi rekreacije, pitja in ribarjenja pomemben vir obsevanja človeka. Ob černobilski nesreči ta del okolja ni bistveno prispeval k celotni obsevanosti prebivalstva. Ocenili so, da prispevek rek, jezer in podtalnice ni presegal enega do dveh odstotkov celotne doze ob nesreči. Kontaminacija vodnih sistemov v zadnjem desetletju ni pomenila problema za zdravje prebivalstva. Vendar pa bo potreben še dolgotrajen skrben nadzor zaradi velikih količin radioaktivnih snovi v razvodju kontaminiranih pokrajin okrog Černobila, da izpiranje iz razvodja ne bi kontaminiralo zalog pitne vode.

Zaskrbljenost glede stopnje radioaktivnega onesnaženja v pitni vodi nikoli ni bila upravičena zunaj nekdanje Sovjetske zveze. Vendar pa obstajajo jezera, zlasti v Švici in v nordijskih državah, kjer so bile potrebne omejitve pri uživanju rib. Te še veljajo, npr. na Švedskem, kjer je radioaktivnost rib v tisočih jezer še vedno višja od uradno določenih omejitev za prodajo na trgu.

## **Preostala možna tveganja**

V sedmih mesecih po nesreči so porušeni reaktor obdali z masivno betonsko zgradbo, znano kot "sarkofag", ki naj bi poskrbela za zadrževanje poškodovanega goriva in uničene opreme ter naj bi zmanjšala verjetnost nadaljnjega sproščanja radioaktivnih snovi v okolje. Vendar pa ta zgradba ni bila zasnovana za trajno zadrževanje, temveč kot začasna pregrada do dokončne rešitve za odstranitev porušenega reaktorja in varno odložitev visoko radioaktivnih materialov.

Čeprav je na splošno trdna, zgradba sarkofaga devet let po postavitvi zbuja skrb glede svoje dolgoročne odpornosti in pomeni stalno skrito nevarnost. Streha zgradbe je imela dolgo časa številne razpoke, ki so povzročale netesnost in vdiranje velikih količin deževnice, ki je sedaj visoko radioaktivna. To ustvarja tudi visoko vlažnost in povzroča korozijo kovinskih struktur, ki podpirajo sarkofag. Povrhu so nestabilne nekatere masivne betonske strukture, ki jih je poškodovala ali premaknila eksplozija reaktorja, tako da bi njihova odpoved zaradi nadaljnje degradacije ali zunanjih dogodkov lahko sprožila zrušitev strehe in dela zgradbe.

Različne analize predvidevajo več potencialnih scenarijev za nesrečo. Med njimi so kritičnost zaradi spremembe konfiguracije staljenih gnot jedrskega goriva v navzočnosti meteorne vode, dvig radioaktivnega prahu zaradi zrušitve zgradbe in dolgoročna migracija radioaktivnih izotopov iz zgradbe v talno vodo. Prva dva scenarija nesreče bi imela za posledico sproščanje radioaktivnih izotopov v atmosfero in novo kontaminacijo okoliškega območja v razdalji več deset kilometrov. Vendar ni mogoče pričakovati, da bi take nesreče lahko imele resne radiološke posledice na večjih razdaljah.



Pričakovati je mogoče, da bosta izpiranje radioaktivnih izotopov iz gmote goriva z vodo v zgradbo in njihova migracija v talno vodo zelo počasna. Sodijo, da bi trajalo od 45 do 90 let, preden bi nekateri izotopi (npr. stroncij-90) pod zemljo proniknili do povodja reke Pripjat. Radiološki pomen tega pojava ni zanesljivo znan, tako da bo potrebno dolgotrajno skrbno spremljanje razvoja stanja v talni vodi.

Odpravljanje posledic nesreče in postopki čiščenja so pustili velike količine radioaktivnih odpadkov in kontaminirane opreme, ki je sedaj shranjena na približno 800 krajih znotraj in zunaj tridesetkilometrskega izključitvenega območja okrog reaktorja. Odpadki in oprema so deloma zakopani v jarkih in deloma zaprti v vsebnikih, ki so ločeni od talne vode z glino ali betonom. Veliko kontaminirane opreme, strojev in vozil je shranjenih tudi na prostem.

Vsi ti odpadki so potencialni vir kontaminacije talne vode, kar bo zahtevalo skrben nadzor do varne odložitve v primerno odlagališče.

Na splošno je mogoče skleniti, da sarkofag in širjenje skladišč odpadkov na območju okrog elektrarne pomenita vrsto potencialnih izvorov sproščanja radioaktivnosti, ki ogroža okolico. Vendar pa so pričakovana sproščanja zelo majhna v primerjavi s tistimi ob černobilski nesreči leta 1986, njihove posledice pa bi bile omejene na razmeroma majhno območje okrog lokacije. Po drugi strani pa so nekateri strokovnjaki izrazili zaskrbljenost, da bi prišlo do mnogo večjega sproščanja, če bi zrušitev sarkofaga poškodovala še obratujočo tretjo enoto černobilske elektrarne.

Sprejete so bile mednarodne pobude za študij tehničnih rešitev (te potekajo sedaj), ki bi odstranile preostala možna tveganja.

## **Nauki černobilske nesreče**

Černobilska nesreča je bila po svoji naravi zelo svojevrstna, zato je ne bi smeli gledati kot referenčni primer za načrtovanje ukrepov v sili v prihodnosti. Vendar pa je bilo iz reakcij državnih organov v raznih državah mogoče jasno videti, da niso bile pripravljene ukrepati ob nesreči takih razsežnosti in da so v skoraj vseh državah obstajale tehnične in/ali organizacijske pomanjkljivosti načrtovanja in ukrepanja v sili.

Nauki černobilske nesreče so bili zato številni in so obsegali vsa področja, med njimi varnost reaktorjev in obvladovanje težke nesreče, intervencijske nivoje, postopke v sili, komunikacije, zdravljenje obsevanih oseb, metode nadzora, radio-ekološke procese, ukrepe v kmetijstvu, obveščanje javnosti ipd.

Vendar pa je bil verjetno najpomembnejši nauk spoznanje, da ima težka jedrska nesreča neizogiben vpliv prek državnih mej in da lahko njene posledice neposredno ali posredno prizadenejo mnoge dežele, daleč od kraja nesreče. To spoznanje je vodilo do izrednega truda za razširitev in okrepitev mednarodnega sodelovanja na področjih, kot so komunikacije, usklajevanje meril vodenja v sili in koordinacija zaščitnih ukrepov. V tem

desetletju so bile dosežene številne izboljšave in postavljeni pomembni mednarodni mehanizmi sodelovanja in obveščanja, na primer mednarodni konvenciji o zgodnjem obveščanju in pomoči ob radiološki nesreči (Mednarodna agencija za atomsko energijo in Evropska komisija), program mednarodnih vaj za ukrepanje v sili - INEX (Agencija za jedrsko energijo), mednarodna lestvica jedrskih dogodkov - INES (Mednarodna agencija za atomsko energijo in Agencija za jedrsko energijo) ter mednarodni sporazum o kontaminaciji hrane (Organizacija za kmetijstvo in prehrano ter Svetovna zdravstvena organizacija).

Na nacionalni ravni je černobilska nesreča stimulirala oblasti in strokovnjake k radikalnemu preverjanju znanja iz varstva pred sevanjem in problemov ukrepov v sili. To je spodbudilo mnoge države k vzpostavljanju državnih načrtov za krizne razmere kot nadgradnjo obstoječe strukture lokalnih načrtov za posamezne jedrske objekte. Poleg dajanja novih impulzov raziskavam jedrske varnosti (zlasti glede obvladovanja težkih nesreč) je na znanstvenem in tehničnem področju ta nova miselnost vodila k obnovljenim prizadevanjem za širjenje znanja o škodljivih učinkih sevanja in zdravljenju njihovih vplivov ter za revitalizacijo radioekoloških raziskav in programov nadzora okolja.

Bistvene izboljšave so bile dosežene tudi pri določanju meril in metod za obveščanje javnosti - vidiku, katerega pomembnost je bila posebno jasna med nezgodo in neposredno po njej.

## **Sklep**

Zgodovino sodobnega industrijskega sveta so ob mnogih priložnostih prizadele katastrofe, ki so bile primerljive ali celo hujše od černobilske nesreče. Kljub temu pa je imela ta nesreča ne le zaradi svoje resnosti, temveč posebno zaradi ionizirajočega sevanja pomemben vpliv na človeško družbo. Povzročila je hude zdravstvene posledice ter kratkoročno fizično, industrijsko in ekonomsko škodo, poleg tega pa so pričakovani tudi dolgoročne socialno ekonomske motnje, psihološki stres in poslabšan položaj jedrske tehnologije.

Vendar pa je mednarodna skupnost dokazala izredno sposobnost za razumevanje in pravilno oceno naukov te nesreče, tako da bo boljše pripravljena za izziv te vrste, če bi se kdaj ponovila težka jedrska nesreča.



# **Dejstva o nesreči v jedrski elektrarni Černobil**

Pripravil Britanski svet za jedrsko industrijo -  
British Nuclear Industry Forum (BNIF)

Avgust 1995

BRITISH NUCLEAR INDUSTRY FORUM

Britanski svet za jedrsko industrijo (British Nuclear Industry Forum) je združenje tako rekoč vseh industrijskih subjektov Velike Britanije, ki so kakor koli povezani z jedrskim gorivnim krogom. Prek BNIF uresničujejo naloge, ki so v skupnem interesu vseh članic.

## **Povzetek strokovne ocene razmer**

Černobilska nesreča se je zgodila v jedrski elektrarni tipa RBMK. Projekt podobne jedrske elektrarne ne bi mogel biti odobren na Zahodu. Poleg tega je bila elektrarna upravljana na način, ki je v nasprotju s temeljnimi načeli varnostne kulture v državi, kot je Velika Britanija. Nesreča je povzročila precejšnjo škodo okolju in prebivalcem tistega območja.

Z več tehničnimi izboljšavami reaktorjev tipa RBMK in z usposabljanjem operaterjev je bila po černobilski nesreči verjetnost nesreč v takih jedrskih elektrarnah zmanjšana. Vendar pa ostaja odprto vprašanje zaprtja obeh še obratujočih černobilskih reaktorjev.

Prednostna naloga zahodnih držav je preprečiti, da bi se ponovila takšna jedrska nesreča; po drugi strani pa želi Ukrajina proizvesti čim več električne energije za svoje ubožno in energetske osiromašeno gospodarstvo.

Zahodna jedrska stroka močno priporoča investicijskim virom, kot sta Skupina G7 in Evropska skupnost, da zagotovijo sredstva za vlaganje v varnost obstoječih in gradnjo nadomestnih energetske virov.

Najboljša rešitev bi bila vključitev mednarodnih skladov v financiranje alternativnih kapacitet za proizvodnjo električne energije bodisi z gradnjo varnejših jedrskih elektrarn bodisi s preходом na nadomestne elektrarne drugega tipa (npr. plinska turbina). Posebno pomembno bi bilo izpopolniti varnostne sisteme v černobilskih in drugih petnajstih jedrskih reaktorjih tipa RBMK v nekdanji Sovjetski zvezi. Nesprejemljivo pa bi bilo ne narediti ničesar ali pa zahtevati takojšnje zaprtje černobilske elektrarne brez zagotovitve nadomestnih kapacitet za proizvodnjo električne energije (in s tem obsoditi več tisoč prebivalcev Ukrajine na smrt zaradi mraza ipd.).

Kot prednostno temo je treba obravnavati omejitve pravne odgovornosti tretjega udeleženca ob morebitnih nesrečah v tistih vzhodnoevropskih jedrskih elektrarnah, v katerih so zahodne družbe opravile izboljšave. Ker Rusija in Ukrajina nista podpisali Dunajske konvencije, grozi, da bodo morala zahodna podjetja sama odgovarjati za škodo morebitnih nesreč v tistih jedrskih elektrarnah, pri katerih so sodelovala pri izboljšavi varnostnih standardov. To dejstvo je upoštevanja vredno svarilo zahodnim družbam, ki se ukvarjajo s takimi projekti.

## Pregled

Nesreča, med katero je bila leta 1986 uničena četrta enota jedrske elektrarne v Černobilu, je bila nedvomno najtežja nesreča v zgodovini miroljubne rabe jedrske energije. Obenem je bila to edina jedrska nesreča, pri kateri je mogoče dokazati škodljive vplive na zdravje ljudi, ki so bili med nesrečo zunaj območja jedrske elektrarne.

Tip reaktorja v černobilski jedrski elektrarni, znan pod oznako RBMK, je posebnost jedrske tehnologije nekdanje Sovjetske zveze. Nekaj njegovih konstrukcijskih značilnosti je v nasprotju z zahodnimi varnostnimi standardi. Zato se podobna nesreča ne bi mogla zgoditi v nobenem od zahodnih jedrskih reaktorjev.

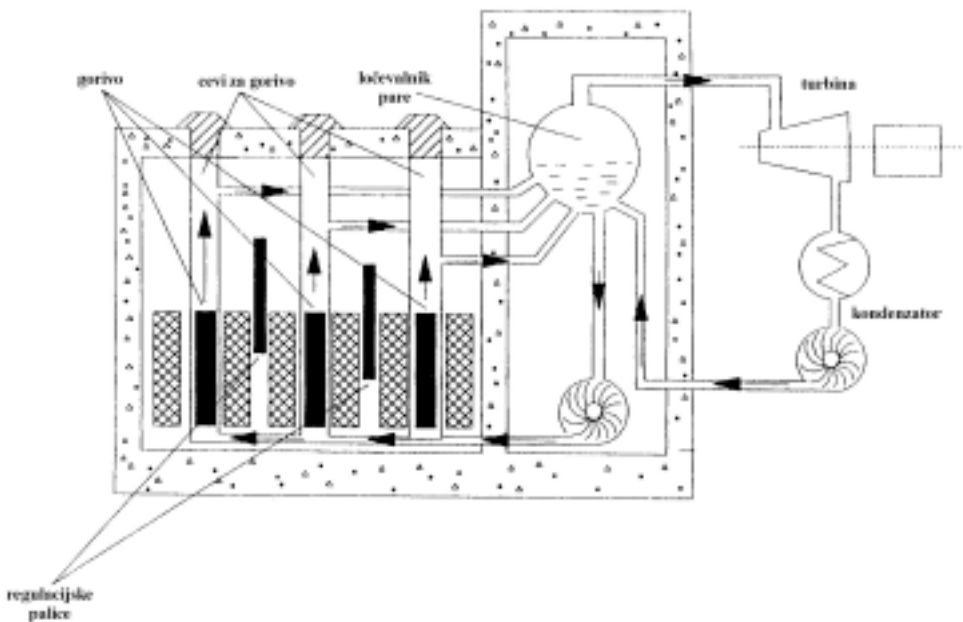
Med nesrečo so sproščene radioaktivne snovi onesnažile široko območje, visoko stopnjo kontaminacije je še vedno mogoče izmeriti v nekaterih delih Ukrajine, Rusije in Belorusije. Po uradnih podatkih je med nesrečo umrlo trideset ljudi, poročila o dolgoročnih zdravstvenih posledicah pa je pogosto težko ovrednotiti, ker so v njih poslabšane zdravstvene razmere na tem območju pogosto prikazane samo kot posledica černobilske nesreče (poslabšujejo pa se tudi zaradi razsula ukrajinskega gospodarstva). Medtem ko je naraščanje rakavih obolenj žleze ščitnice med otroki na najbolj prizadetih območjih skoraj gotovo povezano s černobilsko nesrečo, zaenkrat še ni mogoče zanesljivo dokazati tudi povečanja deleža obolenih za levkemijo. Omejitveni ukrepi so še vedno v veljavi tudi na nekaterih zahodnoevropskih območjih, npr. na nekaj ovčjih farmah v Veliki Britaniji.

Da bi zmanjšali možnosti za ponovitev take nesreče, so bile v vseh petnajstih še obratujočih reaktorjih tipa RBMK uvedene nekatere izboljšave. Ker je jedrska energija zelo pomemben delež energije, proizvedene v Ukrajini, Rusiji in Litvi, je o zapiranju černobilske jedrske elektrarne mogoče razmišljati le skupaj z načrtovanjem nadomestnih kapacitet. Primerni alternativni sta dokončanje precej varnejših reaktorjev tipa VVER, ki so že delno zgrajeni na treh lokacijah v Ukrajini, ali pa prehod na drugo gorivo, npr. plin, kar pa bi povečalo ukrajinsko odvisnost od uvoženih fosilnih goriv.

Napredek pri zagotavljanju zahodnih denarnih sredstev, namenjenih izboljšavam, je bil počasen - tako zaradi bistvenih razlik med vzhodnim in zahodnim načinom poslovanja kakor zaradi nerešenega problema omejitve pravne odgovornosti tretjega udeleženca, kar verjetno vpliva na odločitve zahodnih podjetij, ki vstopajo v take projekte v Rusiji in Ukrajini. Povezanost vzhodne in zahodne jedrske industrije pa se je kljub temu bistveno izboljšala, posebno še ob pomoči organizacije *Svetovno združenje jedrskih operaterjev* (WANO, World Association of Nuclear Operators) in z neposrednimi stiki med operaterji. Tako sodelovanje je pripomoglo k napredku pri vodenju in upravljanju jedrskih elektrarn. Sprejemanje odločitev o zapiranju ali popravilu obstoječih jedrskih elektrarn pa bo težavno, vse dokler ne bo razvita dolgoročna energetska strategija za to območje.

## Reaktor tipa RBMK

1. Na območju jedske elektrarne Černobil v Ukrajini so štiri enote (torej štirje reaktorji), vsaka od njih z električno močjo 1000 MW. Dve enoti sta bili med nesrečo še v gradnji in nista bili nikoli dokončani.
2. Vsi štirje obratujoči reaktorji so bili tipa RBMK. Reaktorja v prvi in tretji enoti še obratujeta. Druga enota je bila ustavljena po požaru, ki je v letu 1991 močno poškodoval turbinsko zgradbo in nekatere varnostne sisteme. Občasno prodrejo v javnost informacije o namerah za ponovno usposobitev druge enote. Nesreča, ki se je zgodila 26. aprila 1986, je uničila reaktor v četrti enoti.
3. Komerčni reaktorji tipa RBMK so bili zgrajeni samo na petih lokacijah v nekdanji Sovjetski zvezi: Leningrad, Kursk in Smolensk (Rusija), Ignalina (Litva) in Černobil (Ukrajina). Štirinajst jih še obratuje. Poleg teh so ob mestu Bilibino v Sibiriji še štirje jedski reaktorji, podobni reaktorju RBMK, ki poleg proizvodnje električne energije tudi ogrevajo okoliška naselja. Podobni reaktorji v mestih Krasnojarsk in Tomsk so namenjeni proizvodnji jedskega orožja.



Poenostavljena skica reaktorja tipa RBMK



4. Za projekt reaktorja RBMK je značilna kombinacija vodnega hlajenja uranovega goriva z grafitno moderacijo cepitvenih nevtronov. Pri določenih pogojih (npr. med obratovanjem z majhno močjo) se lahko ob zavretju vode zelo zmanjša absorpcija nevtronov v hladilu, v grafitnem moderatorju pa se še vedno upočasni dovolj nevtronov za vzdrževanje verižne reakcije. Ta pojav je označen kot *pozitivni koeficient reaktivnosti praznin*: s pojavom praznin (pare) v ceveh reaktorja njegova moč naraste. Takšno zasnovo reaktorja je britanska vlada zaradi varnostnih razlogov zavrnila leta 1947 (1). Reaktor tipa RBMK je bil leta 1958 v Nemčiji označen za *inherentno nevarnega*, v Veliki Britaniji pa zavrjen leta 1976 (2).
5. Nesreča v četrti enoti černobilske jedrske elektrarne se je razvila iz varnostnega poskusa, ki je bil izveden med obratovanjem enote na zelo nizki moči (6 % nazivne moči). Zaradi posegov operaterjev med vzpostavljanjem normalnih razmer je prišlo do hitrega uparjanja vode v reaktorju in z njim povezanega povečanja števila prostih nevtronov, ki cepijo uranove atome v gorivu. Ob tem nenadzorovanem porastu moči so popustili gorivni kanali in vroče gorivo je prišlo v stik z vodo. V sekundi ali dveh je sledila močna parna eksplozija, ki je uničila jedrski reaktor.
6. Eksplozija ni bila podobna eksplozijam jedrskega orožja. Med nesrečo reaktorja v četrti enoti je bližnja tretja enota (med seboj sta le delno ločeni) obratovala naprej, kar ni primerljivo z opustošenjem, ki sta ga npr. povzročili atomski bombi nad Hirošimo in Nagasakijem. Vendar pa je prišlo do velikega izpusta radioaktivnih snovi v okolje.
7. Pojem *koeficient praznin*, ki je tesno povezan z zasnovo jedrskega reaktorja tipa RBMK in je povzročil nesrečo v černobilskem reaktorju, nima nič opraviti z britanskimi reaktorji tipa Magnox in AGR (Advanced Gas-Cooled Reactors). To so reaktorji, hlajeni s plinom, v katerih ni kapljevitega hladila, ki bi lahko zavrelo in se uparilo. V tlačnovodnih reaktorjih zahodnega tipa (PWR), kot je Sizewell-B (v Veliki Britaniji ali NE Krško v Sloveniji, op. prev.), voda deluje hkrati kot absorber nevtronov in moderator. Če bi torej iz reaktorja popolnoma odteklo hladilo, bi zmanjkalo tudi moderatorja in verižna reakcija bi se ustavila. V vrelnih jedrskih reaktorjih (BWR), ki jih v Veliki Britaniji ne uporabljajo, porastu moči reaktorja sledita intenzivnejše vretje hladila in več parnih praznin v reaktorju. S tem je poslabšana moderacija prostih nevtronov, ki ji sledi tudi manj jedrskih cepitev in zmanjšanje moči reaktorja. Ta pojav označujemo s pojmom negativni koeficient reaktivnosti praznin - v nasprotju s pozitivnim koeficientom praznin v jedrskih reaktorjih tipa RBMK.

## Dodatek - nekaj osnov iz reaktorske fizike

V termičnem jedrskem reaktorju je gorivo ponavadi uranov oksid, redkeje kovinski uran. Gorivo je sestavljeno iz dveh vrst urana - iz dveh njegovih izotopov: cepljivega urana-235, ki ga je v gorivu le od 0,7 do 3,0 %, in preostanka v obliki izotopa urana-238.

Cepitev poteka tako, da jedro urana-235 absorbira prosti nevtron (nevtroni so poleg protonov in elektronov temeljni gradniki atomov). Nato se jedro urana ponavadi razcepi na manjši jedri, pri čemer se sprostito veliko energije in dva ali trije novi prosti nevtroni. V jedrskem reaktorju želimo absorbirati vse odvečne proste nevtrone, na vsako cepitev želimo ohraniti le po enega od sproščenih nevtronov, ki bo lahko naprej razcepil eno uranovo jedro. Tako je mogoče vzdrževati verižno jedrsko reakcijo v ravnovesju.

Nevtroni se v jedrskem reaktorju absorbirajo različno. Nekateri enostavno pobegnejo iz reaktorja in se absorbirajo v betonskem biološkem ščitilu okoli reaktorja. Druge absorbirajo materiali reaktorja: uran-238, ki ni cepljiv, produkt cepitve ksenon, ki je v gorivu, in regulacijske palice, ki so narejene iz dobrih absorberjev nevtronov (npr. bora). V vodno hlajenih reaktorjih se nekaj nevtronov absorbira tudi v vodi. Ker je gostejša, je kapljevita voda boljši nevtronski absorber od vodne pare.

Če je v reaktorju preveč prostih nevtronov (če je nevtronski fluks prevelik), je mogoče, da se bo zaradi narave verižne reakcije, tj. sprostitve po dveh ali več novih nevtronov na vsako cepitev, število prostih nevtronov v reaktorju zelo hitro povečevalo. Če se število nevtronov v reaktorski sredici povečuje prehitro, je doseženo stanje t. i. promptne kritičnosti. Število prostih nevtronov potem narašča še hitreje. S takšnim stopnjevanjem verižne reakcije bi naraščala tudi moč reaktorja, sproščena toplotna energija bi postala prevelika. Zaradi toplotnih in mehanskih preobremenitev bi se poškodovale konstrukcije, ki preprečujejo neposredni stik goriva in hladila, in radioaktivni delci bi iz goriva pobegnili v hladilo.

Za jedrsko cepitev pa mora biti izpolnjen še en pogoj. 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. Prva je težka voda, ki nas tokrat ne zanima, saj je ne uporabljajo niti v lahkovodnih jedrskih reaktorjih, kot so reaktorji tipov RBMK in PWR, niti v plinskih reaktorjih, uporabljenih v Veliki Britaniji. Drugi snovi sta grafit in navadna (lahka) voda.

V tlačnovodnem jedrskem reaktorju (PWR) je sredica z jedrskim gorivom v tlačni posodi, kjer je hlajena z vodo pod visokim tlakom. Voda, ki izstopa iz reaktorja, je precej toplejša od 100 °C, kar je temperatura 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. Konstrukcija vrelnega reaktorja (BWR), ki se ne uporablja v Veliki Britaniji (niti v Sloveniji, op. prev.), je pa precej razširjen v svetu, je

podobna, le da v njem voda zavre in se uparja že v sredici. V obeh primerih voda nastopa kot hladilo, ki odvaja toploto iz reaktorske sredice, in kot moderator, ki upočasnjuje nevtrone, da v sredici lahko teče verižna reakcija. V obeh primerih voda nekaj nevtronov tudi absorbira.

Predpostavimo, da bi vsa voda iztekla iz reaktorskega hladilnega sistema ali se uparila. V reaktorju bi se 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.

V plinsko hlajenih reaktorjih, kot sta britanski Magnox in AGR (Advanced Gas-Cooled Reactor), je moderator grafit. Grafit je trdna snov z visokim tališčem in torej ne more izteči. Hladilo v teh reaktorjih je plin ogljikov dioksid. Ta v jedrskem reaktorju ne more doživeti fazne spremembe, ves čas je plin, ne more zavreti ali se upariti. Ne absorbira veliko nevtronov in tudi če se tlak v hladilnem sistemu zniža, to ne more povzročiti nenadnega in hitrega porasta števila prostih nevtronov.

Reaktor tipa RBMK pa je kombinacija obeh zgornjih sistemov. Gorivo je nameščeno 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 tako naraslo. 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 ali vrelnem reaktorju, zaradi presežka prostih nevtronov bi njena intenzivnost celo zelo hitro naraščala.

Ob normalnih močeh takšna lastnost 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 moč naraste, reaktor nasprotuje tej spremembi moči in se vrača v stabilno obratovanje pri določeni moči.

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

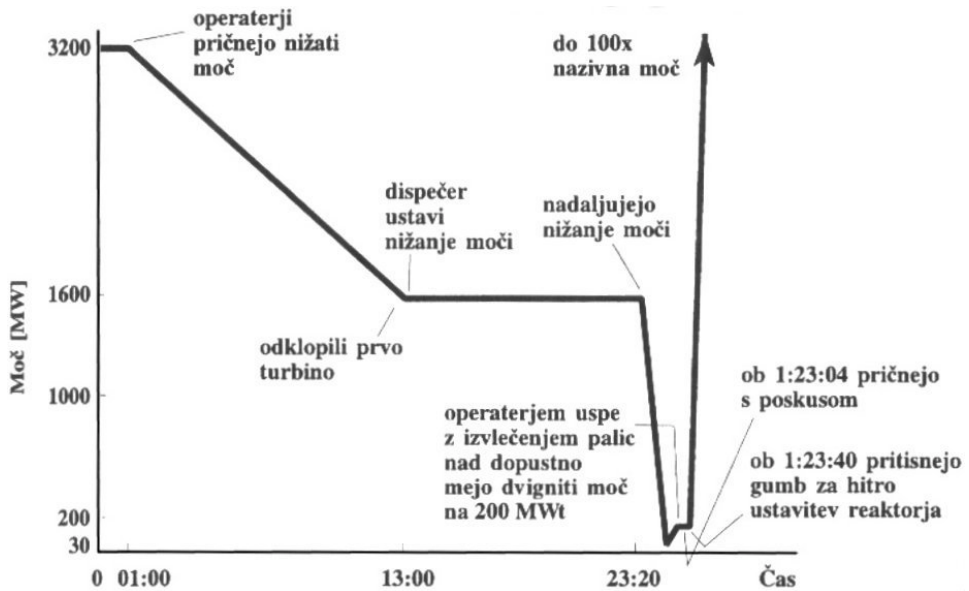
Povzemimo: morebitno zmanjšanje količine vode (kapljevine) v sredici reaktorja tipa RBMK se kaže v dveh nasprotujočih si posledicah: zmanjšanju absorpcije nevtronov v vodi in povečanju absorpcije nevtronov v uranu-238. Od temperature goriva je odvisno, katera od obeh posledic bo prevladala. Pri normalnih 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 pod 20 % svoje nazivne moči.

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

V četrti enoti černobilske elektrarne je reaktor pred nesrečo obratoval na zelo majhni moči (6 % nazivne moči) z izvlečenimi skoraj vsemi regulacijskimi palicami. Tako so bile ustvarjene razmere, pri katerih se je lahko začelo nekontrolirano povečevanje nevtronskega fluksa. Z njim se je sprostilo dovolj toplote, da so popustile cevi s hladilom in je vroče gorivo prišlo v stik z vodno paro. Pri tako visokih temperaturah je vodna para razpadla na vodik in kisik. Kisik je reagiral z grafitom, vodik pa z zrakom, ki je dotekal v sredico. Ta močna kemična eksplozija je odpihnila pokrov reaktorja.

## Človeški dejavniki, povezani s černobilsko nesrečo

1. Razprave, ki skušajo pripisati vzroke za černobilsko nesrečo samo slabi zasnovi elektrarne ali samo človeški napaki, so večinoma brezplodne. Poudariti je treba, da se je nesreča zgodila, ne da bi predhodno odpovedala katera od komponent. Po zasnovi je bila varnost elektrarne odvisna od operaterjev, ki naj bi sledili določenim varnostnim navodilom. Nasprotno pa je pri zahodnem pristopu vedno predpostavljeno, da operater lahko dela tudi velike napake. Prvo načelo zahodnih projektov jedrskih elektrarn je, da naj reaktor "odpušča" tudi večje operaterjeve napake. Operater samo s svojimi posegi torej ne more povzročiti nesreče z večjim izpustom radioaktivnih snovi v okolje.
2. Sistem obratovanja in upravnega nadzora jedrske elektrane v Černobilu je bil zelo neprimeren. S tem je bila omogočena človeška napaka, ki je povzročila nesrečo.
3. Kot v posmeh se je nesreča zgodila med "varnostnim poskusom" turbogeneratorja, to je dela elektrarne, ki pretvarja 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 prekinitvi dotoka pare še nekaj časa proizvajal dovolj električne energije za pogon nekaterih varnostnih sistemov. Takšen poskus so nameravali prvotno izvesti v elektrarni v Kursku. Direktor te elektrarne je kot izkušen jedrski inženir poskus zaradi prevelikega tveganja zavrnil, ni pa vedel, da ga nameravajo izvesti drugje. Direktor jedrske elektrarne v Černobilu pa kot elektroinženir ni imel izkušenj, povezanih z jedrsko varnostjo, ki bi bile potrebne za oceno posledic načrtovanega poskusa.
4. S stališča omenjenega elektroinženirja je bil poskus povezan samo z nejedrskim, električnim delom elektrarne. Prvotno so ga nameravali izvesti pri ugasnjenem reaktorju samo z zakasnelo toploto iz razpada cepitvenih produktov. Ker pa so si želeli zagotoviti tudi možnost za ponovitev morda prvič neuspelega poskusa, so se operaterji odločili izvesti poskus med obratovanjem elektrarne na majhni moči. Sovjetske oblasti so zatrdile, da je bilo takšno obratovanje strogo prepovedano z obratovalnimi navodili in da so operaterji 25. aprila ob 14 uri celo izključili sisteme za zasilno hlajenje, ki bi sicer samodejno ugasnili reaktor, še preden bi bilo mogoče izvesti načrtovani poskus.
5. Poročajo, da se direktor jedrske elektrarne ni zavedal vseh morebitnih posledic poskusa. Poleg tega so bili vsi člani državne inšpekcijske službe Gosatomenergo nadzor tega dne na medicinskem pregledu v lokalni bolnišnici; v elektrarni torej ni bilo nikogar, ki bi preprečil kršitev obratovalnih navodil.



Časovni potek nesreče

6. 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. Z dispečerskega centra v Kijevu pa so zahtevali, da elektrarna še obratuje zaradi velikega pomanjkanja električne energije, ker je druga elektrarna nepričakovano zamujala s ponovno vključitvijo v omrežje.
7. Izvedba poskusa je bila zato premaknjena na 26. april ob enih ponoči, opravila pa naj bi ga nočna izmena, medtem ko poklicni jedrski inženirji in fiziki ne bi bili navzoči.
8. Nevarni obratovalni režim, v katerem je elektrarna obratovala dan pred nesrečo (25. aprila), se je še poslabšal ob zmanjšanju moči reaktorja zaradi vpliva t. i. zastrupitve sredice s ksenonom. Operaterji so pri poskusu dviga 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.
9. Ob 1:23 ponoči so operaterji prekinili dotok pare v turbogenerator. Instrumenti so pokazali postopno povečevanje števila prostih nevtronov v reaktorju, kar bi lahko vodilo k nenadzorovanemu dvigu moči. Zato so ob 1:23:40 poskusili vsredico 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 le pospešilo eksplozijo: najprej se je močno

povečala moč reaktorja, zaradi katere so se razpočili gorivni kanali, potem pa je sledila močna parna in grafitna eksplozija, ki je uničila reaktor.

10. V Sovjetski zvezi niso imeli simulatorja za šolanje operaterjev na reaktorjih tipa RBMK.
11. Po nesreči so zaprli šest operaterjev in inšpektorjev. Med njimi je bil tudi nekdanji tehnični direktor elektrarne Anatolij Diatlov, ki je izjavil, da so bili kaznovani le kot grešni kozli za slabo konstrukcijo reaktorja in slaba obratovalna navodila.

### **Sovjetsko ukrepanje po nesreči (1) - v elektrarni**

1. Nesreča se je zgodila 26. aprila ob 1:23. Reaktor v četrti enoti je bil povsem uničen, izbruhnilo je več kot trideset lokalnih požarov.
2. Ob 1:28 je prispela prva gasilska brigada. Ob 2:10 je bil pogašen požar na strehi turbinske zgradbe, glavni požar v sredici pa je bil pogašen ob 6:35.
3. Kljub temu, da del operaterjev najprej ni verjel prvim informacijam o nesreči, so varno ustavili preostale tri reaktorje v elektrarni.
4. Neposredno po nesreči je bilo najbolj pomembno omejiti požar v reaktorju in ugotoviti, ali se v uničenem reaktorju še lahko sproži verižna reakcija jedrske cepitve. Začetni preračuni so pokazali, da je to malo verjetno, kar so potrdili tudi prihodnji dogodki.
5. Precejšnje količine visoko radioaktivnega goriva in grafita so bile raztresene okoli reaktorske zgradbe in po strehi reaktorske zgradbe sosednje tretje enote. Te ostanke je bilo treba počistiti, kar so opravili tako imenovani "likvidatorji". Stekli so na streho za dvajset sekund do ene minute, porinili po en radioaktivni kos v četrti reaktor ali na tla in se nato vrnili v zaklon.
6. Veliki izpusti radioaktivnih snovi iz razbitega reaktorja so se nadaljevali do 6. maja.
7. Izpusti radioaktivnih snovi so bili omejeni šele potem, ko so v reaktor zmetali približno 5000 ton bora (nevtronski absorber), dolomita, peska in ilovice (zato, da bi napolnili reaktorsko zgradbo in preprečili nadaljnje izpuste) in svinca (prevajanje toplote).
8. Iz reaktorja so v rezervoarje prečrpali približno 7000 m<sup>3</sup> močno kontaminirane vode, s katero so pogasili požar.
9. Med tretjim in četrtim reaktorjem so zgradili zaščitno, za sevanje neprepustno steno. Tretja enota je bila še uporabna.

10. Okrogel betonski pokrov reaktorja, ki tehta približno 2000 ton, leži pod kotom 15° proti navpičnici na ostankih cilindrične reaktorske posode.
11. Med julijem in novembrom 1986 je bil četrti reaktor "pokopan" v zgradbo, ki je postala znana z imenom "*sarkofag*". Vsebuje 6000 ton kovinskih konstrukcij in 3000 ton betona, projektirana pa je bila za 30 let. Vendar je bila zgrajena na slabih temeljih, med njimi tudi na betonu, ki je bil med gašenjem požara prepojen z vodo. V bližnji prihodnosti jo bo treba nadomestiti, čeprav ukrajinski inženirji menijo, da so strahovi o menda grozeči zrušitvi konstrukcije pretirani.
12. Preostale tri reaktorje v černobilski elektrarni so zaprli neposredno po nesreči. Reaktor prve enote so ponovno pognali oktobra 1986, reaktor druge enote novembra 1986 in reaktor tretje enote decembra 1988.
13. V mesecih po nesreči so z območja jedrske elektrarne odstranili velike količine kontaminirane zemlje (vrhnje plasti) in dekontaminirali zgradbe.

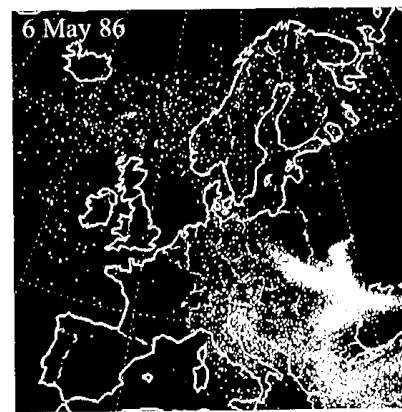
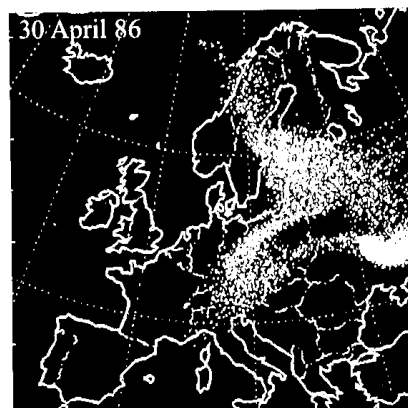
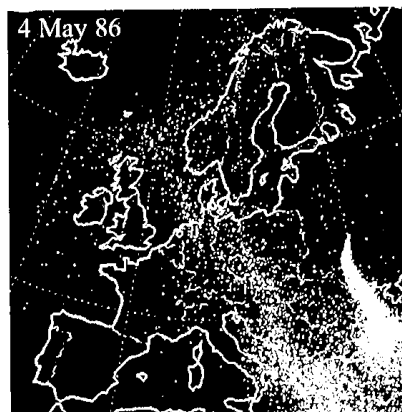
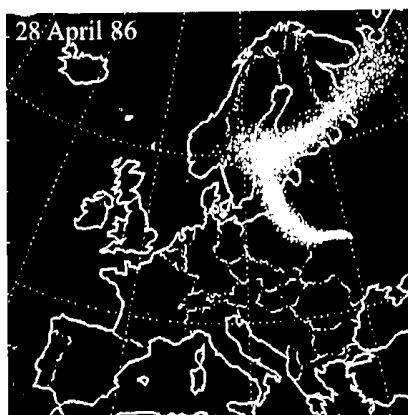
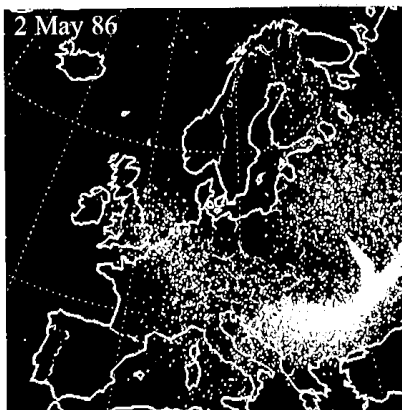
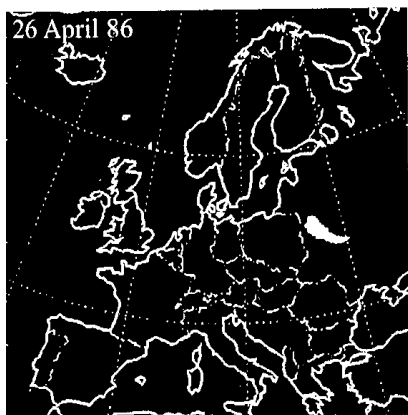
## **Sovjetsko ukrepanje po nesreči (2) - zunaj elektrarne**

1. V prvih urah po nesreči je bilo med delom upravnih organov precej dvoma o resnosti položaja, njihova reakcija je bila počasna.
2. Prva skrb je bila namenjena varnosti delavcev v elektrarni. Začetni ukrepi za obvladovanje nesreče so bili namenjeni predvsem elektrarni. Zaradi poznih nočnih ur je bilo v elektrarni le približno 200 delavcev in nekaj vzdrževalnih ekip. Celotno osebje jedrske elektrarne je štelo okoli 4000 delavcev.
3. Najprej je bila sprejeta prepoved razširjanja informacij o nesreči.
4. Neposredno po nesreči je veter pihal stran od mesta Pripjat (proti severo-zahodu). Ljudje so spali po domovih, zato so bile v tej fazi prejete doze veliko nižje, kakor če bi bili na prostem.
5. Veter je spremenil svojo smer 27. aprila zjutraj. Opoldne je bila zaradi izmerjenega naraščanja radioaktivnosti v mestu Pripjat (opoldne od 7 do 10 mSv na uro) sprejeta odločitev o evakuaciji 47.000 prebivalcev tega mesta.
6. Neorganizirano gibanje posameznikov ni bilo dovoljeno zaradi nevarnosti tako imenovanih vročih mest, ker je bilo radioaktivno onesnaženje okolice zelo neenakomerno.
7. Mesto so evakuirali v 24 urah, v njem je ostalo le najnujnejše vzdrževalno osebje. Manjše število prebivalcev (po poročilih okoli 20) se je skrilo 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.

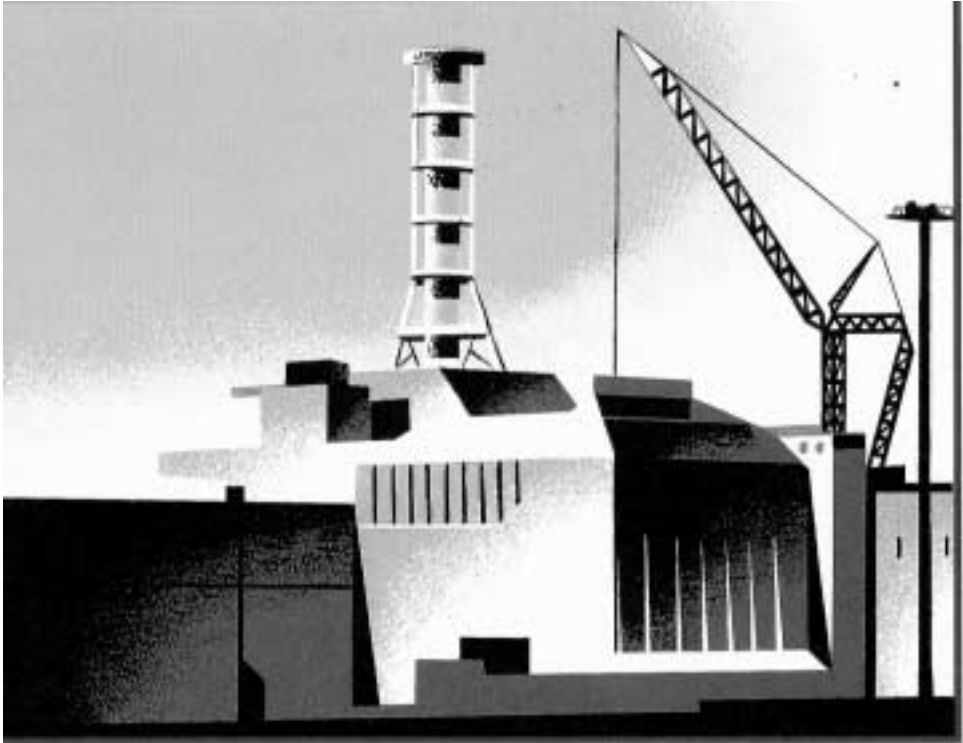
8. Iz poročil je razvidno, da v prvih štirih do petih dneh po nesreči niso razdeljevali jodovih tablet. V tem času bi bile žleze ščitnice izpostavljenih prebivalcev že nasičene z radioaktivnim jodom, ki se je sprostil med nesrečo. Celo kasneje ljudje v bližnji okolici niso bili poučeni o uporabi jodovih tablet. Domnevajo, da so iz tega izhajajoče opekline in prevelike doze lahko povezane s poznejšimi obolenji žleze ščitnice med prebivalstvom tega območja. Vendar taka poročila še niso potrjena in je povezava z rakom ščitnice še nejasna.
9. 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 tridesetih kilometrov. V naslednjem letu je to območje zapustilo še 25.000 prebivalcev.
10. Tridesetkilometrsko izključitveno območje je še v veljavi. Ljudem priporočajo, naj se ne vračajo v izključitveno območje, vendar jim morebitne prostovoljne vrnitve ne preprečujejo. Do konca leta 1988 se jih je vrnilo okoli 1000.
11. Leta 1990 so zaradi prejetih radiacijskih doz in težav pri oskrbi z neoporečno hrano izselili še 50.000 ljudi. Število evakuiranih v sosednji Belorusiji ni preseglo 25.000.
12. Junija 1986 so razglasili omejitve za uporabo nekaterih živil, posebno mleka in zelenjave, s čimer so nameravali zmanjšati radiacijske doze prebivalstva na kontaminiranih območjih zunaj izključitvenega območja. Vendar pa so te omejitve ob pomanjkanju merilne opreme in brez ustreznega nadzora zelo slabo upoštevali vse do zagotovitve primerne opreme v letu 1989. Odtlej se je nadzor izboljševal in danes je tudi v Belorusiji razvita učinkovita mreža za nadzor vplivov radiacijskega onesnaženja.
13. Petdeset kilometrov vzhodno od elektrarne so zgradili mesto Slavutič s finančno pomočjo osmih sovjetskih republik. V njem danes živi okoli 26.000 ljudi. Njihovo življenje je v celoti povezano s črnoobilsko elektrarno, ki danes proizvaja okoli 6 % ukrajinske električne energije. V njej vsak dan dela okoli 6000 ljudi. Doze, ki jih prejemajo ti delavci, so v skladu z mednarodno sprejetimi omejitvami, ki so bile določene v okviru Mednarodne komisije za radiološko zaščito (International Commission on Radiological Protection).
14. Na izključitvenem območju je bil zgrajen nadzorni sistem, iz katerega se podatki stekajo v jedrsko elektrarno.



Širjenje radioaktivnega oblaka v dneh po nesreči

## Sarkofag

1. Ostanki četrtega černobilskega reaktorja so obdani s posebno stavbo, znano pod imenom sarkofag. Njen namen je zadrževanje radioaktivnih snovi.



Sarkofag, stavba okoli uničenega reaktorja v Černobilu

2. Sarkofag je bil zgrajen med julijem in novembrom 1986 na razvalinah in (razmočenih) ostankih reaktorske zgradbe.
3. Čeprav je bil sarkofag projektiran za trideset let in je že preživel potres četrte stopnje po Richterjevi lestvici, se je že pojavilo približno 1500 m<sup>2</sup> razpok. Med programom obnove, ki je bil končan aprila 1993, je bilo več razpok zamašenih s steklenimi vlakni ali kovinskimi oblogami. Sarkofag bo treba nadomestiti.
4. Porušitev sarkofaga ne bi povzročila nesreče s posledicami, primerljivimi tistim 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.

5. Aprila 1994 so poročali o skrbah zahodnih inženirjev v zvezi z možnostjo porušitve zgradbe, imenovane "blok B", iz katere so tako tretji kakor četrti reaktor oskrbovali z hladilom. V tem primeru bi bil lahko uničen sarkofag ali pa bi zgradba bloka B lahko padla na še delujoči tretji reaktor. Čeprav takšna nesreča ne bi dosegla stopnje nesreče iz leta 1986, bi se lahko v bližnjo in daljno okolico sprostilo zelo veliko radioaktivnih snovi. Izpust bi bil lahko posledica nesreče z izgubo hladila tretjega reaktorja ali poškodbe njegovih mehanizmov za vstavljanje regulacijskih palic. Ukrajinski inženirji se nikakor niso strinjali z oceno, da se zgradba bloka B lahko zruši.
6. V letu 1993 je bil organiziran mednarodni natečaj za konstrukcijo zgradbe, ki bi nadomestila sarkofag. Razvitih je bilo več zamisli tega projekta. Doslej še nobena izmed njih ni bila izbrana, za študij izvedljivosti pa so v okviru programa TACIS namenili 3 milijone ekujev.
7. Mednarodna zveza, ki jo sestavlja šest britanskih, francoskih in nemških podjetij, je objavila rezultate študije izvedljivosti julija 1995 v Kijevu. Predlagali so načrt za utrditev obstoječega sarkofaga in postavitev nove zaščitne konstrukcije v skupni vrednosti 1,6 milijarde dolarjev.

## **Sevanje in zdravstvene posledice (1) - v elektrarni**

1. Med obratovanjem tisočmegavatne elektrarne, kakršna je bila četrta černobilska enota, je v reaktorju tipa RBMK nekaj manj kot 200 ton goriva.
2. Na podlagi prvih izračunov so domnevali, da se je med nesrečo v okolje sprostilo okoli 3,5 % materiala iz reaktorske sredice, medtem ko je bil glede na nekatere druge analize ta odstotek večji. Oblak s sproščenimi radioaktivnimi snovmi je segel več kot 1200 metrov visoko.
3. 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).
4. V radioaktivnem oblaku je bilo identificiranih 23 glavnih radioaktivnih elementov. Najnevarnejši kratkoživi elementi so bili žlahtni plini (ksenon in kripton), telur in jod-131. V človeško telo jih dobimo 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 (8 dni), vendar se zbira v ščitnici.

5. Radioaktivni izotopi žlahtnih plinov, rutenija, telurja in joda so praktično razpadli ali se razredčili v prvih treh mesecih po nesreči. Kasneje sta bila najbolj nevarna radioaktivna izotopa cezij in stroncij, ki se oba 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.
6. 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. Štiri osebe so umrle v požaru in med ruševinami. Skupaj je to 30 smrtnih žrtev. Ena oseba je umrla zaradi srčnega napada, ki ni bil neposredno povezan z nesrečo, zato pogosto navajajo število 31 smrtnih žrtev.
7. Akutna radiacijska bolezen nastopi, če posameznik v kratkem času in po vsem telesu prejme dozo, večjo od 1 sieverta (1 Sv). Zanj so značilni simptomi kot slabost, bruhanje, utrujenost in izpadanje las. Polovica bolnikov, ki na vse telo prejme dozo 4 Sv, najpogosteje umre v 30 dneh. Človek lahko preživi precej večje lokalne doze, npr. obsevanje samo posameznih organov ali delov telesa.
8. Če bolnik zaradi akutne radiacijske bolezni ne umre v treh mesecih, ponavadi povsem ozdravi.
9. Zaradi akutne radiacijske bolezni umira malo ljudi. Po drugi svetovni vojni je znanih le okoli šestdeset takšnih primerov (polovica od teh v Černobilu).
10. Poleg umrlih so zaradi suma na akutno radiacijsko bolezen zdravili še 203 ljudi, ki so bili 26. aprila med nesrečo v elektrarni. Pri 145-ih je bila bolezen potrjena. Vsi so kasneje ozdraveli.
11. Nihče od ljudi, ki med nesrečo niso bili v elektrarni, ni zbolel za akutno radiacijsko boleznijo.
12. Iz tega izhaja, da se bodo zdravstvene posledice černobilske nesreče pokazale večinoma kot t. i. zakasnele posledice, tako kakor pri večini drugih nesreč, pri katerih so bili ljudje izpostavljeni radioaktivnemu sevanju. Med njimi so bolezni kot rak, ki se lahko razvijejo kasneje 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").
13. Skupino ljudi, pri katerih je težko izvesti raziskavo zdravstvenih posledic njihove izpostavljenosti sevanju, imenujejo *likvidatorji*. To je bilo približno 600.000 ljudi, ki so jih poslali v elektrarno odpravljat posledice nesreče. Predvidevajo, da so nekateri izmed njih, posebno tisti, ki so odstranjevali visoko radioaktivne razbitine s strehe tretjega reaktorja, verjetno prejeli doze do 250 mSv ali celo večje (doz niso merili neposredno). Doze posameznikov so skušali omejiti na 50 mSv, kar je bila med nesrečo po mednarodnih normah dopustna doza za jedrske delavce, ki delajo v normalnih

razmerah. Za primerjavo: v letu 1994 je bila poklicna srednja letna obsevanost delavcev v tovarni za predelavo jedrskega goriva v Sellafieldu (Velika Britanija) približno 2 milisieverta.

14. Uradno zaznamovane doze, ki so jih prejeli likvidatorji, niso dovolj velike, da bi lahko povzročile radiacijsko bolezen, mogoče pa jih je povezati s povečanim tveganjem za razvoj raka v kasnejših življenjskih obdobjih.
15. Obstajajo poročila o nekaj tisoč likvidatorjih, ki so umrli po nesreči. Vendar je ta poročila težko ovrednotiti zaradi več razlogov. Prvič, težko je spremljati usode likvidatorjev, ki so se vrnili na domove po vsej nekdanji Sovjetski zvezi. Drugič, v vsaki populaciji 600.000 ljudi bi v devetletnem obdobju umrlo nekaj deset tisoč ljudi. V zahodnih državah je npr. stopnja umrljivosti približno 0,3 odstotka na leto. Med 600.000 prebivalci bi jih torej v desetletnem obdobju t. i. naravne smrti umrlo okoli 18.000. Tretjič, vse bolezni, npr. bolezni srca, na katere se sklicujejo v tej populaciji, niso posledica izpostavljenosti radioaktivnemu sevanju.
16. Večina vegetacije v bližini uničenega reaktorja je odmrta kmalu po nesreči, vendar se rastlinstvo na tem območju obnavlja. Malo zunaj tega območja so opazili mutacije, npr. na borovih storžih. Vendar v največjem delu izkjučitvenega območja ni opaznih radioloških posledic. Večina območja je razmeroma čista, je pa v njem precej t. i. *vročih mest*, kjer se je usedla večja količina radioaktivnih snovi.

## **Sevanje in zdravstvene posledice (2) - v nekdanji Sovjetski zvezi**

1. Zagotovo bo težko oblikovati dokončne ugotovitve o zdravstvenih posledicah černobilske nesreče. Podatki o zdravstvenem stanju prebivalstva na tem območju pred nesrečo so namreč precej skopi, zato bo težko izdelati ustrezne primerjave.
2. Poleg tega obstajajo precejšnje razlike v izpostavljenosti radioaktivnemu sevanju. Ta je odvisna od več dejavnikov (npr. padavine neposredno po nesreči), ki otežujejo splošnejši pristop k oceni prejetih doz. Na številnih lokacijah so našli t. i. radioaktivna vroča mesta. Nič presenetljivega ni, če se kontaminaciji dveh sosednjih vasi ali polj bistveno razlikujeta.
3. Interpretacijo podatkov otežuje tudi dejstvo, da se je po nesreči zdravstvena osveščenost prebivalstva na prizadetih območjih močno izboljšala. Primer: smrtnost novorojenčkov se je v Kijevu zmanjšala s 15,5 umrlega na tisoč novorojenih v letu 1985 na 12,1 v letu 1987, v beloruski pokrajini Gomel pa s 16,3 na 13,1. To zmanjšanje umrljivosti je verjetno posledica povečanega zdravniškega nadzora, zaradi katerega je določitev ustreznih statističnih kontrolnih skupin še težja.
4. Veliko podatkov o radioloških posledicah je znanih iz študij obsevanih populacij, kot so preživel ob atomskih bombah v Hirošimi in Nagasakiju, ljudje, obsevani med

medicinskimi postopki, prvi delavci v rudnikih urana itn. Iz teh analiz lahko dobimo vrsto pomembnih podatkov.

5. Prvo takšno dejstvo je, da se posledice izpostavljenosti radioaktivnemu sevanju ne pojavijo pred potekom določenega časa - z izjemo takojšnjih posledic akutnega radiacijskega sindroma. Časovna vrzel med izpostavljenostjo in nastopom prvih zaznavnih posledic je znana kot "*latentna doba*" in je odvisna od vrste bolezni.
6. Za levkemijo je najkrajša latentna doba dve leti, največje število posledic pa nastopi približno deset let po izpostavljenosti sevanju.
7. Pri rakavih obolenjih je najkrajša latentna doba vsaj deset let, rak na žlezi ščitnici pa se lahko razvije tudi v krajšem obdobju.
8. Radioaktivnost povzroča tudi dedne spremembe pri živalskih in rastlinskih organizmih. Vendar pri človeških populacijah, ki so prejele velike radiacijske doze (tudi preživelci ob atomskih bombah), ni bilo dokazanih podedovanih bolezni.
9. Doslej je bila osrednja analiza zdravstvenih posledic černobilske nesreče opravljena v okviru mednarodnega "*Projekta Černobil*", katerega rezultati so bili predstavljeni maja 1991. Raziskane so bile zdravstvene razmere zunaj izključitvenega območja, pri čemer so bila stanja na zelo kontaminiranih območjih primerjana s stanji na podobnih pretežno neprizadetih območjih.
10. Pri tem projektu je sodelovalo skoraj 200 znanstvenikov iz 22 držav, opravljen pa je bil pod pokroviteljstvom sedmih mednarodnih teles, tudi Svetovne zdravstvene organizacije (WHO, World Health Organisation), Znanstvenega odbora Združenih narodov za analizo radioloških posledic (UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) in Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA, International Atomic Energy Agency).
11. Poglavitni ugotovitvi raziskave sta bili, da so splošne zdravstvene razmere na tem območju slabe, vendar ni pomembnejših razlik med močno kontaminiranimi in razmeroma šibko kontaminiranimi območji.
12. V Projektu Černobil pa niso raziskovali zdravstvenega stanja niti 600.000 likvidatorjev, ki so sodelovali pri odpravljanju posledic nesreče, niti evakuirancev z izključitvenega območja.
13. Vplive nesreče na zdravstveno stanje prebivalstva so preučevali tudi v okviru "*Mednarodnega programa za raziskavo zdravstvenih posledic černobilske nesreče*" (IPHECA, International Programme on the Health Effects of the Chernobyl Accident), ki ga je leta 1991 ustanovila Svetovna zdravniška zbornica (WHA, World Health Assembly). Vpeljali so nacionalne registre s podatki o 200.000 prebivalcih Belorusije, 600.000 prebivalcih Rusije in 340.000 prebivalcih Ukrajine.

14. Oceno razmer dodatno zapleta dejstvo, da so splošne zdravstvene razmere na prizadetih območjih zelo slabe in da skoraj vsako bolezensko stanje (npr. zobobol ali glavobol) zaznamuje v vzročni povezavi s černobilskim radiološkim onesnaženjem.
15. Zaradi černobilske nesreče je bila opravljena "*Evropska raziskava razširjenosti levkemije in obolenj limfnih žlez pri otrocih*" (ECLIS, the European Childhood Leukaemia-Lymphoma Incidence Study), ki do leta 1988 ni našla dokazov o povečanju levkemije v prizadeti populaciji. Ukrajinski Znanstveni center za jedrsko medicino do leta 1993 ni odkril povečanja levkemije med otroki na treh najbolj kontaminiranih območjih 80 kilometrov okoli jedrske elektrarne. Najkrajša latentna doba za levkemijo je do takrat že potekla.
16. Prebivalci v bližini elektrarne in tudi na nekaterih bolj oddaljenih območjih so zaradi izpustov radioaktivnega joda prejeli precejšnje doze na ščitnico. Ugotavljajo, da je okoli 500 ljudi prejelo doze na ščitnico do 10 Sv, približno 200.000 ljudi pa v povprečju okoli 1 Sv.
17. Po letu 1991 je opazno izrazito povečanje pogostosti obolenj za rakom na žlezi ščitnici. Rast so najprej opazili v beloruski pokrajini Gomel, kjer je trenutno med otroki do petnajstega leta pogostost raka na žlezi ščitnici približno 100 obolelih na milijon. Pogostost na najbolj kontaminiranih ruskih in ukrajinskih območjih se giblje med 10 in 60 obolelih na milijon. V državah, kot je Velika Britanija, je povprečna pogostost tega rakavega obolenja približno 0,5 obolelega na milijon prebivalcev. Skupno število obolelih na prizadetih območjih je približno 500, deset med njimi jih je že umrlo.
18. Te posledice so nedvomno povezane z izpusti radioaktivnega joda med nesrečo. To potrjuje tudi dejstvo, da je povečana pogostost obolenj za rakom na žlezi ščitnici opažena le med ljudmi, rojenimi pred letom 1987<sup>2</sup>.
19. Ocene o prejetih dozah in poročila o povečanih pogostostih obolenj za rakom so protislovna. Mogoče je, da so ocenjene doze premajhne (kar je precej verjetno), ali pa je neujemanje povezano s kakšnim drugim dejavnikom. Domnevno je to lahko nepravilna uporaba jodovih tablet, kar pa je težko ugotoviti. Mogoče je, da je zelo malo ljudi, ki imajo sedaj obolenja žleze ščitnice, takrat dobilo jodove tablete.
20. Opažen porast te bolezni je lahko delno tudi posledica njenega povečanega nadzora v okviru programa IPHECA, ni pa verjetno, da bi bil samo povečan nadzor lahko vzrok takšnega rezultata.
21. Med mogočimi vzroki za povečano obolevanje na žlezi ščitnici je tudi pomanjkanje joda v prehrani prebivalcev na nekaterih pripjatskih območjih. Absorpcija radioaktivnega joda, ki se je sprostil med nesrečo, je bila v teh predelih verjetno večja kot v predelih z bolj zdravo prehrano.



22. V letu 1995 je bil začet mednarodni "*Projekt ščitnica*" (Thyroid Project) za nadaljnje raziskave te bolezni na tem območju.
23. Občasno so poročali o mutacijah med otroki (in živalmi), ki so bili rojeni po nesreči, vendar sistematične raziskave tega niso potrdile<sup>2</sup>. Glede na stališče Svetovne zdravstvene organizacije (WHO, World Health Organisation) je malo verjetno, da so prirojene napake povezane z izpostavljenostjo radioaktivnemu sevanju. Če bi npr. prebivalstvo prejelo radiacijske doze, ki bi bile dovolj velike za povzročitev takih posledic, bi bilo poleg njih opaznih tudi veliko drugih zdravstvenih posledic, posebej levkemije.
24. V daljšem obdobju se bo verjetno kot posledica nesreče razvilo še več rakavih obolenj. Izračuni se razlikujejo; začetna ocena Mednarodne komisije za radiološko zaščito (International Commission on Radiological Protection) je 5000 do 10.000 smrtnih rakavih obolenj v naslednjih 70 letih, medtem ko je Mednarodna agencija za atomsko energijo (IAEA) podala oceno o manj kot 25.000 dodatnih smrtnih primerih za ves svet. Ameriški Nacionalni svet za radiološko zaščito in meritve (US NCRP, National Council on Radiation Protection and Measurements) 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 černobilskega prispevka nekoliko višje, ni verjetno, da bi tako majhen porast sploh lahko statistično zaznali. Raziskovalci bodo tako verjetno morali ostati zgolj pri ocenjevanju prejetih doz in našem dosedanjem razumevanju njihovih posledic.
25. Dodatna ovira pri raziskavah posledic černobilske nesreče so različni interesi. Na eni strani so to težnje prizadetih področij, da bi z nekoliko pretiranim prikazom zdravstvenih problemov pridobili več zahodne pomoči. Njihovo gospodarstvo se je namreč sesedlo s padcem komunizma. Po drugi strani pa potreba po nadaljnji uporabi in razvoju jedrske tehnologije narekuje, da javno mnenje ni preveč nenaklonjeno njeni uporabi. Položaj še poslabšuje dejstvo, da so nosilci različnih interesov zdaj razdeljeni v tri države (Ukrajina, Rusija in Belorusija). Zasledimo lahko zelo velike razlike pri interpretacijah istih podatkov. Z vključitvijo mednarodnih teles, npr. Svetovne zdravstvene organizacije (WHO), bo v prihodnje mogoče povečati tudi zaupanje v statistične analize, ki prihajajo s tega območja.

## Sevanje in zdravstvene posledice (3) - Evropa

1. Doze, ki jih je nesreča v Černobilu povzročila zunaj mej nekdanje Sovjetske zveze, so bile zelo majhne v primerjavi z naravnim ozadjem na teh območjih.
2. Povprečna letna absorbirana doza zaradi radioaktivnega sevanja iz naravnih virov je v državi, kot je Velika Britanija, okoli 2 mSv.
3. Povprečne življenjske absorbirane doze zaradi černobilskega radioaktivnega izpusta so bile ocenjene za nekaj držav (vir NRPB, National Radiation Protection Board, Velika Britanija):<sup>3</sup>

Velika Britanija	0,05 mSv
Anglija	0,03 mSv
Wales	0,09 mSv
Škotska	0,16 mSv
Belgija	0,08 mSv
Danska	0,10 mSv
Francija	0,08 mSv
Nemčija	0,36 mSv
Grčija	0,53 mSv
Irska	0,17 mSv
Italija	0,31 mSv
Nizozemska	0,10 mSv

4. Malo verjetno je, da bo v evropskih državah zunaj nekdanje Sovjetske zveze mogoče zaznati kakršne koli zdravstvene posledice teh zelo majhnih doz.
5. Najdalgotrajnejša posledica černobilske nesreče v Veliki Britaniji je bila prepoved uporabe jagetnine. Kmalu po nesreči (junija 1986) so omejili uporabo jagetnine z aktivnostjo okoli 1000 Bq (becquerel) na kilogram. Tolikšna aktivnost je bila odkrita v mesu ovac z višjih predelov pokrajin, kot sta Cumbria in Wales. To so bila večinoma območja, kjer je deževalo, medtem ko se je radioaktivni oblak pomikal prek ozemlja Velike Britanije. Najbolj problematični izotop v ovčjem mesu je cezij-137. Cezij je kemično zelo soroden kaliju in se lahko nalaga v telesih vseh živih organizmov, ki so v stiku z njim.

---

<sup>3</sup> Leta 1986, kmalu po nesreči, so za Slovenijo ocenili prispevek černobilske nesreče k življenjski ekvivalentni dozi na 0,72 mSv. Kasneje je UNSCEAR (odbor združenih narodov za analizo radioloških posledic) izračunal za področje nekdanje Jugoslavije skupno povprečno dozo 0,45 mSv (op. prev.).

6. Izračunali so, da bi bilo ob zaužitju približno dveh kilogramov jaggetine tveganje za nastop rakavega obolenja enako tveganju, ki bi ga povzročila ena pokajena cigareta.
7. Izjemno stroge omejitve so bile sprejete na podlagi predpostavke, da bo cezij hitro izpran iz vrhnjih plasti prsti. Dejansko pa se je vezal v glinastih tleh in tako vstopil v prehrabno verigo. Pri morebitni nesreči v prihodnosti bo mejna aktivnost 1250 Bq/kg.
8. Še v januarju 1995 je veljala omejitev uporabe mesa s 66 kmetij v pokrajini Cumbria, na katerih gojijo okoli 70.000 ovac. Radioaktivnost mesa teh živali pa se hitro zmanjša, če jih preselijo iz višjih v nižje predele.
9. Kontaminiranost s cezijem je v Franciji trenutno najnižja po letu 1960.

### **Energetske razmere in jedrska energija v Ukrajini**

1. V letu 1993 je Ukrajina porabila za 190 milijonov ton naftnega ekvivalenta primarne energije, poraba energije na prebivalca je bila nekaj manjša kakor v Veliki Britaniji. V Ukrajini živi 52 milijonov ljudi.
2. Med letoma 1991 in 1993 se je skupna poraba energije znižala za več kot 20 %, kar je bil odsev gospodarske krize, ki je zajela državo po razpadu nekdanje Sovjetske zveze.
3. Leta 1993 so bile ukrajinske potrebe po primarni energiji pokrite z naslednjimi viri: nafta 16 %, plin 44 %, premog 30 %, jedrska energija 10 % in vodna energija približno 1 %.
4. Električna energija predstavlja približno četrtno celotne ukrajinske porabljene energije. Ukrajini električne energije resno primanjkuje in so redukcije reden pojav. Jedrske elektrarne proizvedejo več kot tretjino (38 %) v državi proizvedene električne energije (termoelektrarne 54 % in hidroelektrarne 6 %). Vsak poskus hitrega zapiranja jedrskih elektrarn bi zato povzročil precejšnjo gospodarsko stisko in tudi z njo povezane negativne zdravstvene posledice.
5. Vse štiri enote černobilske jedrske elektrarne so bile opremljene z reaktorji tipa RBMK, moč vsake od teh enot je bila 1000 MW. Prva je začela komercialno proizvodnjo leta 1978, druga leta 1979 (ustavljena po požaru leta 1991), tretja leta 1982 in četrta leta 1984 (uničena leta 1986). Ko se je zgodila nesreča, so v elektrarni gradili še dve RBMK enoti, vendar ju ne nameravajo dokončati.
6. V Ukrajini so še štiri jedrske elektrarne. V vseh so tlačnovodni jedrski reaktorji (PWR) sovjetske konstrukcije, ki so znani pod oznako VVER. Moči teh enot so 440 ali 1000 MW:

Hmelnickaja	1 enota VVER-1000 3 enote VVER-1000	(1988) v gradnji
Rovno	2 enoti VVER-440 1 enota VVER-1000 1 enota VVER-1000	(1981, 1982) (1987) v gradnji
Južna Ukrajina	3 enote VVER-1000 1 enota VVER-1000	(1983, 1985, 1989) v gradnji
Zaporožje	5 enot VVER-1000 1 enota VVER-1000	(1985, 1985, 1986, 1987, 1989) v gradnji

(V nekdanjem vzhodnem bloku obratujeta dve različici reaktorjev tipa VVER-440. Utemeljene so skrbi o varnosti starejše različice VVER-440 serije 230, medtem ko je kasneje razviti reaktor VVER-440 serije 213 varnejši.)

7. Strokovnjaki so si edini, da je zasnova reaktorja tipa VVER varnejša od zasnove reaktorja tipa RBMK. Najnovejši model reaktorja VVER-1000 se približuje varnostnim standardom, ki so zahtevani pri odobritvah zahodnih projektov reaktorjev. Nekaj časa so v Ukrajini načrtovali dokončanje elektrarn Hmelnickaja-2, Rovno-4 in Zaporožje-6, ki so vse v zaključnih fazah gradnje, skupna potrebna sredstva pa so ocenili na približno 200 milijonov ameriških dolarjev. Z vlaganjem goriva v reaktor jedrske elektrarne Zaporožje-6 so začeli maja 1995.
8. V Ukrajini razmišljajo tudi o domači proizvodnji gorivnih elementov, ki bi nadomestila njihov uvoz iz Rusije, in o skladiščenju izrabljenega goriva ob domačih elektrarnah, pri čemer ne bi bil potreben njegov izvoz v Sibirijo.
9. Aprila 1995 je ukrajinski predsednik izjavil, da bi černobilsko elektrarno zaprli do leta 2000 in jo nadomestili s plinsko elektrarno, če bi zahodne države podprle njihov program s štirimi milijardami ameriških dolarjev.

## Podatki o sedanjem stanju reaktorjev RBMK

1. Sedaj obratuje petnajst komercialnih reaktorjev tipa RBMK. To so reaktorji:
  - Ignalina v Litvi:
    - dva reaktorja po 1500 MW, ki sta začela komercialno obratovati v letih 1985 in 1987;
  - Kursk v Rusiji:
    - štirje reaktorji po 1000 MW, ki so bili pognani v letih 1977, 1979, 1984 in 1985;
    - gradnjo petega reaktorja so prekinili;
  - Petrograd v Rusiji:
    - štirje reaktorji po 1000 MW, ki so začeli obratovati v letih 1974, 1976, 1980 in 1981;
  - Smolensk v Rusiji:

- trije reaktorji po 1000 MW z začetkom obratovanja v letih 1982, 1985 in 1990;
  - Černobil v Ukrajini:
    - dva reaktorja po 1000 MW z začetkom obratovanja v letih 1978 in 1982;
    - en reaktor s 1000 MW, ki je začel obratovati leta 1979 in je bil ustavljen v letu 1991, vendar bi ga bilo mogoče obnoviti;
    - četrta enota, tudi z močjo 1000 MW, je začela obratovati leta 1984 in je bila uničena med nesrečo leta 1986;
    - gradnjo dveh dodatnih enot so prekinili.
2. Skupna instalirana moč elektrarn tipa RBMK je torej 16.000 MW; nahajajo se na območju, kjer je precejšnje pomanjkanje električne energije. Za primerjavo: skupna moč jedrskih elektrarn v Veliki Britaniji je okoli 13.000 MW<sup>4</sup>.
3. Poglavitni vzrok za černobilsko nesrečo je bil pozitiven koeficient praznin reaktorja RBMK pri nizkih obratovalnih močeh. Reaktor je razneslo, ne da bi predhodno odpovedala katera od njegovih komponent. Po nesreči so priporočili vrsto konstrukcijskih izboljšav:
- spremembe varnostnih sistemov, tako da jih operaterji ne morejo izključiti;
  - uvedba večjega števila fiksnih regulacijskih palic, s katerimi bo preprečeno obratovanje reaktorja pri zelo majhnih močeh (z absorpcijo nevtronov, potrebnih za jedrsko cepitev);
  - odstranitev grafitnih podaljškov premičnih regulacijskih palic, s katerimi se prekine verižna reakcija v nujnih primerih ali zaradi ugasnitve reaktorja pred začetkom vzdrževalnih del (ti grafitni podaljški so pospešili pobeg verižne reakcije med poskusom ugasnitve černobilskega reaktorja);
  - vgradnja regulacijskih palic, ki v reaktorsko sredico padejo pod vplivom lastne teže veliko hitreje od mehansko vstavljenih palic;
  - povečanje obogatitve goriva (povečanje deleža cepljivega izotopa urana-235), s čimer se bodo ugodno spremenile absorpcijske lastnosti samega goriva.
4. S temi konstrukcijskimi izboljšavami je bil doslej vsaj delno odpravljen problem pozitivnega koeficienta praznin, ki je bil eden od glavnih vzrokov za černobilsko nesrečo. Vendar tudi s temi spremembami jedrske elektrarne z reaktorji tipa RBMK še ne ustrezajo novejšim varnostnim standardom. Primer: v prihodnje bo treba dokazati, da hkratna poškodba več tlačnih cevi v reaktorju ni mogoča ali pa da je posledice takšne poškodbe mogoče obvladati.

---

<sup>4</sup> Skupna moč vseh elektrarn v Sloveniji je okoli 2400 MW, op. prev.

5. Aprila 1995 je ukrajinski predsednik Kučma objavil, da bi Ukrajina zaprla černobilsko elektrarno do leta 2000 in jo nadomestila s plinskimi elektrarnami, če bi Zahod zagotovil potrebna denarna sredstva za njihovo gradnjo. Zdi se, da bi bilo treba ta projekt vključiti v širši program, v katerem bi bili upoštevani vsi vidiki proizvodnje električne energije v Ukrajini.

## **Mednarodna prizadevanja za izboljšanje jedrske varnosti v državah nekdanjega vzhodnega bloka**

1. Po nesreči v jedrski elektrarni v Černobilu so zahodne države namenile znatno pomoč za povečanje varnosti jedrskih reaktorjev na območju nekdanje Sovjetske zveze, pri čemer je bilo doseženo precejšnje izboljšanje standardov tako glede strojne opreme kakor obratovanja jedrskih elektrarn.
2. Vendar se pri razvoju ustreznega programa pomoči pojavlja več težav.
3. Takšen program mora zadovoljiti pričakovanja obeh strani.
4. Najpomembnejša merila zahodnih držav so izboljšanje vzhodnih varnostnih standardov glede strojne opreme in obratovanja ter vpeljava varnostne kulture. Zahodne države si pri tem želijo delovati po poslovnih načelih.
5. Vzhodne države pa želijo ohraniti svojo neodvisnost, razširiti jedrske zmogljivosti in se tako zavarovati pred nezanesljivo oskrbo s fosilnimi gorivi ter najti tudi možnosti za izvoz svoje jedrske tehnologije.
6. Torej bi bila za Zahod morda najboljša rešitev pomoč v obliki posojila, s katerim bi Vzhodu omogočili zapreti najnevarnejše jedrske elektrarne, skupaj s posredovanjem strokovnega znanja za izboljšanje varnosti drugih jedrskih objektov. Seveda bi takšen pristop katera od držav nekdanjega vzhodnega bloka (posebno Rusija in Ukrajina) lahko označila kot kršitev svoje avtonomije. Hkrati bodo nastopile težave pri zaščiti intelektualne lastnine.
7. Verjetno bi bila za vzhodne države najboljša rešitev, če bi jim Zahod zagotovil dovolj sredstev, ki bi jih lahko uporabile po svoji presoji. Vendar pa zahodne države takšnega sporazuma verjetno ne bi sprejele brez trdnih zagotovil, da bo denar porabljen ustrezno.
8. Naslednja ovira je spor v zvezi s pravno odgovornostjo tretjega udeleženca. Države podpisnice Dunajske konvencije in pridruženega Skupnega protokola (Joint Protocol) so prenesle odgovornost za nesreče in obveznost poravnave povzročene škode na upravljalce jedrskih elektrarn (in državo, če je povzročena škoda zelo velika). Še več, med uveljavljanjem odškodninskega zahtevka ni treba dokazovati morebitnega malomarnega upravljanja jedrskega objekta.

9. Vendar pa Rusija in Ukrajina nista podpisali teh dokumentov. Če bi se torej zgodila nesreča v jedrski elektrarni, v kateri je kako zahodno podjetje opravilo izboljšave, je zelo verjetno, da bi bil ob naslednji nezgodi ta izvajalec sodno preganjan, verjetno kar v več državah hkrati. Takšen postopek bi trajal več let in bi lahko usodno vplival na poslovanje družbe. Zato zahodne družbe niso pripravljene sklepati večjih pogodb v teh državah.
10. Videti je, da Rusija in Ukrajina ne želita omogočiti zahodnim družbam sklepanja pogodb, financiranih z mednarodnim denarjem in izvedenih z zahodno tehnologijo, ne da bi nosile odgovornost za posledice (s tem pa bi še škodovali možnostim za izvoz sovjetske tehnologije).
11. Rešitev tega spornega vprašanja je prednostna naloga.
12. Kljub temu sporu in drugim težavam, ki so povezane predvsem z razpadom nekdanje Sovjetske zveze, je bil dosežen nek napredek.
13. Organizacija Svetovno združenje jedrskih operaterjev (WANO, World Association of Nuclear Operators), ki je bila ustanovljena kmalu po černobilski nesreči, je povezala operaterje jedrskih elektrarn z vsega sveta. Spodbudila je medsebojne obiske, 'pobratenja' elektrarn (npr. med elektrarnama Torness v Veliki Britaniji in Smolensk v Rusiji), izmenjavo informacij o nezgodah, izmenjavo dobrih izkušenj in medsebojni pregled posameznih elektrarn.
14. Leta 1991 so Skupina G-24 (Group of 24), Agencija za jedrsko energijo pri OECD (OECD Nuclear Energy Agency), Komisija Evropske skupnosti (Commission of the European Union) in Mednarodna agencija za atomsko energijo (IAEA) ustanovile Delovno skupino za jedrsko varnost (Working Group on Nuclear Safety).
15. V letu 1993 je Skupina G7 ustanovila večstranski sklad. Začetnih 60 milijonov ekujev so zagotovile Nemčija, Francija, Velika Britanija in Evropska skupnost. Kasneje so v ta sklad prispevale tudi Japonska, ZDA in vrsta drugih držav. Namen sklada je podpora programov za dvostransko pomoč in izboljšavo tako varnosti obratovanja kakor varnostne opreme jedrskih elektrarn. Sklad vodi Evropska banka za obnovo in razvoj (EBRD, European Bank for Reconstruction and Development).
16. Med prvimi programi je bilo uporabljenih 24 milijonov ekujev za izboljšanje varnosti bolgarske jedrske elektrarne Kozloduj in 7 milijonov ekujev za analizo razmer v jedrski elektrarni Ignalina v Litvi. Končali so jih leta 1995, sledi pa jim program izboljšav v vrednosti 33 milijonov ekujev.
17. Delovna skupina za jedrsko varnost v okviru Skupine G-24 je vpeljala bazo podatkov o dvostranski pomoči in večstranskih skladih. Do sredine leta 1994 so države G-24

vložile v okoli 360 varnostnih projektov s skupno vrednostjo okoli 450 milijonov ekujev.

18. Med posojilodajalci je tudi Evropska investicijska banka, ki skrbi za podporo dolgoročnejših projektov za varnostne izboljšave modernejših jedrskih elektrarn tipa VVER.
19. Evropska skupnost je priskrbela posebna sredstva za dva programa pomoči državam nekdanjega vzhodnega bloka. Program PHARE, ki je bil ustanovljen leta 1989 in pokriva države vzhodne Evrope brez držav nekdanje Sovjetske zveze, zagotavlja tehnično pomoč, šolanje, študije izvedljivosti ipd., ni pa namenjen naložbam v večje projekte. Leta 1992 je bilo razporejenih 28 milijonov ekujev za obratovalne izboljšave, varnostne analize in regionalna reševanja problematike odpadkov.
20. V letu 1991 je bilo prek programa TACIS (Technical Assistance for the Commonwealth of Independent States) razporejenih 54 milijonov ekujev. Sredstva so bila namenjena ukrepom za jedrsko varnost v nekdanji Sovjetski zvezi, predvsem za jedrske elektrarne tipa VVER-440 serije 213, čeprav je bil tu napredek počasnejši predvsem zaradi prepočasnega oblikovanja novih upravnih organov po razpadu Sovjetske zveze. V letu 1992 je bilo na razpolago 80 milijonov ekujev. Precejšnja vsota je bila porabljena za preglede in varnostne analize elektrarn, zaradi spora v zvezi s pravno odgovornostjo tretjih udeležencev pa ni prišlo do izboljšav strojne opreme.
21. Države, kot so ZDA, Japonska, Nemčija, Francija, Kanada, Švedska in Finska, so začele več projektov na temelju dvostranske pomoči.
22. V začetku leta 1993 so stekle varnostne analize reaktorjev tipa RBMK, pri katerih so sodelovale Velika Britanija, Francija, Nemčija, Italija, Kanada, Švedska in Finska. Študija je bila končana leta 1994, njen rezultat pa je okoli 300 predlaganih izboljšav.
23. Na neapeljskem vrhu Skupine G7 je bil leta 1994 predlagan *Načrt ukrepov* (Action Plan) za čimprejšnje zaprtje preostalih enot černobilske elektrarne, ki je bil podan v okviru dolgoročne energetske strategije za Ukrajino. Skupina G7 je bila pripravljena načrt podpreti z 200 milijoni dolarjev, dodatnih 100 milijonov dolarjev bi zagotovil program TACIS, 400 milijonov ekujev pa bi bilo razpoložljivih kot ugodna Euroatomova posojila. Z *Načrtom ukrepov* se sedaj ukvarja posebna pogajalska skupina, v kateri sodelujejo predstavniki Skupine G7 in Ukrajine<sup>2</sup>.
24. Ena od obravnavanih možnosti je dokončanje že delno zgrajenih jedrskih elektrarn tipa VVER-1000 na lokacijah Hmelnickaja, Rovno in Zaporožje, s čimer bi bilo Ukrajini omogočeno zaprtje obeh še obratujočih reaktorjev v Černobilu.
25. Pred kratkim je bila izdelana posebna analiza o stanju černobilskega sarkofaga, ki jo je financirala Evropska skupnost.



## Izjavili so o Černobilu

Anatolij Diatlov, nekdanji pooblaščen inženir za černobilsko elektrarno, revija "Nuclear Engineering International", november 1991:

*"Konstrukcija reaktorja RBMK-1000 ni bila niti prispevek k nesreči niti glavni krivec, bila je edini vzrok za černobilsko nesrečo."*

Prof. Richard Wilson Mallinckrodt, profesor fizike, Univerza Harvard, revija "21st Century Science and Technology", poleti 1993:

*"Novice o dvoglavih živalih, objavljene v nekaterih časopisih, prihajajo s kolektivnih posestev na kmetijskih območjih in so skoraj gotovo posledica prevelike uporabe umetnih gnojil. Če nitratna gnojila posipamo brez ustreznih meritev, zelo lahko pognojimo npr. tridesetkrat premočno. Tako bodo tudi živali prejele tridesetkrat preveč škodljivih snovi - pojavile se bodo genetske posledice. Ni dokazov, da se več nepravilnosti pojavlja na območjih, ki so bila močno radioaktivno onesnažena."*

Dr. Ron Chesser, ekološki laboratorij v elektrarni Savannah River, ZDA:

*"Če bi se brez vključenega radiološkega detektorja sprehajal po okolici elektrarne, ne bi vedel, da je bilo tam kar koli narobe."*

Dr. Keith Baverstock, znanstvenik radiolog, Svetovna zdravstvena organizacija, Rim, pismo časopisu "The Times", junij 1995:

*"Trditev, da je milijon hudo iznakaženih otrok posledica izpostavljenosti černobilskega sevanju, ni verodostojna in že sama po sebi poslabšuje zdravstvene razmere. Ne da bi podcenjeval zdravstvene posledice izpostavljenosti radioaktivnemu sevanju, menim, da pretiravanje pri njihovem prikazovanju naredi malo dobrega in precej škode. Že sedaj sta zaradi psihološko-socialnih posledic nesreče zmanjšana tako kakovost življenja kakor blaginja milijonov ljudi."*

*"V Belorusiji se vsako leto rodi več kot 2000 otrok s hudimi okvarami zaradi napak pri porodih in dednih vplivov, ki niso povezani z radioaktivnim sevanjem. Podobno razmerje nastopa tudi drugod po Evropi. 40 do 80 izmed teh otrok ima zelo okvarjene ali nenormalno razvite ude."*

Dr. A. M. Petrova in soavtorji, Zdravstveno stanje nosečnic, novorojenčkov in dojenčkov v prvem letu življenja na radiološko kontaminiranih območjih, beloruska raziskava, Institut za materinstvo in nego otrok, 1995:

*"Nismo našli nobene korelacije med radiološko kontaminacijo in smrtnostjo še nerojenih otrok in dojenčkov."*

Dr. Aleksander Lutsko, Mednarodni institut za radioekologijo, Minsk, in dr. Alan Flowers, Univerza v Kingstonu, junij 1995:

*"Že iz hitrega pregleda splošnih zdravstvenih razmer v Belorusiji od leta 1980 do černobilske nesreče je razvidno povečevanje števila rakavih obolenj, levkemije, umiranja še nerojenih otrok in veliko drugih bolezni. Nesporno slabe zdravstvene razmere v nekaterih delih nekdanje Sovjetske zveze je zmotno povezovati z nesrečo v Černobilu."*

Dr. Robert Gale, ameriški strokovnjak za presaditev kostnega mozga, ki je neposredno po nesreči operiral hudo obsevane, intervju v reviji "Nuclear Europe", št. 5, 1987:

*"Nadomestitev jedrskih elektrarn z elektrarnami na fosilna goriva bi na območju nekdanje Sovjetske zveze v naslednjih 50 letih povzročila približno en milijon smrtnih primerov. Na istem območju bo zaradi nesreče v Černobilu morda umrlo približno 20.000 ljudi. Če se torej na območju nekdanje Sovjetske zveze v prihodnosti ne bi zgodila še kakšna jedrska nesreča, bi bila primerjava 20.000 proti milijon življenj."*

Thurstan B. Brewin, organizacija "Health Watch", revija "British Medical Journal", št. 309, julij 1994:

*"Ironična stran dozdevno brezmejnega prikrivanja černobilske jedrske nesreče v letu 1986 - ki je bila sama razmeroma malo škodljiva, ker so se radioaktivne snovi po svetu razširile zelo razredčene je, da so mediji resnici škodovali bolj kot v katerem koli drugem prikrivanju umazanega perila doslej (razen nekaj redkih izjem)."*

Piers Paul Read, avtor dela "V plamenih - černobilska zgodba", v reviji "Spectator", št. 17, april 1993:

*"Vodilni borec proti tajnosti in prikrivanju informacij o černobilski nesreči, profesor Dmitri Grodzinski, mi je povedal, da so zgodbe o bolnišnicah s suhimi, z umirajočimi in iznakaženimi otroki, ki so bile leta 1990 objavljene v časopisu "The Sunday Times", nesmiselne. Pokazal mi je revije, ki so kot ilustracije člankov o Černobilu prikazale fotografije otrok, ki so se rodili pohabljeni, ker so bile njihove matere narkomanke."*

## Primerjava s smrtnimi žrtvami drugih nesreč

Černobilska nesreča je najhujša civilna jedrska nesreča doslej. V njej je zaradi takojšnjih posledic umrlo 31 ljudi, zaradi dolgoročnih vplivov pa bo za rakom umrlo več ljudi, vendar teh žrtev verjetno ne bo mogoče posebej statistično zaznati in primerjati s številom umrlih za rakom iz drugih vzrokov. V jedrskih elektrarnah se danes proizvajajo približno 17 % svetovne električne energije. Pri celostni oceni posledic černobilske nesreče so lahko koristne naslednje primerjave.

Mednarodna agencija za atomsko energijo (IAEA) je izračunala, da v Združenih državah Amerike vsako leto umre 40.000 ljudi zaradi vdihavanja dimnih plinov, ki nastanejo pri zgorevanju fosilnih goriv v termoelektrarnah na premog.

V knjigi J. H. Fremlina "Tveganja pri proizvodnji energije" je objavljen podatek, da je v letu 1981 v Angliji in Walesu umrlo 15.600 ljudi zaradi kroničnega bronhitisa, ki je verjetno vzročno povezan z zgorevanjem fosilnih goriv.

Dr. Joel Schwartz iz ameriške Agencije za zaščito okolja (US Environmental Protection Agency) je zapisal v članku, objavljenem marca 1974 v reviji "New Scientist", da v Angliji in Walesu vsako leto umre 10.000 ljudi zaradi v prometu sproščenih izpušnih plinov.

V letu 1984 je ob eksploziji plina v mestu Mexico City umrlo 500 in bilo ranjenih 4248 ljudi. Zaradi eksplozije je brez domov ostalo 31.000 ljudi.

Istega leta je ob izpustu strupenega plina v mestu Bhopal v Indiji umrlo 2850 ljudi in bilo poškodovanih 200.000 ljudi, med njimi bo večina občutila trajne posledice.

V letu 1979 je popustil jez Machhu II pri mestu Gujerat v Indiji, kar je povzročilo 15.000 smrtnih žrtev.

Leta 1986 je okoli 1700 ljudi umrlo ob veliki sprostitvi ogljikovega dioksida z jezerskega dna v Kamerunu.

Ko je leta 1966 med deževjem zdrsnil del odlagališča premogove jalovine in zasul vas Aberfan v Južnem Walesu, je umrlo 147 ljudi, med njimi 116 otrok.

Izpust spojine dioksin iz kemične tovarne pri Sevesu v Italiji leta 1976 ni terjal smrtnih žrtev, povzročil pa je kontaminacijo obsežnega območja.

## Reference

- (1) Lorna Arnold, Windscale 1957 - Analiza jedrske nesreče, MacMillan, 1992.
- (2) Yellowlees in soavtorji, Sovjetski grafitno moderirani cevni reaktor, NNC ref ACSNI(86)INF.
- (3) Eur. J. Cancer 29A, 1, str. 87-95, 1993.
- (4) Abelin in soavtorji, Sov Praventivmed 39, str. 189-197, 1994.
- (5) Petrova in soavtorji, Beloruski institut za materinstvo in nego otrok, 1995.
- (6) Pisni odgovor ministra DTI Richarda Pagea, MP, 4. april 1995.

# ČERNOBIL

Resnično, napačno in negotovo

April 1994

ELECTRICITÉ de FRANCE

Dokument je pripravila delovna skupina Electricité de France (francoskega elektrogospodarstva) skupaj z vodilnim osebjem Oddelka za komunikacije, Komiteja za varstvo pred sevanjem, Inženirskega in gradbenega oddelka ter Oddelka za proizvodnjo in prenos energije. Dopolnjen je bil tudi z opombami profesorja Tubiana, profesorja Galeja in doktorja Schlumbergerja.

Tretja izdaja, april 1994

Šestindvajsetega aprila 1986 ob enih ponoči je bil uničen reaktor tipa RBMK št. 4 elektrarne Černobil. To je bila daleč najresnejša jedrska nesreča doslej.

V dnevih, tednih in mesecih po nesreči so mediji objavljali različne in včasih nasprotujoče si informacije, ki jih je bilo pogosto težko preveriti.

Strokovnjakom s področja radiološke zaščite in medicine je bilo le redko dovoljeno izražati svoje mnenje glede veljavnosti objavljenih informacij.

Glede na to poplavo informacij je bilo potrebno in pomembno, da osebju EDF omogočimo oblikovanje mnenja o dogodku in njegovih posledicah.

Pregledali smo članke in programe, ki so jih objavljali francoski mediji v letu 1990. Analizirali smo jih glede na teme in ločili tri tipe informacij: take, ki jih je bilo mogoče potrditi, take, ki so bile očitno napačne, in take, za katere nismo imeli ustreznih podatkov.

Analizo smo izvedli na podlagi:

- znanja o sevanju, ki ga je pridobila mednarodna zdravniška in znanstvena skupnost,
- nekaterih sovjetskih objav v mednarodnih znanstvenih revijah,
- poročil mednarodnih organizacij o Černobilu in njegovih posledicah,
- poročil ljudi, ki so v zadnjih letih živeli v Sovjetski zvezi, predvsem sodelavcev človekoljubnih organizacij.

Druga izdaja v letu 1992 je upoštevala nove informacije, ki smo jih prejeli po prvi izdaji, zlasti poročilo Mednarodne agencije za atomsko energijo o oceni radioloških posledic in zaščitnih ukrepov v Sovjetski zvezi.

Ta, tretja izdaja iz leta 1994 upošteva zdravniška in znanstvena poročila republik nekdanje Sovjetske zveze, ki so jih potrdili zahodni strokovnjaki.

Poglavitni novi dejavnik je pojav rakavih obolenj ščitnice, predvsem med otroki, ki so bili kontaminirani z radioaktivnim jodom. To je bolezen, ki bi jo bilo mogoče preprečiti z zgodnjim jemanjem jodovih tablet in upoštevanjem enostavnih navodil glede zadrževanja na prostem in omejitev pri hrani. V Franciji tak načrt za zaščito prebivalstva obstaja.

Brošura je razdeljena v tri dele: kaj je res, kaj je napačno in kaj je negotovo. Vsak del vsebuje izvlečke iz časopisnih poročil in primerjavo s sintezo naših sklepov.

## **KAJ JE RES**

*Reaktorji tipa RBMK imajo napake v konstrukciji.*

### **Vzroki nesreče: predvsem konstrukcija černobilskega reaktorja**

Reaktorji tipa RBMK, ki obstajajo le v Sovjetski zvezi, imajo v primerjavi s tlačnovodnimi reaktorji (kakršen je tudi v Krškem, op. prev.) glede varnosti predvsem tri velike pomanjkljivosti:

- Reaktor je netabilen pri nizki moči. Ima pozitiven koeficient praznin in lahko postane neobvladljiv v določenih okoliščinah, kar ni mogoče pri tlačnovodnih reaktorjih.
  - Hitrost vstavitve palic za hitro ustavitev reaktorja ni zadostna. V nujnem primeru je mogoče reaktor ustaviti šele v 28 sekundah namesto v 1 sekundi, kakor velja za vse zahodne reaktorje. Te palice so narejene tako, da se ob začetku vstavljanja moč reaktorja celo poveča.
  - Ker reaktor RBMK nima zadrževalnega hrana, se je sprostilo v atmosfero  $10^{18}$  Bq radioaktivnih snovi.
- 

*Nesposobni operaterji in zastarela oprema*

### **Človeški dejavnik**

Vzroki, o katerih so poročali mediji in se nanašajo na nesposobnost operaterjev in na zastarelost opreme, so resnični. Ne pozabimo:

- da je reaktor v nasprotju z obratovalnimi navodili predolgo obratoval pri majhni moči (zastrupitev s ksenonom),
  - da je bilo število palic za ustavitev reaktorja manjše od minimalnega, ki so ga zahtevala obratovalna navodila, kar je povzročilo nestabilnosti v regulaciji,
  - da so bili sistemi za zasilno ustavitev izključeni,
  - da so operaterji še dolge ure po nesreči zaradi neprimernih merilnih instrumentov verjeli (ali hoteli verjeti), da je reaktor nepoškodovan. Ta napačna ocena je bila vzrok ukrepov, ki so še poslabšali položaj.
-



Evakuiranih je bilo 116.000 ljudi, prebivalstvo je bilo obveščeno šele po 24 urah.

## Začetna evakuacija

Res je, da je bilo spomladi in poleti 1986 evakuiranih od 116.000 do 135.000 ljudi, ki so živeli na najbolj kontaminiranih območjih. V trenutku nesreče prebivalstvo ni bilo opozorjeno in tudi ni bilo nobenih postopkov za omejevanje gibanja na prostem. Prebivalci Pripjata (kraja, ki je najbliže elektrarne) so bili evakuirani 27. aprila med 14. in 17. uro, torej 24 ur po nesreči.

Omejitev gibanja v prvih urah po nesreči bi pomembno zmanjšala doze sevanja, ki jih je prejelo prebivalstvo.

---

*Potencialno nevarno onesnaženje zaradi eksplozije reaktorja je segalo daleč preko prepovedanega območja, ki je bilo arbitrarno določeno kot krog s polmerom 30 km okrog elektrarne. Območje je bilo onesnaženo zelo neenakomerno, pod vplivom vetra in padavin so med prehodom radioaktivnega oblaka nastale "vroče točke".*

*Čim bolj dežuje, večje je onesnaženje.*

*Več kot 100.000 ljudi še vedno živi na območjih, ki so kontaminirana s cezijem do  $15 \text{ Ci/km}^2$  ( $5,55 \cdot 10^{11} \text{ Bq/km}^2$ ).<sup>5</sup>*

*Z več kot 25.000 km<sup>2</sup> bo treba evakuirati nekaj 10.000 ljudi, saj so tam živeli med dekontaminacijskimi deli, dobavljali pa so jim nekontaminirano hrano.*

*Nekaterih živil ni dovoljeno uživati, ker so kontaminirana z delci cezija-134 ali cezija-137.*

## Kontaminirana območja in pozna evakuacija

Kontaminacija se je okrog Černobila razširjala zelo neenakomerno. Na območjih, kjer je deževalo, je bila kontaminacija največja, ker je dež izpral delce iz radioaktivnega oblaka.

Da bi zmanjšali notranje obsevanje, ni bilo dovoljeno uživati nekaterih izdelkov, ki so bili kontaminirani s cezijem. Sočasno je prebivalstvo na kontaminiranih območjih dobivalo razna neoporečna živila z dodatki vitaminov.

---

<sup>5</sup> Curie (kratica Ci) je stara enota za aktivnost radioaktivnega vira. Glej stran 70.

V letih po nesreči je bilo izvedenih več nadaljnjih evakuacij, ki so verjetno prizadele več kot 100.000 ljudi. Zakon o socialnem varstvu ljudi, ki jih je prizadela černobilska katastrofa, je maja 1991 v Moskvi podpisal predsednik Gorbačov. Zakon določa:

- da je evakuacija obvezna na območjih, kjer kontaminacija s cezijem-137 presega  $1,48 \cdot 10^{12}$  Bq/km<sup>2</sup> (40 Ci/km<sup>2</sup>) (33.000 prebivalcev);
- da je na območjih, kjer je kontaminacija s cezijem-137 med  $0,55 \cdot 10^{12}$  in  $1,48 \cdot 10^{12}$  Bq/km<sup>2</sup> (15 in 40 Ci/km<sup>2</sup>) (210.000 prebivalcev), evakuacija obvezna, če bi ekvivalentna letna doza na prebivalca preseгла 5 mSv. V drugih primerih evakuacija ni obvezna, vendar pa imajo vsi prebivalci pravico do odškodnine;
- da je na območjih, kjer je kontaminacija s cezijem-137 med  $0,19 \cdot 10^{12}$  in  $0,55 \cdot 10^{12}$  Bq/km<sup>2</sup> (5 in 15 Ci/km<sup>2</sup>) (550.000 prebivalcev), evakuacija lahko povezana z odškodnino, kadar je ekvivalentna letna doza večja od 1 mSv.

Po mnenju mednarodnih strokovnjakov so ti ukrepi primerni za zaščito prebivalstva. Vključujejo še varnostno rezervo glede na radiološko tveganje. Izrečene so bile kritike, ker so bila nekatera območja evakuirana zaradi pretirane previdnosti, čeprav so bile prejete doze razmeroma manjše.

Ukrepi v letu 1991 so obsegali evakuacijo približno 220.000 ljudi. Natančno število kasneje evakuiranih ni znano. Po drugi strani pa je znano, da so oblasti prejele zahteve za evakuacijo od posameznih prebivalcev, ki so imeli pravico za ponovno nastanitev, kajti evakuacija je pomenila pridobitev pravice do odškodnine.

Na kontaminiranih območjih še vedno veljajo omejitve glede živil in gospodarskega razvoja.

---

*Za približno 16.000 ljudi, ki živijo znotraj 30 km radija okrog elektrarne, je delovanje elektrarne pravi blagoslov. Do danes je nastala znotraj prepovedanega sektorja prava ekonomska cona z lastnimi podjetji in stanovanji.*

*Manjše število (okrog 800) večinoma starejših ljudi, evakuiranih med nesrečo in preseljenih, je prekršilo prepoved bivanja na prepovedanem območju (30 km okrog reaktorja) in se je svojevoljno vrnilo na svoje prejšnje domove.*

## **Povratek na prepovedana območja**

Prepovedano območje znotraj 30 km je dejansko kontaminirano zelo neenakomerno, vzhodno in južno od Černobila z manj kot  $0,55 \cdot 10^{12}$  Bq/km<sup>2</sup> (15 Ci/km<sup>2</sup>). Verjetno so bivalna območja za osebe, povezano z delovanjem elektrarne, locirana na najmanj kontaminiranih območjih.

Oblasti niso nasprotovale povratku starejših ljudi, saj se z vrnitvijo na svoje domove njihovo zdravstveno stanje izboljša predvsem iz psiholoških razlogov. Poleg tega je tveganje rakavih obolenj pri starih ljudeh zaradi časovne zakasnitve več let pred pojavom bolezni manjše.

---

*Številne dekontaminacijske skupine, znane kot "likvidatorji", so zgradile zadrževalno "grobnico" okrog černobilskega reaktorja, ki obsega 60.000 m<sup>3</sup> radioaktivnega materiala in 1000 ton radioaktivne vode. Mnogi od teh likvidatorjev so prejeli visoke doze sevanja. Sovjetske oblasti so si 3 leta prizadevale, da bi minimalizirali posledice nesreče.*

*Čeprav je uradno registriranih 250.000 likvidatorjev, velja, da jih je skupno okrog 650.000.*

## **"Likvidatorji"**

650.000 ljudi, pretežno mladih, ki so bili večinoma vpoklicani, je prišlo delat v Černobil v dnevih in mesecih po nesreči. Radiološko niso bili zaščiteni in niso imeli osebnih dozimetrov.

Potem so se brez evidence razpršili po vsej nekdanji Sovjetski zvezi. Doze, ki so jih prejeli, niso znane, vendar je verjetno, da so nekateri prejeli več centigrayev ali celo nekaj grayev. Zato je tveganje rakavih obolenj zaradi izpostavljenosti sevanju mnogo višje med likvidatorji kakor med splošnim prebivalstvom.

---

*Vsa drevesa okoli elektrarne kažejo znake sevanja, ki se je deset dni sproščalo v ozračje. Spremembe so bile opažene na primerkih, ki so jih v znanstvene namene gojili okrog elektrarne.*

*Dandanes se v gozdove vrača življenje. Mogoče je najti mrtva drevesa poleg živih, trava ponovno raste, na brezah se pojavljajo poganjki.*

## **Vpliv nesreče na vegetacijo**

Na najbližjem območju okoli elektrarne so drevesa odmrli. Prizadeti so bili zlasti iglavci, ki sestavljajo večino gozda. Malo dlje so bile opažene spremembe (oblika in velikost listov).

V černobilskem gozdu se je začela normalizacija. Vendar je mogoče opaziti določene vplive na floro: nekateri iglavci so začeli ponovno rasti na vrhu s čopom igel na golem deblu. Na drugih rastlinah so opazili zavrto rast in morfološke spremembe.

---

*Motene so bile tudi populacije živali. V tednih po nesreči se je znatno zmanjšalo število glodalcev. Naslednje leto so se vrnil v povečanem številu. Namnožile so se lisice, ki so*

izkoristile to obilje glodalcev. Brez pritiska, ki ga izvaja navzočnost ljudi, so se namnožile tudi divje svinje in srnjad.

Kljub povečanju populacije je verjetno, da so bile tudi živali prizadete zaradi sevanja. Imajo manj mladičev in živijo krajši čas. Na nekaterih živalih so opazili rakava obolenja, vendar je ta opažanja treba še potrditi.

Domače živali (krave, ovce, kunci) na tridesetkilometerskem območju okrog elektrarne so bile evakuirane po desetih dnevih. Na ščitnico so prejele dozo 100 Gy. Posledica tega je bilo napačno delovanje te žleze. Tudi mladiči, ki so bili obsevani dva meseca pred rojstvom, so bili prizadeti zaradi poškodb ščitnice.

## **Vpliv nesreče na živali**

Na območju okrog Černobila je bila, podobno kot flora, zelo prizadeta tudi favna.

Na tridesetkilometerskem območju se je vzpostavilo novo ekološko ravnotežje s ponovnim pojavom nekaterih divjih vrst, ki jim je grozilo izumrtje. Njihovo umrljivost je sedaj težko natančno ugotoviti.

Pri tistih domačih živalih, ki so prejele visoke doze radioaktivnega joda, so bile glavne posledice povezane z žlezo ščitnico.

---

### *Arhaično stanje sovjetske medicine*

*V zaprti ekonomiji je praktično nemogoče dobiti zdravila razen na črnem trgu, kjer so njihove cene nesmiselno napihnjene - celo do višine večmesečne povprečno plače.*

## **Medicinski nadzor**

Tisk je upravičeno razkril številne nepravilnosti v sovjetskem zdravstvenem sistemu. Med njimi so: pomanjkanje opreme za preiskave, ni sistematičnega jemanja vzorcev krvi, medicinski nadzor prizadetega prebivalstva je na začetku, nizka in pogosto zastarela raven medicine in znanosti, pomanjkanje koordinacije med različnimi zdravstvenimi službami. Vendar ne smemo pozabiti, da ima Sovjetska zveza tudi visoko usposobljene zdravstvene skupine na območju sevanja v raznih centrih, npr. v Moskvi, kjer so zdravili paciente, ki so prejeli velike doze sevanja.

Pomanjkanje zdravil ima lahko drastične posledice.

Ni zanesljivih epidemioloških podatkov o pogostosti bolezni pred nesrečo, kot so problemi s ščitnico in levkemija. To otežuje kakršno koli primerjalno študijo ali zanesljivo analizo posledic černobilske nesreče.

*1 sievert na ščitnico, več kot 20-kratno dovoljeno dozo, je prejelo 17.000 otrok.*

## **Doze ščitnice pri otrocih**

Mnogi otroci so prejeli velike doze na ščitnico, ki so daleč nad omejitvijo, določeno za prebivalstvo - 0,05 Sv (5 rem). 1 % otrok, ki so bili izpostavljeni radioaktivnemu usedu iz Černobila, je prejel doze na ščitnico, višje od 10 Sv (1000 rem), 10 % otrok pa doze med 2 Sv (200 rem) in 10 Sv.

Poudariti je treba, da zaščita s hitro razdelitvijo tablet stabilnega joda (za zasičenje ščitne žleze in preprečitev kopičenja radioaktivnega joda) v več kontaminiranih območjih ni bila izvedena ali pa so se zanj odločili mnogo prepozno. Te jodove tablete kakor tudi enostavni ukrepi (omejitev zadrževanja na prostem, omejitve uporabe živil) bi zelo zmanjšali doze na ščitnico, če bi jih uvedli nekaj ur po nesreči.

---

*Povečanje števila primerov raka na ščitnici je zelo impresivno. Po podatkih OMS so našli po letu 1989 v Ukrajini med otroki 225 primerov, v Ukrajini pa 158.*

*Število primerov bolezní se je povečalo za dvajsetkrat. V pokrajini Gomel v Belorusiji je bilo povečanje celo 80-kratno.*

*Od 236 mladih beloruskih pacientov, evidentiranih 1. oktobra 1993, jih je 80 % imelo metastaze, med njimi je bilo 27 primerov s pljučnimi metastazami.*

*Trije otroci, dva iz Belorusije in eden iz Ukrajine, ki so umrli zaradi raka, dopolnjujejo bilanco černobilske katastrofe.*

## **Rak na ščitnici pri otrocih**

Število primerov raka na ščitnici pri otrocih, mlajših od petnajst let, se je povečalo leta 1990. Najprej so to opazili v Belorusiji, potem še v Ukrajini. Prva znanstvena poročila, ki so jih potrdili zahodni strokovnjaki, so bila objavljena konec leta 1992. V Rusiji, kjer je bila kontaminacija najmanjša, doslej ni bilo opaziti povečanja.

Povečanje primerov raka na ščitnici je preveliko, da bi ga lahko pripisali boljšim metodam odkrivanja, kakor so mislili prvotno.

Pojav prvih rakavih obolenj na ščitnici štiri leta po nesreči je bilo presenečenje, ker se rak na ščitnici, ki ga povzroči ionizirajoče sevanje, ponavadi pojavi več kot pet ali celo deset let po obsevanju. Razlaga bi lahko bila mladost prizadetih otrok, ker je ščitnica pri otrocih občutljivejša za sevanje. Ščitnica je tudi manjša in sta zato koncentracija joda ter prejeta doza večji. Poleg tega je bilo med prizadetimi pacienti osem otrok, ki so bili obsevani pred rojstvom.

S sedanjimi načini zdravljenja je mogoče ozdraviti večino primerov raka na ščitnici. Do sedaj je umrlo zaradi raka na ščitnici deset otrok, ki so bili kontaminirani po černobilski

nesreči. Ti otroci so imeli posebno virulentno obliko raka s pogostimi pljučnimi in živčnimi metastazami. Poleg tega dosegljivi načini zdravljenja niso optimalni (pomanjkanje diagnostične opreme za odkrivanje metastaz in njihovo zdravljenje).

---

*Pojavili so se nepredvideni psihološki problemi, ki so povezani z nepoučenostjo prebivalstva o dejanski nevarnosti in s porušenim načinom življenja, še zlasti med evakuiranimi ljudmi. To se kaže v boleznih srca, živčnih motnjah in slabenju naravnega imunskega sistema.*

*Pri evakuiranem prebivalstvu, za katerega so se življenjske razmere in navade bistveno spremenile, je mogoče opaziti kronično stanje tesnobe in napetosti, ki povzroča naključne bolečine, nespečnost in težave pri učenju.*

*Zdravstveno stanje žrtev se poslabšuje. V Ukrajini je bilo v letih 1987 - 1988 zdravih 47 % odraslih in 53 % otrok. Danes so ti odstotki mnogo manjši, okrog 30 %.*

## **Psihološki in psihosomatski problemi prebivalstva**

Vsa poročila soglašajo o pojavu "psihološke ogroženosti pri ljudeh, prizadetih zaradi Černobila, ki povzroča psihosomatske probleme". Poročila mednarodnih strokovnjakov poudarjajo psihološke posledice, tesnobo in napetost.

Vsi ti problemi so bili spočetka uvrščeni pod izraz "radiofobija" in niso povezani z neposrednimi učinki sevanja, temveč s psihološko travmo zaradi nesreče (nasilna sprememba načina življenja, zaskrbljenost zaradi tveganja) in s spremembami v prehranjevalnih navadah (neprimernost nekaterih vrst hrane). Ti problemi so se še povečali zaradi protislovnih uradnih izjav po nesreči. Potem ko je bila sprva vsaka nevarnost za prebivalstvo zanikana, so oblasti predlagale evakuacijo in odškodnino. Rezultat je bil izguba zaupanja prebivalstva do vseh uradnih izjav.

Zato je prišlo do povečanja števila "obolenj na dihalnem, prebavnem ter živčnem sistemu in cirkulaciji". To so običajni pojavi pri preseljenem prebivalstvu in niso povezani s sevanjem. Treba je dodati, da sta okrepljeni zdravniški nadzor in socialno delo pokazala obolenja, ki prej niso bila opažena.

Med žrtvami Černobila, preseljenimi, živečimi na kontaminiranih območjih in likvidatorji, je mogoče opaziti splošno tesnobo. Ta je povezana z raznimi vplivi na zdravje, ki jih lahko sistematično povežemo s černobilsko nesrečo.

Sistem odškodnin za preseljene poslabšuje položaj, ker prispeva h krepitvi miselnosti o pasivni "černobilski žrtvi". Odškodnina je dejavnik socialne segregacije, ker povzroča ljubosumje stalnega prebivalstva do preseljenih in ovira njihovo socialno integracijo.

---

*Prebivalstvo ni bilo seznanjeno z ničemer v zvezi s Černobilom in zdravniki niso vedeli, kakšne doze so prejeli pacienti.*

## **Slab vtis francoskega prebivalstva o informacijah po černobilski nesreči**

Značilnost številnih medijev je bilo pomanjkanje informacij v trenutku černobilske nesreče, o poteku nesreče in njenih možnih posledicah za francosko prebivalstvo.

Res je, da so bile informacije nepravilne in slabo razumljive. Z obsežnejšimi informacijami za javnost o stopnjah kontaminacije in o ustreznih tveganjih bi se nedvomno izognili kasnejšim dolgotrajnim sporom. Poleg tega so bila novinarska poročila pogosto brez osnov, informacije spremenjene zaradi senzacionalizma.

Omeniti je treba, da so bile v državah, kjer so bile informacije o stopnjah kontaminacije objavljene brez ustrezne razlage, opažene iracionalne reakcije prebivalstva. V Evropi, predvsem v Nemčiji, na Švedskem in Finskem je prišlo do več deset tisoč nepotrebnih umetnih splavov. Ta izguba življenj zaradi nedelujočega informacijskega sistema daleč presega biološke posledice černobilske nesreče.

Od takrat je bilo v Franciji izpeljanih več ukrepov za boljše obveščanje javnosti:

- Revija MAGNUC (dosegljiva na francoskem sistemu videoteksta Minitel) posreduje sveže informacije o problemih jedrske varnosti ter tudi rezultate meritev v okolju, še posebej okrog lokacij jedrskih elektrarn. Prikazuje tudi rezultate meritev na živilih.
  - Vsaka jedrska lokacija oziroma elektrarna mesečno poroča organom oblasti, lokalnemu tisku, bližnjim županstvom in lokalnim komisijam za informiranje o rezultatih preverjanja radioaktivnosti v okolju in o odpadkih.
  - Na Ministrstvu za zdravstvo so prebivalstvu z avtomatskimi telefonskimi odzivniki dosegljivi telefonski bilteni.
-

## KAJ JE NAPAČNO

*Povečanje števila primerov raka na grlu in ustnicah.*

*Na tisoče anonimnih sovjetskih žrtev je zbolelo za rakom zaradi sevanja.*

*Število smrti je neznano, ker umirajo vsak dan, kar se bo nadaljevalo še 50 let.*

### **Tveganje obolenja za rakom**

Sevanje lahko povzroči razne vrste rakavih obolenj. Vendar pa sevanje vpliva z zakasnitvijo, tako da se levkemija zaradi sevanja pojavi čez dve leti, druge vrste raka pa čez pet do deset let. Večine rakavih obolenj, ki so bila do sedaj ugotovljena, z izjemo levkemij in raka na ščitnici pri otrocih ni mogoče povezovati s Černobilom, ker od nesreče še ni poteklo dovolj časa.

Različna poročila mednarodnih strokovnjakov pri izpostavljenem prebivalstvu ne kažejo povečanja rakavih obolenj niti levkemije z izjemo raka na ščitnici. To ni presenetljivo, ker je doza na ščitnico pri kontaminaciji z jodom-131 tisočkrat do desetstisočkrat večja kakor pri drugih organih.

Kadar se izboljša zdravniški nadzor, se redno opazi povečanje števila rakavih obolenj med prebivalstvom. Ugotovi se veliko primerov raka, ki bi sicer ostali neodkriti (smrt bi pripisali drugim vzrokom). To je bilo npr. opaženo pri starejših ljudeh v industrializiranih državah, kjer sedaj iščejo vzroke za slabšanje njihovega zdravstvenega stanja, česar prej niso delali. Prav tako so izkušnje pri iskanju raka na dojkah v vseh državah pokazale navidezno povečanje pogostosti te bolezni. Ta pojav, ki je bil sprva skrivnosten, je sedaj jasno razumljiv. Prvi dve ali tri leta pregledovanja najdejo poleg razmeroma starih primerov, ki bi jih v vsakem primeru odkrili, tudi zgodnje primere, ki bi jih brez sistematičnega pregledovanja opazili šele nekaj let kasneje ali pa sploh spregledali.

Normalna pogostost rakavih obolenj je zelo visoka. Od 75 milijonov državljanov nekdanje Sovjetske zveze, ki so kakorkoli povezani s Černobilom, jih bo 15 do 18 milijonov naravno umrlo zaradi raka. Zato bo zelo težko prikazati razmeroma majhno povečanje rakavih obolenj, ki jih je mogoče pripisati sevanju.

---

*Število primerov levkemije pri otrocih se je po letu 1986 v Kijevu povečalo za 50 %.*

### **Povečanje števila primerov levkemije**

Do leta 1994 v treh nekdanjih republikah Sovjetske zveze, ki so najbolj povezane z nesrečo v Černobilu, ni bilo opaziti povečanja števila primerov levkemije. Med černobilsko nesrečo so v Belorusiji že imeli register otroškega raka. V petih letih po nesreči se pogostost hude



levkemije pri otrocih v Belorusiji ni spremenila celo pri tistih v najbolj kontaminiranih pokrajinah.

Študija Mednarodnega centra za raziskavo raka v pokrajinah nekdanje Sovjetske zveze in nekaterih drugih evropskih državah doslej ni ugotovila povečanja oboletosti za levkemijo, vendar bodo študijo nadaljevali še deset let.

---

*Na nekaterih od najbolj kontaminiranih območij se je število prirojenih deformacij povečalo za več kot 200 %. Dejansko je v teh pokrajinah po nesreči 89 % otrok rojenih z deformacijami.*

*Primeri ostudnih deformacij so najpogostejši med živalmi, še posebej med prašiči, ki se rojevajo brez glav, brez želodcev, slepi in s kosi mesa namesto oči.*

*Pri ljudeh so pogosti primeri otrok, ki se rodijo z "repi kot morske deklice", ter tudi mnogih otrok brez anusov (zadnjičnih odprtin).*

## **Prirojene deformacije in genetske nenormalnosti**

Nekateri novinarji so postavili nesmiselne trditve. Popolnoma očitno je, da nikoli ni bilo rojenih 89 % otrok z deformacijami niti otrok z ribjimi repi.

Za natančnejše informacije o prirojenih deformacijah in genetskih nenormalnostih glej stran 68.

## **Kronična sevalna bolezen**

Značilna je bila popolnoma neupravičena težnja, da bi vsako bolezen v Černobilu pripisali sevanju, dejansko pa so mnogi simptomi povezani s stresom, spremembo načina življenja in slabo prehrano.

---

- *Za srednje velike doze velja, da se med obsevanjem pojavita draženje oči in grla ter srbenje kože.*
- *Čez nekaj dni zateče obraz, vnameta se grlo in požiralnik, pojavijo se nesposobnost požiranja, težave s spominom, izguba občutka časa, izguba prostorske orientacije ter nesposobnost ločevanja med levo in desno stranjo. Imel sem krče z bruhanjem in solzenjem.*
- *Pri velikih dozah se med obsevanjem pojavijo bruhanje, potemnitev kože, zatekanje obraza in obolenje ščitnice.*

## Opis učinkov pri hudem obsevanju

Gornji citat je primer fantazijskega opisa učinkov resnega obsevanja. Obsevanje samo ne povzroča draženja oči ali grla niti srbenja kože. Obsevanje lahko povzroči zgodnje in začasno zatekanje ščitnice ter žleze slinavke.

Kadar so doze, višje od 1 Sv (100 rem), prejete v kratkem času, se lahko pojavijo slabost, bruhanje, splošno slabo počutje z vročino in začasna potemnitev kože. Drugi znaki se pokažejo z zakasnitvijo od enega do štirih tednov in so povezani z zmanjšanjem števila rdečih krvnih teles (anemija), belih krvnih teles (infekcija) ter ploščic (nevarnost krvavitve) zaradi poškodb kostnega mozga.

Doze, višje od 8 Sv (800 rem), povzročajo dodatne črevesne (driska) in pljučne (dihalne težave) posledice, ki privedejo do smrti v nekaj tednih. Znaki mentalne zmedenosti se pokažejo le pri izredno visokih dozah, več kot 10 Sv (1000 rem), ki so smrtne v kratkem času.

Učinki na koži se pojavijo, če je doza na koži višja od 3 Sv (300 rem).

---

*Vsaka doza je nevarna.*

*50 % ljudi, ki so prejeli dozo višjo od 400 rem, ima zdravstvene probleme.*

## Pojem nevarnih doz

Napačno je trditi, da je nevarna vsaka doza, kakor je napačno trditi, da se zdravstveni problemi začnejo pri dozah 400 rem.

Spomnimo se, da je vsako bitje na Zemlji naravno obsevano in glede na svoj geografski položaj prejme letno dozo od 1,5 do 6 mSv (0,15 do 0,6 rem). Dosedanje študije nikoli niso pokazale večjega števila rakavih obolenj ali prirojenih deformacij v pokrajinah, kjer je naravno sevanje visoko v primerjavi s pokrajinami z nizkim naravnim sevanjem.

Zdravstveni problemi se lahko pojavijo nekaj dni ali nekaj tednov po močnem obsevanju. Anomalije niso opazne, če so prejete doze manjše od 300 mSv (30 rem). Pri dozah med 300 mSv in 1 Sv je mogoče nekatere nenormalnosti opaziti v vzorcih krvi. Klinični pojavi se zgodijo pri dozah nad 1 Sv (glej opis učinkov hudega obsevanja). Brez zdravljenja v nekaj tednih umre polovica ljudi, ki so prejeli dozo 4,5 Sv.

Pri zakasnelih učinkih ionizirajočega sevanja (rakasta obolenja in genetske nenormalnosti) ni znano, ali obstaja prag doze, to je doza, pod katero ni tveganja. Dolgoročni nadzor mnogih obsevanih subjektov je pokazal opazno povečanje rakavih obolenj ali levkemije le pri dozah nad 0,4 Sv (40 rem). Kakor pri vseh drugih toksičnih snoveh obstaja tudi pri sevanju doza, pod katero ni mogoče odkriti morebitnih nevarnosti. Mednarodna komisija za

varstvo pred sevanjem (ICRP - International Commission for Radiological Protection) priporoča omejevanje doz na najnižjo še razumno dosegljivo stopnjo.

---

*Cezij prodre v celico in jo razkroji, v skrajnih primerih pa lahko poškoduje tudi protein in DNK.*

## **Delovanje radioaktivnih izotopov**

Očitno gre za zmedo glede pojma "razkroj" v smislu radioaktivnega razpada cezija in pojma "razkroj" v smislu učinkovanja radioaktivnega cezija na biološko razkrajanje celice.

Radioaktivni izotopi so nevarni le zaradi sevanja, ki ga oddajajo, pri čemer je merilo njihova aktivnost. AIL (Annual Incorporation Limits) - omejitve letnega vnosa so omejitve aktivnosti, določene za vsak izotop. AIL za zaužitje cezija-137 ob aktivnosti 400.000 Bq (becquerelov = razpadov v sekundi) ustreza letni omejitvi doze 0,005 Sv (0,5 rem). Enako kakor omejitev doze ni meja nevarnosti, ker je daleč pod dozo 1 Sv (100 rem), ki povzroči resne učinke, je AIL varnostna omejitev, katere manjša prekoračitev nima neposrednih učinkov.

---

*Krajša ali daljša izpostavljenost ceziju-137 povzroči neplodnost pri ženskah.*

## **Nevarnost sterilnosti**

Ženske bi morale zaužiti zelo veliko količino cezija-137 (nekaj milijard becquerelov), da bi se pri njih pojavila sterilnost. Pri 25-letnih ženskah se nepovračljiva sterilnost pojavi, če prejmejo jajčniki v kratkem času dozo 12 Sv (1200 rem).

Ženske izpostavljenega prebivalstva so prejele v prvem letu na ovarijih (jajčnikih) doze, manjše od 0,2 Sv. V naslednjih letih so prejemale še manj, kar izključuje kakršno koli nevarnost sterilnosti zaradi sevanja. To je približna velikost doze, prejeta pri rentgenskem pregledu medenice. Prav tako ni nevarnosti za prihodnje nosečnosti.

Testisi (moda) so za sevanje precej občutljivejši od jajčnikov. Število spermijev se začenja zmanjševati pri dozi 0,08 Sv (8 rem), sterilnost se pojavi pri prekoračenju doze 2 Sv (200 rem). Sterilnost je začasna, če doza ostane pod 6 Sv (600 rem).

---

*Kot rezultat katastrofe bo umrlo več tisoč ljudi. Verjetni vzrok za to so doze, ki jih je prejelo prebivalstvo. V mestu Pripjat (ki je najbližje elektrarne v Černobilu, op. prev.) je 55.000*

*ljudi prejelo 3-kratno letno dozo, 300.000 ljudi, ki so bili zaposleni pri gradnji reaktorske grobnice, pa je prejelo 6-kratno mejno letno dozo.*

## **Pomen omejitve doze**

Omejitev doze, ki je v skladu s priporočili ICRP sprejeta v raznih državah, je sedaj 0,05 Sv (5 rem) letno za delavce in 0,005 Sv (0,5 rem) letno za prebivalstvo. Ta omejitev doze je določena znatno pod pragom, nad katerim so mogoči kratkoročni vplivi na zdravje (1 Sv ali 100 rem). Če torej prebivalstvo ni prejelo doze, ki je 200-krat večja od omejitve, v tednih po obsevanju ni mogoče opaziti zdravstvenih vplivov. Zato je absurdno zgodnjo smrt pripisovati dozi, ki v nobenem primeru ne presega 0,3 Sv (30 rem). Glede števila smrti zaradi černobilske nesreče glej stran 65.

---

*Černobilski oblak se je ustavil na meji Francije.  
Uradne službe so podcenjevale številke.*

## **Černobilski oblak**

**V ponedeljek, 28. aprila**, so sovjetske oblasti objavile novico o nesreči v Černobilu.

**Od torka, 29. aprila**, preden je oblak dosegel Francijo, je bil prvi organ, ki je lahko sporočil njegovo sestavo Francoski tiskovni agenciji (AFP - Agence France Presse), Francoski centralni urad za varstvo pred ionizirajočimi sevanji (SCRPI), ker je lahko jemal vzorce zraka z letal na rednih progah.

**30. aprila** je oblak, ki je bil takrat že močno razredčen, dosegel Francijo.

Francoski centralni urad za varstvo pred ionizirajočimi sevanji (SCRPI) je to sporočilo prenesel vsem tiskovnim agencijam še isto noč.

**1. maj** je bil praznik, časopisi niso izšli.

**2. maja** se je sporočilo SCRPI z 29. aprila pojavilo v tisku.

Torej ni res, da so državni organi hoteli prikriti informacije in trditi, da oblak ni dosegel Francije. Vendar pa je težavnost komuniciranja na tako tehničnem področju pustila občutek dvoma, ki ga je javnost razumela kot pomanjkanje informacij. Na drugi strani pa drži, da se zaradi nizke stopnje radioaktivnosti oblasti niso odločile uvesti posebnih ukrepov za zaščito prebivalstva. Prednost tega je bila, da so se izognili nepotrebni paniki, ki jo je bilo mogoče opaziti v nekaterih sosednjih državah.

---

*Glede na predpise Evropske gospodarske skupnosti bi morali nekatere izdelke umakniti s polic.*

*Ministrstvo za zdravstvo nikoli ni priznalo predpisov EGS.*

*Otrokom so pustili jesti izdelke, ki jih ne bi smeli zaužiti.*

*Če bi v prihodnosti nastali problemi, porabniki ne bi nikoli vedeli, ob kakšnih stopnjah aktivnosti bi morali biti izdelki umaknjeni.*

## **Predpisi o prehrani**

Veljavni predpisi Evropske skupnosti so bili zgolj predpisi o carinah. Določala je "začasno najvišjo dovoljeno aktivnost ob uvozu izdelkov iz držav zunaj skupnosti". Oblasti v različnih državah so bile odgovorne za ukrepe, ki so se jim zdeli potrebni na lastnem ozemlju.

Poročilo OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development Organizacija za ekonomsko sodelovanje in razvoj) iz leta 1987 kaže, da ukrepi v nekaterih državah EGS niso bili določeni na podlagi radioloških meril in da niso bile upoštevane dejanske potrebe po radiološki zaščiti. Omeniti je treba, da so ukrepi v nekaterih državah privedli do popolnoma nepotrebnih splavov, približno 100.000 v celotni Evropi. V Franciji položaj nikoli ni zahteval ukrepanja.

Ob morebitni jedrski nesreči v prihodnosti bi začeli veljati predpisi organizacije EURATOM, ki so jo sprejeli leta 1987. Ti podrobno določajo sprejemljive omejitve za uvoz in prodajo hrane.

---

*Korzika je med najbolj kontaminiranimi deli Evrope.*

*Obstaja zveza med porabo kontaminiranega kozjega mleka in povečanjem infekcij žleze ščitnice.*

*Francoski centralni urad za varstvo pred ionizirajočimi sevanji (SCPRI) je objavil izredno vznemirljive analize.*

## **Kontaminacija na Korziki**

Kontaminacija na Korziki je bila enaka kot v jugovzhodni Franciji na območju Grenobla. Bila je mnogo nižja kakor v Italiji in vzhodneje v Evropi, kar je popolnoma razumljivo, ker se je oblak med odmikanjem od svojega izvora vedno bolj razredčil. Rezultati o kontaminiranosti kozjega in ovčjega mleka, ki jih je objavil Francoski centralni urad za varstvo pred ionizirajočimi sevanji, kažejo, da niso bili potrebni posebni varnostni ukrepi. Zdravstveni pregledi in dozimetrija ljudi v severnem delu Korzike, ki so po nesreči uživali svoje izdelke, ni pokazala nobenih nenormalnosti.

*Povečanje števila obolenj in pogostosti raka na ščitnici, še posebno na jugovzhodu Francije, je privedlo do vprašanj strokovnjakov o radioloških posledicah nesreče v černobilski elektrarni aprila 1986.*

### **Rak na ščitnici v Franciji**

Januarja 1994 so se pojavila poročila o povečanju števila primerov raka na ščitnici na jugovzhodu Francije. Te govorice niso imele nikakršne stvarne podlage in jih ni mogel potrditi noben strokovnjak. Poleg tega je bila v Franciji doza na ščitnico po černobilski nesreči približno enaka dozi naravnega sevanja. Vendar pa pregled z ekografijo odkrije številne primere, ki bi sicer ostali skriti.

## **KAJ JE NEGOTOVO**

*Skupine prebivalstva so dobile povprečne doze med 0,2 in 1 Sv (20 do 100 rem) z zunanjim sevanjem ali uživanjem hrane in vode ali z vdihavanjem delcev.*

*Tisoči otrok in odraslih so prejeli v letu 1986 doze 2 Sv (200 rem) ali več.*

### **Doze, ki jih je prejelo prebivalstvo**

Doze niso bile izmerjene, temveč izračunane kasneje in je zato treba upoštevati negotovost. Vendar pa so vrednosti, ki so jih objavile različne mednarodne komisije, mnogo nižje od alarmantnih poročil v tisku.

Poročilo Mednarodne agencije za atomsko energijo avgusta 1990 navaja kot povprečne doze na kontaminiranih območjih Sovjetske zveze med letoma 1986 in 1989 0,06 Sv (6 rem) in kot maksimalne doze 0,17 Sv (17 rem). Nadalje je doze, ki so jih prejeli prebivalci v Sovjetski zvezi in osrednji Evropi, analiziral komite Združenih narodov, ki je specializiran za študij ionizirajočega sevanja (UNSCEAR), in ugotovil vrednost okrog 0,001 Sv (0,1 rem), kar je manj od letne doze naravnega sevanja.

Doze, ki jo prejme vse telo, ne smemo zamenjati z dozo, ki jo prejme ščitnica. Nekateri ljudje, zlasti otroci, so prejeli dozo na ščitnico več kot 2 Sv (200 rem) zaradi prepozne razdelitve tablet s stabilnim jodom (glej tudi stran 55).

---

*Uradni seštevek je bil 31 mrtvih. Mnogi časopisi so poročali o 250 do 300 mrtvih ali celo "nekaj tisoč žrtvah".*

*Od 1500 ljudi, ki so delali na lokaciji v letu 1987, jih je umrlo več kot 80.*

*Decembra 1993 so zahodni znanstveniki potrdili, da je černobilski eksploziji mogoče pripisati največ 42 žrtev. Ta trditev se razlikuje od objave ukrajinske vlade, po kateri je bilo 8000 žrtev zaradi vplivov katastrofe.*

### **Število mrtvih zaradi černobilske nesreče**

Uradno število mrtvih je 31: 2 takojšnji smrti zaradi poškodb in opeklin ter 29 mrtvih med 237 primeri hude izpostavljenosti sevanju v treh mesecih po nesreči. Ob koncu leta 1993 je bilo uradno število mrtvih 42.

Nobeno uradno sovjetsko poročilo ne omenja usode delavcev, ki so sodelovali pri dekontaminaciji. Čeprav so nekateri med njimi prejeli visoke doze sevanja, je verjetno število mrtvih, ki se jih da pripisati sevanju, zelo omejeno. Vsake smrti, ki se je zgodila po nesreči, ni mogoče sistematično pripisati Černobilu.

Ni zadostnih informacij o usodi delavcev na lokaciji.

Po preteku prvih tednov po nesreči so edini smrtni primeri, ki jih je mogoče pripisati sevanju, smrt zaradi raka ali levkemije. Vendar pa sta potrebni vsaj dve leti za nastanek levkemije in pet do deset let za druge vrste raka. Doslej je bilo očitno le povečanje števila primerov raka na ščitnici, ki je vzrok smrti približno desetih otrok. Število 200 mrtvih zaradi raka, ki ga včasih navajajo, ustreza pesimistični oceni tveganja. Ne pozabimo, da so pri 250.000 preživelih iz Hirošime in Nagasakija v 35 letih po eksploziji bomb opazili približno 800 dodatnih primerov raka.

---

*6000 do 100.000 mrtvih*

### **Število mrtvih, ki jih je mogoče pričakovati zaradi černobilske nesreče**

Popolnoma teoretično je mogoče izračunati število dodatnih primerov raka zaradi sevanja, če predpostavimo, da je tudi minimalna doza škodljiva. Glede na to bi bilo mogoče v prihodnjih 70 letih pričakovati med 75 milijoni prebivalcev nekdanje Sovjetske zveze in srednje Evrope od 0 do 15.000 mrtvih. V istem obdobju bo v isti populaciji umrlo zaradi "naravnih" vrst raka 15 do 18 milijonov ljudi.

Posledica černobilske nesreče bi bilo povečanje normalno odkritega števila rakavih obolenj za 0 do 1 %, z izjemo raka na ščitnici, kjer je povečanje veliko. Mednarodni strokovnjaki poudarjajo, da bi bilo tako povečanje zelo težko zaznati celo z dobro izvedenimi epidemiološkimi študijami.

---

*Ukrajina ima približno 2,8 milijona "žrtev", tj. več kot 5 % prebivalstva (52 milijonov). Tega povečanja v pogostosti različnih obolenj ni mogoče vedno povezati s sevanjem (začetnim ali zaostalim), čeprav mnogi pacienti to poskušajo zaradi odškodnine.*

### **Žrtve černobilske nesreče**

Dejansko število žrtev černobilske nesreče, to je ljudi, ki so zaradi nesreče čutili posledice na svojem zdravju ali načinu življenja, je zelo težko natančno kvantificirati.

Status "žrtev Černobila" je bil definiran v predpisih prizadetih republik nekdanje Sovjetske zveze. Pomemben je za ljudi, ki so sodelovali pri odstranjevanju posledic nesreče (likvidaciji), in tiste, ki živijo ali so živeli na kontaminiranih območjih, saj jim daje možnost odškodnine.

V Ukrajini je bil uveden 12 odstotni černobilski davek na plače.

---



*Povečanje smrtnosti dojenčkov za 30 %.*

*Stalno se povečuje smrtnost dojenčkov.*

## **Smrtnost dojenčkov**

Nismo dobili zanesljivih informacij o smrtnosti dojenčkov v pokrajinah Rusije, Belorusije in Ukrajine, ki jih je prizadela černobilska nesreča. Zanesljivo so opaženi vplivi mnogovrstni, pri tem pa ni znana njihova pomembnost, še zlasti zaradi poslabšanja življenjskih razmer ter stresa in zaskrbljenosti po nesreči.

Poleg tega ni zanesljivih statističnih podatkov o umrljivosti dojenčkov pred nesrečo.

---

*Število primerov raka na ščitnici med odraslimi je doseglo zaskrbljujočo raven. Poročilo OMS navaja več kot 500 primerov za območja v Ukrajini in Belorusiji, kjer živi okrog 63 milijonov prebivalcev.*

## **Rak na ščitnici pri odraslih**

O manjšem povečanju števila primerov raka na ščitnici pri odraslih poročajo v Belorusiji in Ukrajini, vendar mnogo manjšem, kakor ga je mogoče opaziti pri otrocih.

Glede na višje število primerov spontanega raka na ščitnici pri odraslih povečanja ni mogoče z gotovostjo pripisati černobilski nezgodi.

## **Problemi z zdravjem in imunostjo**

Objavljena so bila številna sporočila o povečanju infekcij zaradi zmanjšane imunosti. Dejansko pa to ni bilo nikoli zdravniško potrjeno. Lahko bi bilo povezano z neugodnimi vplivi vseh vrst, s stresom, slabimi življenjskimi razmerami in z drugimi toksičnimi snovmi.

---

*Pri otrocih, ki so se rodili kontaminiranim staršem, se že pojavljajo genetske deformacije.*

*Gre za hude prirojene deformacije pri otrocih, ki so jih rodile matere, izpostavljene sevanju med nosečnostjo.*

## **Prirojene deformacije in genetske nenormalnosti pri otrocih**

Po nesreči so v Sovjetski zvezi objavili, da niso opazili niti povečanja števila prirojenih deformacij niti genetskih nenormalnosti. Tudi strokovnjaki Mednarodne agencije za atomsko energijo so imeli vtis, da ni bilo povečanja.

Pri potomcih preživelih iz Hirošime in Nagasakija, ki so prejeli mnogo večje doze, niso opazili nobenih nenormalnosti. Po izkušnjah dr. Schlumbergerja (Inštitut "Gustave Roussy") ni bilo mogoče opaziti nobenega povečanja nenormalnosti pri otrocih, rojenih materam, ki so bile pred nosečnostjo obsevane z jodom-131 in celo z mnogo višjimi dozami kakor med črnobilsko nesrečo.

Vendar pa nedavna objava beloruskih zdravnikov poroča o povečanju prirojenih deformacij pri otrocih, rojenih med letoma 1987 in 1990, v primerjavi z otroki, rojenimi med letoma 1982 in 1985. Korelacija med dozo sevanja in pogostostjo prirojenih deformacij ni bila ugotovljena. Poleg tega je bilo opaženo povečanje tudi pri prebivalstvu, ki živi na nekontaminiranem območju. Poleg sevanja so bili kot domneven vpliv omenjeni prehrana, kemični kontaminanti in stres. Mogoče je tudi predpostavljati, da so po črnobilski nesreči bolj sistematično iskali prirojene deformacije in našli tudi take, ki bi sicer ostale neodkrita.

---

*Vse evakuirane noseče ženske so splavile. Ženskam v ukrajinskih in beloruskih vaseh svetujejo splav, če je radioaktivnost večja od  $1,48 \cdot 10^{12} \text{ Bq/km}^2$  (40 Ci/km<sup>2</sup>).*

## **Splavi**

Po drugih virih veliko žensk z evakuiranih področij ni splavilo in je rodilo normalne otroke.

## **Prirojene deformacije in genetske nenormalnosti pri živalih**

Prirojene deformacije so se najverjetneje zgodile po nesreči pri najbolj obsevanih živalih, ki so živele blizu mesta nesreče, vendar pa je večina teh deformacij povzročila smrt pred rojstvom.

Po drugi strani pa pogostosti deformacij, o katerih poročajo pri teličkih in pujskih, ni mogoče pripisati sevanju, ker se te vrste učinkov pojavijo šele pri zelo visokih dozah (več kot 100 Gy). Primerjave med močno in šibko kontaminiranimi območji niso odkrile nobene pomembne razlike.

---

*Ekonomski stroški katastrofe so znatni, do 2000 milijard francoskih frankov (okoli 400 milijard ameriških dolarjev).*

*Po oceni Svetovne banke dajeta trenutno Belorusija in Ukrajina med 3 in 4 % svojega bruto nacionalnega produkta za ukrepanje v zvezi s posledicami černobilske nesreče. Ta delež bi v prihodnjih 2 ali 3 letih lahko dosegel 15 %.*

## **Ekonomski stroški**

Trenutno je ocena zelo težavna, zdi pa se zelo visoka.

Sovjetske oblasti ocenjujejo stroške "likvidacije posledic" na 9,2 milijarde rubljev. To številko je treba primerjati s sovjetskim BNP, ki je znašal leta 1986 1100 milijard rubljev.

Čeprav je ekonomski strošek nesreče težko izraziti v številkah, je videti velikanski in je težko breme za Ukrajino in Belorusijo, ki se srečujeta z velikimi gospodarskimi težavami, še poslabšanimi zaradi razpada sovjetskega imperija.

---

## UČINKI IONIZIRAJOČEGA SEVANJA: NEKAJ ŠTEVILK

Doza		Znaki obsevanja
Sv	rem	
10	1000	Nevrološki problemi (zmedenost, koma)
8	800	Črevesni problemi (driska) in dihalne težave
4,5	450	Smrtna doza 50 (50 odstotna smrtnost brez zdravljenja)
3	300	Prvi znaki na koži (pordečitev)
2	200	Nujno je potrebna hospitalizacija. Prizadet je kostni mozeg (anemija, infekcije, krvavitve)
1	100	Prvi simptomi - slabost, bruhanje
0,3	30	Minimalne nenormalnosti v krvnih vzorcih (zmanjšanje določenega števila belih krvničk, limfocitov)

## ENOTE ZA MERJENJE SEVANJA

Merjena veličina	Pomen	Stari sistem	Mednarodni sistem
Aktivnost	Število razpadov v sekundi	curie (Ci)	becquerel (Bq) 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
Absorbirana doza	Energija na enoto mase	rad	gray (Gy) 1 rad = 0,01 Gy
Ekvivalentna ali efektivna doza	Vpliv sevanja na telo	rem	sievert (Sv) 1 rem = 0,01 Sv

## Nekaj primerjav

Doza		
mSv	rem	
50	5	Letna omejitev za delavce, ki so izpostavljeni sevanju
5	0,5	Letna omejitev za prebivalstvo
2	0,2	Letna doza naravnega sevanja v Franciji
1	0,1	Rentgeniziranje pljuč (lokalno obsevanje)



## POSLEDICE ČERNOBILSKE NESREČE V SLOVENIJI

*dr. Rafael Martinčič, mag. Bogdan Pucelj*

### Dogodki takoj po nesreči

Prvo novico o nesreči je naši javnosti sporočil Radio Ljubljana v jutranjih poročilih v torek, 29. aprila 1986. Novica je tisto dopoldne imela vsaj dva odziva. Opravljene so bile dodatne kontrolne meritve, ki so pokazale, da pri nas še ni prišlo do povečane radioaktivnosti okolja<sup>6</sup>, sklican pa je bil tudi koordinativni sestanek predstavnikov Komisije za jedrsko varnost, Republiškega štaba za civilno zaščito, Ekološkega laboratorija z mobilno enoto, Hidrometeorološkega zavoda in še nekaterih drugih institucij 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 pripravljene.

Naslednjega dne, 30. aprila zjutraj, je bilo izmerjeno prvo povečanje radioaktivnosti v ozračju in padavinah<sup>7</sup>. Sprožili so obširen program meritev radioaktivnega onesnaženja okolja in prehranske verige, saj so vetrovi iz Černobila v Slovenijo zanesli radioaktivne snovi. V prvih dneh maja je o vrsti kontrolnih vzorcev odločala strokovna skupina Republiškega štaba civilne zaščite, kasneje pa je to vlogo prevzela posebej imenovana koordinacijska skupina. Izredni program meritev je bil prekinjen julija, vlogo kontrole pa so ponovno prevzeli redni programi nadzora radioaktivnosti.

Slovenija je bila strokovno dokaj dobro pripravljena na pojav radioaktivne kontaminacije. Zaslugo za to gre pripisati izkušnjam pri rednem nadzoru radioaktivnosti v okolici NE Krško in Reaktorskega centra Podgorica. V okviru teh dejavnosti so bile vpeljane specifične merilne metode, izvajalci pa so si nabrali številne prepotrebne izkušnje pri opravljanju meritev. Dodatno je k učinkovitosti precej pripomogel načrt ukrepov za pripravljenost za nezgodo v NEK, ki je bil pripravljen že v preteklosti in preizkušen med vajo Posavje 82.

---

<sup>6</sup> 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 ob černobilski nesreči sta delno sodelovala tudi Nuklearna elektrarna Krško in Rudnik urana Žirovski vrh.

<sup>7</sup> Čas prihoda radioaktivnega oblaka v Slovenijo je v noči iz torka na sredo (29. na 30. aprila) prvi zabeležil merilnik radioaktivnosti v Rudniku urana Žirovski vrh, namenjen nadzoru rude.

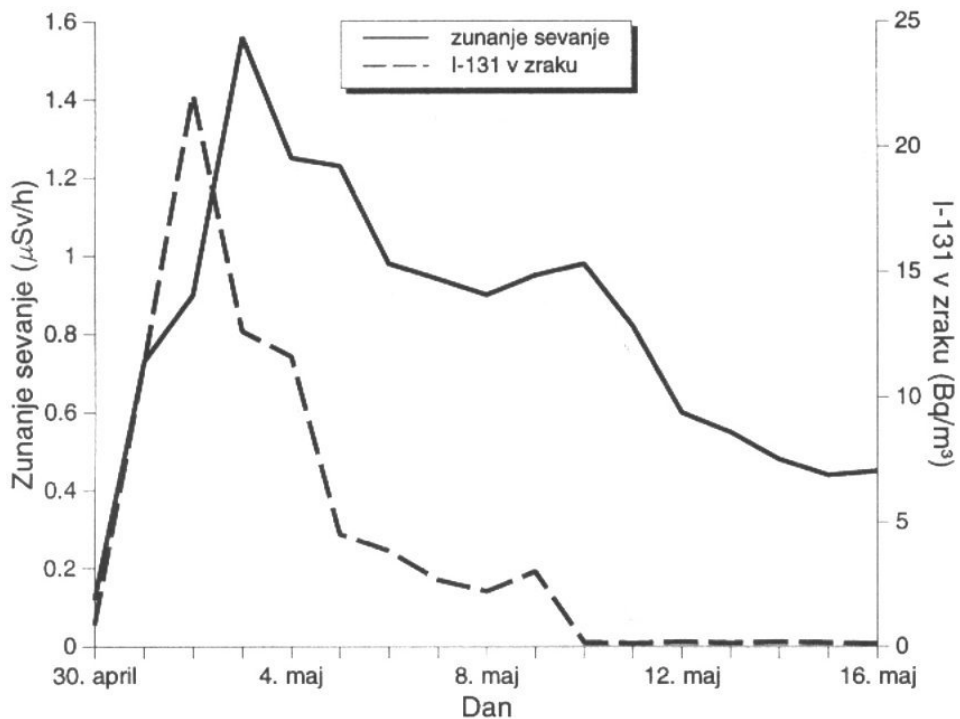
## Ukrepi in omejitve

V času od 30. aprila do 19. maja so Izvršni svet Skupščine SR Slovenije, Republiški štab civilne zaščite ter drugi republiški komiteji in upravni organi sprejeli vrsto preventivnih ukrepov in priporočil prebivalstvu. Namen zaščitnih ukrepov ob radioaktivnem onesnaženju okolja je preprečiti vse takojšnje učinke ionizirajočega sevanja ter zmanjšati kasne posledice na sprejemljivo raven. Že takoj je bilo jasno, da v Sloveniji ni prišlo do stopnje onesnaženja, ki bi neposredno ogrožala zdravje prebivalstva. Skrb zbujajoče ni bilo ne uživanje kontaminirane hrane ali pitje deževnice, še manj pa zunanje sevanje. Vse zaščitne ukrepe so sprejeli zato, da se na najmanjšo možno mero zmanjša verjetnost kasnih učinkov kot so rakasta obolenja in dedne posledice, oziroma da se zmanjša nepotrebne obremenitve prebivalstva na minimum. Tako so prepovedali uporabo sveže deževnice za prehrano in napajanje živine, pašnjo krav mlekarič, uporabo sveže zelenjave in lovljenje parkljastih divjadi. Predpisali so obvezno predelavo oporečnega mleka v mlečne izdelke, uvedli so pregled potnikov in prtljage iz Sovjetske zveze, sprejeli so meje in pogoje uporabnosti kontaminirane hrane in dali praktična priporočila prebivalstvu za zmanjšanje izpostavljenosti sevanju. Večino ukrepov in priporočil so podprli z meritvami.

## Onesnaženost okolja v Sloveniji

V okviru programa meritev so izmerili vsebnost radioaktivnih izotopov v raznih vrstah hrane, v pitni vodi, mleku, deževnici in v zraku. Kot primer je na sliki prikazan dnevni potek hitrosti doze zunanjega sevanja in vsebnosti joda-131 ( $^{131}\text{I}$ ) v zraku. Radioaktivni jod je bil v zraku zaznaven le okrog deset dni. Zunanje sevanje je bilo največje četrty dan po prihodu kontaminacije, nato pa je polagoma upadalo zaradi razpada kratkoživih izotopov.

V začetni kontaminaciji okolja so lahko zaznali okrog 30 radioaktivnih izotopov. Od kratkoživih je bil radiološko najpomembnejši  $^{131}\text{I}$  (razpolovna doba 8 dni), ki se kopiči v žlezi ščitnici. Najbolj so bili onesnaženi pridelki, ki so rasli v času izpiranja radioaktivnih snovi iz radioaktivnega oblaka. Jod-131 je v nekaj mesecih popolnoma razpadel. Od dolgoživih pa je v okolju še vedno prisoten cezij-137 ( $^{137}\text{Cs}$ , razpolovna doba 30 let). Zaradi slabe topnosti se cezij na neobdelanem zemljišču še danes nahaja v zgornjih nekaj centimetrih zemlje. Rastline ga zelo malo vsrkavajo in zato kmetijski pridelki niso kontaminirani. Cezij na neobdelanih zemljiščih nekoliko povečuje izpostavitve zunanjemu 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 katere koli hrane.



Dnevni potek hitrosti doze in koncentracije  $^{131}\text{I}$  v zraku v Ljubljani

Ocenjen je bil tudi černobilski used radioaktivnih snovi v Sloveniji. Prispevek cezija-137 černobilske nesreče je bil nekajkrat višji od celotne onesnaženosti v preteklem obdobju zaradi poskusnih jedrskih eksplozij. Pred Černobilom je bila zaradi jedrskih poskusov v šestdesetih letih (pred tem ga sploh ni bilo) vsebnost cezija-137 v tleh v Sloveniji okoli  $5000 \text{ Bq/m}^2$ , po njem pa  $20.000 \text{ Bq/m}^2$ .



## Vpliv na prebivalstvo

Po nesreči je kontaminacija okolja z radioaktivnimi snovmi med ljudmi vzbudila precejšnjo zaskrbljenost zaradi možnih zdravstvenih posledic. Večinoma je bila javnost dovolj dobro seznanjena s številnimi podatki meritev raznih radioloških parametrov, kot so hitrost doze, vsebnost radioaktivnih izotopov v zraku, vodi, prehrabnih izdelkih. Ti podatki predstavljajo prvi korak na poti k oceni zdravstvenih posledic, vendar je njihova predstavitev lahko zavajajoča ali zastrašujoča celo v primerjalni obliki<sup>8</sup>. Za oceno zdravstvenih posledic potrebujemo izračun prejetih doz, ki ga je mogoče narediti le približno, saj v njej poleg običajno dovolj natančno izmerjenih radioloških parametrov nastopajo še podatki o življenjskih in prehrabnih navadah prebivalstva, modeli o gibanju radioaktivnih izotopov v okolju in metabolični modeli ob vnosu posameznih radioaktivnih izotopov v telo. Kljub omenjenim negotovostim pa so dobljene vrednosti doz dovolj reprezentativne, da omogočajo oceno zdravstvenih posledic za posameznika in populacijo. V Sloveniji so bile take ocene narejene.

**Povprečen prebivalec Slovenije je zaradi černobilskega sevanja prejel dozo kakršno prejme iz naravnih virov v nekaj mesecih (povprečna letna naravna doza radioaktivnega sevanja je v Sloveniji 2,4 mSv). Zato v prihodnosti ne bomo mogli opaziti zdravstvenih posledic te izpostavitve, saj bodo statistično neugotovljive.**

---

<sup>8</sup> Npr. vsebnost I-131 v zraku je bila neskončno večja kot pred nesrečo, saj običajno v zraku tega kratkoživnega izotopa ni.

*Trije pogledi na černobilsko katastrofo:*

- *Razširjeni povzetek knjižice, ki jo je letos objavila Agencija za jedrsko energijo pri Organizaciji za gospodarsko sodelovanje in razvoj (OECD);*
- *Prevod poročila, ki ga je pripravil Britanski svet za jedrsko industrijo avgusta 1995;*
- *Prevod komentarjev o resničnih, neresničnih in negotovih podatkih v javnosti o Černobilu, ki ga je aprila 1994 pripravilo francosko elektrogospodarstvo.*

*Podan je tudi kratek pregled dogajanj takoj po nesreči pri nas in opis posledic v Sloveniji.*