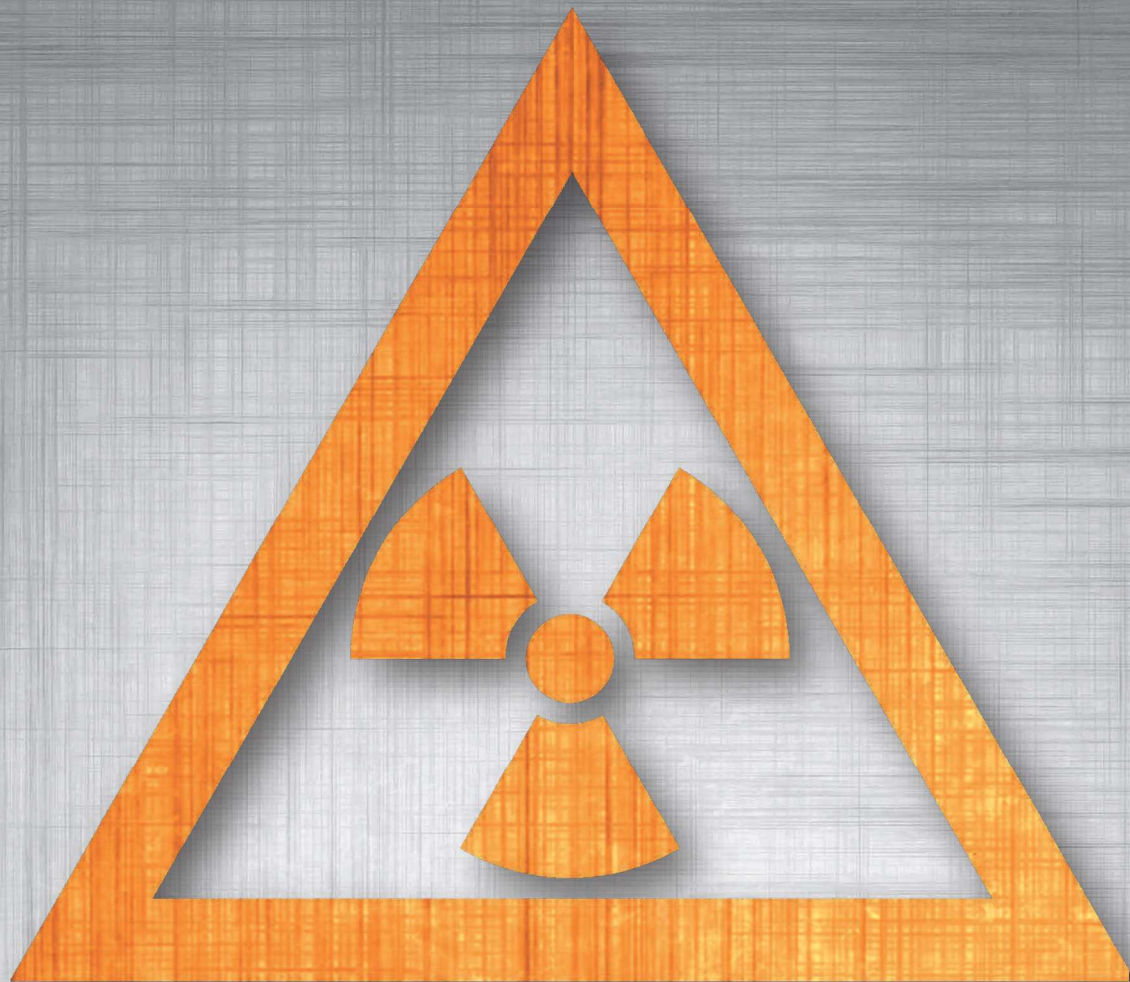




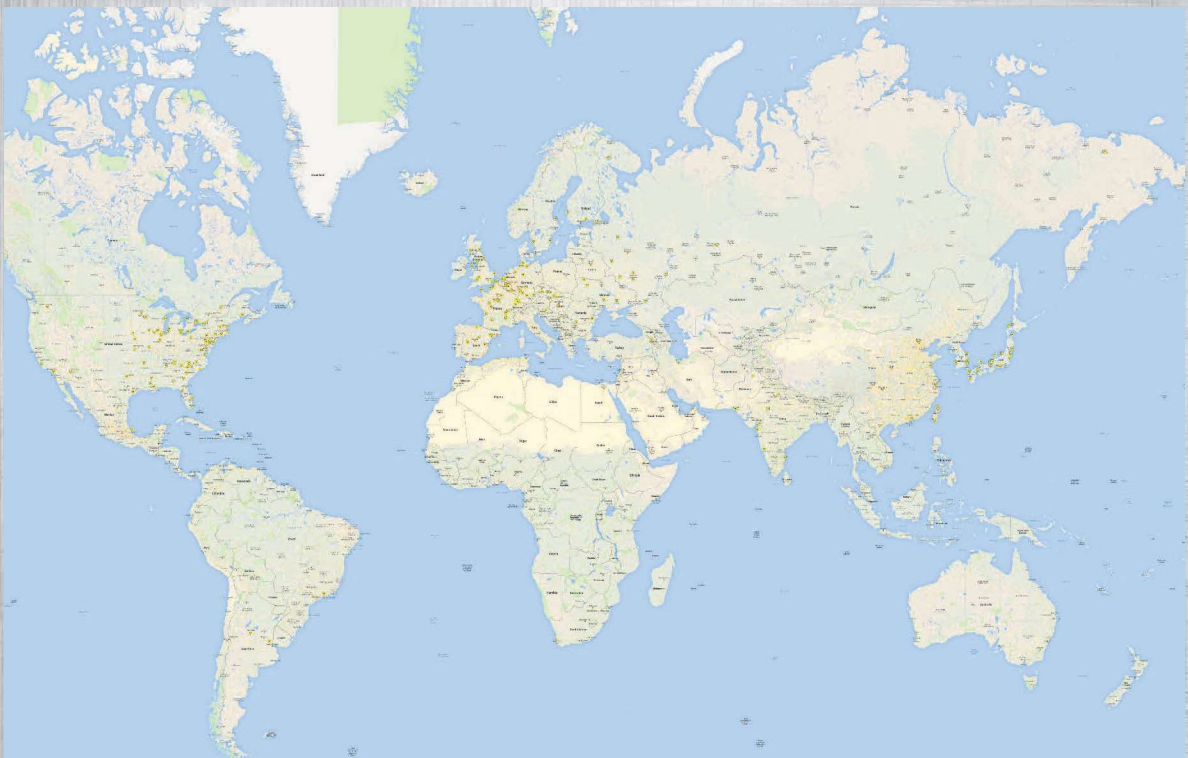
ČERNOBIL

ob 30-letnici nesreče



JEDRSKA ENERGIJA

Razporeditev jedrskih elektrarn po svetu



PODATKI O SVETOVNI UPORABI ELEKTRARN NA JEDRSKO ENERGIJO:

Na svetu je trenutno 442 jedrskih elektrarn v 33 državah, 66 elektrarn pa je v izgradnji (prvo jedrsko elektrarno na svojem ozemlju trenutno gradita Belorusija in Združeni arabski emirati). Vsota vseh inštaliranih električnih moči delujočih elektrarne znaša 383 GW. Predvidena inštalirana električna moč jedrskih elektrarn v izgradnji je 65 GW.

Države z največjo inštalirano močjo električne energije iz jedrskih elektrarn so ZDA (98,7 GW), Francija (63,1 GW), Japonska (40 GW), Kitajska (26,6 GW), Rusija (25,4 GW) in Južna Koreja (23,1 GW). Ostale države imajo inštalirane moči jedrskih elektrarn pod 20 GW. Med njimi je Slovenija z 0,69 GW (jedska elektrarna v Krškem).

Novo mesto, junij 2016

JEDRSKE REAKCIJE

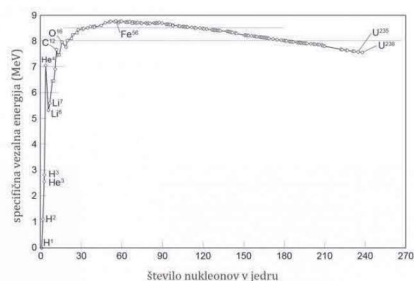
JEDRSKE REAKCIJE

Atomi snovi so sestavljeni iz jedra (lat. *nukleus*), v katerem so nevtroni in protoni ter jedrske ovojnice v kateri se gibljejo elektroni. Delci so v jedru v različnih snovi med seboj različno močno vezani, kar opišemo z vezavno energijo. Glede na vezavno energijo opazimo, da so nukleoni v jedrih atomov, ki se v periodnem sistemu elementov nahajajo blizu železa, najbolj vezani, torej je taka jedra najtežje razstaviti. Jedro lahko del svoje energije odda preko naravnih reakcij (alfa, beta, gama razpadi) ali ustvarimo primerno okolje za reakcije. Za jedrske elektrarne so zanimive le reakcije, pri katerih se energija sprošča, kar lahko uporabimo za segrevanje. Ločimo dve taki reakciji:

- **FUZIJO** - zlivanje lahkih jader, pri katerem iz dveh jader nastane novo jedro, pri čemer se del energije pretvori v toploto. Ker je potrebno premagati odbojne sile med dvema jedroma, do tovrstnih reakcij običajno pride pri visokih temperaturah.
- **FISIJO** - cepitev težkih jader, pri kateri težka jedra razpadajo na dve lažji jedri.

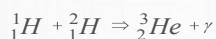
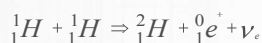
Sproščeno energijo reakcije izračunamo s pomočjo masnega defekta Δm , saj velja, da je masa sodelujočih jader pred reakcijo večja kot masa jader po reakciji. Sproščena energija pri reakciji je enaka:

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2$$

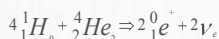


PRIMER FUZIJE

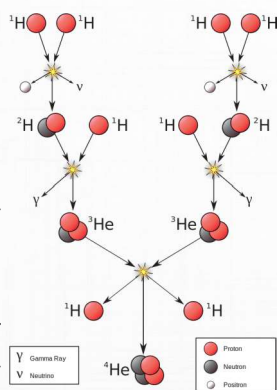
Pri zlivanju jader vodika H v helij He reakcije potekajo po naslednjem vrstnem redu, pri čemer se sprosti 26,7 MeV energije:



Celotno reakcijo štirih vodikov lahko zapišemo kot

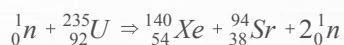


Pri reakciji nastane helij ter dva elektrona in dva nevtrina.



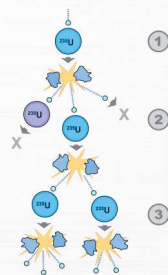
PRIMER FISIJE

Cepitev jedra urana U^{235} , ki zajame nevtron n , lahko poteka z naslednjo reakcijo, pri čemer nastaneta jedri ksenona Xe in stroncija Sr ter dva nevtrona, ob tem pa se sprosti še 200 MeV energije:



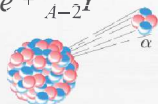
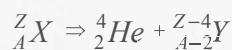
Vsak sproščen nevtron pri reakciji lahko zadene uranovo jedro in tako sproži novo cepitev. Temu rečemo verižna reakcija.

Za delovanje reaktorjev je potrebno odvečne nevtrone uloviti v jedra, ki so zatem še vedno stabilna. Za to se uporabljajo na primer bor, srebro, indij ali kadmij.

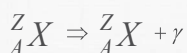


NARAVNE JEDRSKE REAKCIJE

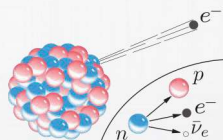
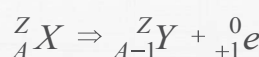
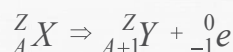
Jedra X lahko razpadajo z razpadom α , kar pomeni, da iz jedra izleti jedro helija He . Pri tem nastane novo jedro Y .



Jedro lahko odvečno energijo odda tudi v obliki svetlobe, kar imenujemo razpad γ , pri čemer se jedro ne spremeni.



Možno je, da nevtron v jedru razpade na proton in elektron, ki zapusti jedro, ali pa proton zajame elektron in nastane nevtron. Takim reakcijam rečemo razpadi β .



JEDRSKI REAKTOR RBMK (ČERNOBIL)

O ELEKTRARNI



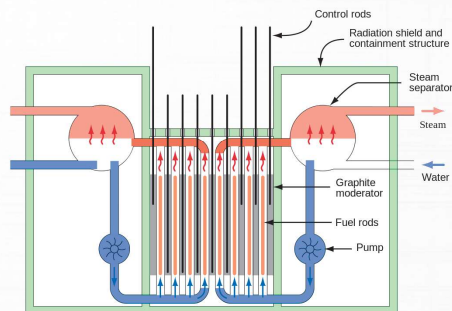
Reaktorje tipa RBMK so gradili izključno v bivši Sovjetski zvezi. Njihova pomanjkljivost je bila možnost, da se je v nekaterih obratovalnih stanjih lahko moč reaktorja nenadzorovano zelo povečala. Reaktor tega tipa opisujejo tudi kot dvonamenski reaktor, ker hkrati s proizvodnjo energije v njem lahko pridobivamo tudi plutonij, ki je primeren za izdelavo atomskih bomb.

Jedrska elektrarna Černobil je imela štiri jedrske reaktorje s po 1 GW električne moči (vsak 3,2 GW toplotne moči), vsi štirje pa so lahko v obdobju pred nesrečo pokrili približno 10 % ukrajinskih potreb po električni energiji. Elektrarna se nahaja pri mestu Pripjat v Ukrajini, 18 km severozahodno od mesta Černobil in 16 km od meje med Ukrajino in Belorusijo ter okoli 110 km severno od Kijeva. Gradnja elektrarne se je pričela v 70. letih 20. stoletja. Reaktor št. 1 je pričel z obratovanjem leta 1977, sledili pa so še reaktor št. 2 (1978), št. 3 (1981) in št. 4 (1983). Ob času nesreče sta bila v gradnji še reaktorja št. 5 in št. 6, z enako močjo kot ostali štirje reaktorji.



KAKO DELUJE REKATOR TIPA RBMK?

Reaktor tipa RBMK (tudi *light water graphite reactor* LWGR) gorivne elemente hladi s pomočjo lahke vode, ki v sredici reaktorja zavre pri temperaturi 290° C. Del nastalih nevtronov pri cepitvi jeder se absorbira v vodi, kar zmanjšuje moč reaktorja. Cepitev jeder je bolj uspešna, ko se voda upari, saj je število ujetih jeder v vodni pari manjše kot v lahki vodi. Za nadzor reakcij (moderator) se uporablja stalno prisoten grafit, ki upočasni nastale nevtrone ter s tem zmanjša število primernih nevtronov za veržno reakcijo. Nastala vodna para iz jedra se nato vodi na parno turbino, kjer del energije odda generatorju, le-ta pa jo pretvori v električno energijo. Paro nato v izmenjevalcih toplote ohladijo ter utekočinijo. Nastalo vodo zatem črpajo nazaj v jedro, s čimer se zaključi delovni krog.



ZAŠČITA UNIČENEGA REAKTORJA

RBMK v svoji zasnovi nima zadrževalnega hrama, posebne tesne zgradbe, ki bi v primeru nesreče preprečila sproščanje radioaktivnih snovi v okolje, kar se je zgodilo ob nesreči 26. aprila 1986, ko je eksplodiralo jedro reaktorja in se je hladilna voda uparila zaradi znižanja tlaka v sistemu.

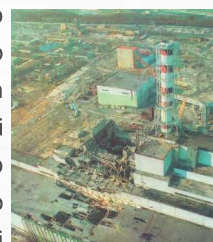
Ker iz reaktorske sredice prihaja sevanje, ga je potrebno absorbirati, zato ima uničen reaktor po nesreči narejenih več ščitov: na dnu je betonski blok, ob straneh pesek in beton ter velik betonski blok na vrhu

reaktorja.



IZBOLJŠAVE PO ČERNOBILSKI NESREČI

Po černobilski nesreči so preostali reaktorji RBMK po svetu delovali z zmanjšanim številom gorivnih palic, ki vsebujejo bolj obogateno gorivo - reaktorji s tem lahko delujejo bolj varno. Izboljšani

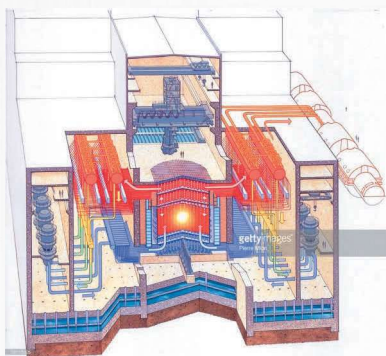


so bili tudi nadzorni sistemi, odstranili so grafitne konice pri nadzornih palicah, ki so povzročile trenutno povečanje moči pri prvi vstavitvi palice (ta zasnova je tudi kriva za sprožitev prve dejanske eksplozije v černobilski nesreči, ko je prišlo ob pritisku na gumb v sili, da bi se zaustavil podivjan reaktor, do ravno nasprotnega učinka).

Od 13 reaktorjev tipa RBMK (zadnji je v izdelavi pri Kursku, a ne bo nikoli dokončan) so trenutno zaprti vsi štirje reaktorji v elektrarni v Černobilu ter dva reaktorja v Ignalini v Litvi.

NESREČA V ČERNOBILU

TESTIRANJE TURBINSKEGA GENERATORJA V REAKTORJU 4



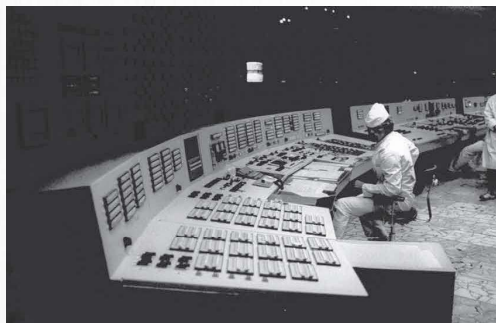
25. aprila 1986 je bil reaktor 4 zaustavljen zaradi rednega vzdrževanja in testiranja zmožnosti turbinskega generatorja. Reaktorji tipa RBMK imajo v pripravljenosti dizelske generatorje, ki pa se ne aktivirajo takoj. Zato se reaktor uporabi za zavrtitev turbine, nato pa se turbina odklopi od reaktorja in se vrti zaradi lastnega vztrajnostnega momenta.

S preizkusom generatorja so želeli preveriti, ali lahko turbine med negnanim vrtenjem zagotavljajo dovolj električne energije za pogon vodnih črpalk, dokler se dizelski generatorji ne zaženejo. Za varnejše opravljanje testa so predvideli zmanjšanje proizvodnje reaktorja 4 iz normalne kapacitete 3200 MW toplotne energije na 1000 MW.

Zaradi zamude ob začetku preizkusa so prehitro znižali energetske proizvodnje, ki je padla na 30 MW toplotne energije. Čeprav je bila hitrost zmanjšanja energetske proizvodnje blizu največje dovoljene, so dvignili energetske proizvodnje na 200 MW, kar naj bi skrajšalo trajanje poizkusa.

NESREČA V REAKTORJU 4

V noči na soboto, 26. aprila 1986, ob 1:05, so vključili črpalke za vodo, ki naj bi jih gnal turbinski generator. Ob 1:19 se je vodni tok povečal, zato so se odločili za dodatno odstranitev ročnih nadzornih palic, s čimer so povečali moč reakcij.



Preizkus se je začel ob 1:23:04, saj nestabilno stanje reaktorja ni bilo prikazano na kontrolnih instrumentih. Črpalkam za vodo so prekinili električni dovod. Ko jih je poganjal vztrajnostni moment turbinskega generatorja, se je pretok vode zmanjšal. Turbina je bila odklopljena od reaktorja, pri čemer se je povečala količina pare v reaktorski sredici. Ker se je hladilo (voda) segrevalo, so se v ceveh začeli pojavljati žepi pare, kar dodatno poveča moč reakcij.

Ob 1:23:39 je bil zabeležen šibek seizmični dogodek, podoben potresu stopnje 2,5. Ob 1:23:40 so zaustavili reaktor, kar je povzročilo povečanje hitrosti reakcije (in ob tem proizvedene energije) v reaktorju, saj se je zaradi počasnega mehanizma za vstavljane nadzornih palic (18-20 sekund), votlih konic palic in začasne odstranitve hladila število reakcij povečevalo.

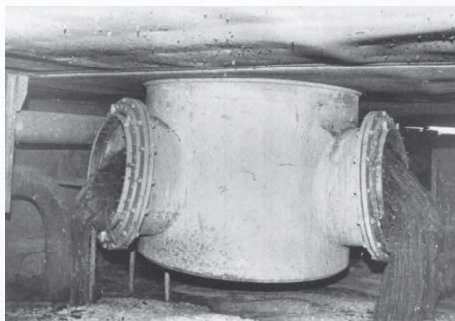
Povečanje proizvodnje energije je povzročilo deformacije kanalov



za nadzorne palice, zato so se palice

zataknille pri eni tretjini poti in niso mogle ustaviti reakcij.

Sedem sekund kasneje, ob 1:23:47, je reaktorska moč poskočila na 30 GW, kar je desetkrat več od običajne proizvodnje energije. Gorivne palice so se pričele taliti, pritisk pare je naglo narasel in prišlo je do velike parne eksplozije, ki je premaknila in uničila pokrov reaktorja, zlomila hladilne cevi in nato naredila luknjo v strehi.



UKREPANJE OB NESREČI

PRVE OCENE SEVANJA



Dozimetri v reaktorju 4 so imeli omejitve do enega milirentgena na sekundo (mR/s), natančnejši merilec pa se je pokvaril ob vklopu. Ekipa v reaktorski stavbi je zato ob nesreči ocenila, da so stopnje sevanja v večjem delu reaktorske stavbe preko 4 R/h kar bi pomenilo, da reaktor ni poškodovan. Prave vrednosti so bile okoli 20 000 R/h (smrtna raven je okoli 500 rentgenov v petih urah).

Delavci so ostali v reaktorski stavbi do jutra, ker so poskušali načrpati vodo v reaktor. Ker nihče od ljudi v ekipi ni nosil ustrezne zaščitne opreme, je večina članov ekipe umrla zaradi izpostavljenosti radioaktivnemu sevanju v treh tednih po nesreči.

GAŠENJE POŽARA

Lokalne oblasti so bile na nesrečo nepripravljene. Gasilci niso bili obveščeni o radioaktivnosti dima in razbitin. Voda, ki je bila črpana v reaktorsko sobo, je stekla iz tal reaktorja v prostor pod njimi. Ob tem je tleče gorivo že začelo uničevati tla, stanje pa je poslabšalo metanje materiala iz helikopterjev. Ker je reaktor na tej stopnji nesreče deloval podobno kot talilna peč, bi lahko ob stiku materiala iz helikopterjev z vodo reaktorja prišlo do termalne eksplozije, ki bi bila hujša od eksplozije samega reaktorja.



V gašenju požara so vsi gasilci prejeli smrtne doze sevanja. V izjavah pred svojo smrtjo so opisali svoje izkušnje s sevanjem z: »okus po kovini« in občutke »kot bucike in šivanke po celotnem obrazu«.

Da bi preprečili termalno eksplozijo ter kontaminacijo območja v krogu s polmerom več 100 km, v katerem ne bi bilo možno bivanje vsaj naslednjih 100 let, je sovjetska vlada poslala čistilno ekipo likvidatorjev in drugih delavcev. Tudi ti delavci niso bili seznanjeni z nevarnostmi sevanja na območju nesreče.

Dva delavca so v mokrih oblekah poslali odpret ventil za izpust radioaktivne vode, s čimer sta preprečila termalno eksplozijo in rešila milijone ljudi.

Reaktor je bil prekrit z vrečami peska svinca in borove kisline, ki so jih metali iz helikopterjev (okoli 5000 ton različnega materiala v tednu po nesreči). Veliko vozil, ki so jih uporabljali likvidatorji, do danes ostaja v černobilskem območju. Najbolj nevarni radioaktivni odpadki so bili zbrani znotraj ostankov reaktorja.



EVAKUACIJA

Vladni komite, ki naj bi preiskal nesrečo, je v Černobil prispel 26. aprila zvečer. Do takrat sta umrla dva človeka, 52 jih je bilo pripeljanih v bolnišnico. V noči na 27. april - več kot 24 ur po nesreči - je komite spoznal, da je prišlo do uničenja reaktorja, zato so ukazali evakuacijo bližnjega mesta Pripjat.

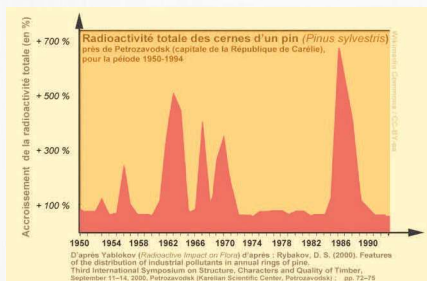


Prebivalcem so povedali, da bo evakuacija začasna in naj bi trajala približno tri dni, zato mesto Pripjat še vedno vsebuje osebne predmete, ki ne smejo biti premaknjeni zaradi sevanja.



KRATKOROČNE POSLEDICE

RADIOAKTIVNI OBLAK IN PRVI ODZIVI

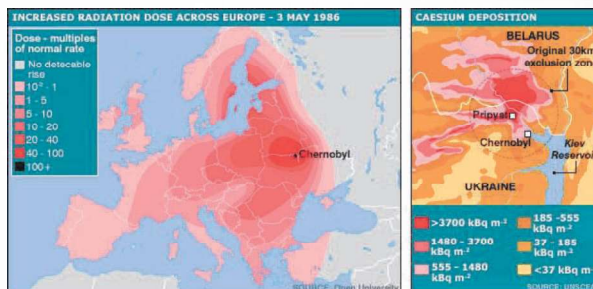


Pri nesreči v Černobilu se je sprostilo 400-krat več radioaktivnega materiala kot pri detonaciji atomske bombe v Hirošimi. Več kot 100 000 km² površin je bilo kontaminiranih, najhuje na področju današnje Belorusije (60 % vse skupne kontaminacije), Ukrajine in Rusije. Manjše sledi kontaminacije so zaznali po vsej Evropi, z izjemo Iberskega polotoka, zaradi vremenskih razmer pa kontaminacija ni bila enakomerna.

Prvi dokazi o velikem izpustu radioaktivnih snovi so bili svetu sporočeni iz Švedske (in ne iz sovjetskih virov), ko so pri delavcih jedrske elektrarne Forsmark (približno 1100 km oddaljene od Černobila) našli radioaktivne delce na oblačilih. Ker težava ni bila v njihovi jedrski elektrarni, so sklepali na resne jedrske težave v zahodni Sovjetski zvezi. Ta podatek je postal javen šele 36 ur po nesreči, ko je bila evakuacija mesta Pripjat že končana.

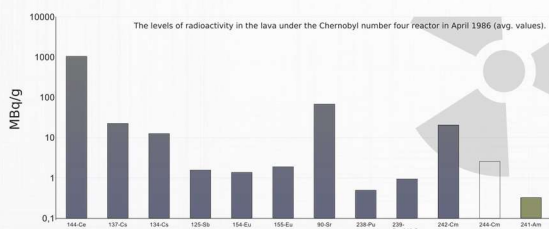
Zaradi eksplozije v elektrarni Černobil je nastal radioaktiven oblak, ki je potoval preko Rusije, Belorusije in Ukrajine, prešel je tudi evropski del Turčije, Moldavije, Litve, Švedske, Norveške, Avstrije, Češke in Slovaške, Slovenije, Švice, Nemčije, Italije, Francije in Velike Britanije.

Po treh dneh od nesreče, 30. aprila, je oblak dosegel Slovenijo. Prebivalce so obvestili po radiju pozno popoldne 1. maja, novica pa je v tisku izšla 2. maja. Zaradi kontaminacije vrtnin so prebivalcem prepovedali uživanje predvsem zelenjave z vrtov in narave, zlasti solate in gob.



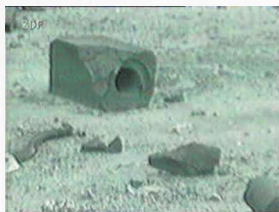
IZPUST RADIOAKTIVNIH SNOVI V OKOLJE

Čeprav je bila večina radioaktivnosti omejena na območje reaktorja, je prišlo do postopnih izpustov radioizotopov v okolje. Veliko nevarnost predstavljajo visoko radioaktivne snovi, ki nastanejo s fisijo, in snovi z velikim razpolovnim časom (čas, v katerem je verjetnost, da razpade polovica od začetnega števila vseh jeder), ki se lahko nabirajo v hrani, kot so izotopi joda-131 in cezija-137.



DOLGOROČNE POSLEDICE

DOKONČNA ZAUSTAVITEV ELEKTRARNE V ČERNOBILU



Zaradi energijske krize v državi je ukrajinska vlada dovolila delovanje elektrarne. Poškodovani reaktor 4 je bil hermetično zaprt, med mestom nesreče in upravnimi zgradbami so vlili beton. Dela na takrat nedokončanih reaktorjih 5 in 6 so ustavili šele tri leta po nesreči (v letu 1989). Stavbe reaktorja 2 so zaprli po požaru, ki je v njem izbruhnil leta 1991. Reaktor 1 so dokončno ustavili novembra 1996. Celotna elektrarna je obstala novembra leta 2000, ko so zaustavili reaktor 3.

Do leta 2002 je znotraj zaprtega območja še vedno delalo več kot 15 000 ukrajinskih delavcev, ki so skrbeli za vzdrževanje in ostala dela povezana z omejevanjem sevanja.

ZAŠČITA PRED SEVANJEM

Betonski ščit iz leta 1986 naj bi zaščito pred sevanjem zagotavljal 30 let. Nova kupola naj bi bila zgrajena do leta 2005, visoka 105 m in široka 257 m, pokrila naj bi tako reaktor 4 kot kupolo iz leta 1986.

Z gradnjo so začeli šele v letu 2010, predvideni konec gradnje je bil v letu 2013. Zaradi sesutja 600 m² dela strehe na zgradbi s turbinami februarja 2013 so bila dela na novi kupoli podaljšana do predvidoma konca letošnjega leta (2016).



POSLEDICE SEVANJA NA REKE, JEZERA IN PODTALNICO



Elektrarna v Černobilu se nahaja blizu reke Pripjat, ki se izliva v reko Dneper. Le-ta ima enega od največjih vodnih sistemov glede na površino v Evropi in je v času nesreče zagotavljala pitno vodo 2,4 milijona prebivalcem mesta Kijev. V Sovjetski zvezi so v dneh po nesreči dovoljene nivoje joda-131 v pitni vodi povečali na 3700 Bq na liter, zaradi česar je bila uradno pitna praktično vsa voda. Dva meseca po nesreči je vir pitne vode za Kijev postala reka Desna, več kot desetletje po nesreči so v ribah iz povodij Dnepre še vedno zaznavali močno povišane doze sevanja (tudi do 60 000 Bq/kg).

Na podtalnico posledice nesreče niso močno vplivale, saj so radioaktivne snovi s kratkimi razpolovnimi časi razpadle, preden so dosegle podtalnico, elementi z daljšimi razpadnimi časi, kot sta cezij-137 in stroncij-90, pa so bili absorbirani v zemlji in niso dosegli podtalnih zalog vode.

POSLEDICE SEVANJA NA FLORO IN FAVNO

Po nesreči se je 4 km² borovega gozda v bližini elektrarne obarvalo rdeče, posušilo in umrlo (Rdeči gozd). Bio-akumulacija (nabiranje strupenih snovi) v rastlinah na prizadetih območjih je povzročilo kontaminacijo v rastlinah (zlasti gobah) in posledično živalih, saj so bili zaradi sevanja prizadeti tako pašniki kot gozdovi.

V Nemčiji so leta 2010 pri 1000 primerih med 440 350 uplenjenimi divjimi prašiči zaznali doze sevanja višje od 600 Bq/kg. Na Norveškem še vedno pregledujejo nivoje radiacije v pašni travi, živini (več kot 18 000 v letu 2009) in kozam (več kot 1900 v letu 2012) dajejo nekontaminirano hrano daljša obdobja pred zakolom. V Veliki Britaniji so veljale omejitve pri paši ovc na območjih Severne Irske (do leta 2000), Škotske (do leta 2010), Walesa in Kambrije (do leta 2012).



ZDRAVSTVENE POSLEDICE

NEVARNOSTI RADIOAKTIVENGA SEVANJA



Sevanje merimo z Geigerjevim števcem. Sievert (Sy) je enota SI za ekvivalentno dozo sevanja, ki ustreza absorbirani dozi 1 Gy ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$) pri utežnem faktorju $q = 1 : 1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$.

Doza naravnega sevanja, ki smo mu izpostavljeni ljudje, znaša 2,4 mSv/leto, za delavce v jedrskih elektrarnah pa je to 10 mSv/leto.

Učinki sevanja so odvisni od doze prejetega sevanja in so lahko različni glede na trajanje:

- ☹ Doze med 0 Sv in 1 Sv za ljudi načeloma niso smrtne, povzročijo pa slabost, bruhanje in diarejo.
- ☹ Pri prejeti dozi sevanja med 1 Sv in 10 Sv so možnosti preživetja 50 % po 2 mesecih.
- ☹ Pri dozah nad 10 Sv je smrtnost 100 % po 4—10 dneh.

ŽRTVE SEVANJA

Zaradi radiacijske bolezni je v prvih treh mesecih umrlo 31 od 273 ljudi (večinoma gasilci in delavci v tovarni).



Zaradi raka na ščitnici je umrlo več kot 4000 ljudi. Do leta 2005 je bilo zabeleženih več kot 6000 primerov raka na ščitnici pri otrocih in mladostnikih.

Rak na ščitnici je ozdravljiv, če je zaznan in zdravljen v začetnih fazah — s 96 % možnostjo preživetja 5 let in 92 % možnostjo preživetja 30 let.

ŽRTVE MED LIKVIDATORJI



Po nesreči je pri sanaciji in zaprtju delov elektrarne sodelovalo več kot 600 000 "likvidatorjev", od tega jih je bilo približno 50 000 izbranih za delo "bio-robotov" v pogojih, kjer zaradi visoke radiacije elektronski roboti niso mogli delovati.

Več deset tisoč likvidatorjev je umrlo za posledicami sevanja. Za opravljeno delo so likvidatorji od Sovjetske zveze dobili medalje.



OTROCI ČERNOBILA

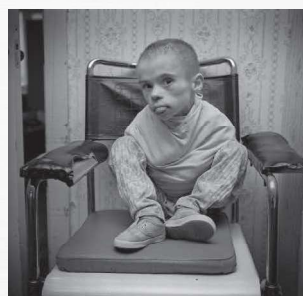


V Černobilu se je sprostilo med 1/100 in 1/1000 skupnega sevanja vseh testiranih jedrskih orožij (atomskih bomb) v 50-tih in 60-tih letih 20 stoletja. 10.000 kvadratnih kilometrov zemlje v Ukrajini je še vedno neprimerne za gospodarsko dejavnost. Na območju deset kilometrov od černobilske elektrarne zaradi visoke stopnje onesnaženosti s plutonijem življenje ne bo mogoče še več deset tisoč let.

Trenutno na onesnaženih območjih živi 2,3 milijona Ukrajincev, 1,1 milijon Belorusov in 1,6 milijonov Rusov. Zaradi revščine so marsikateri primorani v prehranjevanje s kontaminirano hrano.



Posledice nesreče najbolj čutijo ravno otroci, rojeni v času po nesreči, saj se jih veliko rodi s telesnimi okvarami, kroničnimi boleznimi, okvarami srca... Nekateri otroci vse življenje preživijo v bolnišnicah in ustanovah.



Organizacije, kot so Chernobyl Children International (CCI), delujejo po vsem svetu in izobražujejo kirurge, zdravnike, medicinske sestre in prostovoljce za

JEDRSKI REAKTOR BWR (FUKUŠIMA)

O ELEKTRARNI

Jedrska elektrarna v Fukušimi vsebuje šest reaktorjev z vrelo vodo (BWR - Boiling water reactor), ki jih je zgradilo podjetje General Electric. Reaktor 1 moči 0,46 GW je začel obratovati v komercialne namene maja 1971. Reaktorji 2, 3, 4 ter 5 (vsak 0,784 GW) so začeli komercialno obratovati: junija 1974 rektor 2, maja 1976 reaktor 3, aprila 1978 reaktor 4 ter oktobra 1978 reaktor 5. Reaktor 6 moči 1,1 GW je v komercialne namene začel delovati oktobra 1979. Vsi so bili predvideni za 40-letno delovanje. Načrtovana je

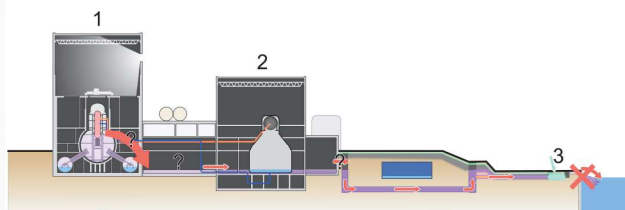


bila izgradnja še dveh reaktorjev 7 ter 8 (vsak 1,38 GW), ki bi začela obratovati oktobra 2016 ter oktobra 2017. Gradnja je bila prekinjena zaradi nesreče 11. marca 2011, ko je elektrarno zadel cunami in prekinil povezavo z električni omrežje ter hkrati zalil pomožne generatorje, s čimer je bilo onemogočeno delovanje hladilnih sistemov.



KAKO DELUJE BWR?

Jedrske elektrarne tipa BWR imajo samo en krog vodne pare. Jedrsko gorivo, ki se greje zaradi jedrskih razpadov, hladi lahka voda, ki teče skozi gorivo, kjer se zaradi visoke temperature jedra upari. Vodno paro nato vodijo do parnih turbin, kjer del svoje energije pretvori v vrtenje generatorjev ter posledično v električno energijo. Paro peljejo na toplotne izmenjevalce, kjer se ohladi ter kondenzira. Nastalo vodo

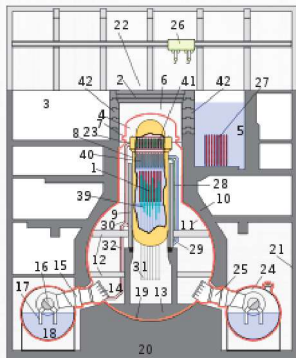


prečrpajo nazaj v reaktorsko posodo, s čimer je krog pare zaključen.

Odvečno toploto, ki jo morajo prevzeti toplotni izmenjevalci, morajo prenesti v okolico. Lahko jo izkoriščajo za izparevanje vode (hladilni stolpi), ogrevanje stavb, ali jo oddajo v reke ali morja.

ZGRADBA REAKTORJA TIPA BWR

V BWR elektrarnah uporabljamo vodo kot moderator in hladilo. Toploto za ogrevanje vode dobimo iz veržne reakcije. V BWR elektrarnah paro vodimo direktno na turbine, ki proizvajajo električno energijo.



Na skici imamo označene vse glavne komponente. 1-reaktorska sredica, 39-kontrolne palice, 5-bazen za 27-izrabljeno gorivo in 24-torus napolnjen z 18-vodo za kondenzacijo odvečne pare.

Za premikanje gorivnih elementov se uporablja 26-dvigalo.

ZAHTEVE HLAJENJA

Za polno obratovanje vseh reaktorjev jedrske elektrarne v Fukušimi I je bilo potrebno v okolico odvajati 8,7 GW toplotnega toka. V ta namen so



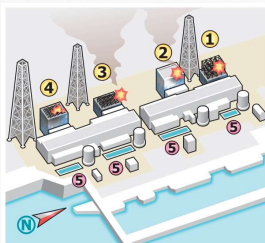
uporabljali gretje morske vode ter izparevanje vode v hladilnih stolpih. Pri polnem obratovanju elektrarne bi za potrebe hlajenja moralo iz hladilnih stolpov izhlapeti skoraj 3,9 m³ vode vsako sekundo. Ker je to veliko, so večji del toplote odvajali v morje. Če so vodo v izmenjevalcih segreli za 40° C, so iz morja morali črpati 52 m³ vode vsako sekundo.

Tudi ko so reaktorji zaustavljeni, je potrebno za delovanje sistemov zagotavljati (nadzor in hlajenje) več kot 200 MW električne moči. Toplotni tok, ki ga je po zaustavitvi reaktorja potrebno zagotavljati, sicer pada ter je po eni uri enak 1 %, po enem dnevu 0,7 % ter po enem tednu 0,3 % maksimalnega toplotnega toka.

Da hladilna voda kroži, tudi ko je reaktor zaustavljen, se vodne črpalke napajajo iz več virov. Poleg glavnega generatorja električne energije za pogon sistemov (lastna poraba) imajo reaktorji vgrajen tudi posebni parni pogon, zaradi katerega lahko hlajenje nemoteno deluje ob večjem izpadu elektrike, ter zasilne generatorje.

NESREČA V FUKUŠIMI

VZROKI



Jedrska nesreča v elektrarni Fukušima je nastala kot posledica močnega potresa in cunamija 11. marca 2011 na Japonskem. Elektrarna je imela šest ločenih reaktorjev. V času potresa se je reaktor 4 ravno izpraznil, 5. in 6. sta bila v mirovanju za načrtovano vzdrževanje. Preostali reaktorji so se samodejno izklopili, medtem ko so varnostni generatorji začeli z ohlajevanjem reaktorjev ob zaustavitvi. Objekte elektrarne je poplaval 15-metrski cunami, ki je sledil slabe pol ure po potresu. Voda je zalila generatorje in električna stikala v kletah reaktorjev. Prav tako je cunami poplaval zunanje črpalke za oskrbo z morskovo vodo, ki se uporablja za hlajenje.

Priključitev na električno omrežje je bila ob cunamiju prekinjena, ko so bili uničeni vodi omrežja. Vsi hladilni sistemi so bili tako onemogočeni, kar je privedlo do pregrevanja reaktorjev, saj je naravna cepitev jeder še vedno potekala.



Pregrevanje reaktorjev je privedlo do eksplozij. Eksplozija v reaktorjih 1 in 3 je poškodovala reaktor 2. Voda, ki je bila namenjena ohlajevanju reaktorjev, je tako začela iztekati iz reaktorjev. Jedrske palice, shranjene v bazenih v vsakem reaktorju stavbe, so se začele pregrevati. V urah in dneh, ki



so sledili, so reaktorji 1, 2 in 3 dosegli popolno stopitev. Ugotovljeno je bilo, da je bil zgornji del jedra v prvem reaktorju stopljen, zaradi tega se je sesedel v spodnjo četrtino jedra. Jedro reaktorja se je spet ohladilo, ko je vstopila voda v spodnji del reaktorja.



Strah pred radioaktivnimi izpusti je privedla do evakuacije v polmeru 20 kilometrov okoli elektrarne, medtem ko so delavci utrpeli visoko izpostavljenost sevanju in so jih izmerno evakuirali v različnih časovnih obdobjih. Generator v bloku 6 je bil po nesreči ponovno zagnan, kar je omogočalo hlajenje reaktorja 5 in 6, ki sta bila najmanj poškodovana.



POSLEDICE



Najhujša naravna nesreča na Japonskem po drugi svetovni vojni je po uradnih podatkih zahtevala 15.852 smrtnih žrtev, 3287 ljudi je še vedno pogrešanih, 6011 ljudi pa je bilo poškodovanih. Uničenih je bilo 373.707 hiš.



Več kot 150.000 ljudi je zapustilo območje v oddaljenosti 50 km od elektrarne v Fukušimi.

20-kilometrski evakuacijski pas je še vedno zaprt. Strokovnjaki pravijo, da več desetletij ne bo naseljiv.



ZDRAVSTVENE POSLEDICE

Med prizadetim prebivalstvom v Fukušimi so zabeležili obsežne zdravstvene posledice. Na onesnaženih območjih okoli Fukušime je smrtnost višja, rodnost nižja, pri otrocih pa so zabeležili porast raka ščitnice, nasploh pa se je povečal odstotek obolelih za levkemijo in rakom dojke.



ONESNAŽENOST

Izmerjen nivo cezija v oceanu ob obali, kjer se nahaja elektrarna Fukušima, je bil aprila 2011 50-milijonkrat večji kot pred katastrofo.

Meritve so pokazale, da je bilo v Tihi ocean

izpuščenega 462 TBq (bilijon Bekerelov) radioaktivnega stroncija.

Na Japonskem so našli kontaminiran riž, goveje meso, zelenjavo in mleko.



STANJE REAKTORJEV



Štirje reaktorji elektrarne Fukušima so vse prej kot stabilni, izpuščanje radioaktivnih snovi pa še naprej onesnažuje tako ocean kot tudi podtalnico. Stopnja sevanja ostaja previsoka za vstop delavcev v reaktorje.

V tem trenutku je v elektrarni shranjenih 100.000 ton onesnažene vode, ki so jo uporabljali za hlajenje reaktorjev. Poškodovani reaktorji še vedno onesnažujejo okolje in ostajajo nezaščiteni pred potresi, ki so na Japonskem pogosti.

Projektno-raziskovalno nalogo so izdelali dijaki:

Jakob Jevnikar

Gregor Kikelj

Tina Nosan

Marjeta Mrvar

Miha Pečarič

Domen Rostohar

Domen Težak

Natalija Trunkelj

Damjana Vavtar

VIRI

https://sl.wikipedia.org/wiki/Černobilska_nesreča

<http://www.icjt.org/jedrska-tehnologija/>

<http://www.politico.eu/interactive/in-pictures-chernobyl-30-years-later/>

<https://www.rt.com/news/155072-chernobyl-images-now-then/>

<http://www.mojportal.ba/novost/44609/radioaktivni-otpad-u-krugu-policijskog-skladista-kod-sarajeva>

<http://www.delo.si/svet/evropa/tri-desetletja-po-katastrofi-ernobil-ni-pozabljen.html>

<http://www.icjt.org/jedrska-tehnologija/jedrske-nesrece/ernobilska-nesreca/>

http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_ocr_gateway/radiation/fissionrev2.html

<http://knowledgeglue.com/amazing-un-seen-photos-ernobil-disaster-page-3/>

<http://havacuppahemlock1.blogspot.si/2014/04/children-of-ernobil-effects-of.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_Daiichi_nuclear_disaster

MENTORJI

Dr. Andreja Eršte, prof.

Dr. Matej Forjan, prof.

Matej Rožič, prof.

VODJA PROJEKTNO-RAZISKOVALNE NALOGE

Ivica Tomić, prof.

LEKTORICA

Gordana Stepanovska, prof.

SPONZORJI

