Černobil prije i nakon katastrafe

Bošnjaković, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:236262

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

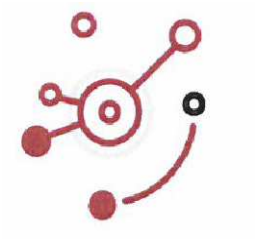
Repository of Department of Physics in Osijek

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MATEA BOŠNJAKOVIĆ

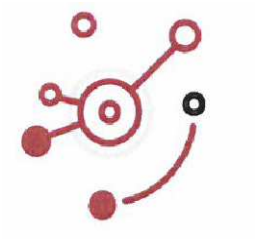
ČERNOBIL PRIJE I NAKON KATASTROFE

Završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MATEA BOŠNJAKOVIĆ

ČERNOBIL PRIJE I NAKON KATASTROFE

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja zvanja prvostupnice fizike

Osijek, 2016.

"Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom dr. Branka Vukovića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku".

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Završni rad

Odjel za fiziku

ČERNOBIL PRIJE I NAKON KATASTROFE

MATEA BOŠNJAKOVIĆ

Sažetak

Nuklearna elektrana Černobil nalazila se u blizini ukrajinskog grada Černobila, u gradu Pripjatu. Sastojala se od četiri reaktora tipa RBMK-1000. Posljednji, četvrti reaktor u rad je pušten 1983. godine. Nuklearna elektrana Černobil stvarala je energiju pomoću procesa fisije. Milijuni ljudi su pomoću nuklearne elektrane dobivali struju. 26. travnja 1986. godine, zbog ljudskih pogrešaka i zbog nedostataka u reaktoru, došlo je do najveće nuklearne katastrofe- Černobilske katastrofe. Do katastrofe je došlo eksplozijom četvrtog reaktora. Nakon katastrofe mnogi ljudi su se morali evakuirati iz grada Pripjata, a mnogi su i oboljeli te ubrzo umrli. Posljedice su se odrazile i na gospodarstvo, ali i na čitav svijet, te se osjećaju još i danas. Područje Pripjata i danas je još uvijek prazno.

(34 stranica, 17 slika)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: Černobilska katastrofa / fisija / nuklearna elektrana Černobil / posljedice / radioaktivnost / RBMK / zračenje

Mentor: Branko, Vuković, izv.prof.dr.sc.

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

University Josip Juraj Strossmayer Osijek Bachelor of Physics Thesis

Department of Physics

CHERNOBYL BEFORE AND AFTER THE DISASTER

MATEA BOŠNJAKOVIĆ

Abstarct

The Chernobyl Nuclear Power Plant is located near the Ukrainian city of Chernobyl, in the city of Pripyat. Nuclear Power Plant had four RBMK reactors. The fourth reactor was in use since 1983. The Chernobyl Nuclear Power Plant was producing energy using the fission process. It was a electric energy supplier for milions of people. On April 26, 1986 occured the worst nuclear disaster - the Chernobyl disaster. It was a combination of RBMK reactor's design flaws and human handling what caused the explosion of the fourth reactor. The Chernobyl disaster was led to immediate evacuations, many health problems and thousands of dead people.. Many of them had health problems and some of them have died. A disaster had a huge impact on the economy of Ukraine and the consequences of it can be seen eventoday. Today, field of Pripyat was still empty.

(34 pages, 17 figures)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: Chernobyl disaster / consequences / fission / radioactivity / RBMK / radiation / The Chernobyl Nuclear Power Plant

Supervisor: Branko, Vuković, Ph.D., Associate Professor

Reviewers:

Thesis accepted:

Sadržaj

Uvod 1
1. Razvoj sovjetske nuklearne industrije 2
1.1. Upotreba nuklearne energije u kućanstvima 3
2. Nuklearna elektrana Černobil prije katastrofe 4
2.1. Izgradnja nuklearne elektrane Černobil 6
3. Černobilska katastrofa 9
3.1. Sigurnosni test na četvrtom reaktoru 9
3.2. Stvaranje ispitnih uvjeta 10
3.3. Više nije bilo povratka 12
3.4. Potpuno uništenje 13
3.5. Mnogi su zauvijek napustili svoje domove 16
3.6. Sovjeti skrivaju istinu neko vrijeme 17
3.7. Reakcije iz svijeta na nesreću 18
3.8. Ulaganje napora u čišćenje 19
3.9. Isključene zone 20
4. Posljedice 22
4.1. Bolnice su postale pretrpane 23
4.2. Problemi sa zdravljem 24
4.3. Ostalo je opustošeno područje 26
5. Optuženi za katastrofu 28
6. Događaji nakon katastrofe 30
Zaključak 31
Literatura 33
Životopis 34

Uvod

Nuklearna elektrana Černobil nalazila se u blizini ukrajinskog grada Černobila. Sastojala se od četiri reaktora tipa RBMK - 1000[1]. Prvi reaktor započeo je s radom 1977. godine, a zadnji, četvrti reaktor 1983. godine [1].

Nuklearna elektrana Černobil je u radu sa sva četiri reaktora davala približno 10% ukupne električne energije u Ukrajini.

26. travnja 1986. godine došlo je do najveće nuklearne katastrofe - Černobilske katastrofe. Do nje je došlo uslijed eksplodiranja jednog od četiri reaktora u nuklearnoj elektrani Černobil.

Katastrofa je nastala prilikom sigurnosne provjere reaktora. Naime, provjeru su vršili tehničari koji nisu bili obučeni za takav test. Provjera se vršila za vrijeme noćne smjene kada su potrebe za strujom u Ukrajini bile vrlo male. Do eksplozije je došlo potpunim gašenjem četvrtog reaktora.

Gašenjem RBMK reaktora došlo je do toga da su grafitne moderatorske šipke ušle u vruću jezgru, te istisnule tekućinu koja je bila potrebna za hlađenje reaktora. Kao posljedica, javilo se još jače zagrijavanje jezgre što je dovelo do stvaranja plinova koji su raznijeli poklopac reaktora.

Sovjetska vlada je nastojala prikriti katastrofu. Ubrzo, zbog vjetra koji je raznosio velike količine zračenja, susjedne zemlje i nakon njih i cijela Europa, shvatili su da se nešto događa. Sovjetska vlada je iz tog razloga morala priznati što se dogodilo.

Kao posljedica Černobilske katastrofe, javile su se mnoge bolesti kao i veliki gospodarski gubitci. Veliko područje u blizini nuklearne elektrane Černobil je ostalo opustošeno i nepovoljno za život. Posljedice se osjećaju još i danas.

[1] RBMK reaktor je tip nuklearnog reaktora koji je koristio grafitne moderatorske šipke, a hladio se vodom. Koristio je uran kao nuklearno gorivo.

1. Razvoj sovjetske nuklearne industrije

Razvoj Sovjetske nuklearne industrije započinje već s Drugim svjetskim ratom [2]. Tada je vođa Sovjetskog Saveza bio Josif Staljin. Kako je bio svjestan moći Sjedinjenih Američkih Država (SAD-a), znao je kako je moguće da će SAD izraditi novu vrstu oružja - atomsku bombu. To bi značilo da je SAD moćniji od Sovjetskog Saveza. Iz tog razloga, Sovjetski Savez je zadužio Klausa Fuchsa da im proslijedi informacije o izradi atomske bombe. On se priključio projektu Manhattan[2], te je na taj način prosljeđivao informacije o atomskoj bombi. Međutim, Staljin nije davao tome veliku pažnju.

Mnogo sovjetskih znanstvenika, predvođeni fizičarom Igorom Kurchatovom, pokušavali su otkriti što se sve može dobiti nuklearnom fisijom. No, kako je Sovjetski Savez još uvijek bio u ratu s nacističkom Njemačkom, više su bili usmjereni prema naoružanju tenkovima i zrakoplovima.

Fuchs je obavijestio Sovjetski Savez o tome kako je testirana atomska bomba u gradu Alamogordu, u Novom Meksiku. Ubrzo nakon toga dogodilo se uništenje Hirošime i Nagasakija atomskom bombom u Japanu. Nakon tih događaja, Sovjetski Savez je smatrao kako ne smiju biti slabiji od SAD-a, te je krajem 1945. godine glavni cilj Sovjetskog Saveza postao izgradnja atomske bombe.

Već 1949. godine Sovjetski Savez je testirao svoju prvu atomsku bombu, no to su držali u tajnosti. Vođa atomskog programa bio je Staljinov čovjek, šef tajne policije Lavrentii Beria. Beria je mnoge ljude koji su govorili protiv Sovjetskog Saveza, a koji su ondje živjeli, te mnoge političare, slao u sovjetski koncentracijski logor (gulag). Ondje su u vrlo teškim uvjetima zatvorenici bili prisiljeni na rad u rudniku i na obrađivanje radioaktivnog materijala. Sve to utjecalo je na vrlo dobar razvoj atomskog programa Sovjetskog Saveza.

Tijekom provođenja atomskog programa, dogodile su se mnoge nepravilnosti. Prije Černobilske katastrofe koja se dogodila 1986. godine, 1957. godine dogodila se također velika nesreća. Naime, tekućina gdje se odlagao nuklearni otpad je eksplodirala što je dovelo do širenja zračenja. Također, mnogo radioaktivnog otpada bačeno je rijeku Techa, ali i u jezera, što je dovelo do raznih bolesti kod stanovnika koji su živjeli na tom području. Kako je odlaganje radioaktivnog otpada vrlo skupo, za što Sovjetski Savez nije imao dovoljno novca, te zbog

[2] Projekt Manhattan tajni projekt SAD-a na čelu kojeg je bio Roosevelt s ciljem izrade atomske bombe.

otkrivanja velikih količina radioaktivnosti, Europa se počela suprotstavljati Sovjetskom Savezu. Sovjetski Savez se tako nije mogao nositi s tim otpadom bez pomoći.

1.1. Upotreba nuklearne energije u kućanstvima

Tek pred kraj šezdesetih godina prošlog stoljeća, proširila se primjena nuklearne energije u Sovjetskom Savezu. Sovjetski Savez je bio bogat fosilnim gorivima što je omogućilo brz razvoj nuklearnih elektrana, te opskrbu stanovništva električnom energijom.

Neki reaktori u Sovjetskom Savezu koristili su se u vojne svrhe, odnosno za proizvodnju oružja koja koriste uran i plutonij. Te nuklearne reakcije kontrolirao je grafit. Naime, od grafita su formirane šipke koje su mogle ući ili izaći iz reaktorske jezgre, te na taj način su mogle apsorbirati neutrone koji nastaju tijekom nuklearne reakcije. Količina neutrona regulira brzinu nuklearnih reakcija, te na taj način regulira i količinu stvorene energije. Naime, dok se grafitne šipke nalaze unutar reaktorske jezgre, reakcija se usporava i na taj način se stvara manja količina energije, no dok su izvan jezgre, tada se reakcija ubrzava i stvara veću količinu energije. Takvi reaktori poznati su pod nazivom RBMK.

RBMK reaktori su imali neke nedostatke koji su navedeni u dokumentima tek nakon raspada Sovjetskog Saveza. Naime, nedostatak je bio da dok su se grafitne šipke nalazile unutar jezgre reaktora, dolazilo je do povećanja temperature unutar jezgre, što je rezultiralo mogućim raspadom jezgre reaktora. Također, reaktor nije imao zaštitnu ogradu od armiranog betona koji se koristio na Zapadu te sustav za zaustavljanje reakcija. To je zapravo bila posljedica nedostatka financija. Naime, Sovjetskom Savezu je bilo bitno izraditi reaktor, no nisu davali dovoljno pažnje na takve posljedice.

Do 1980. godine, Sovjetski Savez bio je među vodećim svjetskim nacijama u korištenju nuklearne energije, zajedno s Velikom Britanijom, Francuskom i Sjedinjenim Američkim Državama. Više od 10% ukupne nuklearne energije u svijetu stvorena je sovjetskim nuklearnim reaktorima. Četiri od ukupno 43 nuklearna reaktora koji su se nalazili u Sovjetskom Savezu, pripadala su nuklearnoj elektrani Černobil.

2. Nuklearna elektrana Černobil prije katastrofe

Nuklearna elektrana Černobil nalazila se 18 km sjeverozapadno od grada Černobil i oko 16 km južno od Ukrajinske granice s Bjelorusijom [3]. Otvorena je 1977. godine, a gradila se u razdoblju od šest godina u vrijeme kada je Sovjetski Savez, kao i sve ostale moderne nacije, bio suočen s velikim zahtjevima za električnom energijom. Dobivena električna energija osiguravala je milijunima ljudi svjetlost, toplinu, ali i potrebu za svim ostalim blagodatima koje pruža električna energija.

Nuklearna elektrana Černobil koristila je četiri velika nuklearna reaktora i stvarala je struju za milijune ljude u Kijevu, Pripjatu[3] i u mnogim ostalim gradovima.

Nuklearna energija je poput svakog drugog oblika energije, no ukoliko je ima u velikim količinama, zbog svoga intenziteta, vrlo ju je teško kontrolirati. Ovakva vrsta energije dolazi od vrlo malog izvora - jezgre atoma, procesima fuzije ili fisije. Ovi procesi se razlikuju po tome što je proces fuzije spajanje atomskih jezgara, a proces fisije razdvajanje atomskih jezgara.

U nuklearnoj elektrani Černobil energija se proizvodila procesima fisije, pri čemu su neutroni bombardirali atome. Bombardiranje atoma uzrokuje njihovo cijepanje pri čemu se oslobađa velika količina energije. Budući da je velika količina atoma podvrgnuta procesu fisije, u nuklearnoj elektrani Černobil bila je ogromna proizvodnja energije. Ono zbog čega je ovakav proces još produktivniji su lančane reakcije. Naime, reakcija neutrona s atomom uzrokuje cijepanje atoma, ali i stvaranje slobodnih neutrona koji su u mogućnosti spajati se u sljedeće reakcije i cijepati ostale atome. Lančana reakcija se nastavlja sve dok radnici u nuklearnoj elektrani dodaju nuklearno gorivo - kemijske elemente poput urana-235 (^{235}U) u procese fisije.

Svrha nuklearne elektrane Černobil je bila proizvodnja električne struje. Međutim, energija proizvedena fisijom urana-235 ne pretvara se odmah u električnu struju, već je fisija bila tek početak tog procesa [4]. Uran je jedan od najvećih elemenata u periodnom sustavu elemenata, stoga znanstvenici kažu da je toliko velik da se vrlo teško može održavati, odnosno, lako se raspada, te da je nestabilan. Iz tog razloga je moguće ubrzanje raspada atoma urana induciranom fisijom. Fisija se događa unutar reaktorske jezgre, na način da se česticom neutrona bombardira meta atoma urana, te razdvaja atom u dva odvojena i gotovo jednaka dijela, oslobađajući energiju i slobodne neutrone (to su produkti fisije). Fisijom urana se stvara velika količina

[3] Pripjat je grad u sjevernoj Ukrajini u kojem su živjeli svi zaposleni u nuklearnoj elektrani Černobil. Danas je potpuno napušten.

topline koja se koristi za zagrijavanje velike količine vode koja se pretvara u paru. Nadalje se reakcije ponovno događaju dodajući nuklearno gorivo - uran, što je poznato pod nazivom lančana reakcija. Nastala para prisilno prolazi kroz nekoliko turbina - rotora na kojima su postavljene lopatice. Prolazak pare uzrokuje zakretanje turbine, a njezina vrtnja proizvodi energiju koja se zatim pretvara u električnu energiju. Struja nakon toga prolazi kroz dalekovode prema obližnjim naseljima, gdje se potom koristi u svakodnevnom životu.



Slika 1: Turbina koju pokreće nastala para, te vrtnjom lopatica turbine nastaje električna energija [3].

Prednost korištenja nuklearne energije u svrhu proizvodnje električne energije je oslobađanje vrlo male količine stakleničkih plinova poput ugljikovog dioksida. Također, nuklearna elektrana može proizvesti velike količine električne energije, te na taj način opskrbiti veliko područje.

S druge strane, postoje i neke opasnosti koje su povezane s procesom fisije. Jedan od njih je stvaranje niza neželjenih, radioaktivnih elemenata. Radioaktivni elementi izbacuju energiju u obliku valova i čestica što je vrlo štetno za žive organizme, uključujući i ljude.

Kako bi se navedene reakcije provodile u kontroliranim uvjetima, znanstvenici su morali proučiti nekoliko stvari. Jedna od njih je bila povećati vjerojatnost da neutron pogodi baš atom urana-235, te kontrolirati navedenu reakciju fisije usporavanjem neutrona prema uranu. Tako su otkrili da će neutroni putovati sporije prema uranu-235 ukoliko će na svom putu imati neki "otpor". Taj "otpor" predstavljali su određeni atomi poput vodika ili ugljika - moderatori[4] koji su se nalazili prije urana-235. Na taj način stvorena je jezgra reaktora.

[4] Moderator se koristi u nuklearnim elektranama kod procesa fisije za usporavanje brzih neutrona kako ne bi došlo do novih procesa fisije. Najčešći moderatori su od vode ili ugljika.

U mnogim nuklearnim reaktorima, uključujući i SAD-ove, kao moderator koristila se voda. No Sovjetski Savez je u svojim nuklearnim reaktorima koristio ugljik, odnosno grafit. On je omogućavao kontrolirane reakcije. Čak i uz pomoć moderatora, ponekad se znalo dogoditi da u lančanoj reakciji nastanu dodatni neutroni koji nasumično putuju kroz nuklearno gorivo, te tako stvaraju uvjete za atomske eksplozije. Tijekom istraživanja, znanstvenici su također otkrili kako ponekad uran-235 apsorbira neutron, te tako ne postaje nestabilan, već stvara novi element - bor. Bor se ne cijepa ukoliko je pogođen neutronom. Iz tog razloga stavili su bor u kontrolne šipke kako bi, kada se šipke puste u jezgru reaktora, apsorbirale dodatne neutrone koji bi inače mogli stvoriti nekontrolirane lančane reakcije.

U nuklearnom reaktoru lančana reakcija započinje izvlačenjem kontrolnih šipki čime se smanjuje broj apsorbiranih neutrona. Tada tehničari pažljivo prate i kontroliraju temperaturu jezgre reaktora. Kada se temperatura u jezgri spusti, šipke se izvlače van kako bi bilo manje apsorbiranih neutrona, što znači da će se dogoditi više nuklearnih reakcija fisije, dakle biti će više energije i topline. Kada temperatura jezgre raste do neke određene razine, šipke se ponovno spuštaju natrag, te na taj način dolazi do većeg broja apsorbiranih neutrona, odnosno manje energije i manje topline. Tako se kontrolira lančana reakcija.

2.1. Izgradnja nuklearne elektrane Černobil

Prvi reaktor u Černobilu izgrađen je 1976. godine, a njegova gradnja stajala je 250 milijuna dolara [4]. U to vrijeme već se približavao kraj gradnje i drugog reaktora. Ta dva reaktora bili su zajednički sovjetski nuklearni reaktori poznati kao RBMK reaktori.

Jezgra svakog reaktora sadržavala je veliku masu grafita (više od 2500 tona) koji je služio kao moderator pri procesu fisije. Kroz jezgru reaktora bilo je izbušeno više od 1600 rupa koje su bile ispunjene uranom, te je nekoliko stotina rupa služilo za spuštanje i podizanje borovih kontrolnih šipki.

Svaki reaktor nalazio se u zatvorenoj zgradi od 30 katova koja je bila prekrivena betonskim krovom. Nekoliko stotina kilometara dalje nalazile su se zgrade s turbinama, a svaka od njih je imala po dvije turbine za svaki reaktor. Unutar zgrade s reaktorima. nalazilo se šest velikih pumpi koje su pumpale paru i kipuću vodu iz jezgre. Para je tako prolazila kroz cijevi duge nekoliko stotina metara do turbine gdje je stvarana struja. Zatim bi se proces ponovno ponavljao.

Osoba odgovorna za izgradnju nuklearne elektrane Černobil bio je nuklearni inženjer Victor Bryukhanov. Kako je u to vrijeme u Sovjetskom Savezu dominirala komunistička partija, vođen je program poznat kao "Petogodišnji plan"[5]. Dio tog plana bio je izgradnja nuklearne elektrane Černobil, i taj cilj morao je biti ispunjen u pet godina bez obzira na troškove. Iz tog razloga je kvaliteta gradnje bila loša.

Bryukhanov je izgradnjom nuklearne elektrane u gradu Pripjatu, privukao velik broj radnika, te omogućio razvitak tog dijela Sovjetskog Saveza. Time je postao vrlo cijenjen među ljudima.

Do 1978. godine, završen je i drugi reaktor, te su počeli planovi i za završetak trećeg i četvrtog reaktora do 1984. godine. Dok su masovno dolazili radnici u nuklearnu elektranu, Bryukhanov je shvatio kako se pokvarilo nekoliko RBMK reaktora koji su se koristili u nuklearnim elektranama u Sovjetskom Savezu. O tome nitko nije bio obaviješten jer su zabranili puštanje takvih vijesti. Radnici u elektranama smatrali su da je sve u redu.

Početkom 1980. godine, uočeno je kako reaktori daju samo polovicu svoje snage, što je značilo da dolazi do pregrijavanja jezgre. Kada bi došlo do pregrijavanja jezgre, najvažnije je bilo spustiti sve šipke u jezgru kako bi se zaustavio nuklearni proces fisije. Budući da je jezgra RBMK reaktora bila jako velika, takav način zaustavljanja fisije je vremenski bio vrlo dugotrajan. Za ubacivanje šipki u jezgru RBMK reaktora bilo je potrebno oko 20 sekundi i upravo iz tog razloga je cijeli proces bio sporiji. U tom vremenu, još uvijek bi se odvijala fisija iz koje bi nastajala toplina što bi dovodilo do pregrijavanja vode u sustavu za hlađenje, te na kraju i do eksplozije u samo nekoliko sekundi.

Umjesto poboljšanja takvog načina zaustavljanja procesa fisije koji bi zahtijevao potpuni redizajn reaktora, sovjetski nuklearni inženjeri su došli do drugačijeg zaključka - a to je da reaktori rade u punoj snazi cijelo vrijeme. Puštanjem u rad trećeg reaktora u nuklearnoj elektrani Černobil 1981. godine, takav način rada je izazvao veliku potrošnju komponenti kao što su parne cijevi, zavareni spojevi, te pokretni dijelovi. Tada su Bryukhanov i njegovi suradnici odlučili ugasiti prvi reaktor kojeg je bilo potrebno poboljšati. Za postupni proces smanjenja snage spuštanjem šipki u ogromnoj jezgri bilo je potrebno mnogo vremena. U tom vremenu nuklearno gorivo urana bilo je pregrijano, pa je došlo do malih eksplozija u jezgri, te je mala količina zračenja bila ispuštena u atmosferu. U takvim slučajevima, nuklearna elektrana se

[5] Petogodišnji plan ili petoljetke je plan izgradnje socijalističkog gospodarstva.

koristila i sustavom za hlađenje - vodom. Naime, pri takvim malim eksplozijama, koristili su vodu za hlađenje reaktora. Kako nije u takvim slučajevima dolazilo do vatre, nitko nije bio ozlijeđen, ali je nekoliko njih primilo visoke, ali ne i smrtonosne doze zračenja.

Malo je ljudi znalo za takve događaje koji su se odvijali u tada već razvijenom gradu Pripjatu u kojem se nalazila nuklearna elektrana. Jedina naznaka da se nešto dogodilo u elektrani bila je kad su radnici iz elektrane prali ulice vodom kako ne bi došlo do posljedica**.** Takve nesreće su bile u tajnosti da čak ni radnici u zgradama druga dva reaktora nisu znali za njih.

Najveći problem nuklearne elektrane Černobil je bio taj što su morali zaustaviti i popraviti jedan od reaktora. Zapravo je takva tajnost prethodnih slučajeva, kao i odbijanje da reaktori imaju neke nedostatke, dovele do problema u budućnosti.

3. Černobilska katastrofa

Černobilska nesreća smatra se najgorom nuklearnom nesrećom u povijesti. Neposrednim eksplozijama i izloženost velikom zračenju uzrokovalo je smrt mnogo radnika. Najveći broj umrlih bili su vatrogasci koji su bili najviše izloženi zračenju. Oblak koji se stvorio eksplozijom nošen je vjetrom i on je utjecao na ljude koji su živjeli u Černobilu, Pripjatu i Bjelorusiji, a njegova radioaktivnost bila je sto puta veća od one iz bombe koja je bačena na Hirošimu.

3.1. Sigurnosni test na četvrtom reaktoru

27. ožujka 1984. godine, pušten je u rad četvrti reaktor nuklearne elektrane Černobil. Zahvaljujući Bryukhanovu, reaktor je krenuo s radom tri mjeseca prije roka. Takav uspjeh je privukao mnoge stranačke čelnike iz Kijeva na svečano otvorenje. Bryukhanov je dobio odlikovanje, a tek s otvorenjem četvrtog reaktora moglo se sa sigurnošću reći da nuklearna elektrana Černobil stvara dovoljno struje za sve domove i tvornice diljem zapadnog Sovjetskog Saveza.

Tim događajima započeli su planovi za peti i šesti reaktor što bi značilo da bi nuklearna elektrana Černobil postala najvećom na svijetu. No, već 1986. godine kasnili su sa radovima na tim reaktorima, a problemi su se pojavili i na četvrtom reaktoru. Naime, dolazilo je do ispuštanja radioaktivne tvari kroz ventilacijske odvode. Iz tog razloga su čelnici u Ministarstvu energetike naredili Bryukhanovu da odmah zamijeni sve krovove na zgradama u kojima se nalaze turbine. Također su otkrili kako kablovi u zgradama gdje su reaktori nisu bili zaštićeni u slučaju vatre.

Kako se na Bryukhanova vršio velik pritisak, on se najviše oslonio na Anatolia Dyatlova, zamjenika glavnog inženjera na četvrtom reaktoru. No, u proljeće 1986. godine, pojavio se novi problem kad je Bryukhanov naredio Dyatlovu da nadzire četvrti reaktor tijekom važnog testa.

Černobilska katastrofa započela je kao sigurnosni test. Svrha testa bila je vidjeti što bi se dogodilo u slučaju iznenadnog nestanka struje. Prekid struje značio bi i prekid svih radnji u sustavu, uključujući kontrolne šipke i sustav za hlađenje. Sve nuklearne elektrane imale su generatore koje bi stvorile struju u slučaju takvog događaja. No, bilo je važno znati koliko će vremena proći između zaustavljanja turbine i pokretanja generatora. Svi u Sovjetskom Savezu su smatrali kako je ovakav test neophodan, te da ga je važno izvršiti i prije puštanja reaktora u rad. Glavni problem bio je da bi se jezgra reaktora mogla pregrijati od nekontrolirane fisije, što bi

rezultiralo mogućom eksplozijom. U tom slučaju radioaktivni materijal bi otišao u čitavu atmosferu što bi rezultiralo velikim posljedicama.

Bryukhanov nikada nije pokrenuo takav test prije početka rada četvrtog reaktora. Iz tog razloga nitko u elektrani nije znao hoće li se i koliko dugo, turbina vrtjeti te upravljati sustavom za hlađenje te kontrolnim šipkama ukoliko dođe do nestanka struje. Pod normalnim okolnostima, turbine su se trebale vrtjeti iz vlastitog momenta gibanja sve dok ih ne preuzme generator.

Test se trebao održati u zadnjem tjednu travnja 1986. godine, za vrijeme dok je Bryukhanov bio u Kijevu. Dyatlov je pristao nadzirati sigurnosti test iako nikad nije sudjelovao u takvom testu i iako je bio svjestan svih pogrešaka u RBMK reaktoru. Iako je većina radnika u Černobilu radila već godinama, nisu bili upoznati s postupcima koje bi trebali napraviti ukoliko dođe do hitnih slučajeva. Upravo cijeli taj niz nedostataka informacija igrali su ključnu ulogu u Černobilskoj katastrofi.

3.2. Stvaranje ispitnih uvjeta

Dyatlov je znao kako bi se smanjenje snage u četvrtom reaktoru trebao postupno odvijati zbog produkata koji nastaju tijekom procesa fisije. Jedan od proizvoda koji nastaje tijekom procesa fisije urana je plin ksenon. Poput elementa bora, i ksenon ima sposobnost apsorpcije neutrona. Međutim, ksenon vrlo brzo apsorbira neutrone, što bi uzrokovalo gašenje reaktora. No, kako ksenon ima sposobnost vrlo brzog propadanja, unutar samo nekoliko sati, u tom vremenu bilo je potrebno postupno smanjiti snagu reaktora.

25. travnja 1986. godine započelo je provođenje sigurnosnog testa. U 13:00 sati, izlazna snaga četvrtog reaktora je pala na oko polovicu svoje normalne razine - s 3000 MW na 1600 MW [3]. Jedan od dvaju turbogeneratora je isključen, jer je za test bio potreban samo jedan turbogenerator.

U 14:00 sata je isključen sustav za hlađenje jezgri kod hitnih slučajeva. Sustav za hlađenje jezgri kod hitnih slučajeva radi na principu da ubrizgava rashladnu tekućinu u reaktor kako bi brzo smanjio temperaturu i otvara ventil za ispuštanje pare kako bi smanjili tlak. Radnici su ugasili taj sustav jer su se bojali kako bi on oštetio reaktor prilikom ispitivanja.

Ubrzo nakon 23 sata, snaga četvrtog reaktora je pala na razinu između 700 i 100 MW što su opasno niske razine. Uz sustav za hlađenje, isključeno je i automatsko upravljanje koje bi pri vrlo niskim razinama snage ugasilo reaktor ili bi povećalo proces fisije, te tako povećale

snagu reaktora. Na takvim niskim razinama proces fisije postaje vrlo nestabilan. Dyatlov nije htio da se reaktor ugasi, te je naredio da se ugasi automatsko upravljanje. Kada je dobio spise o nastaloj situaciji, jedan od glavnih radnika na upravljačkoj ploči, Toptunov, smatrao je kako bi se pri smanjenju snage u reaktoru trebala uravnotežiti apsorpcija neutrona umetanjem kontrolnih šipki s prirodnom apsorpcijom pomoću ksenona.

Oko pola 1 u noći, 26. travnja, izlazna snaga je iznenada pala na kritičnu vrijednost oko 30 MW (manje od 5 posto snage reaktora). Tada se procesom fisije počela proizvoditi velika količina neželjenih varijacija nuklida[6] osnovnih elemenata, od kojih su neki vrlo radioaktivni. Nuklearnu fisiju tada je teško kontrolirati. Kako je sustav za hlađenje bio ugašen, razina vode u njemu je pala na manje od 1 posto ukupnog kapaciteta, što je uzrokovalo pregrijavanje reaktora, a to je uzrokovalo proizvodnju velike količine energije.

Radnici na upravljačkoj ploči smatrali su da je jedina pametna stvar ugasiti reaktor i napraviti novi raspored izvođenja testa. Međutim, Dyatlov je naredio da se izlazne razine podignu, te da se nastavi provođenje navedenog testa. Radnici su pak odbijali provođenje takve naredbe, no bojeći se za radno mjesto popustili su Dyaltovu. Oko 1:00 sat su, pod nemogućim okolnostima, nastojali podići razinu do 200 MW. Proces fisije je postao opasno nejednolik, a nastavila se i proizvodnja velike količine nuklida.



Slika 2: Radnici na upravljačkoj ploči [3].

U 1:03 sat, šest pumpi je slalo vodu u reaktor kako bi ga ohladilo, a zatim su pokrenuli još i dvije dodatne pumpe za hlađenje. Nakon što je osam pumpi slalo vodu u reaktor kako bi ga ohladilo, dogodila se još jedna pogreška. Naime, time je izlazna snaga reaktora pala, a dodatna

[6] Nuklidi se ovisno o svojstvima jezgre dijele na stabilne ili nestabilne. Nestabilni se nazivaju još i radionuklidi te su vrlo reaktivni. Postaju stabilni radioaktivnim raspadom.

voda nije bila potrebna. Kao rezultat toga, nije se dovoljno vode pretvaralo u paru, a višak vode je i dalje spuštao izlaznu snagu. Tada je proces fisije postao još opasniji. Uz to, još su dvije sigurnosne značajke bile onemogućene - jedna je ona koja pokazuje kada je razina vode u reaktoru previsoka, a druga je ona koja pokazuje kada je razina pare preniska.

Kako se Dyatlov protivio prekidu testa, čekao je da se postupak završi i da se rad reaktora vrati na punu snagu. Tako je naredio Toptunovu da povuče preostale kontrolne šipke za povećanje snage. Dakle, samo je 11, od ukupno 211 kontrolnih šipki, bilo još uvijek u jezgri, te je do 1:20 sati snaga reaktora porasla na dovoljnu vrijednost za pokretanje testa.

U 1:22 sata, jedan od radnika dobio je prikaz trenutnog stanja reaktora. Proizvodnja je bila preniska, proces fisije je stvarao milijune nuklida, također odnos između pare i vode u reaktoru je bio prenizak. Radnici su u tom slučaju smatrali da je potrebno ugasiti reaktor, ali su se bojali Dyatlove reakcije. U 1:23 sata, radnici su pritiskom na označeni prekidač za hitne slučajeve, zatvorili parne cijevi koje su vodile iz jezgre prema turbogeneratoru, te su na taj način isključili reaktor. Naime, pritiskom na taj prekidač, kontrolne šipke su se počele spuštati u jezgru i za to je bilo potrebno 20-ak sekundi. Spuštanje šipki u jezgru reaktora uzrokovalo je dodatno stvaranje pare i time je smanjena količina rashladnog sredstva jezgre. Zbog te kritične greške para nije odlazila iz jezgre, a Toptunov je vidio kako je snaga u reaktoru počela ubrzano rasti.

3.3. Više nije bilo povratka

U 1:23 sata pumpe sa rashladnom vodom su postale preopterećene što je dovelo do pada protoka hladne vode, te njezinog grijanja i do problema u reaktoru. Time je započeo smrtonosni ciklus. Zagrijavala se proizvedena para, a para je pak još više poticala fisiju, a fisijom je nastajalo sve više topline, što je dovodilo do ponavljanja takvog ciklusa. Kako su parne cijevi koje su vodile do turbogeneratora bile zatvorene, para nije imala kamo odlaziti što je dovelo do nervoze kod radnika.

Jedan od radnika predložio je da se uključi sigurnosni sustav za hitnu intervenciju kako bi smanjili izlaznu snagu reaktora. Taj sustav bi isključio reaktor spuštanjem metalnih šipki u jezgru. To je trebalo usporiti i naposljetku zaustaviti proces fisije. Viši radnik se složio s takvim planom i pritisnuo je gumb za hitne slučajeve. No, dogodilo se nešto neočekivano. Zbog nedostatka u takvom tipu reaktora (u metalnim šipkama), reaktor se nije isključio. Vrhovi metalnih šipki su bili izgrađeni od grafita, a grafit je uzrokovao povećanje fisije. Prije sigurnosnog testa u Černobilu, to povećanje fisije se nije uočilo, jer pri normalnim uvjetima rada,

povećanje fisije je bilo vrlo malo u odnosu na fisiju koja se već odvijala. Kada je reaktor radio normalno, nije imao nikakvih problema pri smanjivanju procesa fisije.

Međutim situacija je u tom trenutku bila sve samo ne normalna, a naglim porastom fisije došlo je do koraka do katastrofe. Toplina u reaktoru porasla je na kritičnu razinu u samo nekoliko sekundi, toliko brzo da niti jedan radnik nije uspio smisliti način kako to riješiti, a pare je nastalo toliko mnogo da ju reaktor više nije mogao zadržavati. Oko 1:24 sata dogodio se ključni trenutak. Naime, parne cijevi koje su usmjeravale paru prema van, od prije su bile zatvorene, a vrlo zagrijana para i voda su nastavile izlaziti prema van sve dok reaktor nije popustio. To je dovelo do eksplozije koja je srušila radnike u kontrolnoj sobi na pod i vidio se samo bljesak. Nitko nije znao što se zapravo dogodilo.

3.4. Potpuno uništenje

Eksplozija je bila toliko snažna da je podignula betonski poklopac reaktora koji je težio više od 1000 tona, te je nekoliko trenutaka ostao u zraku. U tom trenutku, ušao je zrak koji se pomiješao sa procesom fisije što je uzrokovalo još nekoliko eksplozija. Nakon što je eksplozija otpuhnula krov s reaktora, dogodilo se možda i najgore od svega. Opasan materijal koji se prije zadržavao u reaktoru raspršio se u obliku plamena u okoliš. Velike količine nuklearnog goriva, milijarde radioaktivnih čestica, te velika količina krutog materijala je u obliku plamena padala po zemlji, a neki dio je padao i na krov susjedne zgrade gdje se nalazio turbogenerator. Krov je bio obložen katranom koji se ubrzo zapalio. Oko 50 tona nuklearnog goriva otišlo je u atmosferu, a drugih 70 tona padalo je okolo elektrane.



Slika 3: Eksplozija je uništila i zgradu koja se nalazila oko četvrtog reaktora [3].

Unutar kontrolne sobe nalazili su se Dyatlov i ostali radnici. Oni su znali da se dogodila katastrofa, te da je velika opasnost od širenja radioaktivnosti u atmosferu. Nastala je panika. Neki su zvali vatrogasce, neki su otišli prema reaktoru. Ugledali su kako gori zgrada u kojoj se nalazio četvrti reaktor, a žice su visjele sa zidova. Voda je prskala na sve strane i preko kablova što je izazvalo njihovo iskrenje.



Slika 4: Uništena turbina [3].

Nizom eksplozija došlo je do velikog rasipanja radioaktivnih čestica okolo elektrane. Kako nitko od radnika nije nosio zaštitnu opremu, mnogi su u samo nekoliko minuta, a neki i u nekoliko sekundi, primili veliku količinu zračenja, te su umrli u roku nekoliko tjedana.

Dok je Dyatlov hodao oko elektrane, vidio je grude grafita iz kojih se dimilo. To je potvrdilo ono najgore. Osim toga, gorili su i dijelovi jezgre reaktora što je značilo veliku opasnost zbog nuklearnog goriva - urana.

Vatrogasci su stigli na mjesto događaja iako nisu znali što se zapravo dogodilo, te su počeli gasiti požar unutar četvrtog reaktora. Niti jedan od vatrogasaca nije imao zaštitnu odjeću na sebi ili maske kako bi se zaštitili od zračenja. U pomoć su stigli i vatrogasci iz okolnih gradova, neki su čak stigli i iz Kijeva. Do jutra gotovo je sav razbacani grafit bio ugašen, no požar unutar jezgre još uvijek je bio izvan kontrole. Dim je i dalje nosio radioaktivni otpad u zrak. Mnogi od vatrogasaca su primili smrtonosne doze zračenja u roku od nekoliko minuta i potom su se odmah razboljeli. Mnogo vatrogasaca koji su se borili protiv požara su umrli.



Slika 5: Spomenik poginulim vatrogascima [3].

Bryukhanov je neposredno nakon nesreće uvjeravao stranačke čelnike i nuklearne stručnjake kako je sve pod kontrolom. No, kada su dobili prve izvještaje o navedenom događaju shvatili su kako je došlo do velike katastrofe, te kako je došlo do širenja opasnosti i po zapadnom Sovjetskom Savezu.

Prvi zamjenik direktora sovjetske nuklearne komisije Kurchatev, Valeri Legasov, shvatio je do kakve je strašne nesreće došlo. Napomenuo je kako je opasnost time veća što je temperatura grafita koji gori veća, jer u tom slučaju postoji mogućnost i da se otopi nuklearno gorivo uran. Topljenje urana dovelo bi do još veće katastrofe - uran bi tako otišao duboko u

zemlju do podzemnih voda te ju tako otrovao. Također, Legasov je znao kako je vrlo opasno u jezgri gasiti požar vodom jer se ona pri temperaturi oko 2500 °C odvaja u svoje eksplozivne komponente - kisik i vodik, što može dovesti do još većih eksplozija. Iz tih razloga, Legasov je predlagao da se požar ugasi pijeskom koji je pomiješan s borom koji apsorbira neutrone jer bi u protivnom katastrofa bila još veća. Počeli su sastavljati plan kako to izvesti jer je bilo potrebno 4000 tone pijeska, a helikopter je mogao prevesti samo 100 tona.

Nakon toga, Bryukhanov, kao direktor elektrane, donio je odluku da će šutjeti o tome. Time se još jednom provodila tajnost u Sovjetskom Savezu.

3.5. Mnogi su zauvijek napustili svoje domove

Bryukhanov je obavijestio političke lidere u Kijevu i Moskvi kako bi trebalo evakuirati grad Pripjat. Oni su mu rekli da to ne čini jer bi nalog za evakuaciju stvorio masovnu paniku. Također, smatrali su kako bi se riječ o nesreći mogla proširiti, no s druge strane time bi osudili tisuće sugrađana na bolest i moguću smrt. Službenici Komunističke partije s kojima je Bryukhanov razgovarao, u početku nisu razumjeli opseg štete, uglavnom zbog ranijih Bryukhanovih navoda kako je sve u redu. Rekli su mu da ništa radi dok ne vidi što se dogodilo.

Dan nakon katastrofe, 27. travnja, počeli su stizati dužnosnici i znanstvenici na mjesto nesreće bez nošenja bilo kakve zaštitne opreme. U tjednima i mjesecima nakon toga, ti ljudi su umrli strašnom smrću. Zbog tajnosti o navedenim događajima, građani u Pripjatu nastavili su živjeti svakodnevnim životom kao da se ništa nije dogodilo.

Sovjetski dužnosnici su napokon pristali evakuirati to područje nakon što su izmjerili velike doze zračenja na tom mjestu. Oglasili su to putem radija i zvučnika. Poručili su stanovnicima da si ponesu odjeću za tri dana, te da će se nakon tri dana moći vratiti. Još uvijek nisu željeli da građani sumnjaju u krajnje ozbiljnu prirodu katastrofe koja se dogodila, pa makar to značilo i ugrožavanje zdravlja osoba koje su evakuirane. Iz tog razloga nisu dali građanima prilikom evakuacije zaštitne maske i respiratore kako ne bi izazvali paniku među njima.

Iz Pripjata je evakuirano oko 30 000 ljudi u Kijev. Vrlo duga kolona autobusa prevozila ih je do odredišta dok su helikopteri i dalje gasili požar.

Pripjat nije bio jedini grad iz kojeg se stanovništvo moralo evakuirati. Bilo je još nekoliko gradova i sela oko okolnih područja koja su također bila onečišćena, te je tako evakuirano oko 100 000 ljudi.



Slika 6: Evakuacija stanovništva [3].

3.6. Sovjeti skrivaju istinu neko vrijeme

Sovjetske vođe činile su sve kako ne bi došlo do curenja informacija u svijet. Zabranile su svim novinama u Sovjetskom Savezu širenje bilo kakve informacije. Bili su spremni u svijet poslati informacije kako se dogodila mala nesreća ali da nema razloga za paniku.

No svijet je ubrzo shvatio kako nešto nije u redu jer su izmjerili velike koncentracije radioaktivnosti u zraku. Mnogi proizvodi nastali procesom fisije urana nalazili su se u zraku. U roku od dva dana nakon eksplozije u zraku se nalazio jedan od najotrovnijih elemenata - plutonij. Također, u zraku se nalazilo i mnogo ostalih opasnih elemenata, jod-131, stroncij-90 i cezij-13 koji su radioaktivniji od urana i plutonija.

Prikrivanje katastrofe je prestalo kad su druge zemlje počele primjećivati neuobičajeno visoke razine zračenja u zraku. 28. travnja, radnici u nuklearnoj elektrani u malom gradu Forsmarku u Švedskoj, postali su uznemireni kad su očitali porast razine zračenja u tlu, zraku, na grmlju i drveću, ali i na tijelima svojih zaposlenika do opasne razine. Njihova prva pomisao bila je da postoji problem sa elektranom u Forsmarku. No, nakon niza ispitivanja, shvatili su kako je s njihovim reaktorima sve u redu. Ubrzo su i tehničari u Danskoj, Finskoj i Norveškoj uočili slične rezultate. Uz pomoć vremenske prognoze koja je potvrdila kako pušu jaki vjetrovi preko Ukrajine, uključujući i prostor Černobila, shvatili su gdje je problem.

Sovjetskom predsjedniku, Mihailu Gorbačovu, nije preostalo ništa drugo nego priopćiti kako se dogodila nesreća u nuklearnoj elektrani Černobil, no kako rade na tome da očiste okoliš i

da svi izađu neozljeđeni. Nikakve detalje nisu rekli o nesreći, nadajući se kako neće privući mnogo pozornosti.

Bez obzira na takvu izjavu, mnogi u svijetu bili su u strahu. Putnici su upozoreni da zaobilaze potencijalno pogođena područja, a neke zemlje, posebice u srednjoj i južnoj Europi, izgubile su milijune dolara u prihodima vezanima za turizam. Milijuni dolara također su izgubljeni i kada je radioaktivni materijal pao na poljoprivredne regije u europskim i azijskim zemljama. Mnogi su morali ostati u kući dok su im se onečišćena područja čistila od radioaktivnog materijala. Šteta uzrokovana Černobilskom katastrofom je bila neprocjenjiva, tim više što su je Sovjeti neko vrijeme tajili.

3.7. Reakcije iz svijeta na nesreću

Sve više činjenica o nesreći, kroz medije, preko političkog vodstva i običnih građana, postajalo je poznato, što je uzrokovalo bijes i očaj u cijelom svijetu. Sve novine i mediji diljem svijeta izvještavali su o katastrofi koja se dogodila u Černobilu. Svi su bili ogorčeni na Sovjete što su tajili tako važnu informaciju. Zdravstveni problemi bili su jedan od glavnih izvora straha i ljutnje.

Nakon početnog bijesa i panike, čelnici sedam glavnih industrijaliziranih naroda izjavili su kako im je žao što se nesreća dogodila, izrazili su sućut onima koji su bili pogođeni, te su pružili pomoć u smislu medicinske i tehničke pomoći. Također, smatrali su kako će nuklearna energija i dalje biti jedan od najboljih izvora energije.



Slika 7: Reakcije iz svijeta na Černobilsku katastrofu [3].

3.8. Ulaganje napora u čišćenje

Čišćenje u nuklearnoj elektrani Černobil trajalo je nekoliko dana. Prvi prioritet bio je ugasiti sve požare. Plameni se nisu nalazili samo unutar jezgre reaktora, već i na okolnim zgradama. Postojalo je nekoliko načina kako ih ugasiti. Mnogi požari ugašeni su pijeskom. Tako su mnogi od vatrogasaca prilikom gašenja požara bili izloženi tolikom zračenju da su primili u samo pola sata više zračenja nego što obični ljudi prime u cijelom životu. Iz tog razloga počeli su odmah pokazivati simptome bolesti.

Požar unutar jezgre reaktora bilo je osobito teško ugasiti jer ondje temperatura rasla i do 2200 $^{\circ}$C . Helikopteri su ga posipali pijeskom kako bi ugasili požar.

Tek su 6. svibnja ugašeni svi požari i moglo je početi čišćenje. Radnici koji su išli ondje čistiti nisu bili svjesni kolika je ondje opasnost od zračenja, ali im je obećana dobra plaća, dodatni obroci, te u nekim slučajevima prijevremeno umirovljenje. Sigurnosna oprema im je bila minimalna. Sve što su imali kao zaštitnu opremu, bila je maska preko lica i gumene rukavice.

Jedni su čistili još uvijek tinjajuće komade nuklearnog goriva, ne shvaćajući koliko oni zrače. Drugi su prali radioaktivnu prašinu iz domova i drugih zgrada, iskopavali su slojeve poljoprivrednog zemljišta, sjekli su drveće i grmlje jer su oni bili u stanju apsorbirati velike količine zračenja koji bi u slučaju požara otišao u atmosferu.



Slika 8: Čišćenje oko nuklearne elektrane Černobil [3].

Još je postojao jedan problem, a on je da će bivša jezgra reaktora i dalje proizvoditi opasan broj radioaktivnih jezgri. Nije postojao način kako bi se ugasio taj proces. Eventualno rješenje bila je izgradnja ograde od betona i čelika oko oštećenog prostora koja bi izolirala

uništeni reaktor od neposrednog okruženja, te na taj način smanjila razinu radioaktivnosti i omogućila radnicima da nastave s radom na preostala tri reaktora. Ta ograda nazvana je sarkofag. Rad preostala tri reaktora bila su osobito važna jer su se mnoga okolna područja, koja nisu bila jako pogođena nesrećom, oslanjala na električnu energiju dobivenu od nuklearne elektrane Černobil.

U prosincu 1986. godine izgrađena je ograda na gotovo trideset katova. Njezinom izgradnjom, ostala tri reaktora mogla su nastaviti s radom. S tim uspješnim rezultatom smatrali su kako je noćna mora u Černobilu gotova, no na neki način ona je tek počinjala.

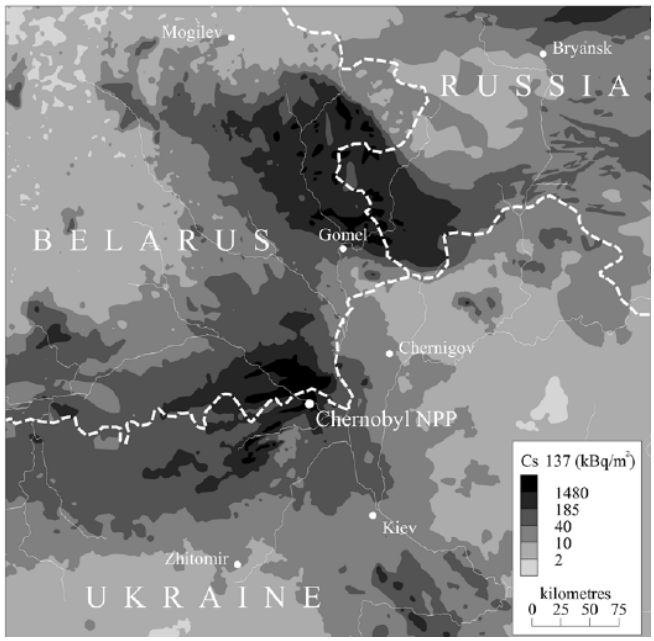


Slika 9: Sarkofag oko četvrtog reaktora, 2003. godina [5].

3.9. Isključene zone

U neposrednoj blizini četvrtog reaktora bile su najveće koncentracije radioaktivnih čestica. Također, zbog utjecaja vjetra i raznošenja radioaktivnih čestica, velika količina bila je i na području istočne Bjelorusije i jugozapadne Rusije. Kako su radioaktivne čestice padale na razne površine, zračenja je bilo svugdje. Krave su bile zaražene jedući travu koja je bila ozračena. Tako su milijuni litara mlijeka u Poljskoj, Mađarskoj, Austriji i Švedskoj postali neupotrebljivi.

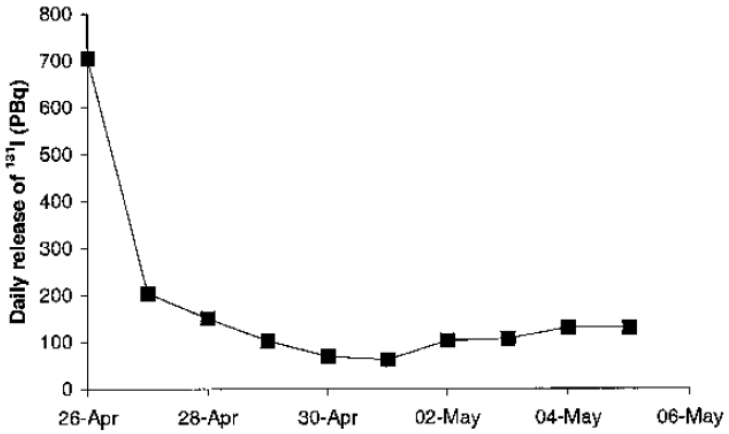
Neposredno područje oko nuklearne elektrane Černobil (oko 30 km) bila je zona isključenja.



Slika 10: Koncentracija raspršenog ^{137}Cs na području Ukrajine, Bjelorusije i Rusije [5].

4. Posljedice

Nakon Černobilske katastrofe, uočeno je mnogo opasnog, radioaktivnog zračenja u zraku. Prije eksplozije četvrtog reaktora, unutar njegove jezgre nalazio se 190,3 tone radioaktivnog materijala. Nakon nesreće, otprilike 6,7 tona od tog materijala, raspršilo se u okoliš što je uzrokovalo daljnje posljedice.



Slika 11: Dnevno ispuštanje opasnog elementa ^{131}I tijekom razdoblja od 26. travnja do 6. svibnja 1986. godine [5].

Radionuclide	Physical half-life[a]	% of amount in core released[b]	Amount released (Bq)[c]	Amount of RN released, as ratio RN : ^{137}Cs
Sr-89	50.5 days	2.9	1.15×10^{17}	1.35
Sr-90	**28.8 years**	**4.3**	$\mathbf{1.0 \times 10^{16}}$	**0.12**
Zr-95	64.0 days	3.4	1.96×10^{17}	2.31
Mo-99	2.75 days	>2.7**	>1.68×10^{17}**	1.98
Tc-99	2.11×10^{5} years	2–3[d]	9.7×10^{11} [d]	0.000 011
Ru-103	39.3 days	>4.5**	>1.68×10^{17}**	1.98
Ru-106	372.6 days	>8.5**	>7.3×10^{16}**	0.86
I-131	**8.04 days**	**57**	$\mathbf{1.76 \times 10^{18}}$	**20.7**
I-133	20.8 hours	19	9.1×10^{17}[e]	10.7
Te-132	3.26 days	26	1.15×10^{18}	13.5
Xe-133	5.25 days	100	6.5×10^{18}	76.5
Cs-134	**2.07 years**	**32**	$\mathbf{5.4 \times 10^{16}}$	**0.64**
Cs-137	**30.1 years**	**33**	$\mathbf{8.5 \times 10^{16}}$	**1.00**
Ba-140	12.8 days	4.0	2.4×10^{17}	2.82
Ce-141	32.5 days	3.5	1.96×10^{17}	2.31
Ce-144	284 days	3.0	1.16×10^{17}	1.36
Np-239	2.35 days	1.6	9.45×10^{17}	11.1
Pu-238	87.7 years	2.7	3.5×10^{13}	0.000 41
Pu-239	$\mathbf{2.41 \times 10^{4}}$ **years**	**3.2**	$\mathbf{3.0 \times 10^{13}}$	**0.000 35**
Pu-240	$\mathbf{6.54 \times 10^{3}}$ **years**	**2.8**	$\mathbf{4.2 \times 10^{13}}$	**0.000 49**
Pu-241	**14.4 years**	**3.3**	$\mathbf{6.0 \times 10^{15}}$	**0.071**
Am-241[f]	**432.2 years**		$\mathbf{4.2 \times 10^{12}}$ [f]	**0.000 05**[f]
Cm-242	163 days	2.1	9.0×10^{14}	0.011

Slika 12: Opasni radionuklidi koji su nakon nesreće raspršeni u okoliš. (oznaka: RN - radionuklidi) [5]

4.1. Bolnice su postale pretrpane

Tjednima i mjesecima nakon nesreće, bolnice cijele regije su bile pretrpane pacijentima koji su bili otrovani zračenjem. Budući da je ta situacija bila sasvim drugačija od do tad viđenih, mnogi zdravstveni radnici nisu znali što učiniti. U medicinskom centru Pripjat, koji je odmah nakon nesreće počeo primati pacijente, osoblje nije imalo potrebnu opremu kako bi otkrili stanje pacijenata. Mnoge medicinske sestre i liječnici ili nisu imali ili su imali vrlo malo iskustva sa bolestima uzrokovanim zračenjem.

Medicinsko osoblje je shvatilo kako je bolest kod pacijenata potpuno drugačija od onih normalnih, viđenih bolesti. Liječnici i medicinske sestre su tako prilazile bolesnicima noseći rukavice i maske, čineći sve od sebe kako bi smanjili direktan kontakt čak i tijekom liječenja. Mnoge pacijente su tuširali kako bi ih očistili od radioaktivnih čestica, a zapravo nisu znali kako to nema nikakvog učinka, već da je većina opasnih nuklida apsorbirana u koži pacijenata. Svi ozračeni pacijenti bili su smješteni u izoliranim sobama. To je bila velika pogreška jer su i oni s manjom apsorbiranom dozom zračenja bili smješteni s onima koji su primili mnogo veću dozu.

Kako je primljeno zračenje uzrokovalo uništenje koštane srži, liječnici su smatrali kako je potrebno bolesnicima obaviti transplantaciju koštane srži kako bi preživjeli. No, ni to nije puno pomoglo jer niti jedan bolesnik nije živio više od godine dana.

Pacijenti koji su primili velike količine zračenja pokazivali su simptome kao što je groznica, bol u mišićima i zglobovima, otežano disanje, metalni okus u ustima, zamagljen vid, vrtoglavica, mučnina, povraćanje i proljev. Kako je bolest napredovala, simptomi su se pogoršavali do te mjere da je koža potamnila, dijelovi kože počeli su pucati i otvarale su se rane, pojavljivali su se mjehuri na koži, otekline, mišići su sve više popuštali i odvajali se od kosti, te je dolazilo do sve većeg raspadanja unutarnjih organa i tkiva.



Slika 13: Liječenje pacijenta koji je bio izložen zračenju [3].

4.2. Problemi sa zdravljem

Osobe koje su se nalazile oko 1,6 km od mjesta gdje se dogodila nesreća, primili su smrtonosne doze gama zračenja[7]. Oni su bili među prvima koji su umrli nakon nekoliko dana i tjedana. Veliki dio nije imao nikakve šanse za preživjeti, a oni koji su preživjeli, živjeli su još samo pet godina. Osobe koje su se nalazile na udaljenosti od oko 6,4 km, primile su beta

[7] Gama zračenje je zračenje visoke frekvencije koje nastaje prilikom prijelaza jezgre iz višeg pobuđenog stanja u stabilnije stanje. Vrlo je prodorno zračenje.

zračenje[8]. Oni su imali 50 posto šanse da će živjeti još duže od pet godina. Svi ostali preživjeli sve više su se suočavali sa ostalim zdravstvenim problemima.

Godinama nakon Černobilske katastrofe dramatično su počeli rasti zdravstveni problemi. 1989. godine Sovjeti su priznali da je više od 250 ljudi, koji su radili u Černobilu u vrijeme eksplozije ili oni koji su sudjelovali u čišćenju, već umrli. Medicinska struka nije imala gotovo nikakva iskustva u ovakvim slučajevima jer se nikad takva tragedija nije dogodila. Nije bilo niti jednog slučaja u povijesti na kojoj bi se baziralo liječenje i dijagnosticiranje bolesti.

Od travnja 1986. godine, zabilježen je porast bolesnika s raznim oblicima karcinoma, uključujući leukemiju, rak dojke kod žena, pluća i raka želuca kod muškaraca, te rak štitnjače kod djece.

Međutim nije samo karcinom bio problem. Velik broj slučajeva imao je problem s dišnim putovima kao što su astma i upala pluća, također porastao je i broj s kardiovaskularnim problemima uključujući srčani udar koji se pojavljivao i kod relativno mladih pacijenata. Također, jedan od zdravstvenih problema bio je razrjeđivanje krvi koji je mogao dovesti do raznih oblika krvarenja.

Porastao je broj i urođenih bolesti, kao i porast broja pobačaja. Bojeći se za moguće rizike kod fetusa, kao i za sebe, žene su odlučile da neće imati djecu. Kao posljedica toga, u Ukrajini je bila veća stopa smrtnosti od stope nataliteta.

Također, nakon nesreće pao je imunitet kod osoba. Mnogi liječnici obavijestili su kako je povećan broj alergija, bolova, glavobolje i prehlade.

[8] Beta zračenje je zračenje koje nastaje prilikom raspada atomskih jezgri kada jezgra emitira elektrone. Manje je prodorno od gama zračenja. Uzrokuje oštećenja na koži i očima.



Slika 14: Velik je broj bio i oboljele djece, a oboljenja su nastavljena i godinama poslije katastrofe [3].

4.3. Ostalo je opustošeno područje

Unatoč tome što su Sovjeti obećali stanovnicima u Pripjatu da će se moći vratiti u svoje domove nakon tri dana, to nitko nije mogao učiniti. Naime, grad je ubrzo nakon nesreće bio okružen ogradom koja im nije dala pristup. Zemljište oko nuklearne elektrane Černobil postalo je beskorisno. Biljke, tlo i voda postali su previše zagađeni. U početku su znanstvenici smatrali da će zemljište unatoč svemu biti pogodno za sijanje različitih kultura. No, ono se više nikad nije vratilo u stanje kao nekad.

Šteta se proširila i izvan Ukrajine, Bjelorusije i Rusije. U nekoliko europskih zemalja, usjevi su postali neiskoristivi. Mliječni proizvodi kao što su mlijeko, maslac, čokolada i sladoled su zabranjene jer su došli od krava koje su jele onečišćenu travu. Neke životinje nisu bile u stanju imati potomstvo zbog količine zračenja kojeg su primile (utjecalo je na reproduktivne organe). Mnoge odrasle životinje su usmrćene, a njihova tijela uništena jer više nisu bila prikladna za prehranu. Više nitko nije uzimao proizvode koji su dolazili iz tog dijela svijeta. Gubitak je iznosio više od 300 milijuna dolara.

Sredinom 1990-ih godina, ukrajinska vlada izdaje kako je još uvijek više od 34 000 km^2 Ukrajine nepovoljno za stanovanje.



Slika 15: Njemački farmeri uništavali su svoje usjeve zbog zagađenosti [3].

5. Optuženi za katastrofu

Pod pritiskom koji je dolazio iz svijeta i predsjednika Gorbačova, sovjetski dužnosnici morali su sazvati formalno suđenje u vezi Černobilske katastrofe. Suđenje je održano u praznom gradu Černobilu jer su mnogi smatrali da je to najbolje. Sovjeti su svu krivnju željeli prebaciti na nesposobnu upravu, kako ne bi bilo da je nesreća nastala zbog nedostataka kod reaktora.

Bryukhanov, Fomin i Dyatlov uhićeni su nedugo nakon nesreće. Uz njih su optuženi i: Kovalenko - nadzornik na četvrtom reaktoru, Rogozhkin - nadgledao je noćnu smjenu i Laushkin - sigurnosni inspektor u Černobilu. Sovjetska vlada je tvrdila kako su nesposobni za vođenje elektrane, te da je bilo neregularnosti u hitnim slučajevima, no zanemarili su činjenicu kako su bili pod pritiskom komunističke vlasti. Također, vlada je odbila ispitati sve nedostatke RBMK reaktora jer su znali da bi takvo ispitivanje značilo da će se sve sovjetske elektrane trebati zatvoriti. Prije suđenja je više od šezdeset pet drugih radnika dobilo otkaz, te su izgubili članstvo u Komunističkoj partiji, a to je za njih bilo poražavajuće.

Suđenje je započelo 7. srpnja 1987. godine, a ostatak svijeta mogao je pratiti samo prvu i završnu sjednicu. Bryukhanov je prihvatio djelomičnu krivnju, iako je odbio priznati da je kriv za sigurnosne propuste. Dyatlov nikako nije prihvaćao da je odgovoran za nečiju smrt, iako je na kraju izjavio kako i nije u potpunosti nevin.

Na kraju su sva šestorica proglašena krivima. Bryukhanov, Fomin i Dyatlov dobili su po deset godina zatvora, iako niti jedan nije odslužio cijelu kaznu.

Ubrzo nakon što su završili u zatvoru, znanstveno povjerenstvo u kojemu je bio i Legasov, izdali su izvješća o uzrocima katastrofe. Kao dio krivnje naveli su i nedostatak RBMK reaktora. Detaljna istraga pokazala je da su ti reaktori bili nestabilni pri maloj snazi koji može dovesti do naglog, nekontroliranog povećanja snage. Takvo naglo povećanje snage, dovelo je do prebrzog grijanja vode u sustavu za hlađenje. Također, navedene su i ljudske pogreške. Tijekom sigurnosnog ispita, samo je 11 od ukupno 211 kontrolnih šipki bilo u jezgri reaktora, unatoč tome što ih je u svakom trenutku trebalo biti minimalno 30. Osim toga, i sigurnosni sustavi su bili isključeni.

Povjerenstvo je preporučilo da se dodaju dodatne šipke koje će moći u samo četiri sekunde ući u jezgru, a ne kao prije tek nakon 20-ak sekundi.

Bryukhanov i Dyatlov su izašli iz zatvora 1992. godine, te su ubrzo nakon izlaska preminuli od raka.



Slika 16: Optuženi: lijevo: Bryukhanov, u sredini: Dyatlov, desno: Fomin [3].

6. Događaji nakon katastrofe

RBMK reaktori više se nisu izgrađivali, a oni koji su ostali raditi, nadogradilo ih se kako bi bili sigurniji.

Nesrećom u nuklearnoj elektrani Černobil, Sovjetski Savez je bio poljuljan. Do kraja 1991. godine Sovjetski Savez se službeno raspao. Nastalo je petnaestak slobodnih i neovisnih država, a jedna od njih je i Ukrajina.

Ukrajinci su morali rješavati stalne probleme sa Černobilom što se tiče zdravstvenih i financijskih problema.

Neki znanstveni su pisali kako još uvijek prijete mnoge bolesti uzrokovane zračenjem, te kako je zbog posljedica nesreće 1986. godine umrlo čak do 500 000 ljudi.

Zbog vladina uplitanja i njihove tajnosti, statistike povezane sa učestalosti raka ipak nisu pouzdane. U godinama nakon nesreće, liječnici su bili primorani da karcinom kod bolesnika koji su živjeli oko Černobila ne povezuju sa izlaganjem zračenju, već da prilagode statistike. Popisi onih koji su bili ozbiljno bolesni i onih koji su umrli su nestali.

Unatoč ogromnoj šteti koja je nastala katastrofom, nuklearna elektrana u Černobilu nastavila je s radom. Preostala tri reaktora nadopunjena su sa preporučenim promjenama s brojem kontrolnih šipki u jezgri. 1993. godine dogodio se požar na drugom reaktoru, te su ga bili prisiljeni zatvoriti. 1996. godine zatvoren je prvi reaktor, a 2000. godine nuklearna elektrana je trajno zatvorena.

Zaključak

Katastrofa koja se dogodila u Černobilu najveća je katastrofa koja se ikad dogodila jer je utjecala na cijeli svijet. Nastanak katastrofe zapravo je utjecaj nedovoljnog znanja i nedostataka u reaktoru RBMK.

Još i danas, područje oko bivše nuklearne elektrane Černobil je najviše radioaktivno područje na svijetu. Velike su radioaktivnosti u drveću koja apsorbiraju radioaktivnost iz atmosfere. Otkriveno je kako su mnoga odlagališta radioaktivnog otpada procurila u rijeke Pripjat i Dnjepar koje su vrlo važne za 30 milijuna ljudi. Još nisu izgrađena odlagališta tog otpada koja bi spriječila onečišćavanje vode.

Nakon katastrofe povećao se broj oboljelih ljudi od raznih, teških bolesti što je uzrokovalo štetan učinak na gospodarstva Ukrajine, Rusije i Bjelorusije.

Rasprava u vezi uporabe nuklearne energije još uvijek traje. Neki smatraju kako je ona neiscrpan izvor energije, te da je ona ekološki najprihvatljivija, unatoč mogućim nesrećama. Dok neki smatraju kako je ona vrlo opasna.

Ukupno 31 država ima nuklearne elektrane. Prema podacima Međunarodne agencije za atomsku energiju, u pogonu su još uvijek 444 nuklearne elektrane čija je ukupna snaga bila 386 276 MWe [6]. Najveći broj nuklearnih elektrana nalazi se u SAD-u, a zatim slijedi Francuska koja koristi nuklearnu energiju kao primarni izvor električne energije.

Iako uvijek postoji mogućnost katastrofe koja bi se mogle dogoditi kao u Černobilu, ipak su dobro napravljene nuklearne elektrane pouzdane, sigurne, te ekonomski i ekološki dobro prihvatljive. Ekološki iz razloga što ispuštaju vrlo malo stakleničkih plinova. Naime, najveći problem koji je vezan za nuklearne elektrane je skladištenje radioaktivnog otpada jer on ostaje radioaktivan mnogo godina [7].

Danas, nakon 30 godina od katastrofe u nuklearnoj elektrani Černobil, grad Pripjat još uvijek je prazan i neprikladan za ljudski život, a tako će biti još mnogo godina, a možda i stoljeća. Još uvijek postoje radnici koji provjeravaju sigurnost kako ne bi došlo do curenja radioaktivnosti, te prate preostale zalihe iskorištenog nuklearnog goriva.



Slika 17: Napušteni grad Pripjat [3].

Literatura

[1] http://www.izvorienergije.com/cernobil_katastrofa.html (20. srpanj 2016.)

[2] Nelson, D. A. Perspectives on Modern World History: Chernobyl. Farmington Hills: Gale, 2010., Str. 13-42.

[3] Mara, W. The Chernobyl Disaster: Legacy and Impact on the Future of Nuclear Energy. Malaysia: Marshall Cavendish Corporation, 2011.

[4] Scott Ingram, W. The Chernobyl Nuclear Disaster. New York: Fact On File, 2005.

[5] Smith, J., Beresford, N. A. Chernobyl: Catastrophe and Consequences. Chichester: Praxis Publishing Ltd, 2005.

[6] http://www.nek.si/hr/elektricna_energija/zna_269_aj_nuklearne_energije/nuklearne_elektrane_u_svijetu/ (2. kolovoz 2016.)

[7] https://hr.wikipedia.org/wiki/Nuklearna_elektrana (13. srpanj 2016.)

Životopis

Matea Bošnjaković rođena je 11. travnja 1994. u Bruggu, u Švicarskoj. Živi u mjestu Seona pokraj Našica. Osnovnu školu završila je u Feričancima, a srednju školu u Našicama. Nakon srednje škole nastavila je školovanje na Preddiplomskom studiju fizike u Osijeku. U slobodno vrijeme voli kuhati.