OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

Vukić Duk, Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:239986

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Katarina Vukić Duk

OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Katarina Vukić Duk

HAZARDS AND PROTECTION MEASURES IN A NUCLEAR POWER PLANT

FINAL PAPER

Karlovac, 2021,

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Katarina Vukić Duk

OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Dr.sc. Tihomir Mihalić

Karlovac, 2021.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU Karlovac University of Applied Sciences	Klasa: 602-11/__-01/____
ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA	Datum:

Ime i prezime	Katarina Vukić Duk	
OIB / JMBG		
Adresa		
Tel. / Mob./e-mail		
Matični broj studenta	0416615052	
JMBAG	0275044675	
Studij (staviti znak **X** ispred odgovarajućeg studija)	X preddiplomski	specijalistički diplomski
Naziv studija	Stručni studij Sigurnosti i zaštite	
Godina upisa	2015	
Datum podnošenja molbe	09.04.2021.	
Vlastoručni potpis studenta/studentice		

Naslov teme na hrvatskom: OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE U NUKLEARNOJ ELEKTRANI
Naslov teme na engleskom: HAZARDS AND OCCUPATIONAL AND HEALTH IN NUCLEAR POWER PLANT
Opis zadatka: U prvom dijelu rada, student treba opisati nuklearnu elektranu Flamanville, nuklearni reaktor, nove tehnologije koje se primjenjuju, incidente koji su se dogodili. U drugom, eksperimentalnom dijelu rada, potrebno je objasniti nuklearnu sigurnost i važnost školovanja pogonskih kadrova. Opisati mjere zaštite u nuklearnim elektranama, nuklearno zračenje, radioaktivne tvari. Nadalje, potrebno je analizirati studiju WASH 1400. Na kraju rada potrebno je izvršiti usporedbu rizika na okoliš zbog gradnje i pogona raznih elektroenergetskih objekata.

Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

PREDGOVOR

Ovim putem se želim zahvaliti svim profesorima koji su mi prenijeli svoje znanje i svim ostalim djelatnicima na Veleučilištu u Karlovcu.

Zahvaljujem mentoru doc.dr.sc Tihomiru Mihaliću na smjernicama i savjetima prilikom izrade ovog završnog rada.

Posebnu zahvalu upućujem svojoj prijateljici Aleksandri Višnjić Ćupurdija koja je vjerovala u mene i bila velika potpora. Upoznale smo se tijekom studiranja a stvorilo se prijateljstvo za cijeli život.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima koji su me poticali, dali mi podršku i vjerovali u moj uspjeh.

Najveća zahvala mom sinu Lovri koji je imao razumijevanja da mama mora ići na predavanja i učiti. On mi je bio najveći poticaj i snaga tijekom mog studiranja.

SAŽETAK

U radu je obrađena nuklearna elektrana Flamanville, nuklearni reaktori, nove tehnologije koje se primjenjuju, incidenti koji su se dogodili. Objašnjena je nuklearna sigurnost i važnost školovanja pogonskih kadrova. Opisane su mjere zaštite u nuklearnim elektranama, nuklearno zračenje, radioaktivne tvari.

Ključne riječi: nuklearna elektrana, , nuklearna energija, nuklearna sigurnost, fizičke barijere, pogonski kadrovi, sigurnosna kultura, radioaktivne tvari, zaštitna posuda, reaktorska jezgra, nuklearno zračenje, zaštita okoliša, učinak staklenika

SUMMARY

The paper deals with the Flamanville nuclear power plant, nuclear reactors, new technologies that are applied, incidents that have occurred. Nuclear safety and the importance of training personnel have been explained. Protection measures in nuclear power plants, nuclear radiation, radioactive substances are described.

Keywords: nuclear power plant, nuclear energy, nuclear safety, physical barriers, personnel, safety culture, radioactive substances, protective vessel, reactor core, nuclear radiation, environmental protection, greenhouse effect

SADRŽAJ

	ZAVRŠNI ZADATAK	I
	PREDGOVOR	II
	SAŽETAK	III
	SADRŽAJ	IV
	POPIS SLIKA	V
	POPIS TABLICA	VI
1.	UVOD	1
1.1	Predmet i cilj rada	1
1.2.	Izvori podataka i metode prikupljanja	1
2.	NUKLEARNA ELEKTRANA	2
2.1.	Nuklearna energija	2
2.2.	Četiri generacije nuklearne elektrane	2
3.	NUKLEARNA ELEKTRANA FLAMANVILLE	3
3.1.	Flamanville 3 - Elektrana nove generacije	3
3.2.	EPR reaktori	4
3.3.	EPR tehnologija	4
3.4.	Pojačana zaštita okoliša	5
3.5.	Incidenti	6
4.	DEFINICIJA NUKLEARNE SIGURNOSTI	7
4.1.	Sigurnosni aspekti projektiranja	11
4.2.	Fizičke barijere	13
4.3.	Konzervativni projekt	15
4.4.	Sustav kontrole i osiguranja kvalitete	15
5.	ŠKOLOVANJE POGONSKIH KADROVA	16
5.1.	Obrazovni ciljevi EDF-a za sigurnost	16
5.2.	Sigurnosna kultura	17
5.3.	Nadzor nad opremom u toku pogona	17
5.4.	Nadzor nad nenormalnim pogonskim događajima	18
5.5.	Zaštitno hlađenje reaktorske jezgre	18
5.6.	Mogućnost prodora radioaktivnih tvari	18
5.7.	Zaštitna posuda	19
5.8.	Sustavi za zaštitu četvrte barijere	19
5.9.	Zaštitne mjere u okolišu objekta	20
6.	ŠTITOVI OD NUKLEARNOG ZRAČENJA	24
6.1.	Štitovi od neutronskog zračenja	24
7.	STUDIJA WASH 1400	25
7.1.	Prikaz rezultata studije	26
7.2.	Zaključci iz studije	28

8. USPOREDBA RIZIKA U OKOLIŠU..... 29
8.1. Rizici od katastrofalnih kvarova..... 31
8.2. Ekološki utjecaj emisija plinova izgaranja u atmosferu..... 32
9. ZAKLJUČAK..... 34
10. LITERATURA..... 35

POPIS SLIKA

Slika 1.	Nuklearna elektrana Flamanville	3
Slika 2.	Pojednostavljeni prikaz rada tlačnog reaktora	4
Slika 3.	Reaktor	5
Slika 4.	Nuklearna elektrana Flamanville po noći	6
Slika 5.	Nuklearna sigurnost u nuklearnoj elektrani Flamanville	7
Slika 6.	Specifičnost nuklearne elektrane Flamanville	7
Slika 7.	Temeljna načela	7
Slika 8.	Glavni akteri radova na održavanju	8
Slika 9.	Načini rada i tehničke etape zaustavljanja reaktorske jedinice	11
Slika 10.	Četiri serijski postavljene fizičke barijere	12
Slika 11.	Stablo događaja	23
Slika 12.	Ovisnost broja smrtnih slučajeva nakon nesretnog događaja zbog rada lakovodnih reaktora o vjerojatnosti pojave događaja prema studiji WASH 1400	26
Slika 13.	Usporedba rizika stanovništva zbog rada 100 nuklearnih elektrana i rizika od drugih uzroka prema rezultatima studije WASH 1400	27
Slika 14.	Kako nastaju kisele kiše	32

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Funkcije sigurnosti u slučaju nesreće u nuklearnoj elektrani Flamanville	8
Tablica 2.	Glavne zaštitne mjere = 5 zahtjeva aktivnosti kojima se štite interesi ili koje mogu na njih utjecati	9
Tablica 3.	Očekivani godišnji broj ranih smrtnih slučajeva i bolesti 15 milijuna stanovnika koji žive na 30 km od lokacija američkih nuklearnih elektrana	28
Tablica 4.	Termoelektrane na ugljen	29
Tablica 5.	Nuklearne elektrane	30
Tablica 6.	Atmosferske emisije termoelektrana raznih tipova po gigavatu proizvedene električne energije	30
Tablica 7.	Statistički podaci o katastrofalnim kvarovima na energetskim objektima u periodu od 1969. do 1986. godine	31
Tablica 8.	Koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi ppm (vol)	33

1. UVOD

EDF francuska je elektroprivredna tvrtka, u većinskom vlasništvu francuske države sa sjedištem u Parizu. EDF je 2009. bio najveći svjetski proizvođač električne energije. EDF ima 58 aktivnih nuklearnih reaktora u Francuskoj raspoređenih na 19 lokacija.
EDF se specijalizirao za električnu energiju. Poslovanje tvrtke uključuje proizvodnju i distribuciju električne energije; projektiranje, izgradnja i demontaža elektrane; trgovina energijom; i prijevoz.[5]

1.1 Predmet i cilj rada

U teorijskom dijelu ovog završnog rada bit će objašnjene nuklearne elektrane, način njihovog rada, nuklearni reaktori, nuklearna sigurnost, zaštita okoliša, staklenički plinovi. Predmet ovog rada je nuklearna elektrana Flamanville.

1.2 Izvori podataka i metode prikupljanja

Prilikom izrade ovog završnog rada prikupljene su dostupne informacije putem internetskih stranica i literature sveučilišne knjižnice .

2.NUKLEARNA ELEKTRANA

Nuklearna elektrana je vrsta termoelektrane kojoj je izvor energije toplina dobivena fisijama nuklearnog goriva u nuklearnom reaktoru.[4]

2.1 Nuklearna energija

Nuklearna energija je energija koja se oslobađa ili troši u spontanim ili izazvanim nuklearnim pretvorbama tzv. nuklearnim reakcijama. Nuklearna reakcija nastaje sudarom dvije atomske jezgre ili sudarom atomske jezgre s nekom česticom npr. neutronom a proizvodi takve reakcije mogu biti nove jezgre i čestice.[3]

2.2 Četiri generacije nuklearne elektrane

Razvojno se nuklearne elektrane mogu podijeliti u četiri generacije. U prvoj su one koje su najprije probno a zatim komercijalno počele proizvodnju električne energije. U drugoj su generaciji elektrane građenje 1970 -ih; one čine većinu današnjih elektrana u komercijalnom pogonu. Treća generacija obuhvaća elektrane naprednije izvedbe s poboljšanjima postojeće tehnologije kojima se unapređuje sigurnost i ekonomičnost. U četvrtu se generaciju ubrajaju elektrane koje bi se trebale pojaviti nakon 2030., uz ispunjenje sljedećih zahtjeva: zanemariv utjecaj na okoliš, minimalno stvaranje nuklearnog otpada. Mogućnost oštećenja jezgre trebala bi biti isključena. Takve elektrane bile bi ekonomski isplativije u odnosu na ostale energetske tehnologije, uz proizvodnju električne energije omogućile bi i isplativu proizvodnju vodika.[3]

3. NUKLEARNA ELEKTRANA FLAMANVILLE

Nuklearna elektrana Flamanville nalazi se na Flamanville, Manche, Francuska. U elektrani se nalaze dva reaktora, u pogon su ušli 1986., odnosno 1987. godine. Treći reaktor, postrojenje EPR , započeo je izgradnju 2007. godine, od 2020. godine projekt je veći od proračuna i kasni. Pokrenuti su razni sigurnosni problemi, uključujući slabosti u čeliku koji se koristi u reaktoru. U srpnju 2019. najavljena su daljnja odgađanja, čime je komercijalni datum pomaknut do kraja 2022.[6]

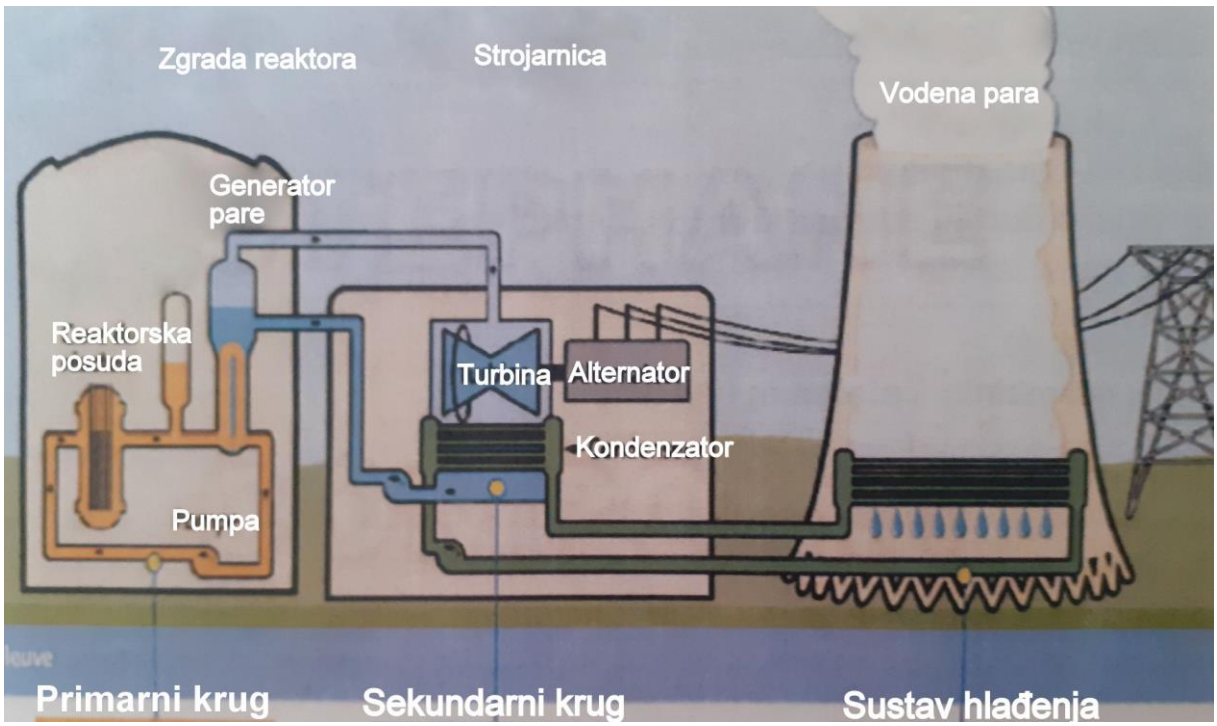
Slika 1. Nuklearna elektrana Flamanville [9]

3.1 Flamanville 3: Elektrana nove generacije

Nakon pripremne faze koja je uključivala zemljane radove i iskope 2006. godine, građevinski radovi na EPR-u započeli su u prosincu 2007. godine i sada su u tijeku.[7]

3.2 EPR reaktori

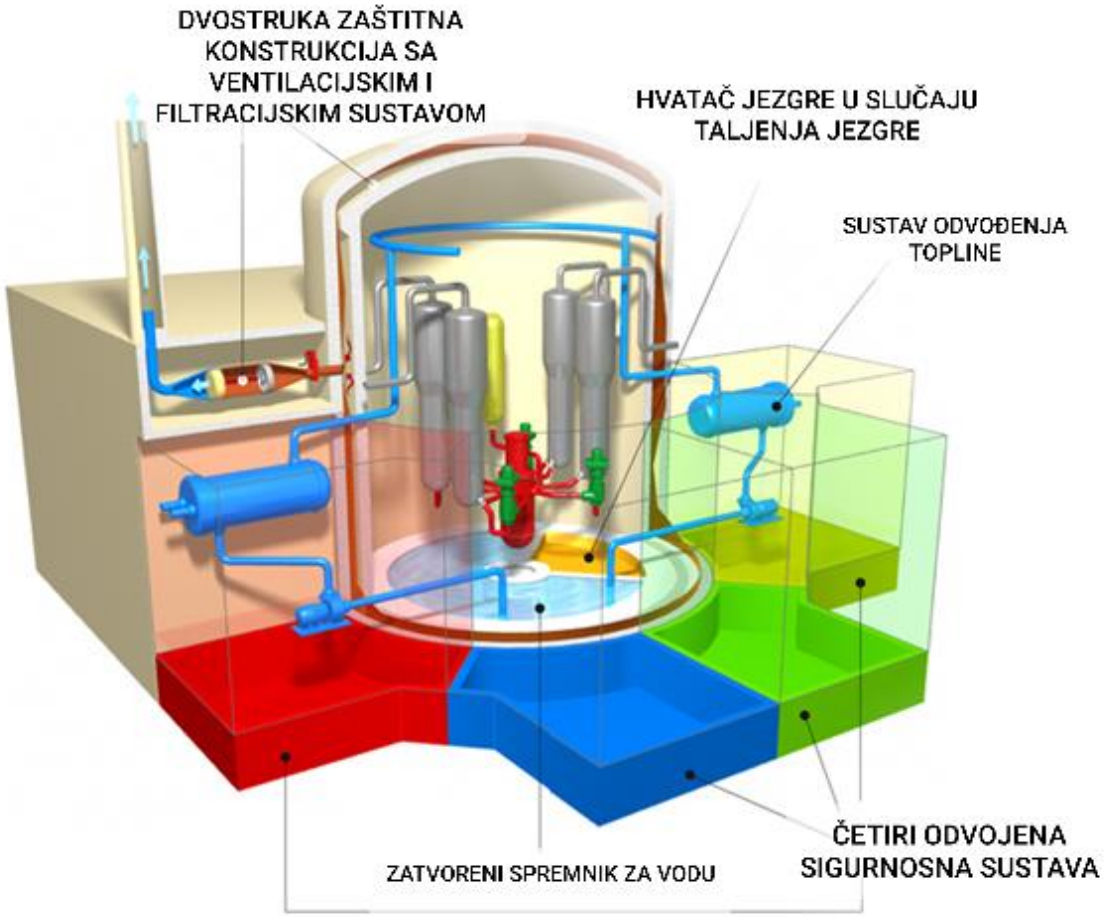
EPR reaktori grade se u Francuskoj zbog potrebe za ulaganje u nove proizvodne kapacitete kako bi se osigurala opskrba električnom energijom. EPR uzima postojeću tehnologiju i ide korak dalje u budućnost. Uključuje sva nedavna dostignuća na području nuklearne sigurnosti, zaštite okoliša, ekonomske učinkovitosti, pružajući sigurnu i konkurentnu snagu bez emisije stakleničkih plinova.[7]



Slika 2. Pojednostavljeni prikaz rada tlačnog reaktora [10]

3.3 EPR tehnologija

Najmodernija tehnologija sadrži poboljšanja u područjima sigurnosti i zaštite okoliša. Izuzetno su visoki sigurnosni standardi. Dizajn EPR uključuje izuzetno pouzdane sigurnosne značajke. Kod njegovih zaštitnih sustava svaki može u potpunosti ispuniti jednu od dvije ključne sigurnosne funkcije (zaustavljanje nuklearne reakcije i hlađenje reaktora), potrebne za zaštitu čovjeka i okoliša u bilo kojoj situaciji.[7]



Slika 3. Reaktor [7]

3.4 Pojačana zaštita okoliša

Neće emitirati stakleničke plinove.

U pogledu dizajna i rada, EPR donosi sljedeće prednosti:

- učinkovitija uporaba nuklearnog goriva
- značajno smanjenje ispuštanja radioaktivnih tekućina i plinovitih otpadnih voda u usporedbi s francuskim nuklearnim elektranama s najboljim performansama
- pad od 30% u količini čvrstog radioaktivnog otpada

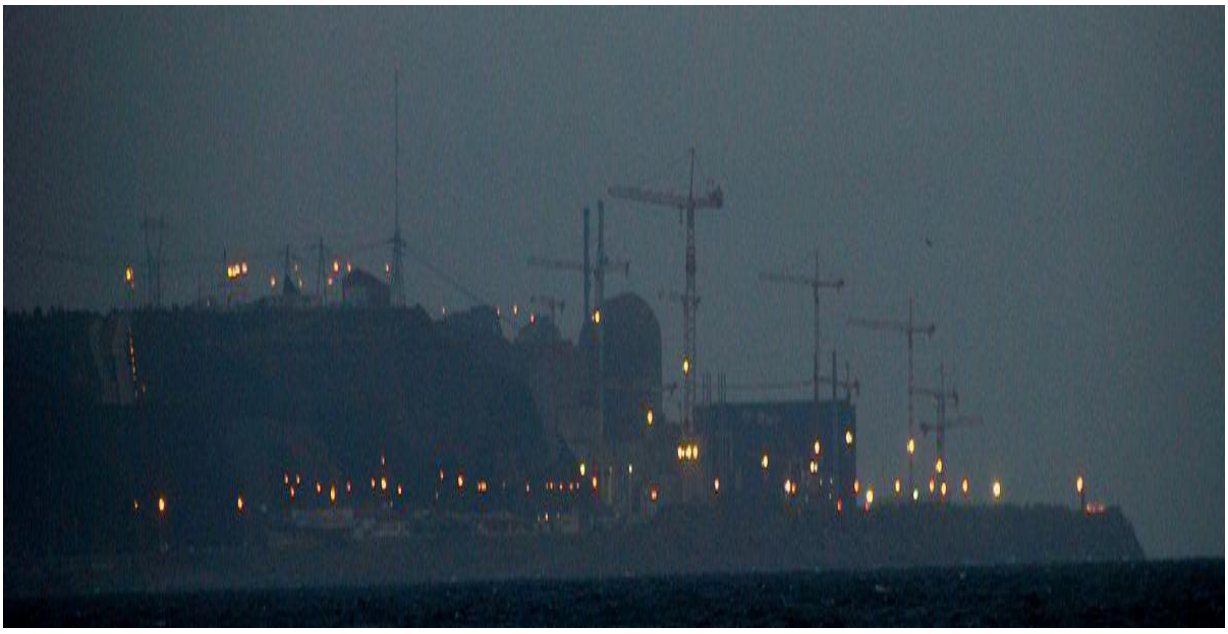
Poboljšane ekonomske performanse

EPR će biti najmoćniji reaktor na svijetu, a istovremeno će pružiti veću učinkovitost. Dizajniran je za 60-godišnji vijek trajanja.Trebao bi biti u stanju postići faktor od 91%

sposobnosti, u osnovi zahvaljujući kraćem prosječnom trajanju prekida punjenja gorivom pri jednakim razinama sigurnosti. Ispadi punjenja gorivom smanjit će se na 16 dana, u usporedbi s 30 do 45 dana koji se trenutno primjenjuju na postojećim postrojenjima, ovisno o dizajnu. To će povećati godišnju izlaznu snagu za 36% u usporedbi s reaktorima koji trenutno rade. [7]

3.5 Incidenti

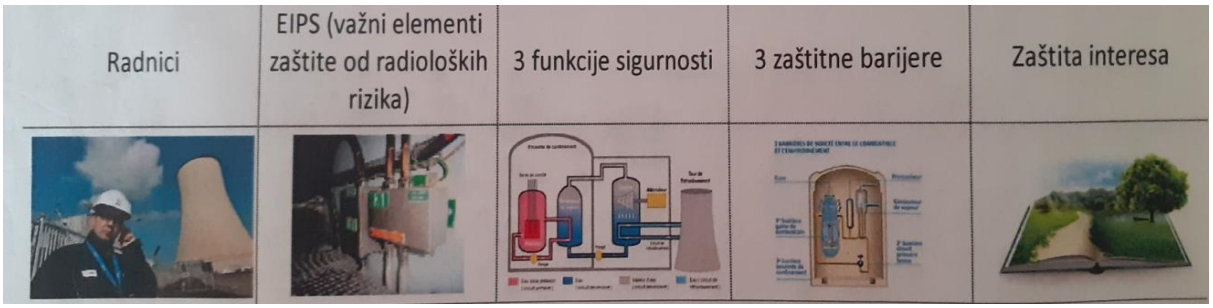
Dana 9. veljače 2017. mehanički problem s ventilatorom u turbinskoj hali izazvao je eksploziju i požar. Pet osoba bilo je liječeno zbog udisanja dima . Iako nenuklearna nesreća nije prouzrokovala nikakvo curenje radioaktivnih tvari, reaktor broj jedan isključen je iz električne mreže. EDF je prvotno procijenio da će reaktor raditi u roku od tjedan dana, ali je kasnije procijenio da će raditi krajem ožujka. Nakon toga je elektrana imala još jedan tehnički problem. Postoji potreba za popravljanjem 8 neispravnih zavarenih spojeva između 2 zaštitna zida.[4]



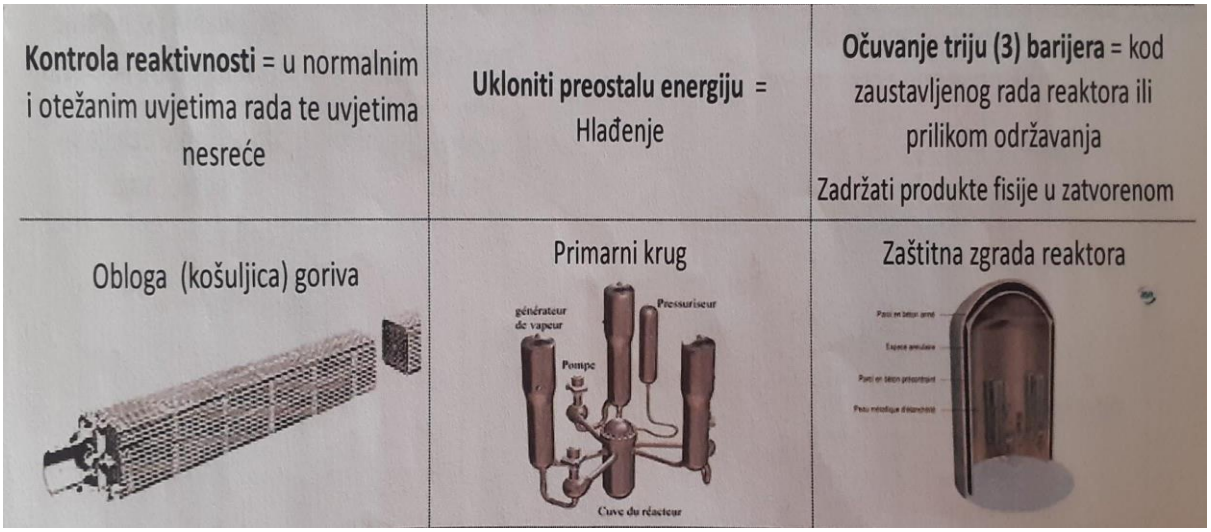
Slika 4.Nuklearna elektrana Flamanville po noći [4]

4. DEFINICIJA NUKLEARNE SIGURNOSTI

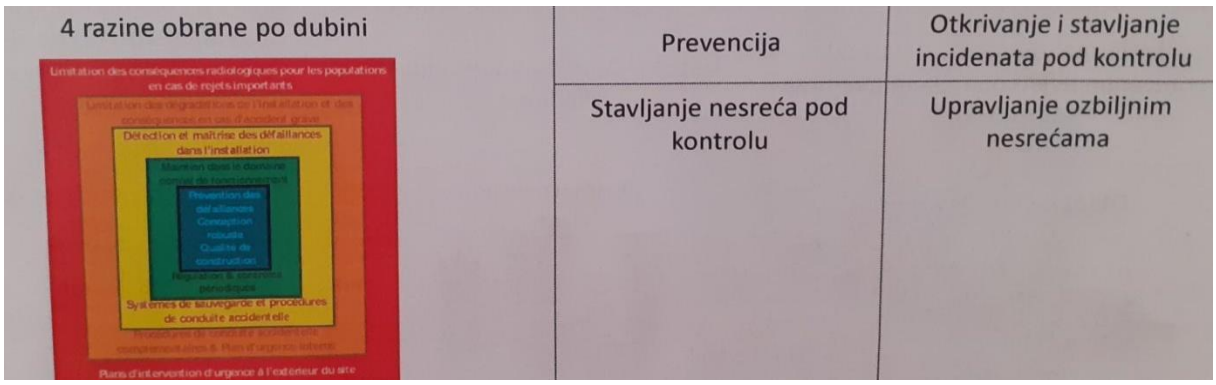
Nuklearna sigurnost je skup tehničkih i organizacijskih mjera koje se poduzimaju kako bi se spriječile nesreće ili ograničili učinci nesreća. [10]



Slika 5. Nuklearna sigurnost u nuklearnoj elektrani Flamanville [10]



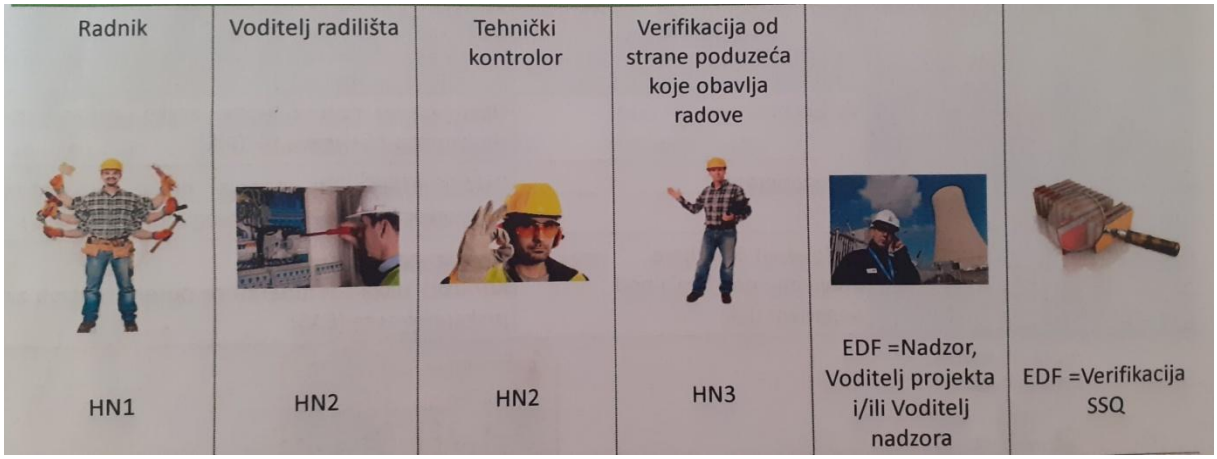
Slika 6. Specifičnost nuklearne elektrane Flamanville [10]



Slika 7. Temeljna načela [10]

Tablica 1. Funkcije sigurnosti u slučaju nesreće u nuklearnoj elektrani Flamanville [10]

Kontrola reaktivnosti	Komandni set u slučaju uzbune voda i bor.	Zaustavljanje reaktora Ubrizgavanje borne vode preko sustava za sigurnosno ubrizgavanje (RIS)
Kontrola hlađenja	Parogenerator	Parogenerator se napaja preko rezervnog vodoopskrbnog sustava parogeneratora (ASG)
Kontrola zadržavanja	Cjelovitost 3 barijera Stavljanje prostorija pod negativni tlak	Izolacija zgrade Kontrola tlaka i temperature putem sustava za prskanje jezgre (EAS)



Slika 8. Glavni akteri radova na održavanju [10]

Zaštitna sredstva radnika u nuklearnoj elektrani Flamanville:

- sredstva za zaštitu glave, zaštitna kaciga
- sredstva za zaštitu sluha, čepići i zaštitne slušalice
- sredstva za zaštitu očiju, zaštitne naočale, štitnik za zavarivače
- sredstva za zaštitu nogu, ruku i tijela, zaštitne rukavice, cipele s čeličnom kapicom, zaštitni kombinezoni, zaštitne pregače
- sredstva za zaštitu od pada s visine, zaštitni opasači [10]

Tablica 2. Glavne zaštitne mjere = 5 zahtjeva aktivnosti kojima se štite interesi ili koje mogu na njih utjecati [10]

Tehnička kontrola	Verifikacija	Nadzor	Kompetencije i kvalifikacije	Dokumentacija i sljedivost

Rizici izloženosti radnika u nuklearnim elektranama

Osoblje koje radi s nuklearnim reaktorom vjerojatno će biti izloženo ionizirajućem zračenju. Kad je reaktor u normalnom pogonu, glavni je rizik vanjska izloženost (izvor je izvan tijela), rizik od unutarnje kontaminacije vrlo je nizak. Kada se reaktor isključi, posebno zbog ponovnog punjenja goriva, određeni postupci održavanja uključuju veći rizik od unutarnjeg onečišćenja.

Povremeno (u prosjeku između 12 i 18 mjeseci) reaktori se moraju zaustaviti kako bi se obnovio dio nuklearnog goriva. Trajanje prekida, poznato kao "jedinični prekidi" može trajati od oko 30 dana do više od 3 mjeseca, ovisno o opsegu posla koji treba izvesti. Ta su isključenja zapravo prilika za provjeru i održavanje ili modificiranje određenog broja opreme, a te se radnje ne mogu provesti kada reaktor radi.

Određene operacije zahtijevaju otvaranje i rukovanje materijalima koji su postali radioaktivni zbog blizine nuklearnog goriva ili čak kontaminirani radioaktivnim produktima, a time i radnicima predstavljaju rizik od unutarnjeg onečišćenja.

Unutarnja kontaminacija osoblja najčešće je posljedica raspršivanja prašine koja proizlazi iz korozije mehaničkih dijelova. Te prašine uglavnom su onečišćene produktima aktiviranja poput izotopa kobalta. U ovom slučaju, cirkulacija tih čestica izravno ovisi o većoj ili manjoj hlapljivosti radioaktivnih elemenata.[11]

Sredstva operativne prevencije

Poduzimaju se organizacijske i materijalne mjere prilagođene rizicima specifičnim za svaku vrstu radilišta kako bi se zaštitili radnici. Osobito u potencijalno kontaminiranim područjima radnici su opremljeni vodonepropusnom odjećom i uređajima za zaštitu dišnih putova. Ako se izuzme incident, rizik od unutarnjeg onečišćenja najveći je pri svlačenju.

Mjesta za koja je utvrđeno da mogu prouzročiti onečišćenje podliježu zatvaranju koje ih fizički odvaja od ostalih područja; pristupa im se putem zračnih brava čija je svrha spriječiti širenje radioaktivnih aerosola. Iz tog istog razloga postavljaju se uređaji koji osiguravaju kaskadu udubljenja od nekontaminiranih područja do najzagađenijih područja, čiji se ispuštanja zraka filtriraju. U tim uvjetima ne dolazi do raspršivanja izvan područja, osim mehaničkih oštećenja ili nepridržavanja postupaka (posebno kontrole ne-onečišćenja na izlazu iz zračne komore).

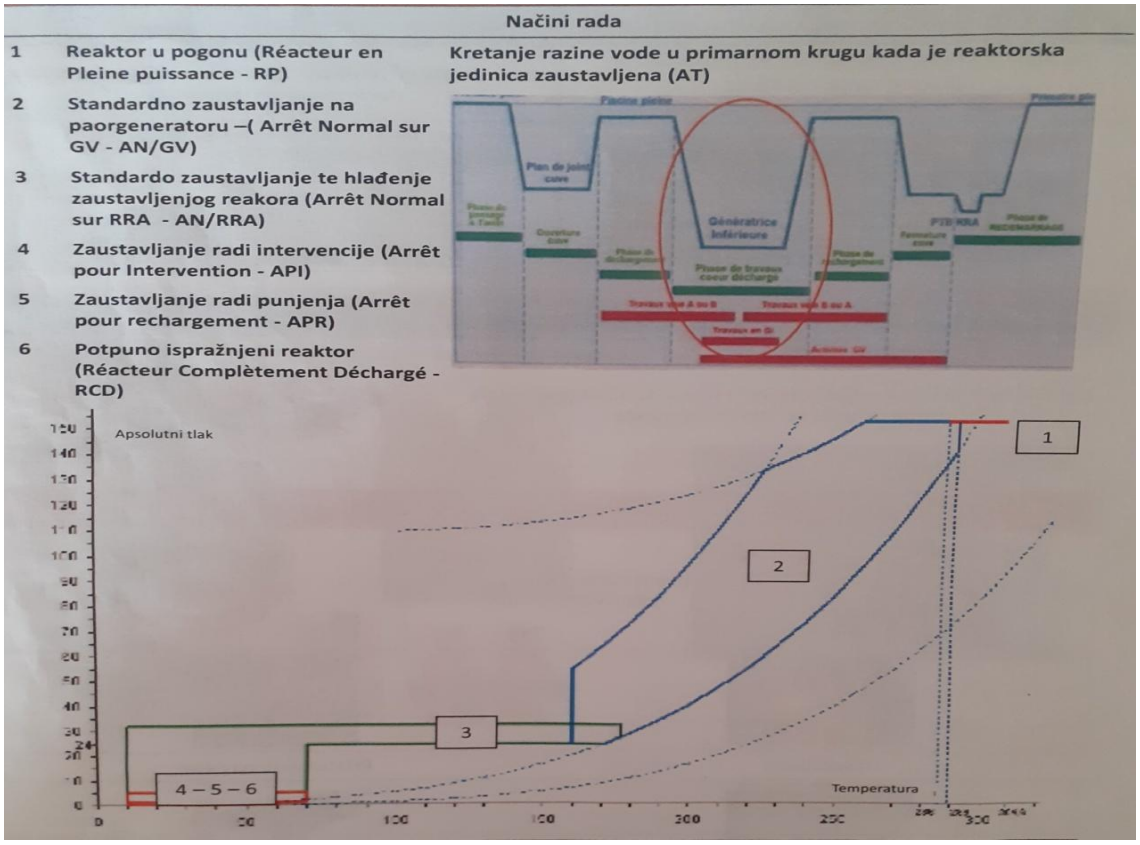
Međutim, onečišćenje može biti i rezultat loše procjene rizika povezanog s gradilištem, što dovodi do podcjenjivanja ili čak ignoriranja rizika od onečišćenja zraka (na primjer, otvaranje kruga koji je navodno nezagađen, itd.). Kontaminacija se može proširiti i na druga područja radilišta ako operacije nisu bile dovoljno pripremljene.

Aerosolni mjerni svjetionici omogućuju kontinuirano mjerenje ambijentalne radioaktivnosti u radnom području. Postavljeni su tako da aktiviraju alarm kada koncentracija premaši unaprijed zadani prag specifičan za svako mjesto.

Konačno, sustavne provjere onečišćenja provode se na svakom izlazu iz zone na osoblju i opremi. Na radnom mjestu pojedinačno praćenje unutarnje kontaminacije osigurava se ispitivanjima i analizama. Ta mjerenja obično provode laboratoriji operatora (EDF, AREVA) koje je odobrila Uprava za nuklearnu sigurnost.

Sredstva za pojedinačno praćenje unutarnje kontaminacije

Za razliku od vanjskog zračenja, koje je mjerljivo osobnim dozimetrima, razina unutarnjeg onečišćenja nije izravno mjerljiva. Njegova procjena zahtjeva izračune provedene na osnovu rezultata provedenih analiza. U praksi, kako bi se smanjile nesigurnosti u vezi s poznavanjem doze koju je radnik primio nakon internog incidenta onečišćenja, općenito je potrebno izvršiti nekoliko rezultata mjerenja u različitim vremenskim intervalima (od nekoliko dana do nekoliko mjeseci), tako da kako bi se standardni biokinetički model najbolje prilagodio konkretnom razmatranom slučaju. Zbog toga je procjena doze napravljena na temelju jednog rezultata.



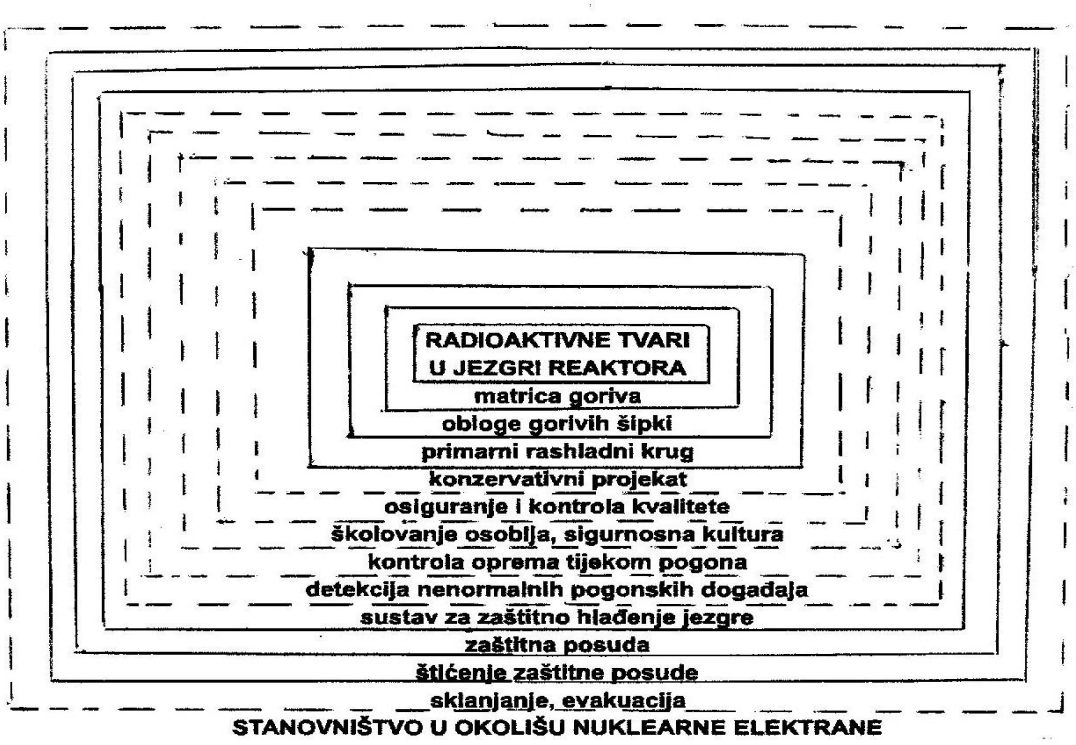
Slika 9. Načini rada i tehničke etape zaustavljanja reaktorske jedinice [10]

4.1 Sigurnosni aspekti projektiranja i izvedbe nuklearnih elektrana

Sigurnost nuklearne elektrana jedan je od najbitnijih uvjeta za njezinu prihvatljivost kao energetskog objekta. Sigurnost se postiže nizom mjera u fazi projektiranja, gradnje i tijekom pogona. Nuklearni reaktor u svojoj jezgri sadrži radioaktivne tvari. Procjena iznosa radioaktivnosti u jezgri reaktora nuklearne elektrane je oko 1 kiri ($3.7x10^{10}$)Bq) po vatu snage elektrane. Svaki prodor radioaktivnih tvari iz jezgre reaktora u okoliš ugrožava živote i zdravlje stanovništva u okolini nuklearne elektrane, zbog toga je sigurnost nuklearne elektrane određena stupnjem osiguranja okoliša od mogućeg takvog prodora. Kod projektiranja nuklearne elektrane bitna je sigurnost tzv. obrana po dubini. Obrana po dubini podrazumijeva sistematske mjere za očuvanje funkcija opreme i sustava nuklearne elektrane važnih za sigurnost. U pogledu zaštite okoliša one djeluju serijski, jedna nakon druge. Takvim djelovanjem se postiže da izgubljenu funkciju jednog sustava važnog za sigurnost automatski preuzima drugi. Obrana po dubini ogleda se u štićenju stanovništva od radioaktivnih tvari u jezgri nuklearnog

reaktora nizom serijski postavljenih barijera. Barijere razmatramo kao stvarne fizičke barijere ugrađene u nuklearnu elektranu i kao mjere koje se poduzimaju u nuklearnoj elektrani za zaštitu tih barijera. Bez takvih mjera djelotvornost fizičkih barijera bi bila umanjena. [1]

- matrica nuklearnog goriva
- obloga gorivnog elementa
- primarni rashladni krug
- zaštitna posuda



Slika 10. Četiri serijski postavljene fizičke barijere koje sprečavaju prodor radioaktivnih tvari u okoliš: [1]

Ugrađeni tehnički sustavi u nuklearnoj elektrani koji štite djelotvornost fizičkih barijera jesu:

- sustav za štićenje zaštitne posude
- sustav za zaštitno hlađenje jezgre reaktora

Mjere koje se poduzimaju u projektiranju, izgradnji i pogonu nuklearne elektrane radi osiguranja i poboljšanja djelotvornosti zaštitnih barijera jesu:

- konzervativan projekt nuklearne elektrane
- osiguranje kvalitete u svim fazama realizacije objekta
- propisano školovanje pogonskih kadrova i promocija sigurnosne kulture
- detekcija nenormalnih pogonskih događaja
- inspekcija opreme tijekom pogona nuklearne elektrane

U veoma malo vjerojatnom slučaju otkažu li sve četiri barijere primjenjuje se plan evakuacije kako bi se zaštitilo stanovništvo. Plan evakuacije mora biti razrađen i uvježban za svaku nuklearnu elektranu. [1]

4.2 Fizičke barijere

Razmotrit ćemo djelovanje navedenih zaštitnih barijera u postrojenju nuklearnog reaktora i moguće razloge njihova otkaza.

Matrica nuklearnog goriva

Matrica nuklearnog goriva je sinterirani oksid urana UO_2 u kojemu se odvijaju fisije. Zbog malog dometa fisijskih fragmenata u materijalu glavnina fisijskih proizvoda bit će, uz neke uvjete , zadržana u materijalu goriva, osim onih koji nastaju neposredno uz površinu materijala. Najbitnije je zadržavanje volatilnih i plinovitih fisijskih proizvoda. Zadržavanje fisijskih proizvoda u materijalu goriva ovisi o temperaturi i osjetljivo se smanjuje kada temperatura raste. Učinkovitost prve barijere veoma je vezana uz ograničenje temperature nuklearnog goriva.

Obloge gorivih elemenata

Obloge gorivih elemenata su cijevi tankih stijenki izrađene iz legure cirkonija ili rjeđe iz nehrđajućeg čelika. Debljina stijenke je 0,4 mm ili manje. Obloge kod visokotemperaturnog reaktora su grafitne. Zadatak obloge je sigurno zadržavanje fisijskih proizvoda u gorivoj šipci ali i osiguranje dobrog prijelaza topline između rashladnog fluida i materijala goriva. Jedan broj obloga gorivih šipki bez obzira na

strogu kontrolu pri izradi ima male pukotine kroz koje fisijske proizvode ispušta u rashladni fluid. Vrlo je malo takvih šipki 0,1% ili manje pa ta propuštanja ne ugrožavaju nuklearnu sigurnost objekata ni okoliš nuklearne elektrane. Obloge gorivih elemenata osigurane su zaštitom od pregrijavanja. Pojava filmskog kipljenja, odnosno pojava kritičnog toplinskog toka u jezgri reaktora osobito je opasna za pregrijavanje.

Primarni rashladni krug

Rashladni fluid u reaktorskom postrojenju cirkulira u zatvorenoj petlji. Zbog toga, radioaktivne tvari ispuštene kroz obloge gorivih elemenata ostaju u primarnom krugu. Iz njega se odstranjuju sustavom za održavanje čistoće rashladnog sredstva reaktora. Ako dođe do gubitka integriteta primarnog kruga tada sadržana radioaktivnost može prodrijeti u zaštitnu posudu reaktorskog postrojenja. Integritet primarnog kruga ovisi o termičkim i mehaničkim naprezanjima komponenata te o eroziji i koroziji materijala.

Zaštitna posuda

Zaštitna posuda štiti okolinu od ispuštanja radioaktivnosti ako primarni krug izgubi integritet. Ta zaštita je važna ako je zbog gubitka prve i druge barijere radioaktivnost primarnog kruga visoka. Postoje ekstremni slučajevi takve vrste, jedan od tih slučajeva je taljenje reaktorske jezgre. Integritet zaštitne posude ovisi o mehaničkim naprezanjima materijala zbog unutarnjih i vanjskih utjecaja. Najznačajnije mjesto ima odnos tlaka koji nastaje u unutrašnjosti zaštitne posude i tlaka za koji je ona projektirana.

Mjere za očuvanje integriteta fizičkih barijera

Integritet fizičkih barijera ne bi bilo moguće održati kad ih ne bismo štitili mjerama u fazi projektiranja, izgradnje i pogona nuklearne elektrane. Te mjere štite po dubini i možemo ih opisati na nekoliko razina. [1]

4.3 Konzervativni projekt

Konzervativnim projektom se određuje način projektiranja uz velike rezerve i pesimistične pretpostavke. U sustavu nuklearne elektrane polazi se od materijala čija su svojstva dobro poznata i za čija se naprezanje tijekom pogona uzimaju najnepovoljnije pretpostavke. Sustavi i komponente bitne za sigurnost su višestruki, njihovo napajanje je osigurano energijom s više strana i fizički su odvojeni. Instrumenti i oprema (posebno ventili) moraju imati svojstvo da kod kvara ostanu u položaju koji podržava sigurnost postrojenja. Važan element konzervativnog projekta je izbor lokacije nuklearnog objekta. Lokacija mora osigurati ambijentalne uvjete koji neće staviti na kušnju integritet objekta i njegovo vanjsko napajanje rashladnom vodom i električnom energijom ali i osigurati lakše uvjete za zaštitu stanovništva ako do akcidenta ipak dođe. [1]

4.4 Sustav kontrole i osiguranja kvalitete

Sustav kontrole i osiguranja kvalitete ima zadatak da sustavnim mjerama kroz izravnu kontrolu proizvoda garantira da će kvaliteta radova (građevinskih, projektantskih) te oprema i montaža biti u skladu s propisima i zahtjevima projekta. Cijeli sustav osiguranja kvalitete definiran je u nacionalnim i međunarodnim propisima.[1]

5. ŠKOLOVANJE POGONSKIH KADROVA

Školovanje osoblja nuklearne elektrane čvrsto je povezano s nuklearnom sigurnošću. Način školovanja i kriteriji za stjecanje i održavanje kvalificiranosti pogonskog osoblja definirani su propisima. [1]

5.1 Obrazovni ciljevi EDF-a za sigurnost prilikom rada u Flamanville

Zaustavljanje reaktorske jedinice

- Prepoznati glavne faze zaustavljanja rada reaktorske jedinice
- Prepoznati 3 uloge tehničkih specifikacija pogona
- Navesti 2 glavne osobe za kontakt iz EDF-a kojima se radnik obraća u organizaciji zaustavljanja reaktorske jedinice
- Navesti kakvo se ponašanje očekuje u slučaju odstupanja u odnosu na kritični tijek zaustavljanja rada reaktorske jedinice
- Prepoznati važnost faze upoznavanja radnika s planom intervencije kako bi aktivnost bila uspješno provedena

Upravljanje nuklearnom sigurnošću

- Prepoznati načelo zaštite interesa
- Znati definiciju nuklearne sigurnosti
- Prepoznati i definirati važne elemente zaštite interesa od radioloških rizika
- Definirati pojam glavne zaštitne mjere
- Navesti 3 sigurnosne barijere
- Navesti 4 funkcije koje treba osigurati u okviru zaštite interesa
- Prepoznati načelo obrane po dubini
- Definirati kriterij pojave pojedinačnog kvara i mjere zaštite
- Prepoznati vezu između rizika FME i nuklearne sigurnosti
- Prepoznati sigurnostan rizik povezan s korištenjem posebnih mehanizama i opreme
- Razlikovati karakteristike tehničke kontrole

- Prepoznati cilj analize rizika i ulogu radnika u odnosu na analizu rizika
- Prepoznati važnost faze upoznavanja s planom intervencije kako bi radnik uspješno obavio posao
- Prepoznati cilj kvalifikacije i zahtjeve povezane s pojedinačnim profilom kvalifikacije
- Prepoznati načelo održivosti kvalifikacije
- Tijekom rada na opremi s kvalifikacijom, znati prepoznati barem 3 aktivnosti ili situacije koje utječu na kvalifikaciju opreme
- Definirati pojam rizika od posljedica potresa
- Prepoznati vrstu opreme na koju se odnosi kvalifikacija
- Prepoznati u dokumentaciji rizik povezan s radovima na kvalificiranoj opremi

Uloga radnika u jačanju nuklearne sigurnosti

- Prepoznati svrhu razmjene iskustava i ulogu radnika
- Prepoznati načine razmjene iskustava između radnika - pružatelja usluga / EDF-a [10]

5.2 Sigurnosna kultura

Pojam koji je prvi put uveden u dokumentu MAAE INSAG - 3. Sigurnosna kultura određuje način ponašanja svih sudionika u ostvarivanju projekta nuklearnog energetskog postrojenja, ogleda se u njihovu prihvaćanju sigurnosnih propisa i mjera kao i važnosti poštivanja njihovog provođenja. Bez obzira na moguće ekonomske gubitke sigurnosna kultura pretpostavlja odgovarajuće ponašanje cijelog pogonskog osoblja elektrane na svim razinama odgovornosti, koje se ogleda u davanju prioritetnog značaja pitanjima sigurnosti. Sigurnosna kultura i školovanje kadrova temeljni su elementi za uspješno djelovanje u nuklearnoj elektrani. [1]

5.3 Nadzor nad opremom u toku pogona

Propisana je obveza da se struktura osnovnih materijala i zavarenih spojeva najbitnijih komponenata opreme primarnog kruga nuklearne elektrane mora tijekom pogona u

određenim vremenskim intervalima provjeravati metodama detekcije bez razaranja. Ta aktivnost je poznata kao pogonska inspekcija. [1]

5.4 Nadzor nad normalnim pogonskim događajima

Sistematičan nadzor rada sustava nuklearne elektrane tijekom pogona i uočavanje svih nepravilnosti pri opremi i sustavima jedna su od bitnijih pretpostavki za sigurnost pogona. Ponašanje opreme tijekom pogona treba stalno pratiti i otkloniti sve nedostatke. Ta mjera se smatra drugom razinom takve zaštite, u smislu principa zaštite po dubini. [1]

5.5 Zaštitno hlađenje reaktorske jezgre

Svodi se najčešće na zaštitu prvih dviju fizičkih barijera; matrice goriva i obloge gorivih elemenata u slučaju gubitka treće barijere. Uloga zaštitnog hlađenje jezgre je i puno šira jer osigurava jezgru i onda kada se poremeti njezino hlađenje iako integritet primarnog kruga nije narušen, to se događa kod pada tlaka u primarnom krugu zbog većeg odvoda energije nakon loma parovoda. Sustav za zaštitu hlađenja jezgre projektira se uz poštivanje pretpostavki te uz strogu primjenu propisa kontrole. Za funkciju zaštitnog hlađenja jezgre koristi se posebno provjerena oprema sigurnosne klase, osiguranjem komponenata opreme za istu funkciju, osiguranjem višestrukog napajanja i odvojenog fizičkog smještaja komponenata opreme. Zadatak sustava za zaštitno hlađenje je spriječiti oštećenje reaktorske jezgre ako se pojavi neki od specificiranih kvarova. Kvarovi su prema svojoj težini klasificirani u devet skupina, prvih osam skupina kvarova savladivi su projektom elektrane a deveta skupina kvarova ulazi u kategoriju ozbiljnih kvarova koji uključuju oštećenje jezgre uz gubitak funkcije zaštitne posude ili bez tog gubitka. Prema propisima je djelovanje sustava uspješno ako nakon graničnog projektnog kvara temperatura površine obloge gorivih šipki ne poraste iznad 1470 K približno 1200ºC uz te uvjete osiguran je integritet jezgra reaktora i zaštita okoline od radioaktivnog zračenja. [1]

5.6 Mogućnost prodora radioaktivnih tvari iz primarnog rashladnog kruga

Ukoliko dođe do zakazivanja treće zaštitne barijere rashladni fluid reaktora prodrijet će izvan primarnog kruga. Po utjecaju na okoliš razlikujemo dva različita slučaja, razlika među njima je u stanju prve i druge barijere. Ako gorivo nije značajnije oštećeno

govorimo o graničnom projektom predviđenom kvaru pri kojem je sadržaj radioaktivnosti u rashladnom fluidu ograničen, ako je gorivo jako oštećeno dolazi do taljenja jezgre onda je kvar veći od graničnog projektom predviđenog kvara. [1]

5.7 Zaštitna posuda

Zaštitna posuda je četvrta fizička barijera, zadatak joj je zaštita okoline pri gubitku prije opisanih fizičkih barijera. U zaštitnu posudu zatvaraju se sve komponente primarnog rashladnog kruga. Nakon kvara zaštitna posuda ima zatvaranje (izolaciju) svih ulaznih i izlaznih cjevovoda koji nisu vezani uz sustav zaštitnog hlađenja jezgre, u protivnom bi moglo doći do obilaska zaštitne posude. [1]

5.8 Sustavi za zaštitu četvrte barijere - zaštita zaštitne posude

Mjere za zaštitu zaštitne posude od prekomjernog porasta unutarnjeg tlaka svode se na:

- unutarnje i vanjsko hlađenje posude
- hvatač jezgre
- kontrolirano spaljivanje vodika
- kontrolirano ispuštanje plinova kroz filtre

Unutarnje i vanjsko hlađenje zaštitne posude

Zaštitna posuda je opskrbljena zatvorenim sustavom unutarnjeg hlađenja kojim se unutarnja toplina predaje rashladnoj vodi. Vanjsko hlađenje se vrši zrakom. Kod novijih izvedbi reaktora predviđeno je i vanjsko hlađenje posude vodom. Hlađenjem posude smanjuje se tlak plinova i time otklanja mogućnost njezina loma zbog previsokog tlaka.

Hvatač jezgre

Hvatač jezgre je veliki blok materijala otpornog na visoke temperature ili specijalno projektirana rešetka. Ugrađuju se na dnu reaktorske posude ili ispod nje u slučaju da se jezgra počne taliti i rastaljena masa počne prodirati prema reaktorskoj posudi ona pada na hvatač jezgre koji je raspršava i hladi te sprječava njezin prodor kroz reaktorsku posudu i/ili interakciju s betonom u zaštitnoj posudi.

Kontrolirano spaljivanje vodika

Spaljivanje nastalog vodika u zaštitnoj posudi onemogućuje povećanje unutarnjeg tlaka u posudi zbog eksplozije do koje bi moglo doći ako se zbog povećanja koncentracije vodika dosegne eksplozivna mješavina plinova.

Kontrolirano ispuštanje plinova iz zaštitne posude

Karakterizira se kao ventiliranje zaštitne posude, osigurava se ograničenje porasta unutarnjeg tlaka u zaštitnoj posudi kada on dosegne vrijednost koja može ugroziti njezin integritet. Ispuštanje u okoliš može se izvršiti samo preko filtera. [1]

5.9 Zaštitne mjere u okolišu objekta

Mjere uključuju zaštitu stanovništva u okolišu nuklearne elektrane, te zaštitne mjere možemo smatrati posljednjom barijerom u zaštiti od mogućeg štetnog djelovanja nuklearnog objekta. Tada zaštita stupa u funkciju ukoliko dođe do otkazivanja svih opisanih barijera koje čine sustav obrane po dubini. Svaka nuklearna elektrana mora imati plan zaštite okoliša ako bi došlo do većeg ispuštanja radioaktivnosti. Plan sadrži način obavještavanja, zaštite, sklanjanja i evakuacije stanovništva kako bi broj povreda zbog radioaktivnosti bio minimalan.

Kvantificiranje opasnosti od rada nuklearne elektrane

Bez obzira na to što se prilikom projektiranja i gradnje nuklearne elektrane poduzimaju mjere opreza protiv pojave kvarova na opremi i sustavima, moramo računati s mogućnošću pojave kvarova tijekom pogona nuklearne. Radi ublažavanja posljedica kvarova mora se predvidjeti njihov utjecaj na postrojenje. Taj je utjecaj posljedica vremenske promjene parametara; tlaka, količina fluida, temperature i nadvišenje graničnih vrijednosti tih parametara tijekom prijelaznih pojava. Propisima državnih organa zaduženih za nuklearnu sigurnost definiraju se skupine kvarova koje treba analizirati za svako nuklearno postrojenje. Sigurnosni izvještaj je temeljni dokument kojim se dokazuje sigurnost nuklearne elektrane. Pomagala za provedbu sigurnosnih analiza nuklearnih postrojenja njihovi su modeli koji mogu biti matematički ili fizički. Matematički modeli koriste se za proračunavanje posljedica kvarova i prijelaznih pojava u nuklearnim energetskim postrojenjima. Rezultati tih proračuna uključeni su u sigurnosni izvještaj.

Kada je riječ o mogućim kvarovima na nuklearnim postrojenjima zanima nas kakve posljedice po sigurnost postrojenja mogu biti izazvane specificiranim kvarovima i prijelaznim pojavama i koja je vjerojatnost nastanka kvarova na opremi i sustavima nuklearnih elektrana posebno težih kvarova koji uključuju i ozbiljne akcidente.
Znanstveno zasnovana procjena sigurnosti i rizika okoline od rada objekta temelji se na:

- analizama posljedica određenih kvarova na nuklearnoj elektrani
- analizama vjerojatnosti pojave kvara na pojedinim sustavima nuklearne elektrane i vjerojatnosti utjecaja tih kvarova na integritet jezgre i ispuštanja radioaktivnosti

Determinističke analize sigurnosti nuklearnih elektrana

Temelj determinističke analize je u matematičkom modeliranju nuklearnog postrojenja i u ispitivanju matematičkog modela na određene determinirane poremećaje. Ti poremećaji izazvani su kvarovima na opremi, poremećajima u napajanju energijom i poremećajima u hlađenju sustava. Matematički model nuklearnog postrojenja vrlo je složen. Element koje treba obuhvatiti modeliranjem jesu prijelaz topline u nuklearnim gorivim elementima i parogeneratorima, strujno polje i ponašanje fluida u cirkulacijskoj petlji i komponentama opreme (reaktorskoj posudi s jezgrom, primarnim pumpama, parogeneratorima, tlačniku) te reaktorska kinetika s povratnim vezama reaktivnosti.

Vjerojatnosne analize sigurnosti

Vjerojatnosne analize sigurnosti zasnivaju se na metodi koju su u 1960-im godinama razvili u SAD-u. Razvili su je Organizacija za aeronautiku i svemirska istraživanja i Ministarstvo obrane. Metoda se temelji na definiranju potencijalnih scenarija kvarova, vjerojatnost njihova nastanka i izazivanja posljedica. Svrha je procjena rizika odgovarajućeg nepovoljnog inicijalnog događaja.

Metode primijenjene kod vjerojatnosnih analiza rizika od rada nuklearnih elektrana
Metodom analize rizika moguće je povezati sve zamislive kvarove na opremi s utjecajem na postrojenje i okolinu te ispitati koja oprema i koji sustavi doprinose najviše ne povoljnom ishodu razmatranja događaja. Nepovoljan ishod rezultira ozbiljnim oštećenjem jezgre i/ili većim ispuštanjem radioaktivnosti u okolinu.

Stabla događaja

Stablo događaja određuje veze nekog početnog događaja s ishodima koji mogu dovesti do neželjenih posljedica za sigurnost okoline i objekta.

Unutarnji početni događaji mogu biti podijeljeni u dvije kategorije:

- događaji koji dovode do gubitka primarnog hladila
- događaji koji dovode do povećanja proizvodnje snage u jezgri ili do smanjenja odvoda topline iz jezgre bez gubitka primarnog hladila

Početni događaji koji se analiziraju u okviru prve kategorije akcidenata su:

- lomovi na tlačniku
- lomovi primarnih cjevovoda
- lomovi cjevovoda izvan zaštitne posude koji su priključeni na primarni rashladni krug
-lomovi cijevi u parogeneratoru

Događaje druge kategorije nazivamo prijelaznim pojavama, početne događaje koji dovode do prijelaznih pojava možemo pripisati poremećaju ravnoteže između proizvodnje i odvoda topline. Ovamo ulazi:

- promjena u odvođenju topline iz reaktora ili parogeneratora
- promjena u proizvodnji topline u reaktoru
- promjena količine primarnog fluida u cirkulaciji
- promjena tlaka primarnog fluid

Među početne događaje u kategoriji prijelaznih pojava čije se posljedice analiziraju pripadaju:

Pogonske prijelazne pojave

- gubitak napojne vode s gubitkom i bez gubitka pomoćne napojne vode
- gubitak napojne vode s gubitkom i bez gubitka glavnog ponora topline
- gubitak električnog napajanja

Prijelazne pojave uzrokovane lomovima parovoda

- prijelazne pojave koje su posljedica loma parovoda u zaštitnoj posudi i izvan nje

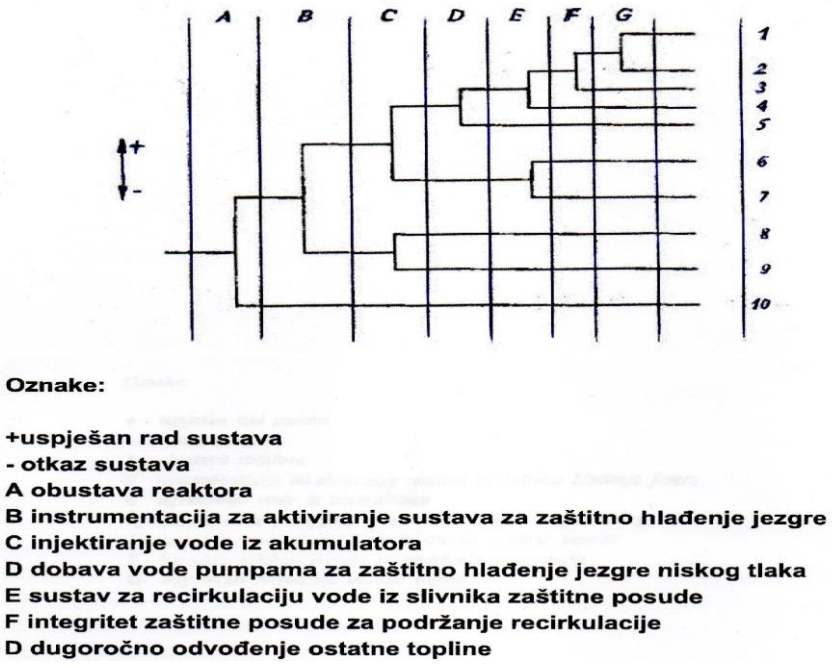
Prijelazne pojave s otkazom gašenja reaktora :

- otkaz gašenja reaktora nakon gubitka napojne vode
- otkaz gašenja reaktora nakon gubitka električnog napajanja
- otkaz gašenja reaktora nakon gubitka napojne vode i ponora topline
- otkaz gašenja reaktora uz druge prijelazne pojave

Vanjski početni događaji:

- poplava
- potres
- udari i eksplozije (eksplozije plina, pad aviona)
- ekstremni meteorološki uvjeti

Svakom početnom događaju treba pripisati frekvenciju pojave - vjerojatnost događaja godišnje. Nakon što se odrede bitni početni događaji sastavlja se stablo događaja radi utvrđivanja sustava u nuklearnoj elektrani čije su funkcije potrebne za povoljan ishod posljedica početnog događaja. [1]



Slika 11. Stablo događaja za početni događaj velikog gubitka primarnog hladila [1]

Iz slike možemo vidjeti da svi scenariji kvarova osim scenarija 1 vode u oštećenje jezgre reaktora. Scenarij 1 je predviđen maksimalni kvar.

6. ŠTITOVI OD NUKLEARNOG ZRAČENJA

Od vanjskog zračenja možemo se zaštiti odgovarajućim štitovima, štitovi se izrađuju od prikladnih materijala odgovarajućih dimenzija. Zadatak im je da nuklearnim reakcijama između izvora zračenja i materijala štita smanje intenzitet zračenja na njegovu izlazu. [2]

6.1 Štitovi od neutronskog zračenja

Zaštita od izvora zračenja brzih neutrona teško se provodi jer se ti neutroni ne mogu dobro apsorbirati. Apsorpcijski udarni presjeci svih materijala za brze neutrone vrlo su mali i zbog toga se strategija zaštite od brzih neutrona temelji najprije na njihovu usporavanju, a tek tada na apsorpciji. [2]

7. STUDIJA WASH 1400

Prva studija sigurnosti nuklearnih elektrana s lakovodnim reaktorima.
Ciljevi studije:

- kvantitativno procijeniti rizik stanovništva od kvarova nuklearnih reaktora
- primijeniti realističke metode procjene umjesto prekomjerno konzervativnih
- identificirati ograničenja u metodama procjene sigurnosti
- identificirati područja za buduća istraživanja
- poboljšati učinkovitost postojeće prakse koju primjenjuju industrija i državni organi na unapređenju sigurnosti nuklearnih elektrana

Studija se zasniva na analizi provedenoj u sljedećim koracima:

1. definirati reaktorske akcidente i njihove scenarije koji mogu ugroziti sigurnost okoline
2. procijeniti vjerojatnost pojave tih akcidenata i količinu ispuštanja radioaktivnosti
3. procijeniti posljedice za zdravlje i imovinu stanovništva od takvih radioaktivnih ispuštanja
4. utvrđivati ukupne razine rizika od rada nuklearnih postrojenja i usporediti te rizike s rizicima koje daju druge ljudske aktivnosti i prirodni fenomeni

Ispuštanje radioaktivnosti u okoliš ovisi o kvaru na i o vrsti loma zaštitne posude. Na iznos ispuštene radioaktivnosti znatno utječe vrijeme između ispuštanja radioaktivnih tvari u zaštitnu posudu i njezina loma. Ako je vrijeme kratko radioaktivni nuklidi imaju kraće vrijeme za raspad i taloženje na stijenkama postrojenja i zaštitne posude pa će njihovo ispuštanje u okolinu biti veće.

U studiji WASH 1400 podjela zdravstvenih posljedica u kategorije:

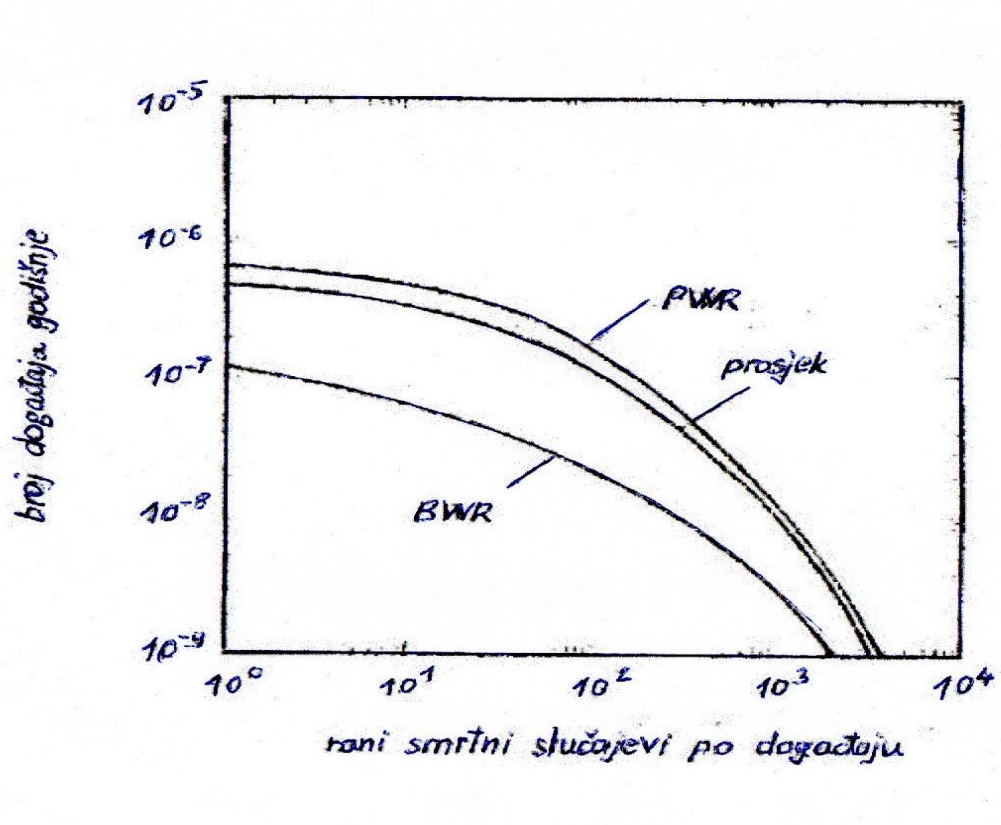
- rana smrt - od posljedica zračenja unutar jedne godine nakon ozračenja
- rana bolest - bolest dišnih organa ovisno o dozi zračenja na pluća
- zakašnjela bolest - 10 do 40 godina nakon akcidenta [1]

7.1 Prikaz rezultata studije

Ukupni rezultati prikazani su kao ovisnost posljedica akcidenata o vjerojatnosti njegove pojave.

Karakteristični rezultati studije WASH 1400
Rezultat proračuna za lakovodne reaktore PWR I BWR koji se odnosi na broj ranih smrtnih slučajeva uzrokovanih akcidentima na reaktorskim postrojenjima u funkciji očekivane frekvencije takvih događaja prikazan je slikom 13.

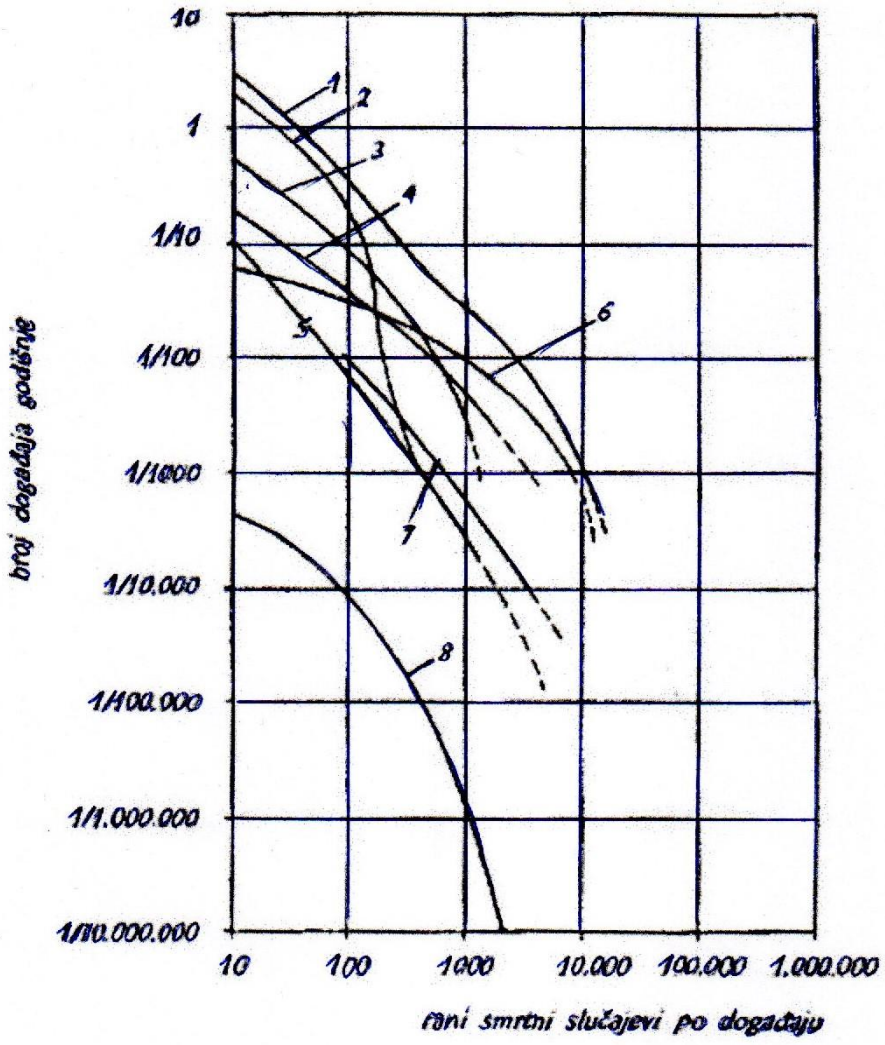
Akcidenti koji dovode do većih štetnih posljedica imaju manju vjerojatnost nastanka. Studija WASH 1400 je dokazala da je rizik stanovništva od kvara na nuklearnim elektranama vrlo malen. Zaključak vrijedi samo za reaktorske sustave za koje je studija izrađena. [1]



Slika 12. Ovisnost broja smrtnih slučajeva nakon nesretnog događaja zbog rada lakovodnih reaktora o vjerojatnosti pojave događaja prema studiji WASH 1400 [1]

Spoznaja o veličini nekog rizika i odluka o njegovoj prihvatljivosti mora se zasnivati na usporedbi tog rizika s ostalim rizicima kojima je čovjek izložen. Apsolutna sigurnost ne postoji. Studija je usporedila rizik stanovništva koje živi 30 km oko 66 lokacija od rada 100 nuklearnih elektrana na tim lokacijama i rizik kojem je to isto stanovništvo - oko 15 milijuna ljudi izloženo zbog drugih razloga. Svi proračuni temelje se na statističkim podacima. Rezultati tog dijela studije prikazani su na slici 14.

Vjerojatnost nastanka nesreće u nekoj od 100 nuklearnih elektrana, koja bi mogla dovesti do rane smrti 10 osoba koje žive oko neke od njihovih lokacija , manja od 1/1000 godišnje tj. manja od jednog slučaja na tisuću godina pogona nuklearnih elektrana. Vjerojatnost da će isti broj ljudi godišnje stradati zbog nekih ostalih uzroka koji potječu iz ljudskih djelatnosti - padovi aviona, požari, eksplozije. [1]



Slika 13. Usporedba rizika stanovništva zbog rada 100 nuklearnih elektrana i rizika od drugih uzroka prema rezultatima studije WASH 1400

Legenda:

1- svi uzroci koji potječu iz ljudskih djelatnosti

2- nesreće u avionskom saobraćaju

3- požari

4- eksplozije

5- broj smrtnih slučajeva među stanovništvom na zemlji zbog padova aviona

6- lomovi brana hidroelektrana

7- ispuštanje klora

8- pogon 100 nuklearnih elektrana [1]

Tablica 3. Očekivani godišnji broj ranih smrtnih slučajeva i bolesti 15 milijuna stanovnika koji žive na 30 km od lokacija američkih nuklearnih elektrana [1]

Vrste nesreća	Rani smrtni slučajevi	Povrede
automobilske nesreće	4200	375000
padovi	1500	75000
požari	560	22000
udari struje	90	?
udari gromova	8	?
pogon 100 nuklearnih reaktora	0,3	6

7.2 Zaključci iz studije jesu:

- akcidenti koji vode do oštećenja jezgre bez gubitka integriteta zaštitne posude vrlo malo utječu na okolinu,
- rizici od reaktorskih nesreća kojima je izloženo stanovništvo manji su od rizika koji nastaju zbog drugih uzroka u svakodnevnom životu,
- vjerojatnost nastanka reaktorskih akcidenata mnogo je manja od vjerojatnosti nastanka drugih nezgoda koje daju slične posljedice. [1]

8.USPOREDBA RIZIKA U OKOLIŠU ZBOG IZGRADNJE I POGONA RAZNIH ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA

Gradnja i rad svakog elektroenergetskog izvora nepovoljno utječe na okoliš. Opseg i način djelovanja na okoliš ovisi o vrsti energetskog izvora. Utjecaj energetskih objekata ogleda se u utjecaju na zdravlje stanovništva u okolici objekata i u utjecaju na biljni i životinjski svijet. Utjecaj se računa na jedinicu proizvedene energije u razmatranom energetskom objektu. Električna energija je prijeko potrebna za održanje života stanovništva i pomanjkanje električne energije je veća opasnost za živote i zdravlje nego rad elektroenergetskog objekta izgrađenog na podlozi postojećih tehničkih standarda. Elektroenergetski objekti koji najviše utječu na okoliš jesu termoelektrane na ugljen, tekuće gorivo i plin i nuklearne elektrane. [1]

Tablica 4. Termoelektrane na ugljen [1]

Kratkoročne posljedice
lokalno - zahvat u tlo i podzemne vode tijekom gradnje
lokalno - zagađenje zraka dimnim plinovima, ugljikovodicima, prašinom
Srednjoročne posljedice
lokalno - trajna promjena prirodne sredine
lokalno - zagađenje vodotoka i obala
lokalno - zagađenje voda teškim metalima koji se izlučuju iz deponija pepela i šljake
regionalno - oštećenje vodenih i morskih organizama
regionalno - oštećenje šuma i drugih biljnih vrsta kiselim kišama zbog emisija sumpornih spojeva
Dugoročne posljedice
regionalno - kiselost vodotoka i jezera
globalno - klimatske promjene i povećanje morske razine zbog emisija CO_2 i drugih stakleničkih plinova

Kod termoelektrana na tekuća goriva otpada utjecaj na okoliš vezan uz deponije pepela i šljake a kod plinskih termoelektrana dijelom i utjecaj vezan uz emisiju sumpornih spojeva u dimnim plinovima.

Tablica 5. Nuklearne elektrane [1]

Kratkoročne posljedice
lokalno - zahvat u tlo i podzemne vode tijekom gradnje
Srednjoročne posljedice
lokalno - trajna promjena prirodne sredine
lokalno - zračenje te kontaminacija zemljišta i vode radionuklidima u slučaju akcidenta
regionalno - zračenje te kontaminacija vode i zemljišta u slučaju ozbiljnog akcidenta
Dugoročne posljedice
lokalno - nadzor prostora skladišta radioaktivnog otpada

Iz prikaza se može zaključiti da kod nuklearnih elektrana znatniji rizik u okolišu nastaje tek kod akcidenata, dok je kod termoelektrana takav rizik prisutan i za vrijeme njihova normalnog pogona. Najnepovoljnije utječu na okoliš termoelektrane na ugljen, zatim na tekuća goriva, a najpovoljnije su one koje izgaraju plin. Količinu ispuštenih sumpornih i dušičnih spojeva u dimnim plinovima za sve tri vrste termoelektrana po jedinici proizvedene energije donosi tablica 6.

Tablica 6. Atmosferske emisije termoelektrana raznih tipova po gigavatu proizvedene električne energije [1]

Vrsta goriva	Krute čestice	SO_2	NO_2	Ugljikovodici
ugljen	1160	23200	23200	45
tekuća goriva	1160	31000	11600	273
plin	?	22	2500	36

8.1 Rizici od katastrofalnih kvarova u energetskim postrojenjima

Tablica 7. pokazuje prema statističkim podacima u 20 godišnjem periodu najveći broj momentalnih smrtnih slučajeva, sveden na jedinicu proizvedene energije prouzročili rušenje brana hidroelektrana, a nakon toga nesreće u rudnicima ugljena i eksplozije plinova. [1]

Tablica 7. Statistički podaci o katastrofalnim kvarovima na energetskim objektima u periodu od 1969. do 1986. godine

Vrsta energenta	Broj nesreća	Momentalni smrtni slučajevi po nesreći / ukupni	Proizvedena energija GW god	Broj slučajeva po GW god
Ugljen -nesreće u rudnicima	62	10 - 434 / 3600	10000	0.36
Nafta -nesreće od bušotina -požari rafinerija -nesreće pri transportu	 6 15 42	 6 - 123 5 - 145 / 450 5-500 / 1620	21000	 - 0,02 0,06
Prirodni plin požar / eksplozija	24	6 - 452 / 1440	8600	0,17
Hidroelektrane -rušenje brana	8	11 - 2500 / 3839	2700	1,41
Nuklearne elektrane -ispust velike radioaktivnosti	1	31 / 31	1100	0,03

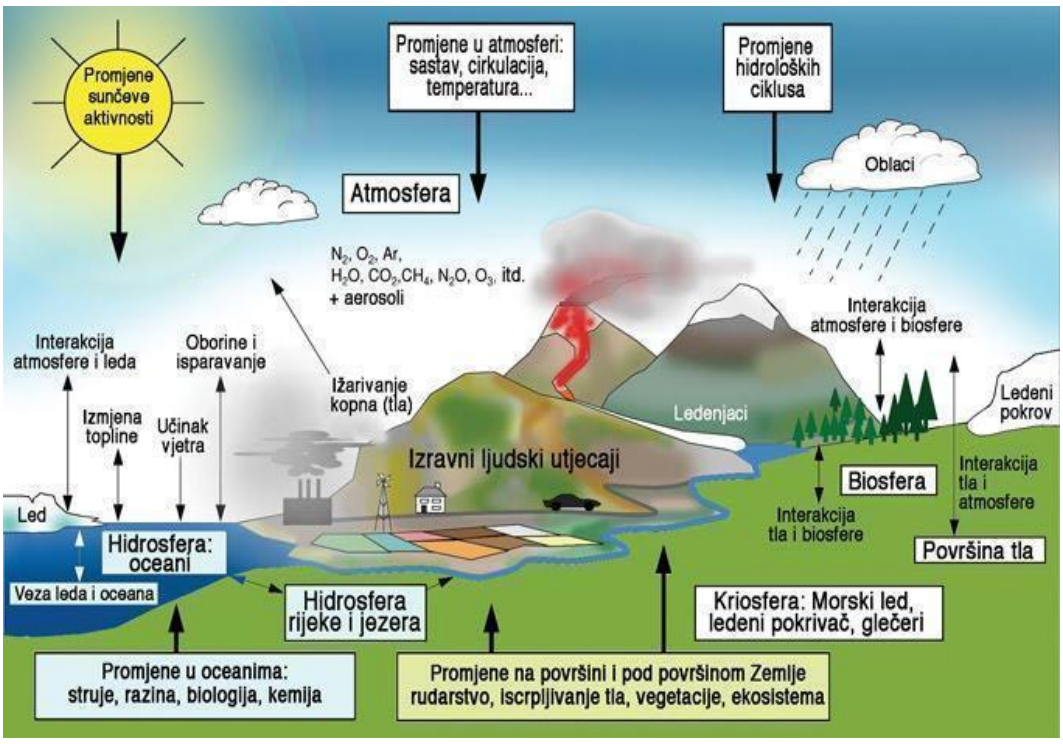
Veoma su manjkavi podaci o kasnijim rizicima stanovništva i profesionalnog osoblja od velikih kvarova u energetskim objektima. Procjene kasnijih rizika stanovništva od kvarova nuklearnih elektrana su razrađene na temelju analitičkih procjena i na temelju iskustva s nesrećom na nuklearnoj elektrani Černobil. [1]

8.2 Ekološki utjecaj emisija plinova izgaranja u atmosferu

Termoelektrane zagađuju atmosferu plinovima izgaranja fosilnih goriva. Zbog utjecaja na okoliš posebno su važni sumporni dioksid SO_2 i staklenički plinovi. Stoga u usporedbu utjecaja energetskih objekta na okoliš treba uključiti i učinak kiselih kiša zbog emisija sumpornih dioksida u atmosferu i efekt globalnog zagrijavanja atmosfere zbog emisije tzv. stakleničkih plinova.

Kisele kiše

Emisijom sumpornog dioksida izaziva se pojava kiselih kiša i kiselost vodotoka što nepovoljno utječe na vegetaciju, posebno na crnogorične šume. Ta pojava izazvala je propadanje šuma u Gorskom kotaru, ali i u drugim krajevima, te štete mogu biti neprocjenjive. Nepovoljan utjecaj pogona termoelektrana na okoliš zbog izazivanja kiselih kiša može se ublažiti gradnjom termoelektrana s plinom kao gorivom, izborom krutog i tekućeg goriva malim postotkom sumpora, ugradnjom uređaja za odsumporavanje dimnih plinova te izgradnjom visokog dimnjaka radi smanjenja lokalne koncentracije SO_2 . [1]



Slika 14. Kako nastaju kisele kiše [8]

Učinak staklenika

Emisija stakleničkih plinova ima globalni značaj i zbog toga je tim emisijama posvećena velika pažnja svih utjecajnih čimbenika u svijetu (ekologa, političara, energetičara i drugih). Među stakleničkim plinovima je najvažniji CO_2 . Staklenički plinovi imaju svojstvo apsorpcije toplinskog zračenja Zemlje u svemir, a istodobno popuštaju kratkovalna zračenja koja dolaze sa Sunca. Ta pojava poznata je kao "učinak staklenika" jer slično dolazi do zagrijavanja u stakleniku. Zahvaljujući tim plinovima prosječna temperatura zemlje bitno je viša. Ljudske aktivnosti u industrijskom razdoblju dovele su do porasta emisija stakleničkih plinova u atmosferu, što dugoročno rezultira porastom prosječne temperature Zemljine površine. Porast temperature izaziva klimatske promjene i porast razine mora. Prema procjenama koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi u predindustrijsko doba i 1990. godine dana je tablicom 8.

Tablica 8. Koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi ppm (vol) [1]

	CO_2	CH_4	CFC	N_2 O
Predindustrijsko doba (1750. - 1800)	280	0,8	0	0,29
Koncentracije 1990.godine	353	1,72	0,00076	0,31
Sadašnje godišnje povećanje koncentracije	1,8	0,015	0,00003	-

Koncentracija CO_2 u atmosferi bitno je veća od koncentracije drugih stakleničkih plinova. Utjecaj CO_2 na globalno zagrijavanje, gledajući stogodišnji prosjek iznosi oko 55%, metana 15%, klorofluorougljika (CFC) 24% i dušikova oksida oko 6%. [1]

9. ZAKLJUČAK

U nuklearnim elektranama važni su sigurnosni standardi kako ne bi došlo do posljedica kao u Černobilskoj katastrofi. Mnoge nuklearne nesreće bile su direktno posljedica ljudske pogreške. Nuklearna energija ima važno mjesto u proizvodnji električne energije u svijetu. U svim područjima života uvelike primjenjujemo električnu energiju jer je vrlo korisna u svakodnevnom životu. Jedan od glavnih razloga produljenja vijeka trajanja nuklearnih elektrana i izgradnje novih jest rješavanje problema onečišćenja zraka upotrebom nuklearne energije. Nuklearna energija ne ispušta stakleničke plinove. Prilikom izbora lokacije za gradnju nuklearne elektrane biraju se područja s malom gustoćom naseljenosti kako bi se smanjio rizik za stanovništvo. Prilikom otpuštanja radioaktivnosti u okoliš ili topljenja jezgre reaktora dolazi do smrtnih posljedica za ljude. Rizici u svijetu povezani s radom nuklearnih elektrana i rizici povezani sa skladištenjem radioaktivnog otpada su na niskoj razini. Sigurnost nuklearnih elektrana se postiže mjerama u fazi projektiranja, gradnje i tijekom pogona. U studijama se daje prednost nuklearnoj energiji u odnosu na ostale energetske izvore kada se radi o sigurnosti pogona. Potpune zaštite nema ali su u svijetu poduzete sve mjere kako bi se povećala sigurnost, nuklearne elektrane imaju budućnost ako nastave biti sigurne i pouzdane. Zaštita na radu u nuklearnoj elektrani Flamanville je na vrlo visokoj razini, radnici koji rade na izgradnji kroz školovanje su upoznati sa svim sigurnosnim aspektima. Smatram da u budućnosti neće doći do nesreća ukoliko se zaštita na radu bude provodila na ovako visokoj razini kao što se trenutno provodi.

10. LITERATURA

1. Feretić, Danilo. Nuklearne elektrane. Zagreb: Školska knjiga, 1995.
2. Feretić, Danilo. Uvod u nuklearnu energetiku: udžbenik za studente Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu. Zagreb : Školska knjiga : Hrvatsko nuklearno društvo, 2010.
3. Hrvatska enciklopedija. 7 Mal - Nj . Leksikografski zavod Miroslav Krleža ; Zagreb, 2005
4. https://hr.wikipedia.org/wiki/Nuklearna_elektrana
5. https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectricit%C3%A9_de_France
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Flamanville_Nuclear_Power_Plant
7. https://www.edf.fr/en/groupe-edf/producteur-industriel/carte-des-implantations/centrale-nucleaire-de-flamanville-3/presentation
8. http://os-veliko-trojstvo.skole.hr/energija_i_okoli_/kisele_ki_e
9. http://www.uskinfo.ba/m/vijest/francuska-eksplozija-u-nuklearnoj-elektrani-flamanville/32591
10. Upute nuklearne elektrane Flamanville
11. https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/exposition-travailleurs-sante-radioprotection/radioprotection-travailleurs/radioprotection-travailleurs-centrales/Pages/sommaire.aspx#.YIr1EpAzZPY