

SIGURNOSNI SUSTAVI I ZAŠTITA OD POŽARA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Bijuklić, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:873407>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-07**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SIGURNOSNI SUSTAVI I ZAŠTITA OD POŽARA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Bijuklić, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:873407>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-10**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Stjepan Bijuklić

**SIGURNOSNI SUSTAVI I ZAŠTITA OD
POŽARA U NUKLEARNIM
ELEKTRANAMA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Stjepan Bijuklić

**SAFETY SYSTEMS AND FIRE
PROTECTION IN NUCLEAR POWER
PLANTS**

FINAL PAPER

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Stjepan Bijuklić

SIGURNOSNI SUSTAVI I ZAŠTITA OD POŽARA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Filip Žugčić, mag.ing.el.

Karlovac, 2022.

PREDGOVOR

Ovaj rad kao i njegova tema, nastali su u kontekstu nedavnih zbivanja u Europi, no njegova prvotna svrha je za potrebe završnog rada stručnog studija sigurnosti i zaštite, Veleučilišta u Karlovcu. Tijekom pisanja rada proučena je brojna domaća i svjetska literatura, te je ista korištena na akademski prihvatljiv način.

Tijekom pisanja ovoga rada od neizmjerne pomoći bio mi je mentor, Filip Žugčić, mag. ing. el., kojem se ovim putem zahvaljujem.

Također, zahvaljujem se i Veleučilištu u Karlovcu u kojem sam tijekom studiranja stekao brojna znanja i vještine koje ću primijeniti u svom daljnjem radu i usavršavanju.

I na poslijetku, zahvaljujem se svojoj obitelji i svojoj djevojci na bezuvjetnoj podršci.

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Ovaj završni rad obrađuje problematiku sigurnosnih sustava nuklearnih elektrana za zaštitu od požara, kao i načine njegove dojava i pristupanje njegovu gašenju sa odgovarajućim sredstvima.

Rad na temelju pravilnika donosi odredbe kojih se moraju pridržavati sva elektroenergetska postrojenja, te prikazuje sigurnosne sustave za zaštitu od požara koje su odredile najveće međunarodne organizacije za nuklearnu energiju. Kroz cijeli rad pojašnjavaju se i detaljnije prikazuju ključni pojmovi u kontekstu rada.

Ključni pojmovi: sigurnosni sustavi, požar, vatrodojava, gašenje

SUMMARY AND KEYWORDS

This final paper deals with the issue of the security system of nuclear power plants for fire protection, as well as the ways of its notification and approaching its extinguishing with appropriate means.

The work on the basis of the rule books brings the provisions that must be complied with by all power plants, and shows the fire protection systems determined by the largest international organizations of nuclear energy. Throughout the paper, key concepts in the context of the paper are clarified and presented in more detail.

Keywords: security systems, fire, fire alarm, extinguishing

SADRŽAJ

| | |
|---|-----|
| ZAVRŠNI ZADATAK | I |
| PREDGOVOR | II |
| SAŽETAK | III |
| SADRŽAJ | IV |
| | |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Predmet i cilj rada..... | 2 |
| 1.2. Metodologija rada | 2 |
| 1.3. Izvori podataka i metode prikupljanja | 3 |
| 2. NUKLEARNE ELEKTRANE | 4 |
| 2.1. Vrste nuklearnih elektrana..... | 4 |
| 2.2. Tehnologija proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama..... | 5 |
| 2.3. Utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš | 6 |
| 2.3.1. Utjecaj emisije CO ₂ | 6 |
| 2.3.2. Radioaktivni otpad | 7 |
| 3. OPĆE MJERE NUKLEARNIH ELEKTRANA ZA ZAŠTITU OD POŽARA..... | 9 |
| 3.1. Opće građevinske mjere zaštite od požara | 9 |
| 3.2. Mjere zaštite od nastanka i širenja požara | 10 |
| 4. SIGURNOSNI SUSTAVI ZA ZAŠTITU OD POŽARA PREMA MEĐUNARODNIM ORGANIZACIJAMA..... | 12 |
| 4.1. Sigurnosni sustavi za zaštitu od požara međunarodne organizacije NEA..... | 12 |
| 4.1.1. Strategije upravljanja protupožarnom sigurnošću | 13 |
| 4.1.2. Analiza opasnosti od požara | 16 |
| 4.2. Sigurnosni sustavi za zaštitu od požara međunarodne organizacije IAEA | 16 |
| 4.2.1. Minimiziranje požarnog opterećenja..... | 17 |
| 4.2.2. Minimiziranje zapaljivih izvora | 18 |

| | |
|---|----|
| 4.2.3. Raspored prostorija postrojenja | 19 |
| 4.2.4. Ventilacijski sustavi | 19 |
| 4.2.5. Požari i potencijalno ispuštanje radioaktivnih tvari | 20 |
| 4.2.6. Posebne prostorije unutar nuklearne elektrane i njihova zaštita od požara | 20 |
| 4.2.7. Zaštita od eksplozija..... | 21 |
| 5. GAŠENJE POŽARA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA..... | 23 |
| 5.1. Sustavi za vatrodojavu | 23 |
| 5.2. Pristupanje požaru u nuklearnim elektranama | 25 |
| 5.3. Sredstva za gašenje požara | 26 |
| 6. PRIMJER POŽARA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA..... | 28 |
| 6.1. Nuklearna elektrana Sellafield..... | 28 |
| 6.2. Nuklearna elektrana Griefswald | 29 |
| 6.3. Nuklearna elektrana Vladimir Iljič Lenjin..... | 29 |
| 6.4. Nuklearna elektrana Zaporožje | 30 |
| 7. ZAKLJUČAK..... | 32 |
| 8. LITERATURA | 34 |
| 9. PRILOZI..... | 37 |
| 9.1. Popis slika | 37 |
| 9.2. Popis tablica | 37 |

1. UVOD

Prema definiciji, nuklearna energija (atomska energija) je energija koja se oslobađa ili troši u izazvanim ili spontanim nuklearnim reakcijama, odnosno, pretvorbama. Tijekom sudara dvaju atomskih jezgara ili tijekom sudara atomske jezgre s nekom česticom, primjerice s neutronom, nastaje nuklearna reakcija. Nove čestice i jezgre mogu biti proizvodi takve reakcije [1]. U elektranama sa klasičnim gorivom, kemijska se energija goriva tijekom procesa sagorijevanja, koji predstavlja spoj atoma kisika i ugljika, pretvara u toplinsku energiju. U takvom procesu, toplinska se energija javlja uslijed promjene u vezama među atomima, dok se u nuklearnim elektranama oslobađa energija tijekom promjena u unutrašnjosti atoma [2].

U Engleskoj je 1954. godine izgrađena prva nuklearna elektrana pod nazivom *Sellafield* koja unatoč starim instalacijama i tehnologiji kao i brojnim incidentima te radijacijskom zagađenju okoliša, i dalje radi te proizvodi električnu energiju. Osim toga, proizvodi i plutonij koji pripada najgorim fizijskim nusproizvodima zbog svoje visoke radioaktivnosti te iznimno dugog perioda razgradnje (više od 24.000 godina). Za vrijeme šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog stoljeća, većina razvijenih zemalja Zapada je počela ubrzano graditi nuklearne elektrane [3].

Prema definiciji, požar je samopodržavajući proces gorenja koji se nekontrolirano širi u prostoru [4]. Požar u nuklearnoj elektrani može oštetiti opremu potrebnu za siguran rad postrojenja i na taj način ili izravno uzrokovati nesreću ili smanjiti sigurnosnu granicu postrojenja. Pojava požara i njezin utjecaj na sigurnost nuklearne elektrane je vrlo složeno pitanje na koja se nije pridavala posebna pozornost sve do nedavno. Opasnost od požara u nuklearnim elektranama privukla je značajnu pozornost u studijama sigurnosti reaktora od incidenta u nuklearnoj elektrani *Browns Ferry* u ožujku 1975. godine. Još jedan poznati incident dogodio se u nuklearnoj elektrani *San Onofre* u ožujku 1968. godine. Niti u jednom slučaju nije bila ispuštena bilo kakva radioaktivnost ili je bila oštećena jezgra reaktora [5].

U ovom radu naglasak je na sigurnosnim sustavima nuklearnih elektrana za zaštitu od požara, zatim sustavima vatrodojave i gašenju požara u nuklearnim elektranama sa svim pripadajućim pojmovima te pojašnjenju nastanka požara, kao i metodama

njegova gašenja i korištenim sredstvima. Osim toga, prikazan je sigurnosni plan nuklearnih elektrana kao i sigurnosni rizik za okoliš i za ljude.

1.1. Predmet i cilj rada

Predmet ovoga rada je sigurnosna zaštita od požara nuklearnih elektrana sa svim pripadajućim sigurnosnim sustavima i donesenim mjerama, kao i metode njegove dojave, pristup gašenju požara, sredstva i metode gašenja te sigurnosni rizici za ljude i za okoliš.

Cilj ovoga rada je prikazati sigurnosne sustave za zaštitu od požara i gašenje požara u nuklearnim elektranama sa svim pripadajućim stavkama i rizicima.

1.2. Metodologija rada

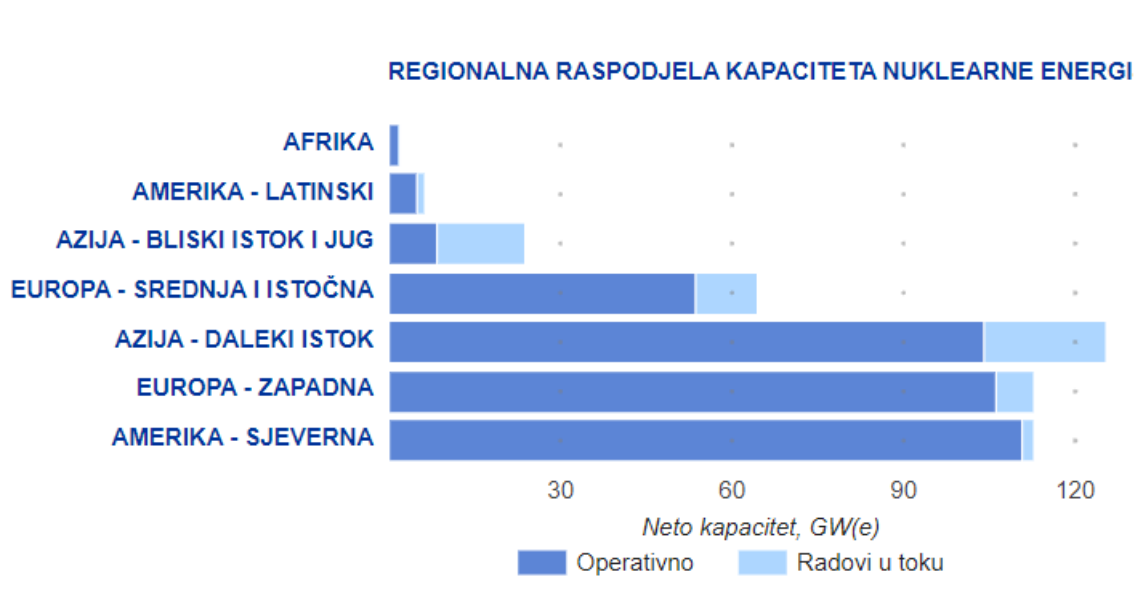
Preuzimanjem znanstveno istraživačkih radova različitih autora i korištenjem njihovim spoznaja na akademski prihvatljiv način, u radu je korištena metoda komparacije kroz sva poglavlja rada. Metoda analize posebno je naglašena u drugom i trećem poglavlju gdje se traži veza između navedenih pojmova, te se isti pojašnjavaju i raščlanjuju na jednostavnije dijelove. Također, u drugom poglavlju koriste se metode apstrakcije i komparacije gdje se pobliže pojašnjavaju pojmovi radi njihova lakšeg razumijevanja. Metoda deskripcije također je naglašena u drugom i trećem poglavlju, ali se isto tako proteže kroz cijeli rad detaljnim opisivanjem činjenica. Nadalje, kroz rad je korištena i metoda klasifikacije prema svim pravilima i načelima. Prisutna je u tablicama i slikama te nam omogućava uočavanje uzročno-posljedičnih veza među promatranim pojavama. Korištena je i diskurzivna metoda analize kako bi pojasnila utjecaj teme na društvenu zajednicu. Sve metode korištene su radi lakšeg razumijevanja teme i glavnih pojmova, te za konstrukciju zaključka.

1.3. Izvori podataka i metode prikupljanja

Podaci korišteni u pisanju ovog rada pronađeni su u dostupnim online bazama podataka kao što su *EBSCO*, *SCOPUS*, *Hrčak* i *Google Scholar*. Navedene baze pretraživane su uglavnom po ključnim riječima. Pretraživane su i relevantne Internet stranice. Svi navedeni podaci rezultat su iščitavanja relevantne domaće i strane stručne literature kao i internetskih stranica. Nakon iscrpnog analiziranja literature, u radu je korištena samo ona koja u sebi sadrži najvažnije stavke za izradu ovog rada te svojim detaljima može dodatno pomoći razumijevanju teme rada.

2. NUKLEARNE ELEKTRANE

Prema Međunarodnoj agenciji za nuklearnu energiju u svijetu je trenutno aktivno 440 nuklearnih reaktora čija je ukupna snaga 391716 MWe. Neaktivna su 52 reaktora zbog konstrukcijskih radova. Najveći broj reaktora ima Azija (Daleki Istok) njih 114, zatim slijede Sjedinjene Američke Države sa 112 aktivnih reaktora, te nakon njih zapadna Europa sa 99 aktivnih reaktora (slika 1) [6].



Sl. 1. Regionalna raspodjela nuklearne energije [6].

2.1. Vrste nuklearnih elektrana

Klasificirati reaktorske sustave možemo prema različitim vrstama rashladnih sustava i to na reaktore koji se hlade kipućom vodom, vodom pod tlakom, plinom ili tekućim metalima. Najrasprostranjeniji je trenutno reaktorski sustav PWR ("*Pressurized Light-Water-Moderated and Cooled Reactor*") koji se hladi običnom vodom pod tlakom. Prvotno je ovakva vrste reaktora zbog svoje kompaktnosti osmišljena za upotrebu u nuklearnim podmornicama, te je tek kasnije započelo korištenje u nuklearnim elektranama. Osim prema vrsti rashladnih sredstava, sustavi reaktora se dijele i prema korištenim moderatorima kao što je obična voda, teška voda, grafit i brzi oplodni

reaktori bez moderatora. Prema navedenom, reaktore možemo klasificirati na sljedeći način:

- PWR - Reaktor hlađen i moderiran običnom vodom pod tlakom ("*Pressurized Light Water-Moderated and Cooled Reactor*")
- BWR - Reaktor hlađen i moderiran običnom kipućom vodom ("*Boiling Light-Water Cooled and Moderated Reactor*")
- PHWR - Reaktor hlađen i moderiran teškom vodom pod tlakom ("*Pressurized Heavy Water-Moderated and Cooled Reactor*")
- HTGR - Reaktor hlađen plinom s visokim temperaturama u jezgri ("*High-Temperature Gas-Cooled Reactor*")
- LWGR - Reaktor hlađen običnom kipućom vodom i moderiran grafitom ("*Light-Water Cooled, Graphite-Moderated Reactor*")
- GCR - Reaktor hlađen plinom i moderiran grafitom ("*Gas-Cooled, Graphite-Moderated Reactor*")
- FBR - Brzi oplodni reaktor ("*Fast Breeder Reactor*") [7].

2.2. Tehnologija proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama

Kako bi elektrana započela sa proizvodnjom energije, većinom je potrebno samo zavrtjeti turbinu. Kako bi pretvorili vodu u paru i koristili tu paru za okretanje turbine, ugljen, nafta, te prirodni plin kao i nuklearna energija koriste svoje gorivo. Nuklearne elektrane ne izgaraju ništa kako bi stvorile paru. One, umjesto toga, procesom fisije atome urana razdvajaju. Rezultatom toga, nuklearne elektrane u svom procesu ne oslobađaju ugljik te tvari koje zagađuju okoliš i zrak kao što su sumpor i dušik. Nuklearni reaktori su osmišljeni te konstruirani kako bi nesmetano održali kontinuiranu lančanu reakciju fisije; pune se čvrstim uranovim gorivom i okruženi su vodom, što olakšava kompletan proces. Prilikom početka djelovanja reaktora, atomi urana se razdvajaju te time oslobađaju toplinu i neutrone. Oslobođeni neutroni zatim pogađaju druge atome urana te uzrokuju njihovo razdvajanje i nastavak procesa. Time stvaraju više neutrona i topline. Nastala toplina koristi se za stvaranje pare za okretanje turbine koja svojim radom pokreće generator za proizvodnju električne energije. Nuklearna je energija zajedno sa energijom uranija učinkovita i čista metoda za proizvodnju pare

koja na taj način pokreće generatore turbina. Ako izuzmemo način rada reaktora, kao i velika većina elektrana i nuklearna elektrana radi na ugljen ili plin [8].

2.3. Utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš

Ljudske aktivnosti u ovom suvremenom i civiliziranom društvu imaju velik utjecaj na okoliš. Razne djelatnosti poput industrija, građevina, transporta, turizma, poljoprivrede, telekomunikacija pa i energetike. Nepovoljan utjecaj na okoliš imaju sve vrste elektrana, čak i one na obnovljive izvore energije kao i čitava njihova infrastruktura elektroenergetskog sustava kao što je prijenos električne energije te rad transformatorskih stanica.

Kako bismo dobili detaljan uvid, potrebno je kvantitativno izraziti njihov utjecaj na okoliš i društvo. Omogućeno je kvantificiranje uvođenjem pojma eksternih, odnosno, vanjskih troškova objekata elektroenergetike, kao i pripadajuće elektroenergetske infrastrukture i transporta. Provodi se analiza cjelokupnog procesa dobivanja energije. U obzir se uzimaju iskop i transport goriva, gradnja i pogon elektrane te skladištenje otpada.

2.3.1. Utjecaj emisije CO₂

Emisija CO₂ i njegov utjecaj na okoliš, kao jedan od oblika eksternog troška elektrane koja ga proizvodi, nepouzdan je podatak jer se radi o šteti na globalnoj razini uzrokovanoj tom emisijom. Nažalost, točan utjecaj ugljičnog dioksida na atmosferu, pa samim time i na globalno zatopljenje i klimatske promjene nisu sigurni. No, prema podacima koje prikazuje Hrvatska nuklearna elektrana Krško smatra se kako nuklearne elektrane ne ispuštaju u atmosferu CO₂ i time ne doprinose globalnom učinku staklenika. Isto tako, prema izračunima, nuklearna energija u Europi uštedi najmanje 800 milijuna tona CO₂ [9].

2.3.2. Radioaktivni otpad

Nuklearni otpad smatra se kontroverznim. Mnogi ga smatraju vrlo opasnim, te najmanje "prihvatljivom" vrstom otpada. Prema autoru Kamps, struja je tek prolazni nusprodukt iz atomskih reaktora, stvarni proizvod je smrtonosan radioaktivni otpad [10]. Nuklearni otpad nije jedinstvena kategorija. U nuklearnim reaktorima proizvode se različite vrste radioaktivnih proizvoda u raznim koracima proizvodnje nuklearne energije. Među najštetnijim otpadima smatra se istrošeno ozračeno gorivo proizvedeno u svim operativnim nuklearnim reaktorima. Takvo gorivo sadrži sve proizvode radioaktivne fisije koji nastaju kada se jezgra urana ili plutonija raspadne kako bi se proizvela energija, kao i oni radioaktivni elementi uključujući plutonij, koji nastaje kada se uran pretvara u teže elemente nakon apsorpcije neutrona i naknadnih radioaktivnih raspada [11].

Radioaktivni otpad odlaže se na različite načine. Kategorija otpada klasificirana kao nisko i srednje radioaktivno se odlaže na površinu tla, ponekad tunelski ili u napuštene rudnike. Ako je riječ o površinskom odlaganju, tada se otpad odlaže u metalne posude koje se potom spremaju u armirano-betonski kontejner te se polaže na armirano-betonsku podlogu koja ima sustav za odvodnju procjednih voda. Kako bi se spriječio prodor oborinskih voda u njih, kontejneri se oblažu sa par slojeva armirano-betonskih zidova te se prekrivaju sa par slojeva prirodnih materijala. Cilj je postizanje dobre hidroizolacije. Tunelski otpad se odlaže u horizontalne tunele koji su izbušeni u slojevima granita. Ista je procedura kao i prethodno, odlažu se u metalnu posudu s armirano-betonskim oblogama te se zalijeva betonom nakon što se tunel popuni [12].

Visoko radioaktivni otpad se mora prije odlaganja hladiti u zasebnim postrojenjima bazena. Navedeno se odvija ispod površine vode i takvim se mokrim skladištenjem postiže hlađenje goriva u razdoblju od 5 do 10 godina. Obično se takvo skladištenje provodi u samoj bližoj okolini nuklearne elektrane koja je proizvela otpad. Potom se ohlađeno i iskorišteno nuklearno gorivo odlaže u dubokim geološkim formacijama. Kako bi se takvo gorivo konačno odložilo ono mora zadovoljiti sve zakonske i regulacijske zahtjeve koji su propisani za razdoblje od 10000 godina. Najveću ulogu u tome ima stabilnost geoloških formacija stoga se često koristi granit, glina, bazalt te solne formacije čija je dugotrajna stabilnost preko milijun godina [12].

Danas se smatra kao srednje i nisko radioaktivni otpad zapravo predstavljaju problem za skladištenje, stoga je takav otpad danas saniran na relativno zadovoljavajući način. Visoko radioaktivni otpad i njegovo skladištenje su još uvijek u procesu istraživanja i razvoja. Za njegovo odlaganje predstavlja problem pronalazak dovoljnog broja stabilnih geoloških formacija [12].

Također, za odlaganje je zbog velike količine problem i dekomisijski otpad nuklearnih elektrana. Prema definiciji, dekomisija ili razgradnja nuklearne elektrane skup je mjera, aktivnosti i postupaka koje se provode nakon trajnog stopiranja rada reaktora te mu je cilj da se smanji radioaktivnost na najmanju moguću mjeru. Također, cilj je da se lokacija nuklearne elektrane osposobi za daljnje korištenje. Postoje tri segmenta glavna za dekomisiju nuklearnih elektrana, a to su:

- dekontaminacija,
- čuvanje,
- te postupak imobilizacije na lokaciji [12].

Dekontaminacija i brza razgradnja su prvi postupak (eng. *decontamination*) koji traje oko 15 godina, 30 do 100 godina traje postupak čuvanja i odgođene razgradnje (eng. *safe storage*), te zadnji postupak imobilizacije na lokaciji (eng. *entombment*) može trajati 100 i više godina [12].

3. OPĆE MJERE NUKLEARNIH ELEKTRANA ZA ZAŠTITU OD POŽARA

U ovom poglavlju ukratko su opisane i pojašnjene opće mjere zaštite od požara u nuklearnim elektranama.

3.1. Opće građevinske mjere zaštite od požara

Prema pravilniku o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja doneseno je nekoliko odredbi kojih se sva elektroenergetska postrojenja moraju pridržavati. Definicija pravilnika za otpornost na požar, odnosno, vatrootpornost, ističe kako je važno svojstvo konstrukcije, njegovog najsitnijeg elementa, a ne materijala, da sačuva svoju nosivost za vrijeme izloženosti požaru te time spriječi prodor toplinskog zračenja i plamena. Navedeno se utvrđuje u vremenskom trajanju od 15 do 240 minuta tijekom kojeg konstrukcija mora zadovoljiti propisane značajke. Dakle, kako bi se toplinski zaštitila građevina, u nju se moraju ugrađivati samo negorivi materijali, odnosno, materijali anorganskog porijekla ili teško gorivi materijali [13].

Požarno širenje kroz kabelaške rovove i kanale se mora spriječiti vatrootpornim brtvljenjem čija je otpornost na požar minimalno 60 minuta. Ono se mora obaviti pri ulasku i izlasku kabelaških kanala iz građevine, kao i između požarnih sektora. Stupanj otpornosti vatrootpornog brtvljenja se može postići uporabom pijeska ili nekog drugog negorivog materijala, čija dužina ne smije biti manja od jednog metra. Kabeli moraju biti premazani vatrootpornim premazima [13].

U skladu s propisima i normama moraju biti i svi evakuacijski putovi i prolazi kao i značajni prostori i trase podzemnih kanala ili važnih instalacija i uređaja. Potrebno je konstruirati prilikom gradnje najmanje jedan pristupni put za vatrogasna vozila u svim elektroenergetskim prostorima. Svi evakuacijski prostori za spašavanje ljudi, u slučaju eksplozije ili požara, moraju biti što sigurniji i kraći, te moraju biti propisno označeni jasnim i svjetlećim oznakama. Niti jedno mjesto u postrojenju ne smije biti udaljeno više od 20 metara od izlaza na sigurno [13].

Isto tako, vrlo je važan smještaj elektroenergetskih objekata sa postrojenjima visokih napona kako bi se spriječio požar na okolne zgrade izvan objekta:

1. u posebne zgrade koje služe isključivo za njihov smještaj,
2. u zgradi koja služi i za druge namjene,
3. na otvorenom prostoru [13].

U slučaju da se elektroenergetsko postrojenje postavlja u zgradu čija je svrha isključivo smještaj elektroenergetskog postrojenja, tada se mora odrediti položaj i smještaj podložnih uređaja tako da se širenje požara onemogući na susjedne zgrade pripadajućeg elektroenergetskog objekta. Ukoliko se elektroenergetsko postrojenje postavlja u građevine koje služe i za neke druge namjene, tada se dijelovi postrojenja koji su podložni požaru, primjerice ako sadrže ulje, smještaju u posebne požarne sektore čiji su podovi, zidovi i stropovi otporni na požar u trajanju od najmanje 90 minuta. Ukoliko se elektroenergetsko postrojenje visokog napona postavlja na otvoreni prostor, tada prigušnice i transformatori moraju biti udaljeni prema tablici 1.

Tab.1. Udaljenost transformatora prema nazivnoj snazi od drugih građevina [13].

| Transformatori nazivne snage (MVA) | Najmanja udaljenost (m) |
|---|--------------------------------|
| Iznad 1 do 10 | 3 |
| Iznad 10 do 40 | 5 |
| Iznad 40 do 200 | 10 |
| Iznad 200 | 15 |

3.2. Mjere zaštite od nastanka i širenja požara

Kako bi se smanjila opasnost od nastanka požara u elektroenergetskim postrojenjima nekoliko uvjeta mora biti zadovoljeno:

1. Energetski transformatori, električni rotacijski strojevi kao i drugi električni uređaji moraju biti zaštićeni od dozemnih i kratkih spojeva, nedopuštenih opterećenja i opasnih prenapona.

2. Bez ulja ili sa vrlo malom količinom ulja moraju biti svi električni rasklopni aparati.
3. Pravilno se moraju održavati i rabiti svi uređaji [13].

Osim navedenog, moraju se zadovoljiti i slijedeće mjere zaštite s obzirom na vrstu elektroenergetskog postrojenja:

1. Lokacija elektroenergetskog objekta i razmještaj postrojenja mora biti pogodna.
2. Oprema koja može izazvati požar se mora prikladno grupirati u požarne sektore.
3. Potrebno je donijeti mjere za brzo odvođenje ulja.
4. Potrebno je donijeti mjere za pouzdano i pravovremeno otkrivanje nastalog požara kao i prenošenje informacije u nadzorni centar.
5. Odgovarajući uređaji za gašenje moraju biti postavljeni na mjestima ugroženim požarom.
6. Potrebno je osigurati potrebnu količinu vode za gašenje nastalog požara.
7. Potrebno je donijeti mjere organizacije u slučaju požara [13].

Potrebno je ugraditi signalne, energetske i upravljačke vodiče sa PVC izolacijom u razvodne ormare ukoliko je to moguće s njihove donje strane, a smještaj i konstrukcija upravljačkih ormarića mora onemogućiti širenje požara između ormara. Nužno je održavati tlo ispod električnih uređaja i opreme na otvorenom prostoru kako bi se izbjegla mogućnost zapaljenja raslinja te time i prijenos požara [13].

4. SIGURNOSNI SUSTAVI ZA ZAŠTITU OD POŽARA PREMA MEĐUNARODNIM ORGANIZACIJAMA

U svijetu postoje dvije glavne međunarodne organizacije za nuklearnu energiju među kojima je NEA (*Nuclear Energy Agency*) te IAEA (*International Atomic Energy Agency*). Obje organizacije imaju brojne članice, od kojih su neke pripadnice obiju agencija. U ovom odlomku prikazani su sigurnosni sustavi obiju agencija povezani sa zaštitom od požara.

4.1. Sigurnosni sustavi za zaštitu od požara međunarodne organizacije NEA

Međunarodna organizacija NEA trenutno surađuje sa 34 države članice. Među kojima su Sjedinjene Američke Države, Rusija, Mađarska, Koreja, Slovenija, Švicarska i brojne druge. Odbor za sigurnost nuklearnih postrojenja (*The Committee on the Safety of the Nuclear Installations* - CSNI) je odgovoran za programe i aktivnosti Agencije za nuklearnu energiju (*Nuclear Energy Agency* – NEA) te podupire održavanje i unaprjeđenje znanstveno – tehničke baze znanja o sigurnosti nuklearnih postrojenja. Odbor predstavlja forum za razmjenu tehničkih informacija i za suradnju između organizacija, koje mogu doprinijeti njegovim aktivnostima iz svog iskustva iz područja istraživanja, razvoja i inženjerstva. Njihov rad podržava razmjenu informacija između zemalja članica i sigurnosnih istraživačkih i razvojnih programa različitih veličina kako bi se sve zemlje članice uključile i bile u toku s razvojem u pitanju tehničke sigurnosti. Odbor je prvenstveno usredotočen na sigurnosne aspekte postojećih energetske reaktora, drugih nuklearnih postrojenja i novih energetske reaktora; također razmatra sigurnosne implikacije znanstvenog i tehničkog razvoja budućih tehnologija i dizajna reaktora [14].

Poznato je da je požar velika opasnost koja pridonosi operativnom riziku nuklearnih postrojenja i podzemnih rudnika za odlaganje otpada. Odbor je 2015. donio regulativu koje se pridržavaju sve članice. U regulativi kao mjere za zaštitu od požara stoji slijedeće:

- prevencija požara postiže se minimiziranjem požarnih opterećenja odgovarajućim projektiranjem i izborom materijala, te dobrim održavanjem sustava kako bi se minimalizirala prolazna požarna opterećenja i izvori vatre,
- rano otkrivanje i gašenje novonastalih požara kako bi se šteta ograničila i spriječila, tomu služe sustavi za otkrivanje i suzbijanje požara,
- spriječiti širenje požara (ukoliko je moguće požar lako ugasiti) kako bi se smanjili učinci požara na ključne sustave i komponente. Navedeno se može postići pasivnim mjerama zaštite od požara koje služe u svrhu sprječavanja širenja požara i minimiziranje njegova utjecaja. Moguće je uspostaviti protupožarne odjeljke uz pomoć vatrootpornih zidova, stropova, vrata, prozora, izolacija i slično [14].

4.1.1. Strategije upravljanja protupožarnom sigurnošću

Politika i procedura:

- Postupci za hitne slučajeve jasno definiraju odgovornosti i radnje odgovornih u reagiranju na požar, dajući pritom jasne upute za utvrđivanje uloge pojedinog osoblja koje su odgovorne za cijele procese te surađuju sa vatrogasnim timovima i vanjskim hitnim službama.
- Obvezno je jednom godišnje obaviti pregled zaštite od požara svih podzemnih strojeva/vozila. Ispitivanje obavlja stručno educirano osoblje. Svi djelatnici elektrana moraju proći obuku pripravnosti za hitne slučajeve te se moraju redovito provoditi prakse kroz vatrogasne vježbe.
- Potrebno je redovito održavati unutrašnjost "kućanskog" dijela nuklearnih elektrana kako bi se osigurale minimalne količine zapaljivog materijala i potencijalnih izvora vatre.
- Program osiguranja kvalitete s jasnom politikom i kriterijima zaštite od požara trebao bi osigurati pravilno održavanje sustava zaštite od požara. Uz ovakav program osiguravanja kvalitete te dostupnih baza podataka za snimanje svih požara i drugih operativnih događaja mogao bi biti koristan u praćenju i pružanju podataka za utvrđivanje uzroka nesreće. Time informacije o operativnoj opremi, njezinoj operativnoj povijesti i evidenciji njezina pregleda, ispitivanje i popravaka može biti od pomoći za sprječavanje sličnih nezgoda [15].

Inženjerski dizajn i plan gradnje:

- Načini izgradnje i građevinski materijalni podzemnih odlagališta mogu uvelike utjecati na prevenciju i zaštitu od požara. Primjerice, modernizacija rudarske industrije u mnogim je zemljama minimizirala drvene strukture podzemnih objekata kako bi smanjili opasnost od požara. Kada god je to moguće, zgrada treba koristiti nezapaljive materijale u izgradnji npr. stepenica, okna transportne trake i slično, kako bi se smanjila opasnost od požara. Materijale koji se mogu raspadati u opasne radioaktivne tvari treba izbjegavati jer su štetni po zdravlje i mogu eksplodirati u podzemnim konstrukcijama.
- Električne instalacije mogu dovesti do velikih oštećenja sustava u slučaju požara, odnosno, njihov položaj kao i materijal električne opreme mora se pažljivo odabrati. Kada god je to moguće, treba koristiti samo vatrostalni materijal, električne kabele treba instalirati u nevodljivom okruženju daleko od zapaljivih materijala i/ili goriva, a prednost treba dati najvišoj kategoriji zaštite od požara (npr. kabele s aluminijskim trakama umjesto PEX ili PVC izoliranih kabela). Električni kabele i žice potrebni za upravljanje ventilacijskim sustavom i za spašavanje opreme moraju biti instalirani na takav način da dođe do oštećenja u slučaju vatre.
- Eksplozivima, koji se koriste u izgradnji iskopina za izgradnju odlagališta, mora se rukovati i postupati s posebnom pažnjom. Ne smije biti otvorenog plamena na mjestima gdje rukuje eksplozivima i detonatorima. Sve radove treba obavljati na sigurnoj udaljenosti od bilo kojeg mjesta skladištenja/uporabe eksploziva. Također je važna kontrola prašine nastale prilikom izgradnje jer eksplozije mogu potaknuti guste oblake prašine koji se mogu zapaliti ako se postigne određena koncentracija u zraku. Važne su mjere opreza kao što je često čišćenje kako bi se spriječilo nakupljanje prašine, ograničavanje sadržaja kisika u zatvorenim prostorima, te se pozornost treba posvetiti i na izvore rasvjete koji mogu doprinijeti eksploziji prašine.
- Protupožarni odjeljci, odvojeni protupožarnim vratima, minimiziraju širenje vatre/dima. Podzemna vrata moraju biti izrađena od vatrootpornog materijala, moraju biti samozatvarajuća, te se moraju moći dobro učvrstiti u otvorenom položaju. Kako tlak zraka raste u požaru, posebno je važno osigurati hermetičke

brtve vatrogasnih vrata te ih održavati cijelo vrijeme. Redoviti nadzor, uzorkovanje zraka i održavanje sustava ključni su u zaštiti rada.

- U projektu, odnosno, planu gradnje treba razmotriti alternativne mogućnosti bijega. To se može ostvariti kreiranjem alternativnih putova za evakuaciju, odnosno, bijeg, kroz spasilačke komore ili skloništa u područjima koja je teško evakuirati u kratkom vremenskom razdoblju. Putevi za evakuaciju trebaju izravno voditi radnike na otvoreno ili na neko drugo sigurno područje. U slučajevima kada se dizala koriste u svrhu spašavanja, treba osigurati njegovo napajanje koje nije povezano s ostalim.
- Ventilacijski sustavi su također posebno važni za sprječavanje širenja štetnih para. Dizajn ventilacijskog sustava mora osigurati da ventilacijski zrak bude osiguran u dovoljnom volumenu, brzini i kvaliteti za uklanjanje štetnih zagađivača. Prilikom projektiranja ventilacijskog sustava, mjesto osjetljivih instalacija kao primjerice radionice, spremnici goriva i skladišta, moraju se pažljivo planirati kako bi se osigurala dovoljne količine svježeg zraka. Kao i kod protupožarnih vrata, sustav ventilacije mora biti redovito testiran kako bi se osigurao njegov nesmetan i siguran rad za uklanjanje para prilikom požara.
- Sustavi za dojavu požara i sustavi za gašenje požara moraju biti instalirani u područjima gdje postoji velika opasnost od požara. Odabir i pozicioniranje monitora/detektora treba biti temeljeno na procjeni opasnosti od požara te specifične analize za svaki objekt i okoliš [15].

Obuka za osoblje:

- Osoblje nuklearnih postrojenja koje se bavi zaštitom od požara trebalo bi uspostaviti učinkovitu koordinaciju s radom postrojenja i gašenju požara pravilnom obukom i kvalifikacijom. Periodične vatrogasne vježbe osiguravaju osoblju da bude svjesno svojih neposrednih odluka, radnji i odgovornosti u slučaju požara. Evidencija i dokumentaciju o obuci smanjuje ponavljanje prethodnih pogrešaka. Naglasak je na savjesnosti pojedinca i shvaćanju njegova doprinosa i ozbiljnom preuzimanju odgovornosti. Također je zapaženo kako kontinuirana edukacija i ispitivanja potiču poboljšanje kvalitete obavljanja njihova zadatka te time doprinose sprječavanju ponavljanja nesreće.
- Potrebno je imenovati koordinatora za hitne slučajeve čija je glavna odgovornost usmjeravati lokalno stanovništvo i spasilačke službe u hitnim

slučajevima. Takvo osoblje mora biti upućeno u korištenje, kontrolu i održavanje opreme za hitne slučajeve, osnovnu prvu pomoć, tehnike spašavanja i druga sigurnosna pitanja [15].

4.1.2. Analiza opasnosti od požara

Sveobuhvatna analiza opasnosti od požara kojom se utvrđuju posljedice potencijalnog požara, omogućava da se sustavi i značajke zaštite od požara pravilno projektiraju. Tipične analize opasnosti od požara za nuklearne elektrane ili industrijska postrojenja uključuju slijedeće:

- Procjenu fizičkog izgleda objekta: objekt se često dijeli na vatrogasne ćelije, odnosno, vatrogasne odjeljke kako bi se ilustrirala posebna oprema.
- Procjenu sigurnosnih sustava i opreme, odnosno njihovu identifikaciju i mjesto. Vezano uz sigurnosno gašenje: popis gorivih materijala, uključujući maksimalno gorive materije, potencijalni izvor paljenja, proračun razvoja požara, vjerojatnost njegova trajanja i slično. Zatim unutar svakog vatrogasnog odjeljka, odnosno, ćelije: opis opreme za zaštitu od požara, uključujući sustave za detekciju, ručne/automatske sustave za gašenje požara u svakoj požarnoj ćeliji, uzimajući pri tom u obzir karakteristike objekta koje utječu na rast požara, kao što je primjerice ventilacijski sustav, protok zraka, sustav za otkrivanje požara, gašenje i slično.
- Analizu skladišta ozračenog materijala [15].

4.2. Sigurnosni sustavi za zaštitu od požara međunarodne organizacije IAEA

Prema Međunarodnoj agenciji za nuklearnu energiju (IAEA) sustavi sigurnosti su na prvom mjestu kada je riječ o prevenciji požara i eksplozija unutar nuklearnih elektrana. Godine 2021. donijeli su nove smjernice koje primjenjuju na sve svoje članice, njih 173, među kojima je od 1993. godine i Republika Hrvatska, te susjedne države kao što su Bosna i Hercegovina, Mađarska i druge države. Najveće i najznačajnija članica su Sjedinjene Američke Države od 1957. godine [16].

IAEA napominje kako nuklearne elektrane kao dio svoj sastavni dio sadrže niz zapaljivih materijala, opreme, tekućina, kablova i raznih predmeta u skladištu. Može se pretpostaviti da se požar može dogoditi u bilo kojem području postrojenja gdje se nalaze zapaljivi materijali. Ondje gdje nije izvedivo eliminirati te materijale, projektne mjere za sprječavanje požara treba primijeniti na sva trajna i prolazna (privremena) požarna opterećenja. Takve mjere uključuju minimiziranje trajnih požarnih opterećenja, sprječavanje nakupljanja istih i kontrolu ili (po mogućnosti) uklanjanje izvora paljenja. Osmišljavanje mjera zaštite od požara trebalo bi započeti u ranim fazama u procesu dizajniranja nuklearnih elektrana. Sve mjere nužno je provesti prije nego što nuklearno gorivo stigne u elektrane [16].

4.2.1. Minimiziranje požarnog opterećenja

Kako bi se što je više moguće smanjilo požarno opterećenje, čime se minimizira opasnost od požara, u projektiranju postrojenja treba uzeti u obzir sljedeće aspekte:

- Upotrebu nezapaljivih građevinskih materijala (primjerice konstrukcijskih materijala, obloge, premaza, podnih materijala).
- Korištenje nezapaljivih filtera zraka i okvira filtera, koliko god je to izvedivo.
- Upotrebu zaštićenih cijevi ili korištenje dvocijevnog dizajna za uljne vodove.
- Korištenje hidrauličnih upravljačkih tekućina niske zapaljivosti za kontrolu sustava parnih turbina i druge opreme.
- Odabir suhih transformatora, koliko god je to izvedivo.
- Upotrebu nezapaljivih materijala u električnoj opremi, kao što su sklopke i prekidači, te u upravljačkim i instrumentacijskim ormarima i korištenje nekoroziivnih kabela ili kabela prikladnih kvalifikacija.
- Upotrebu nezapaljivih materijala za skele i staze.
- Odvajanje i pregrađivanje požarno opterećenih prostorija, koliko god je to izvedivo, kako bi se smanjilo širenje požara [16].

Potrebno je poduzeti mjere opreza kako bi se spriječili toplinski izolacijski materijali od upijanja zapaljive tekućine (primjerice ulje). Važno je provesti projektne mjere kako bi se osiguralo pravilno skladištenje privremenog zapaljivog materijala koji nastaje tijekom rada. Trebalo bi minimizirati dozvole za skladištenje zapaljivih tekućina i

plinova unutar zgrade postrojenja. Skladišni prostori za rastuće zalihe bilo kojeg zapaljivog materijala trebaju biti smješteni u područjima ili zgradama koje ne sadrže stvari važne za sigurnost. Trebali bi biti osigurani prikladni vatrootporni ormari za pohranu i smještaj malih količina zapaljivih tekućina ili plinova potrebnih za održavanje rada postrojenja. Sustavi koji sadrže zapaljive tekućine ili plinove trebali bi biti projektirani tako da se spriječi njihovo curenje. Treba ih zaštititi od učinaka degradacije (korozija) ili destruktivnih učinaka (vibracija), te ih treba redovito provjeravati i održavati u dobrom stanju [16].

4.2.2. Minimiziranje zapaljivih izvora

Prilikom projektiranja nuklearnih elektrana, broj zapaljivih izvora treba biti minimiziran na što manju moguću mjeru. Sustavi koji sadrže zapaljive tekućine pod povećanjem tlaka i ulje za podmazivanje, trebaju biti opremljeni štitnicima od prskanja koliko god je to moguće. Oprema koja se koristi treba biti ispravno deklarirana u skladu sa opasnostima koje sa sobom nosi. Potencijalni zapaljivi izvori koji proizlaze iz postrojenja i opreme trebaju biti redovito kontrolirani. Koliko god je to izvedivo, svi sustavi i oprema trebaju imati siguran dizajn tako da ne postoji zapaljivi izvor. Gdje to nije izvedivo, onda takve sustave i opremu treba odvojiti od zapaljivih materijala, ili ih izolirati i zatvoriti. Oprema za točenje zapaljivih tekućina ili plinova treba biti pravilno uzemljena. Vruće cijevi u blizini zapaljivih materijala koje se ne mogu premjestiti na drugo mjesto treba zaštititi i/ili izolirati. Kabele treba polagati na posebne podloge ili u postavljene vodove, ili ih stavljati u druge prihvatljive strukture izrađene od nezapaljivih materijala od kojih se često koristi čelik. Udaljenost između energetskih kabela ili nosača kabela treba biti dovoljna da spriječi zagrijavanje kabela do neprihvatljivo visokih temperatura. Sustav električne zaštite treba biti projektiran tako da se kabeli ne pregrijavaju pod normalnim opterećenjima ili u prolaznim uvjetima kada dolazi do kratkog spoja [16].

4.2.3. Raspored prostorija postrojenja

Raspored zgrada, opreme, ventilacijskih sustava postrojenja treba biti dizajniran tako da u slučaju požara spriječi njegovo širenje i osigura siguran evakuacijski put. Nuklearna elektrana mora imati dovoljan broj evakuacijskih putova koji su jasno i trajno označeni s pouzdanom rasvjetom u hitnim slučajevima, ventilacijom i drugih važnih stavki za sigurnu upotrebu. Također, trebaju biti osigurani prikladni pristupni putovi za vatrogasne timove. Korištenje zapaljivih materijala, kao što su primjerice rasvjeta, boje i premazi) na evakuacijskim i pristupnim putovima treba biti ograničeno, koliko je to izvedivo. Raspored zgrada treba urediti tako da spriječi širenje vatre i dima iz susjednih požarnih odjeljaka ili vatrogasnih odjeljaka [16].

4.2.4. Ventilacijski sustavi

Ventilacijski sustavi ne bi trebali ugroziti odjeljak zgrade, niti ugroziti dostupnost podjela sigurnosnih sustava. Svaki vatrogasni odjeljak sadrži podjelu sigurnosnog sustava te treba imati ventilacijski sustav projektiran tako da ako izbije požar u jednom sigurnosnom odjeljku on neće širiti efekte požara kroz ventilaciju u drugi odjeljak. Dijelovi ventilacijskog sustava, primjerice kanali i ventilator sobe, koje se nalaze u susjednom vatrogasnom odjeljku trebaju imati istu razinu otpornosti na vatru kao i odjeljak prije, te ih treba izolirati protupožarnim vratima odgovarajućeg stupnja. Dakle, ako ventilacijski sustav opslužuje više od jednog protupožarnog odjeljka, treba konstruirati osiguranje kako bi se održala razdvojenost ta dva odjeljka. U svakom odjeljku treba osigurati sredstva kako bi se spriječilo širenje vatre, topline ili dima [16].

Vatra u filteru ventilacijskog sustava može dovesti do radioaktivnog oslobađanja te je potrebno osigurati zaštitu spremnika s filterom koji sadrži drveni ugljen. Takve mjere moraju sadržavati slijedeće:

- Postavljanje odgovarajućeg filtera u odjeljke.
- Praćenje temperature zraka i automatsku izolaciju protoka zraka.
- Osiguravanje automatske zaštite pomoću prskalice s vodom za hlađenje.
- Osiguravanje prikladnog sustava za gašenje unutar filtarske posude. U ovom slučaju treba razmotriti brzinu protoka vode. Ako je preniska reakcija između

gorenja drvenog ugljena na visokoj temperaturi i vode, ono može rezultirati proizvodnjom vodika, što bi moglo izazvati još jedan požar ili eksploziju. Stoga, kako bi se to spriječilo, treba koristiti visoku brzinu protoka vode [16].

Ventilacijski usisnici za dovod svježeg zraka trebaju biti smješteni u požarne odjeljke na sigurnoj udaljenosti od odvoda za ispušni zrak i otvora za dim u tolikoj mjeri da se spriječi ulazak dima ili produkata izgaranja u druge odjeljke [16].

4.2.5. Požari i potencijalno ispuštanje radioaktivnih tvari

Opremu koja bi mogla ispustiti radioaktivne tvari u slučaju požara treba identificirati prilikom analiziranja opasnosti od požara. Takvu opremu treba smjestiti u zasebne protupožarne odjeljke u kojima su projektirana protupožarna opterećenja. Projektiranje takvih odjeljaka treba predvidjeti odvod topline i dima koji sadrže radioaktivne tvari. Iako odzračivanje može rezultirati oslobađanjem radioaktivnosti u vanjsko okruženje, može se spriječiti izravno ili poboljšanjem uvjeta za gašenje požara oslobađanje veće količine radioaktivnih tvari. U takvim situacijama, treba razlikovati dva slučaja:

- a) moguće ispuštanje radioaktivnih tvari u okoliš može biti znatno ispod regulatornih granica,
- b) količina radioaktivnog materijala u požarnom odjeljku mogla bi proizvesti radioaktivno ispuštanje iznad propisanih granica [16].

U svakom od ovih slučajeva, treba kreirati ventilaciju za izolaciju takvog materijala. Za održavanje radioaktivnosti potrebno je poduzeti projektne mjere za sprječavanje širenja radioaktivnog materijala [16].

4.2.6. Posebne prostorije unutar nuklearne elektrane i njihova zaštita od požara

Glavna kontrolna soba svake nuklearne elektrane općenito sadrži kontrolnu opremu različitih sigurnosnih sustava u neposrednoj blizini. Posebnu pažnju treba obratiti da se u takvim prostorijama, koliko je to izvedivo, koriste samo nezapaljivi materijali bilo da se radi o električnim ormarima, samoj strukturi prostorija, bilo kakvom fiksnom

namještaju, podovima i zidovima. Sigurnosna oprema bi trebala biti smještena u posebnim sigurnosnim ormarićima. Trebalo bi koristiti protupožarne barijere gdje god je to moguće. Glavna kontrolna soba i dodatna kontrolna soba moraju biti zaštićene od ulaska dima i plinova izgaranja, kao i od drugih izravnih i neizravnih učinaka požara i sustava za gašenje požara. Zaštita od požara dopunske kontrolne sobe trebala bi biti slična onoj iz glavne kontrolne sobe. Dodatna kontrolna soba bi trebala biti smještena u odvojenom vatrogasnom odjeljku. Sustav ventilacije dodatne kontrolne sobe ne bi trebao biti zajednički sa glavnom kontrolnom sobom [16].

Prostorija u kojoj se nalazi reaktor je odjel u kojem se nalaze glavni dijelovi nuklearne elektrane. On se nalazi u blizini kontrolne sobe jer se takve prostorije pod posebnom zaštitom moraju nalaziti jedna pored druge i trebaju biti zaštićene mjerama pasivne zaštite kao što je djelomični požar kućišta i sustavima zaštite od požara instalacijskih kabela. Motori pumpe za rashladnu tekućinu reaktora koji sadrže veliku količinu zapaljivih tvari kao što je ulje za podmazivanje, trebaju biti opremljeni sustavima za detekciju požara, sustavima za gašenje požara (obično pod ručnom kontrolom) i sustavima za prikupljanje ulja (posude za ulje). Takvi sustavi za prikupljanje ulja trebali bi biti sposobni sakupljati ulje i vodu sa svih mogućih točaka ispuštanja te ih odvoditi u kontejner ili drugo sigurno mjesto [16].

Zgrada gdje se nalazi turbina sadrži važne sigurnosne stvari za rad nuklearne elektrane. U njoj se nalaze zapaljivi materijali u mazivima, rashladnim i hidrauličkim sustavima parne turbine, kao i vodik unutar generatora. Stoga je u njima osim sustava za gašenje požara potrebno integrirati i odgovarajuće posude za prikupljanje ulja. Nadalje, korištenje zapaljivih ugljikovodika treba svesti na minimum. Ukoliko se koriste zapaljive tekućine, trebale bi se koristiti tekućine s visokim žarištem u skladu s operativnim potrebama [16].

4.2.7. Zaštita od eksplozija

Opasnosti od eksplozije treba eliminirati projektiranjem nuklearnih elektrana koliko god je to moguće. Prioritet treba dati projektnim mjerama koje sprječavaju ili ograničavaju nastanak eksplozivnih smjesa. Važno je identificirati potencijalnu opasnost od eksplozija [16].

Kemijske eksplozije (obično eksplozije plinskih mješavina), eksplozije izazvane izlaganjem pare požaru, ulja, eksplozije zbog kvara tlačne posude i kvara visokoenergetske opreme treba itekako uzeti u obzir kao i njihove posljedice za elektranu [16].

Prevenција eksplozija sastoji se od:

- Zapaljive plinove i tekućine, kao i zapaljive materijale koje mogu proizvesti ili doprinose eksplozivnim smjesama treba isključiti iz odjeljaka. Ukoliko ovo nije izvedivo, tada se količina takvog materijala treba strogo ograničiti. Također, reaktivne tvari, oksidirajuće tvari i zapaljive materijale treba odvojiti jedne od drugih.
- Posude koje sadrže zapaljive plinove trebaju biti sigurno pohranjene, te odvojene od glavnih zgrada postrojenja uz odgovarajuću zaštitu od lokalnih okolišnih opasnih uvjeta.
- Kako bi se spriječilo da eksplozija izazvana požarom zahvati predmete važne za sigurnost, treba razmotriti osiguravanje automatskih sustava za otkrivanje ispuštanja zapaljivog plina, kao i za izolaciju odvoda plina i gašenja požara.
- Treba postaviti posude za odvod vodika i njihove razdjelnike na dobro prozračenim vanjskim mjestima koja su odvojena od biljnih površina. Ukoliko se takva oprema mora postaviti u zatvorenom prostoru, ona bi trebala biti smještena na mjestu udaljenom od područja na kojima se nalaze važne sigurnosne stavke. Unutrašnje skladišne lokacije bi trebale biti opremljene ventilacijskim sustavom dizajniranim tako da osigura da se koncentracija vodika održava na sigurnoj razini ispod donje granice zapaljivosti u slučaju istjecanja plina. Također bi trebala biti prisutna oprema za detekciju i alarmiranje vodika [16].

Kako bi se ograničio i ublažio učinak eksplozije, treba ograničiti zapremninu eksplozivnih plinskih mješavina, osigurati opremu za rasterećenja tlaka i odzračivanje eksplozije. Gdje god postoji potencijalna opasnost od ispuštanja vodika u pogonima postrojenja, treba osigurati monitore vodika, odgovarajući ventilacijski sustav kao i kontrolirane sustave za izgaranje vodika. Svakako treba osigurati sigurne evakuacijske puteve za osoblje [16].

5. GAŠENJE POŽARA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Gašenje požara u nuklearnim elektranama niz je postupaka propisan pravilnicima i zakonima na razini države u kojoj se nalazi elektrana, te agencije u čijem je savezu. Postupak se sastoji od pravovremene detekcije, dojave požara, te cijelog procesa pristupa požaru i gašenju istog, kao što je opisano dalje u radu.

5.1. Sustavi za vatrodojavu

Građevine elektroenergetskog objekta napona od 110 kV i više, odnosno, pojedinačne nazivne snage transformatora 20 MVA i više, kao i građevine elektrana sa jačinom nazivne snage generatora od 10 MVA i veće, mora se osigurati sustav za rano otkrivanje požara i način prijenosa informacija o stanju sustava u centar za nadzor i upravljanje, prema propisima o sustavima za vatrodojavu. Posebno ako su ti elektroenergetski objekti bez posade. U prostorije u kojima se nalazi oprema kao i uređaji koji mogu izazvati požar, a neophodni su za siguran rad elektroenergetskog objekata kao što su sredjenaponsko postrojenje, transformatorski prostor, generatorski prostor i upravljački prostor, moraju posjedovati ugrađene uređaje za automatsko otkrivanje i javljanje požara [13].

Sustav za dojavu požara, odnosno vatrodojavu, skup je uređaja, opreme instalacija koji služi za pravovremeno otkrivanje požara i prosljeđivanje informacije o nastanku požara do mjesta odakle se započinje gašenje požara te upravljanje drugim sigurnosnim sustavima kao što su vatrootporne zaklopke, vrata, te stabilni sustavi za gašenje požara. Takav se sustav sastoji od automatskih ili ručnih javljača požara, dojavnih linija, centrale za vatrodojavu, izvora napajanja, uređaja za prijenos informacija, te uređaja za uzbunjivanje. Uređaj za prijenos informacija se prvenstveno koristi ukoliko se informacije o nastanku požara, zbog njegova gašenja, moraju prenijeti izvan mjesta na kojem je vatrodojavna centrala [13].

Svako nuklearno postrojenje mora imati sustave vatrodojave koji uključuju uređaje za detekciju vatre (detektori dima, detektori topline, uređaji za detekciju protoka tlaka), komunikacijske sustave, radio i razglasne sustave (zvučni i vizualni uređaji). Sustavi

za dojavu požara i glasovnu komunikaciju u hitnim slučajevima trebali bi uvijek biti u funkcionalnom operativnom stanju. Iste je potrebno često testirati i provjeravati njihovu funkcionalnost [17].

Općenito govoreći, sustav za analizu požarne sigurnosti i svi pravni i regulatorni zahtjevi, određuju opseg detekcije požara i suzbijanja istog u postrojenju, kao i standarde i protokole za njihovu pravilnu instalaciju, te održavanje i testiranje sustava sa svim njegovim komponentama. Detekcija požara mora biti osigurana u područjima za koja je utvrđeno da sadrže, ili predstavljaju opasnost od izlaganja požaru. Sustavi moraju imati sposobnost napajanja izvan elektrane. Ciljevi sustava za otkrivanje požara i vatrodojavu su:

- Područja koja sadrže opremu važnu za sigurnost moraju imati automatske detektore za oglašavanje u kontrolnoj sobi.
- Sustavi za detekciju požara i alarmni sustavi moraju biti u skladu sa zahtjevima i standardima države u kojoj se elektrana nalazi.
- Protupožarni alarmi postrojenja bi trebali imati različit zvuk od ostalih alarma.
- Potrebno je osigurati rezervno napajanje za sustav detekcije požara i sve regulacijske ventile na električni pogon za automatsko gašenje požara. To se može postići korištenjem električne energije izvan lokacije primarnog napajanja s baterijskim napajanjem kao sekundarnim napajanjem, i pružanjem mogućnosti za ručno paljenje priključka izvan elektrane.
- U područjima visoke seizmičke aktivnosti, postrojenja trebaju razmotriti potrebu za projektiranjem sustava za detekciju požara i alarmnih sustava koji mogu funkcionirati i u slučaju isključivanja za vrijeme potresa [17].

Procedura za vatrodojavu uključuje hitno obavještanje o izvanrednoj situaciji redom:

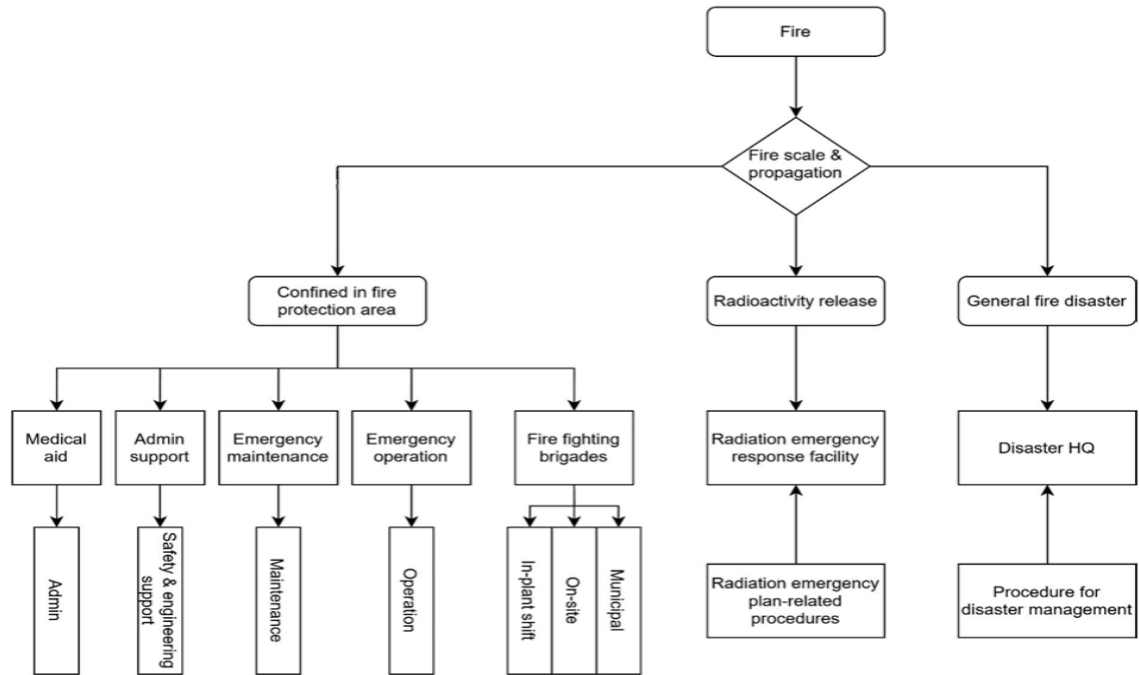
1. Ostalo osoblje na licu mjesta,
2. tim za hitne intervencije unutar nuklearne elektrane,
3. okolnu zajednicu,
4. vatrogasne timove izvan elektrane,
5. regulatorne agencije [17].

5.2. Pristupanje požaru u nuklearnim elektranama

Hitan odgovor na požar je dio strategije zaštite od požara i sadrži točno određen protokol. Odgovor na hitne slučajeve možemo definirati kao napor koji ulaže koordinirana skupina osoblja procjenu, kontrolu i ublažavanje opasnih događaja. Odgovor na hitne slučajeve može biti kompliciran te stoga zahtjeva posebnu obuku zaposlenika koja uključuje i upravljanje dostupnom opremom [17].

Prva reakcija na požar nakon vatrodojave mora biti aktivacija uređaja za gašenje požara. Pri aktiviranju stabilnog uređaja za gašenje požara mora se dati zvučni signal uzbune, koji ima pričuveni izvor napajanja za rad od najmanje 2 sata. Stabilni sustav za gašenje požara aktivira se, odnosno komande na glavni zaporni ventil se prenose, u pravilu, tako da se zahtjeva prethodno djelovanje osnovnih električnih zaštita električnog rotacijskog stroja ili energetskog transformatora (diferencijalna, nadstrujna, Bucholz i slično). Osim toga mora se razmagnetizirati i isključiti pogon električnog rotacijskog stroja (npr. isključenje dovoda vode pripadajuće vodne turbine odnosno dovoda pare pripadajuće parne turbine i slično) [13]. Mogućnost ručnog gašenja požara i hitnog odgovora u postrojenju nuklearnih elektrana je temeljni element zaštite od požara. Uvijek je potrebna ručna reakcija na požar kako bi se smanjio incident i osigurala sigurnost preživljavanja.

Učinkovito upravljanje incidentima zahtjeva zapovijedanje i kontrolu odgovornih osoba i opreme, kao i dokumentaciju koja podržava učinkovit odgovor. Djelotvoran odgovor na incident zahtjeva jasnu dvosmjernu komunikaciju s različitim odgovornim organizacijama, uključujući i osoblje postrojenja. Najčešće je riječ o radiokomunikaciji s odgovornim osobama [17]. Slika 2. prikazuje protokol hitnog odgovora na požar.



Sl. 2. Protokol za hitan odgovor na požar [17].

5.3. Sredstva za gašenje požara

Kako bi se ugasili početni požari nastali na uređajima i elektroenergetskim postrojenjima, moraju se postaviti vatrogasni aparati za gašenje požara. Sukladno propisima o održavanju i izboru vatrogasnih aparata određuje se vrsta i količina vatrogasnih aparata. Vatrogasni aparati sa plinskim sredstvom za gašenje ili prahom se mogu koristiti za gašenje početnih požara na visokonaponskim uređajima ili postrojenjima. Trajno postavljanje vatrogasnih aparata u postrojenje nije obvezno ukoliko se radi o elektroenergetskim postrojenjima koji sadrže do 1500kg ulja bez posade [13].

Za vrijeme obavljanja radova održavanja i popravaka u elektroenergetskim postrojenjima je potrebno imati dovoljan broj vatrogasnih aparata čiji se broj i sastav određuju na temelju propisa o održavanju i izboru vatrogasnih aparata. Suhi pijesak ili neki drugi prikladni neutralizator se može upotrijebiti za gašenje manjih požara na tlu (primjerice manjih količina zapaljivog razlivenog ulja, kabela i slično), uz ostale odgovarajuće sprave i sredstva. On se čuva na mjestima potencijalnog prolijevanja

zapaljivih tekućina u odgovarajućim posudama, zajedno sa pripadajućom lopatom [13].

Transformatorske stanice nazivnog napona 110 kV i višeg te elektrane nazivne snage 10 MVA i veće, moraju imati osigurane dovoljne količine vode za opskrbu vatrogasnih vozila za gašenje požara na elektroenergetskom objektu, postrojenju ili uređaju. Voda za gašenje požara može biti osigurana na jedan od načina:

- a) slijepim krakom hidrantske mreže na kojem se nalazi najmanje jedan nadzemni hidrant na ulazu u krug ili u krugu elektroenergetskog objekta, dovoljno udaljenom od visokonaponskog postrojenja, kapaciteta (količina i tlak raspoložive vode) prema propisima za vanjsku hidrantsku mrežu za gašenje požara koji su na snazi,
- b) spremnikom kapaciteta od 12 m³ vode s ugrađenim usisnim uređajem, koji osigurava gašenje požara s pjenom u trajanju od 30 minuta, uporabom dvije mlaznice za pjenu kapaciteta od 200 l/minuti [13].

Djelovanje vatrogasaca na elektroenergetskim postrojenjima je dopušteno jedino uz suradnju s osposobljenim djelatnicima za upravljanje i nadzor, odnosno, za vođenje ili/i održavanje elektroenergetskog postrojenja [13].

6. PRIMJER POŽARA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

U ovom poglavlju navedene su neke od značajnijih nuklearnih katastrofa uzrokovanih požarom u nuklearnim elektranama. Najnoviji požar dogodio se u najvećoj nuklearnoj elektrani u Europi, u elektrani Zaporožje u Ukrajini. Stoga ću se kratko osvrnuti na tijek događaja i priopćenje IAEA-e o samom događaju.

6.1. Nuklearna elektrana Sellafield

Požar u nuklearnoj elektrani Sellafield u pokrajini Cumberland u Velikoj Britaniji dogodio se 10. listopada 1957. godine. Bila je to najteža nesreća nuklearne energije Ujedinjenog Kraljevstva. Postrojenje Windscale sastojalo se od dva nuklearna reaktora hlađena plinom. Nesreća se dogodila kada je rutinsko zagrijavanje grafitnih kontrolnih blokova reaktora broj 1 izmaklo kontroli uzrokovavši pucanje susjednih uranskih uložaka. Tako oslobođeni uran počeo je oksidirati, oslobađajući radioaktivnost i izazivajući požar koji je gorio 16 sati prije nego je ugašen. Požar je ostavio oko 10 tona radioaktivnog goriva otopljenog u jezgri reaktora. Uzrokovao je također ispuštanje znatnih količina radioaktivnog joda u atmosferu. Kući je poslano 250 ljudi iz kemijskog postrojenja i procesnog postrojenja u blizini reaktora [18]. Radnicima na reaktoru Windscale rečeno je da ne izlazi van bez nekog opravdanog razloga. Osoblje je reagiralo na požar na način da je ubrizgalo vodu u reaktor kako bi smanjili temperaturu. Pozvani su radnici koji su zaduženi za zaštitu na radu, ceste do elektrane bile su zatvorene za promet, a vatrogasna su vozila stajala u blizini [19]. Kao posljedicu toga, vlada je zabranila nekoliko tjedana prodaju mlijeka proizvedenog na području do 500 četvornih kilometara. Britanska vlada je o tome objavila samo kratke detalje nesreće i općenito je nastojala umanjiti ozbiljnost događaja. Kontaminirani reaktor Windscale naknadno je zapečaćen do kasnih 1980-ih, kada je započelo njegovo čišćenje [18].

6.2. Nuklearna elektrana Griefswald

U prosincu 1975. godine u nuklearnoj elektrani Griefswald u Istočnoj Njemačkoj, došlo je do požara kabela u rezervnoj distribuciji električne energije kratkim spojem i neispravno postavljenom diodom. Nepredvidivo i slučajno, tijekom požara su uništeni neki upravljački i strujni kabeli. To je uzrokovalo kvar komponentni važnih za sigurnost. Uklanjanje raspadne topline u početku je postignuto prirodnom konvekcijom u primarnoj petlji, a na kraju uz pomoć pumpe za hitne slučajeve u sekundarnoj petlji, za koju je predviđeni kabel za napajanje instaliran uspješno nakon 8,5 sati. Ova ozbiljna nesreća uzrokovana je ljudskim neuspjehom i nedostatkom iskustva, nedostatkom prostornog odvajanja sigurnosnih sustava i nedovoljnom kontrolom kvalitete [20].

6.3. Nuklearna elektrana Vladimir Ilič Lenjin

Dana 26. travnja 1986. godine dogodila se Černobilska katastrofa. Ljudskom pogreškom uz kombinaciju nesigurnog dizajna sovjetskog nuklearnog reaktora dogodila se eksplozija koja je pri tom uništila jedan od ukupno četiri reaktora na Memorijalnoj elektrani Vladimir Ilič Lenjin. Nuklearna elektrana se sastojala od četiri reaktora tipa RBMK-1000. 1983. godine je u rad pušten posljednji, odnosno, četvrti reaktor. Uz pomoć procesa fisije, nuklearna elektrana u Černobilu je proizvodila energiju te je osiguravala struju milijunima ljudi. Mnogi su se ljudi morali evakuirati iz grada Pripjata nakon katastrofe, mnogi su oboljeli te ubrzo i umrli. Posljedice eksplozije odrazile su se na gospodarstvo čitave Ukrajine, ali i ostatka svijeta. Područje grada Pripjata i dalje je prazno. Černobilska nesreća smatra se najgorom nuklearnom nesrećom u povijesti. Prilikom eksplozije i izlaganju velikim količinama zračenja umrlo je mnogo radnika. No, najviše je umrlo vatrogasaca koji su radili na gašenju elektrane te bili najviše izloženi zračenju. Oblak stvoren eksplozijom širio se područjem Černobila, Pripjata, ali i Bjelorusije. Radioaktivnost je bila sto puta veća od radioaktivnosti bombe bačene na Hirošimu. Naime, sve je započelo kao sigurnosni test čija je svrha bila vidjeti što bi se dogodilo kada bi iznenada nestala struja. Prekid dotoka struje bi značio prekid svih radnji u sustavu koji uključuje i prekid rada kontrolnih šipki

te sustava za hlađenje. Nuklearne elektrane su posjedovale generatore koji bi stvarali električnu energiju u takvim slučajevima, no, cilj je bio utvrditi koliko će vremena proći od zaustavljanja turbine do pokretanja generatora. Svi u Sovjetskom Savezu su smatrali kako je ovakav test neophodan, te da ga je važno izvršiti prije puštanja reaktora u rad. Glavni problem je predstavljalo moguće pregrijavanje jezgre reaktora od nekontrolirane fisije što bi posljedično rezultiralo eksplozijom. U tom bi slučaju radioaktivni materijal otišao u čitavu atmosferu što bi rezultiralo velikim posljedicama kao što i jest [21]. Na slici 3. možemo vidjeti požar iz daljine na Černobilskoj nuklearnoj elektrani.



Sl. 3. Požar u Černobilskoj nuklearnoj elektrani [22].

6.4. Nuklearna elektrana Zaporožje

Rano ujutro u petak, 4. ožujka 2022. godine, Ruske snage su povodom Ruske invazije na Ukrajinu, granatirale nuklearnu elektranu Zaporožje koja se nalazi na jugoistočnom dijelu Ukrajine, te je najveća nuklearna elektrana u Europi. Naime, projektil je pogodio zgradu za obuku u blizini jedne od reaktorskih jedinica elektrane, uzrokovavši lokalizirani požar koji je kasnije ugašen. Značajnije su oštećeni laboratorijska zgrada te administrativni dio elektrane. Sigurnosni sustavi šest reaktora nisu bili pogođeni te nije došlo do ispuštanja radioaktivnog materijala. Blokovi 2 i 3 bili su podvrgnuti kontroliranom gašenju. Prema izjavi IAEA-e, prilikom požara su bile ozlijeđene dvije

osobe, no nije bilo smrtno stradalih. Ukrajinsko nuklearno regulatorno tijelo uspjelo je održavati komunikaciju s osobljem u nuklearnoj elektrani u kojoj trenutno rade dva od šest reaktora. Također, prema navodima IAEA-e, tehnički sigurnosni sustavi elektrane su ostali netaknuti, jedna telefonska linija je izgubljena, ali druga je funkcionalna kao i komunikacija putem mobitela. Bazeni za istrošeno gorivo ostali su netaknuti [23]. Nuklearna elektrana je nakon detaljnog pregleda i inspekcije nastavila sa svojim radom.



Sl. 4. Požar u nuklearnoj elektrani Zaporožja u Ukrajini [24].

7. ZAKLJUČAK

Nuklearna energija postala je neophodnom tijekom vremena zbog velike količine električne energije koju proizvodi te se pokazala isplativom. Nuklearne elektrane rasprostranjene su po cijelome svijetu, pa tako Azija ima najveći broj operativnih reaktora, dok ih zapadna Europa ima 99. Najkorišteniji reaktor u svijetu je PWR, odnosno, reaktor hlađen i moderiran običnom vodom pod tlakom ("*Pressurized Light Water-Moderated and Cooled Reactor*"). Cijeli proces proizvodnje nuklearne energije radi na principu procesa fisije u kojem se razdvajaju atomi urana. No, osim svojih prednosti, nuklearne elektrane imaju i svoje nedostatke. Jedan od njih je ispuštanje CO₂ kao i odlaganje nuklearnog otpada. Za odlaganje otpada postoje zakoni i protokoli kojih se moraju pridržavati sve elektrane, no sve veći problem predstavlja nedostatak geoloških formacija koje zadovoljavaju kriterije za njegovo odlaganje. Proces razgradnje nuklearnog otpada iznimno je dug, kao i proces dekontaminacije zemljišta na kojem se nalazila nuklearna elektrana.

Osim navedenog, nuklearne elektrane su svojom izgradnjom složene građevine koje prilikom izgradnje zahtijevaju posebne sustave zaštite svih prostorija, posebice kontrolnih soba i zgrada u kojima se nalaze reaktori. Zidovi moraju biti građeni od negorivog ili teško zapaljivog materijala, isto kao i premazi zidova. Svaki objekt elektroenergetskog postrojenja koji je podložan požaru mora biti zaštićen protupožarnim vratima, ne smije biti udaljen više od 20m od sigurnog prostora i jasno označenog evakuacijskog puta, te bi trebao imati odgovarajući aparat za gašenje, ventilacijski sustav, kao i uređaj za vatrodojavu. Posebni objekti unutar elektroenergetskog postrojenja koji sadrže gorive materijale poput ulja, prema pravilniku bi trebali imati odgovarajuće odvodne kanale za njegovu odvodnju na sigurno.

Sustavi za vatrodojavu moraju biti smješteni u svim prostorijama postrojenja, te mora biti jasno naznačen protokol određen prema važnosti obavještanja. Gašenje požara treba pristupiti odgovorno, te ono nikako nije preporučljivo ukoliko postrojenje ne sadržava odgovarajući aparat za gašenje. Isto je potrebno prepustiti vatrogascima koji su stručni u svomu poslu te poznaju odgovarajuća sredstva za gašenje ovisno o gorivom materijalu. U protivnom, neodgovorno i nesavjesno pristupanje gašenju požara može biti pogubno.

Agencije za nuklearnu energiju kao što su NEA i IAEA, donijele su niz sigurnosnih pravilnika i protokola kojih su se države članice dužne pridržavati zbog vlastite, a i globalne sigurnosti. No, unatoč tomu, nesreće u nuklearnim elektranama nisu rijetkost. One se događaju iz različitih razloga kao što je nepravilna i nepropisna gradnja, nepravilno rukovanje uređajima, ljudska pogreška zbog nemara ili neznanja čije je uzrok nedovoljno educiran kadar i slično. Činjenica je da se svaka pogreška u ovakvim postrojenjima skupo plaća. Navedeno smo mogli najbolje vidjeti na primjeru Černobilske nuklearne elektrane gdje je ljudskom pogreškom umrlo i nastradalo tisuće ljudi, čitav grad je bio evakuiran te su se posljedice osjećale, i osjete se još i danas diljem svijeta. Stoga svi zakoni, pravilnici i protokoli nisu doneseni bez razloga te ih se mora pridržavati u svakom pogledu. Požar kao jedna od opasnosti koje prijete ovakvim postrojenjima je razorno zlo koje može prouzročiti velike štete. Njegovo gašenje je izuzetno teško i po život opasno, ne samo zbog vatre nastale procesom gorenja, već i zbog potencijalnog ispuštanja radioaktivnog materijala. Stoga bi svaka nuklearna elektrana trebala imati stručan kadar zaposlenika koji se bave njezinom i sigurnošću svih zaposlenika. Svaki zaposlenik bi trebao biti upoznat sa svim protokolima sigurnosti i protokolima načina reagiranja i postupanja u slučaju požara, ali i drugih prijetnji sigurnosti nuklearnim elektranama.

8. LITERATURA

- [1] Hrvatska enciklopedija: Nuklearna energija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=44375>, pristupljeno 10.03.2022.
- [2] Josipović, I: „Nove tehnologije nuklearnih termoelektrana“, Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Osijek, (2017.), diplomski rad.
- [3] Knapp, V., Krejči, M., Lebegner: „Prvih pola stoljeća komercijalnih nuklearnih elektrana“, Journal of Energy: Energija, 55 (2006.), 6, 658-689.
- [4] Zakon o zaštiti od požara, NN 92/10
- [5] Kazarians M., Apostolakis G: „On the Fire Hazard in Nuclear Power Plants“, Nuclear Engineering and Design, 47 (1978.), 1, 157-168.
- [6] IAEA: The Database of Nuclear Power Reactors, [PRIS - Home \(iaea.org\)](https://www.iaea.org/pris), pristupljeno 11.03.2022.
- [7] IAEA: Operational and Long-Term Shutdown Reactors, [PRIS - Reactor status reports - Operational & Long-Term Shutdown - By Type \(iaea.org\)](https://www.iaea.org/pris/reports-operational-long-term-shutdown-by-type), pristupljeno: 11.03.2022.
- [8] UNICEF: Nuklearna energija, https://www.izvorienergije.com/nuklearna_energija.html, pristupljeno 11.03.2022.
- [9] Nuklearna elektrana Krško: Okoliš, [Okoliš | Pogon | Nuklearna elektrana Krško \(nek.si\)](https://www.okolis-pogon-krsko.si), 11.03.2022.
- [10] Kamps, K: After Flint, don't let them nuke the Great Lakes next! Counterpunch, <https://www.counterpunch.org/2016/01/26/%20after-flint-dont-let-them-nuke-the-great-lakes-next/>, pristupljeno 12.03.2022.
- [11] Ramana, MV: „Technical and social problems of nuclear waste“, Wiley, 7 (2018.), 1, 251-258.
- [12] Prelec, Z: "Gospodarenje otpadom: Opasni/radioaktivni otpad", http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_za_stite_okoli_sa/11.pd, pristupljeno: 13.03.2022.

- [13] Pravilnik o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja, NN 146/2005.
- [14] NEA: Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI), https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_24829/committee-on-the-safety-of-nuclear-installations-csni, pristupljeno: 13.03.2022.
- [15] Nuclear Energy Agency: Interim Report on Fire Risk Management, https://www.oecd-nea.org/jcms/j_231/portail-application?histstate=1&text=fire&opSearch=true&searchInFiles=true&jsp=plugins%2FMainPlugin%2Fjsp%2Fsearch%2FcustomQuery.jsp, pristupljeno: 13.03.2022.
- [16] International Atomic Energy Agency: Protection against Internal Hazards in the Design of Nuclear Power Plants, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1947_web.pdf, pristupljeno 14.03.2022.
- [17] International Atomic Energy Agency: Fire protection in Nuclear Power Plants, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1944web.pdf>, pristupljeno: 22.03.2022.
- [18] Britannica: Windscale fire, <https://www.britannica.com/event/Windscale-fire>, pristupljeno: 23.03.2022.
- [19] Independent.ie: Fire in Windscale plant in England October 10, 1957, <https://www.independent.ie/lifestyle/fire-at-windscale-plant-in-england-october-10-1957-26777539.html>, pristupljeno: 23.03.2022.
- [20] IAEA: Characterization of the cable fire in Block 1 of the Griefswald nuclear power plant, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:28001950, pristupljeno: 23.03.2022.
- [21] Mara, W: „The Chernobyl Disaster: Legacy and Impact on the Future of Nuclear Energy. Malaysia“, Marshall Cavendish Corporation, 2011.
- [22] The Irish Times: Chernobyl: a nuclear disaster is unsettlingly lovely to look at, <https://www.irishtimes.com/culture/tv-radio-web/chernobyl-a-nuclear-disaster-is-unsettlingly-lovely-to-look-at-1.3884261>, pristupljeno: 27.03.2022.

[23] IEAA: Update 11 – IAEA Director General Statement on Situation in Ukraine, <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-11-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine>, pristupljeno: 27.03.2022.

[24] Indeks.hr: Požar u najvećoj nuklearci Europe, <https://www.index.hr/vijesti/clanak/pozar-u-najvecoj-nuklearci-europe-zelenskij-optuzio-ruse-za-nuklearni-terorizam/2344153.aspx>: pristupljeno 27.03.2022.

9. PRILOZI

9.1. Popis slika

| | |
|---|----|
| Sl. 1 Regionalna raspodjela nuklearne energije | 4 |
| Sl. 2 Protokol za hitan odgovor na požar | 26 |
| Sl. 3 Požar u Černobilskoj nuklearnoj elektrani | 30 |
| Sl. 4 Požar u nuklearnoj elektrani Zaporožja u Ukrajini | 31 |

9.2. Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tab. 1. Udaljenost transformatora prema nazivnoj snazi od drugih građevina | 13 |
|--|----|