

# NUKLEARNE NESREĆE

---

**Mateša, Alan**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**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:128:191232>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



**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

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Alan Mateša

# **NUKLEARNE NESREĆE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Alan Mateša

# **NUKLEARNE NESREĆE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Davor Kalem, predavač

Karlovac, 2022.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni / specijalistički studij:..... Specijalistički diplomski stručni studij  
(označiti)

Usmjerenje:.....Sigurnost i zaštita.....Karlovac, 11.7.2022.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student:.....Alan Mateša..... Matični broj:.....0135209008.....

Naslov:.....Nuklearne nesreće.....

Opis zadatka:

1. Opisati nastanak nuklearne energije i njezinu uporabu
2. Analizirati uporabu nuklearnih elektrana kao izvora energije
3. Razčlaniti uzroke nastanka velikih nuklearnih nesreća
4. Pojasniti nuklearnu sigurnost te domaće i strane standarde nuklearne sigurnosti
5. Definirati nuklearna postrojenja koja su opasnost za Republiku Hrvatsku
6. Prikazati mjere zaštite nuklearnih elektrana
7. Pojasniti prijedloge novih alata u zaštiti nuklearnih elektrana

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

siječanj 2022.

srpanj 2022.

14. 7. 2022.

Mentor: Davor Kalem, predavač

Predsjednik ispitnog povjerenstva: Marko  
Ožura, viši predavač

## PREDGOVOR

Nuklearna industrija doživjela je tri velike nuklearne nesreće, koje su snažno utjecale na nuklearnu sigurnost i propise na međunarodnoj razini, svaka s različitim unutarnjim oštećenjima jezgre reaktora, različitim razinama ispuštanja radioaktivnih tvari u okoliš i različitim radnjama poduzetim za rješavanje izvanredne situacije:

- 1) Nesreća na Three Mile Islandu (Otok tri milje) (1979.),
- 2) nesreća u Černobilu (1986.) i
- 3) nesreća u Fukushimi 1. (2011.).

Svaka od tri nesreće imala je svoje uzroke i posljedice. Neki od njih su bili vrlo specifični u smislu rada reaktora, radu zaduženog osoblja ili poduzetih hitnih mjera. Ostali su čimbenici, poput evakuacije, zaštite i mjera praćenja, bili zajednički za sve tri nesreće. Raspravljalo se o naučenim lekcijama. Međutim, mnogo korisnih podataka, informacija i znanja pohranjeno je lokalno dok mnogo podataka nikada nije strukturirano niti podijeljeno sa širom javnosti. Iako postoje mnogi povijesni zapisi i dokumenti, oni nisu prikupljeni i pohranjeni u strukturiranom formatu kojem bi se moglo pristupiti i pretraživati. Primjerice, velik dio informacija o Černobilu još uvijek je pohranjen u papirnatim zapisima ili arhivima i nije izravno dostupan. Mišljenja, savjeti i specijalizirana (iskustvena i praktična) znanja i kontekstualne informacije stručnjaka i sudionika u nesreći, u velikoj mjeri, nisu zabilježena ili su jednostavno izgubljena.

Važne naučene lekcije uključuju potrebna poboljšanja, operativne prakse, obuke, održavanja te pripravnost i pravovaljani odgovor na hitne slučajeve, ali sve s ciljem izbjegavanja ponavljanja istih nesreća. U nedostatku sustavnog strukturiranja i katalogizacije, neke lekcije možda će zauvijek ostati skrivene i nedostupne nama, široj zajednici. Nesreća u nuklearnoj elektrani Fukushima 1, nakon potresa u istočnom Japanu 11. ožujka 2011. i tsunamija koji je uslijedio, bila je najjasniji dokaz da u tako kritičnoj situaciji vrijeme na raspolaganju za donošenje odluka može biti prekratko. Dostupnost informacija ili sustav organizacije znanja koji obuhvaća sve lekcije naučene iz prethodnog iskustva kritične su komponente sustava upravljanja u hitnim situacijama potrebne za učinkovitu pripravnost i odgovor.

## **SAŽETAK**

U ovom radu proveo se sustavni pregled studija i metoda za određivanje izvora, predviđanje opasnosti i optimalnu kontrolu u odgovoru na nuklearne katastrofe i potencijalne nuklearne nesreće. Na samom početku rada predstavljaju se nuklearne elektrane u Republici Hrvatskoj i susjednim državama te o sigurnosti koja uključuje obrazovanje rukovodećih i zaposlenika, kontroli opreme, zaštitnim mjerama, predviđanju i kontroli. Kao teorijski prikaz slučaja odabrana je nuklearna nesreća u Fukushimi. Na prikazu slučaju raspravljat će se o komunikacijskom protokolu i nedostacima koji su se tada dogodili te se donose preporuke stručnih organizacija kako pravilno komunicirati ukoliko do nesreće dođe. Razvoj modela predviđanja i mogućnosti kontrole nuklearnih nesreća u fokusu su modernih postrojenja i o njima će se govoriti detaljnije u nastavku rada.

**KLJUČNE RIJEČI:** predviđanje, opasnost, nuklearna nesreća, zaštita

## **SUMMARY**

The topic of this work is a systematic review of studies and methods for source determination, hazard prediction and optimal control in response to nuclear disasters and potential nuclear accidents. At the very beginning are presented nuclear power plants in the Republic of Croatia and neighboring countries, as well as safety, which includes management and employee education, equipment control, protective measures, forecasting and control. The nuclear accident in Fukushima was chosen as a theoretical case study. The presentation of the case will discuss the communication protocol and shortcomings that occurred at the time and recommendations from professional organizations will be made on how to properly communicate in the event of an accident. The development of prediction models and the possibilities of controlling nuclear accidents are the focus of modern facilities and will be discussed in more detail in the continuation of this work.

**KEY WORDS:** prediction, risk, nuclear accident, protection

## SADRŽAJ

PREDGOVOR	1
SAŽETAK	2
SUMMARY	3
1. UVOD	1
1.1. Predmet i cilj rada	1
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja	1
2. NUKLEARNE ELEKTRANE	3
2.1. Nuklearna postrojenja u Republici Hrvatskoj i susjednim državama	5
3. NAJVEĆE NUKLEARNE NESREĆE U POVIJESTI	9
3.1. Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA)	10
3.2. Nuklearna nesreća u Černobilu	11
3.2.1. Naučene lekcije	13
3.3. Nuklearna nesreća na Otoku tri milje	14
3.4. Prikaz slučaja nuklearne nesreće u Fukushima	15
3.4.1 Naučene lekcije	18
3.4.2. Utjecaj na postojeću politiku nuklearne energije	19
4. NUKLEARNA SIGURNOST	19
4.1. Obrazovanje kao „jamac“ sigurnosti	21
4.2. Zaštitne mjere i predviđanje opasnosti	25
4.3. Krizno komuniciranje i komunikacijski protokol u slučaju nesreće	28
4.3.1. Komunikacijski protokol na primjeru Fukushime	33
5. ZAKLJUČAK	35
6. LITERATURA	37
[28] Three Mile Island Accident (2000). Nuclear Energy Institute, Review. DOSTUPNO NA: <a href="https://world-nuclear.org/">https://world-nuclear.org/</a> , PRISTUPLJENO: 28.6.2022.	39



# 1. UVOD

Nuklearna sigurnost ugrožena je unazad nekoliko desetljeća. Kada se govori o nuklearnoj sigurnosti, ne misli se samo na nuklearne pogone, elektrane, nego i na uporabu nuklearnog oružja i velik broj država koji isti posjeduju.

## 1.1. Predmet i cilj rada

Završni rad na temu *Nuklearne nesreće* bavi se definiranjem pojma nuklearna energija, nuklearna elektrana, nuklearna sigurnost. Globalna nuklearna sigurnost danas ovisi o koracima koji se trebaju poduzeti kako bi se nesreća izbjegla ili onima koji se poduzimaju ukoliko do same nesreće dođe. U ovom radu govorit će se o predviđanju opasnosti za osobe i okolinu, identificiranju izvora u nesrećama ili incidentima, kontroli opasnosti i komuniciranju. Svi koraci međusobno su povezani i bitni za sprječavanje potencijalnih nesreća.

Problem završnog rada su ugroze i oštećenja te sve negativne posljedice koje se javljaju uslijed pojave nuklearnih nesreća. Zbog toga je potrebno definirati niz mjera koje mogu spriječiti nuklearne nesreće. Najveću odgovornost prilikom izvršavanja većine zadataka u postrojenjima ili bilo kojim drugim dijelovima ipak ima čovjek. Svaki pojedinac je odgovoran za izvršavanje zadaća, ali i u procesima zaštite. Cilj rada je prikazati koje elemente zaštite je potrebno zadovoljiti da ne dođe do nuklearnih nesreća, ali i koje procedure je potrebno poduzeti ukoliko do nesreća dođe kako bi se opasnost za ljude i okolinu svela na minimum.

## 1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

Teorijski dio rada temeljen je na različitim metodama istraživanja sekundarnih izvora – radova, stručnih članaka i knjiga te zakona i pravilnika o zaštiti od nuklearnih nesreća. Stručna literatura poslužit će i za primjere najvećih nuklearnih nesreća te o

postupcima i propustima koji su tada zabilježeni u dokumentima iz tog vremena.

Metode koje su najzastupljenije u radu jesu:

- 1) metoda deskripcije,
- 2) metoda analize,
- 3) povijesna metoda.

## 2. NUKLEARNE ELEKTRANE

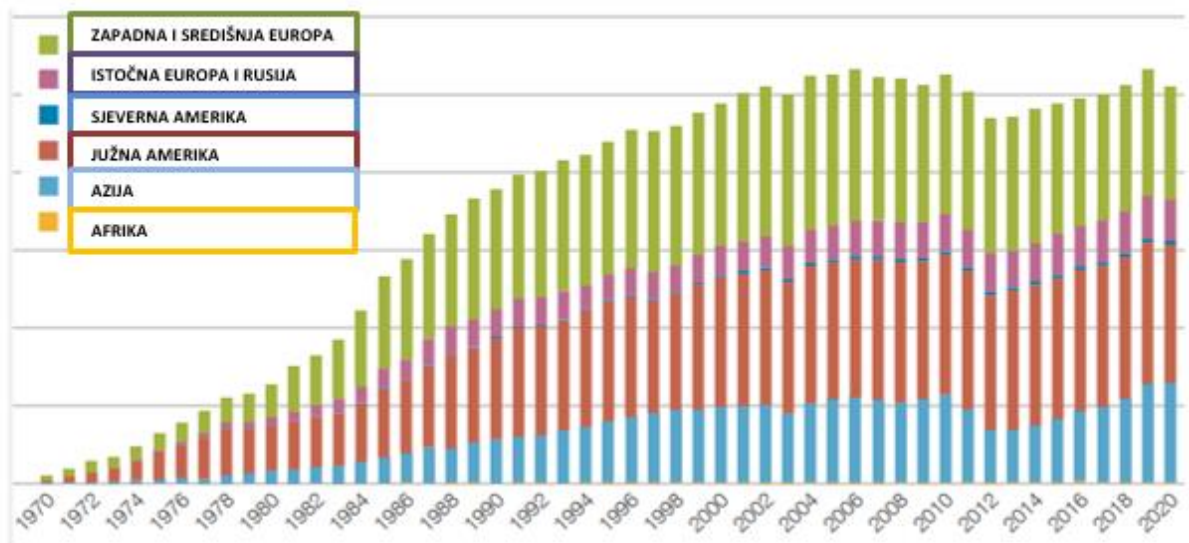
Povijesni razvoj nuklearne energije i primjene iste moguće je podijeliti u četiri osnovna perioda.

- A) Prvo razdoblje je od 1895. do 1938. godine. Isto razdoblje vezano je uz niz znanstvenih otkrića vezanih uz radioaktivno zračenje, atomsku strukturu i nuklearne reakcije.
- B) Drugo razdoblje od 1939. do 1945. godine, a obilježeno je istraživanjima vezanima uz razvoj atomske bombe.
- C) Treće razdoblje od 1945. do 1956. godine. U ovom periodu istraživanja su usmjerena na iskorištavanje nuklearne energije iz kontrolirane fuzijske reakcije za pogon plovila i proizvodnju električne energije.
- D) Posljednje razdoblje započinje 1956. godine u kojem je primarni cilj nuklearnih istraživanja tehnološki razvoj pouzdanih nuklearnih reaktora. [10]

Nuklearna elektrana je slična konvencionalnoj termoelektrani – oba tipa koriste paru za pogon turbinskog generatora koji proizvodi električnu energiju. Toplinska energija pare pretvara se u mehaničku energiju u turbini, a generator zatim pretvara mehaničku energiju u električnu energiju. Iako turbina jednako dobro funkcionira bez obzira odakle dolazi para, podrijetlo te pare je važno, jer se upravo tu razlikuju nuklearna i konvencionalna postrojenja. Konvencionalna postrojenja sagorijevaju ugljen, naftu ili plin, a toplina izgaranja ovih fosilnih goriva zagrijava vodu kako bi se dobila para. U nuklearnim postrojenjima, s druge strane, ne dolazi do gorenja niti izgaranja. Umjesto toga koristi se nuklearna fuzija. Reakcija fuzije stvara toplinu, a ta se toplina prenosi, ponekad neizravno, na vodu koja zatim proizvodi paru. Slijedom toga, može se reći da reakcija fuzije u nuklearnoj elektrani služi istoj svrsi – stvaranju topline – kao i izgaranje fosilnog goriva u konvencionalnom postrojenju. Reaktorske sustave možemo klasificirati prema vrstama rashladnih sustava na reaktore hlađene vodom pod tlakom, kipućom vodom, plinom ili one hlađene tekućim metalima. Najrasprostranjeniji sustav, trenutno, je reaktorski sustav PWR. Riječ je o reaktoru koji je hlađen, ali i moderiran običnom vodom pod tlakom. PWR reaktor prvotno je osmišljen za uporabu u nuklearnim podmornicama. Kasnije se počeo koristiti u nuklearnim elektranama. Reaktorski sustavi još se dijele i prema korištenim

moderatorima. Moderatori mogu biti obična voda, teška voda, grafit, ali postoje i oni bez moderatora. [6]

Nuklearni reaktori proizveli su ukupno 2553 TWh u 2020., što je manje u odnosu na 2657 TWh u 2019. Smanjena potražnja za električnom energijom rezultat je pandemije COVID-19. Slika 1 prikazuje proizvodnju nuklearne električne energije u razdoblju od 50 godina, od 1970. do 2020. godine.



**Slika 1** Proizvodnja nuklearne električne energije [28]

Feretić u svojem članku o nekim problemima o proizvodnji električne energije u Hrvatskoj daje pregled studija razvoja elektroenergetike i utjecaju elektrana na okoliš. Riječ je o studiji iz 2003. godine. U studijama razvoja elektroenergetike i utjecaja elektrana na okoliš navodi se redoslijed povoljnosti energetske tehnologije u odnosu prema okolišu. Te tehnologije možemo, prema štetnosti utjecaja na okoliš, podijeliti na tri skupine:

- termoelektrane na ugljen,
- termoelektrane na plin,
- elektrane s obnovljivim izvorima energije i
- nuklearne elektrane. [7]

## 2.1. Nuklearna postrojenja u Republici Hrvatskoj i susjednim državama

Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost tijelo je državne uprave nadležan za poslove radiološke i nuklearne sigurnosti. Isti Zavod snosi odgovornost za upravljanje skladištenjem radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora podrijetlom s teritorija Republike Hrvatske. Republika Hrvatska donijela je 2017. godine i Strategiju radiološke i nuklearne sigurnosti za razdoblje do 2025. godine koja propisuje nadzor nad izlaganjem ljudi ionizirajućem zračenju i nad ispuštanjem radioaktivnih tvari u okoliš. Cilj je smanjiti vjerojatnost događaja koji mogu dovesti do nesreća i ublažiti posljedice ukoliko do iste dođe. [25]

Republika Hrvatska na svojem teritoriju nema niti jednu nuklearnu elektranu. Hrvatska elektroprivreda, s druge strane, ima u 50 postotnom vlasništvu Nuklearnu elektranu Krško koja je smještena na lijevoj obali rijeke Save, nedaleko Krškog u Sloveniji.

Krško polje bilo je predmet istraživanja u razdoblju od 1964. do 1969. godine kada je i postalo moguća lokacija za potencijalnu nuklearnu elektranu. Prva istraživanja obavljena su od strane Poslovne udruge energetike Slovenije, a prvi investitori bili su Savske elektrane Ljubljana i Elektroprivreda Zagreb. Investitori su zajedno obavili sve pripremne radove i odabrali tvrtku koja je bila najpovoljnija za početak radova. Sama gradnja krenula je 1974. godine od strane američke tvrtke Westinghouse. Slika 2 prikazuje završnu montažu reaktorske zgrade u rujnu 1975. godine. [12]



**Slika 2** Završna montaža reaktorske zgrade u rujnu 1975. godine [17] PRISTUPLJENO 29.6.2022.

Savšek-Safić S. i sur. govore o stabilnosti same elektrane u svojem radu objavljenom u Geodetskom listu. Najvažniji objekti, ukoliko se govori o radioaktivnoj i nuklearnoj sigurnosti same elektrane, su nuklearni otok, brana rijeke Save i skladište radioaktivnog otpada. Nuklearni otok sačinjen je od reaktora i pomoćne zgrade reaktora. Reaktor je središnja zgrada i sačinjavaju je vanjske armirane betonske konstrukcije, čelične zaštitne zgrade, unutarnje armirane betonske zgrade i temelji. Pomoćna zgrada sačinjena je od štita, pomoćne zgrade, prstenastog prostora, kontrolne sobe, zgrade goriva i zgrade rashladnog sustava. [24]

Rijeka Sava izvor je vode za hlađenje. Kako bi imala minimalan vodostaj, bilo je potrebno izgraditi branu i omogućiti crpljenje nužno potrebne vode. Brana je sačinjena od šest preljeva od kojih je svaki širok 15 metara. Zbog nužne stabilnosti je podijeljena na dvije betonske konstrukcije. Visoka je 15,5 metara i prema međunarodnim standardima spada u velike brane te je potreban stalni nadzor. Zbog potresne stabilnosti brana ima i 19 mjerila za praćenje vertikalnih i 7 kontrolnih točaka za mjerenje horizontalnih pomaka. Skladište radioaktivnog otpada je armirana betonska građevina i služi za samo privremeno odlaganje otpada. U skladu s međunarodnim

standardima sav neobrađeni nisko i srednje radioaktivni otpad (NSRAO)<sup>1</sup>, otpadni materijali i dotrajala oprema u radiološki kontroliranom području, koji je nastalo od početka pogona NEK-a 1981. godine pohranjen je u privremenom skladištu u elektrani. Ukupni volumen NSRAO-a iznosi 2405 m<sup>3</sup> (oko 20 m x 20 m x 6 m). Prema službenim stranica Nuklearne elektrane Krško volumen NSRAO-a smanjuje se sortiranjem, koncentriranjem, taljenjem i spaljivanjem. Spaljivanje i taljenje obavlja se u inozemstvu, a samo spaljivanje može smanjiti volumen otpada do 20 posto. U zadnjem desetljeću nastaje nešto više od 30 m<sup>3</sup> tog otpada godišnje. [17]



**Slika 3** Nuklearna elektrana Krško [17] PRISTUPLJENO: 15.5.2022.

---

<sup>1</sup> **Neobrađeni nisko i srednje radioaktivni otpad (NSRAO)** dolazi u raznim oblicima: čvrstom, tekućem i plinovitom stanju, a ovisno o vrsti otpada mogu biti, primjerice zapaljivi (poput papira, robe i sl.), disperzibilni (pepeo, prah i sl.), tekućine mogu sadržavati taloge (smole i filteri), i ta svojstva moraju biti točno navedena na deklaraciji spremnika. NSRAO se odnosi na tkaninu, robu, plastiku, izolaciju, papir i sl.

Rad Nuklearne elektrane Krško temelji se na odgovornom radu i sigurnosti, sigurnosnoj kulturi kojoj se teži svaki dan. Kasnije će biti riječi o tome kako i na koji način educiraju svoje zaposlenike i kako se trude što bolje organizirati radnu atmosferu. Svi zaposleni u NEK imaju zadatak osigurati sve potrebno za siguran rad svih reaktora i cjelokupnog pogona. NEK unapređivala je svoj rad na temelju svih suvremenih standarda vođenja nuklearnih postrojenja te i dalje prati suvremene preporuke i protokole. Društvena prihvatljivost također je temelj rada. To se odnosi na i na očuvanje okoliša i poštivanje načela zapisanih u Ugovoru između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske. Društveni ugovor na snazi je od ožujka 2003. godine. Tim ugovorom elektrana je organizirana kao društvo s ograničenom odgovornošću. Temeljni kapital Nuklearne elektrane Krško d.o.o., podijeljen je na dva jednaka poslovna udjela u vlasništvu članova društva GEN energija d.o.o. i Hrvatske elektroprivrede d.d. [17]

Iako, kada se govori o nuklearnim elektranama u blizini i na granici sa Hrvatskom, najčešće se govori o NE Krško, često se iz literature izostavlja NE Paks, nuklearna elektrana u Mađarskoj. Dok se NE Krško nalazi svega 10,6 kilometara od državne granice, NE Paks nalazi se 74,1 kilometar od državne granice. Spomenuta nuklearna elektrana također predstavlja rizik za Republiku Hrvatsku iz nekoliko razloga. Prvi razlog je blizina, drugi razlog je taj što je riječ o starim sovjetskim reaktorima, VVER reaktori ili tlačni reaktori, koji su pušteni u rad između 1982. i 1987. godine, a predviđeni rok trajanja je 30 godina. Iz tog razloga mogu predstavljati potencijalni problem i biti uzrok potencijalne nesreće. [12]



### 3. NAJVEĆE NUKLEARNE NESREĆE U POVIJESTI

Reguliranje sigurnosti i provođenje zakona u nadležnosti je nacionalnih tijela, u slučaju Hrvatske radi se o Ravnateljstvu civilne zaštite i Vlada Republike Hrvatske. Na međunarodnoj razini djeluje Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA), koja potiče i radi na osiguravanju sigurnog korištenja nuklearne energije, i Svjetska udruga operatera nuklearnih elektrana (WANO), koja se također bavi provedbom sigurnosnih protokola i ispitivanjem razina sigurnosti. [22]

Međunarodna agencija za atomsku energiju razvila je program sigurnosnih standarda i objavili su nešto više od dvjesto sigurnosnih standarda koji odražavaju međunarodni konsenzus o tome što predstavlja visoku razinu sigurnosti za zaštitu ljudi i okoliša kada su u pitanju nuklearne elektrane. Sigurnosni standardi predlažu se i usvajaju od strane Vlada. Nadalje, Vlade su te koje zadužuju pojedina tijela i imenuju osobe koje će provoditi ono što je standardima propisano na nacionalnoj razini. U Hrvatskoj je zakonom propisano da upravljanje nuklearnim nesrećama i praćenje standarda izgradnje i odlaganja radioaktivnog otpada u nadležnosti je Ravnateljstva za civilnu zaštitu i Državne uprave za zaštitu i spašavanje čija je dužnost pravovaljana reakcija na nuklearnu nesreću i praćenje protoka, a propisano je Planom zaštite i spašavanja na području Republike Hrvatske. Ne poštivajući sigurnosne mjere i načela propisana i usvojena na nacionalnoj, regionalnoj pa i međunarodnoj razini, dolazi se do katastrofalnih posljedica. Nuklearne elektrane trebaju imati i držati se pravilnika o sigurnom načinu rada. Ne poštivajući sve navedeno, može doći do strašnih posljedica za ljude, okoliš, ali može utjecati i na javno mišljenje o takvim postrojenjima. Vlasnici i vlade država na čijem teritoriju se elektrane nalaze dužni su provoditi kontinuiranu procjenu rada nuklearnih elektrana i voditi računa da je rad elektrana uvijek na odgovarajućoj razini kada se govori o sigurnosnim ciljevima i kriterijima koji su propisani. Procjena sigurnosti se treba provoditi dok god nuklearna elektrana radi. Cilj te procjene je prvenstveno voditi brigu o riziku zračenja koji mora uvijek, bez iznimke, biti na prihvatljivoj razini kako se ne bi ugrozilo zdravlje ljudi. Drugi glavni cilj je prevencija i ublažavanje svih mogućih premašenih razina zračenja. [13]

U posljednjih 60 godina, od 1959., prijavljeno je deset velikih nuklearnih nesreća u pet zemalja. Najveće tri zabilježene nesreće imale su jako negativan utjecaj na

zdravlje ljudi i okoliš. Sve tri najveće nesreće imale su drugačiji tijek događaja i niti jedna nije ista. Prva takva zabilježena je 1979. godine u SAD-u, druga u Ukrajini 1986. godine i to tijekom testa koji je trebao poslužiti za procjenu sigurnosne granice reaktora i posljednja velika nesreća dogodila se 2011. godine u Japanu kao posljedica jakog potresa koji je iznosio 9 prema Richteru i prouzročio razorni tsunami.

Popis 10 zabilježenih nesreća je:

- 1) Fukushima, Japan - ožujak 2011.;
- 2) Kashiwazaki, Japan - srpanj 2007.;
- 3) Mihama, Japan - kolovoz 2004.;
- 4) Blayais, Francuska - prosinac 1999.;
- 5) Tokaimura, Japan - rujan 1999.;
- 6) Tokaimura, Japan - ožujak 1997.;
- 7) Černobil, Ukrajina - travanj 1986.;
- 8) Three Mile Island, SAD - ožujak 1979.;
- 9) Ural, SSSR - listopad 1958.;
- 10) Windscale, UK – listopad 1957. [9]

U nastavku rada više će se reći o nuklearnoj nesreći u Černobilu 1986. godine, a posljednja velika nuklearna nesreća u Fukushimi 2011. poslužit će kao prikaz slučaja o propustima i komunikaciji za vrijeme nuklearne nesreće, ali i o naučenim lekcijama koje će poslužiti za brigu o sigurnosti u budućnosti. Neupitno je i spominjanje nuklearne nesreće na Otoku tri milje, koja se dogodila u ožujku 1979. godine.

### 3.1. Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA)

Poznata i kao organizacija Atomi za mir i razvoj, Međunarodna agencija za atomsku energiju djeluje unutar Ujedinjenih naroda i središte je zbivanja za nuklearno područje na međunarodnoj razini koja sa svojim članicama i partnerima aktivno radi na promicanju sigurne i miroljubive upotrebe nuklearnih tehnologija. Agencija je osnovana 1957. godine kao reakcija na strahove nastale otkrivanjem nuklearne energije i njejoj uporabom. Poticaj za osnivanje agencije bilo je obraćanje američkog predsjednika Eisenhowera na sjednici Ujedinjenih naroda 8. prosinca 1953. godine. Isti taj govor bio je osnova za oblikovanje Statuta u listopadu 1956. Danas ima sto sedamdeset država članica, većina članica Ujedinjenih naroda članice su i

Međunarodne agencije za atomsku energiju. Glavni cilj napisanog statuta je promicanje i zalaganje za miroljubivo korištenje nuklearne tehnologije. Agencijom upravljaju Upravni i Generalni odbor. Upravni odbor sastoji se od dvadeset dvije države članice koje bira Generalni odbor i najmanje deset članica koje bira Izvršni odbor. Upravni odbor daje preporuke Generalnom oboru o aktivnostima i proračunu te je odgovoran za objavljivanje IAEA standarda. Generalni odbor sastoji se od svih 170 država članica i sastaje se jednom godišnje te raspravlja i odobrava aktivnosti i proračun predložen od strane Upravnog odbora. [9]

### 3.2. Nuklearna nesreća u Černobilu

U šumovitom i močvarnom području Ukrajine, nedaleko od granice s Bjelorusijom, 18 kilometara od grada Černobila i 100 kilometara od Kijeva, odmah do grada Pripjata, koji je nastao s jasnim ciljem smještanja radnika i obitelji, smještena je i nuklearna elektrana Černobil. Elektrana koja je bila dom za četiri nuklearna reaktora tipa RBMK<sup>2</sup> i u prosjeku mogla proizvesti četiri gigavata električne energije, svaki reaktor po jedan. Čak 10 posto električne energije u Ukrajini proizvodila je upravo elektrana Černobil. Početkom 1970-ih godina krenula je izgradnja poznata elektrane. Prvi reaktor krenuo je s radom 1977. godine, a 1983. s radom je krenuo i četvrti blok. U izgradnji su bila još dva bloka koja nisu završena do 1986. godine, kobne godine kada je došlo do velike nesreće. Ako se u obzir uzme kontaminirano područje, broj zemalja koje su bile zahvaćene radioaktivnim oblakom, ali i broj ljudi koji su izravno ili tek posljedično osjetili posljedice, ovo najveća katastrofa koja se ikada dogodila u jednoj nuklearnoj elektrani. I nije daleko od istine. [28]

Nuklearna nesreća koja se dogodila u Černobilu isprva se pripisivala projektantskim i tehničkim nedostacima te pogrešci samog operatera. Direktor elektrane bio je V. P. Brjuganov koji nije imao iskustva u radu nuklearnih elektrana. Glavni inženjer Nikolaj Fomin također je imao iskustva samo na konvencionalnim elektranama, a njegov zamjenik Anatolij Djatlov pretežno je imao iskustva s nuklearnim reaktorima u podmornicama. Djatlov je nakon nesreće isticao da su u uputstvima za rukovanje dizajneri reaktora namjerno propustili napomenuti da su reaktori nestabilni

---

<sup>2</sup> Riječ je o nuklearnom reaktoru koji je hlađen običnom vodom, te moderiran grafitom LWGR (eng. Light Water-cooled Graphite-moderated Reactor). Radi se o ruskoj verziji kipućeg reaktora kanalnog tipa čije je nuklearno gorivo oksid obogaćenog uranija.

pri pojedinim opsezima rada. Operateri i ostalo osoblje također nije bilo dovoljno upućeno u rad sigurnosnih šipki. Kasnije je objavljen izvještaj koji je kao uzrok nesreće navodio sam dizajn reaktora. Prema izvješću Svjetske udruge operatera nuklearnih elektrana, 25. travnja 1986. godine, prije rutinskog zatvaranja, u bloku 4 obavljale su se pripreme za testiranje, a cilj samog testiranja bio je vidjeti koliko dugo će se turbine vrtjeti i opskrbljivati energijom nakon gubitka glavnog napajanja električnom energijom. Kobne su bile pogreške operatera, navodi se u izvještaju, i krivo usmjeravanje osoblja o koracima nakon same eksplozije. Nesreća se dogodila tijekom planiranog ispitivanja koliko je potrebno za napajanje sustava hlađenja u slučaju gubitka vanjskih izvora napajanja. Testiranje je bilo zamišljeno na način da se smanji razina snage reaktora na oko 30%, ali snaga reaktora jako brzo je pala na tek 7%, a to je bio prevelik pad i sustavi za hlađenje su odjednom otkazali. Slično se dogodilo i u nesreći u Fukushimi, kada su sustavi za hitno hlađenje uništeni potresom. Reaktor RBMK-1000 nije dopuštao osoblju kontrolu pri tako niskom kapacitetu. Međutim, osoblje je ipak dobilo naredbu da se reaktor ugasi. To su pokušali učiniti spuštanjem zaštitnih šipki u jezgru reaktora, ali to nije dovelo do zaustavljanja reaktora, nego do brzog zagrijavanja aktivne zone koja je i dovela do prve eksplozije. Jezgra reaktora rastalila se i oslobodila se enormna količina topline. Ista ta topline dovela je do niza reakcija, a temperatura goriva u reaktorima dosegla je enormnih 3000°C te je isto gorivo, u doticaju s rashladnom vodom, uzrokovao iduću eksploziju koja je uništila tlačne cijevi, a posljedica toga je bio tlak koji je uništio i poklopac jezgre. Nakon što je poklopac jezgre doslovno izletio, kisik dolazi u doticaj s uranijem i izaziva zapaljenje grafita. Pokušaj zaposlenika da zaustave rad pogona, bio je prekasna reakcija na katastrofu. Glavni inženjeri nalazili su se u kontrolnoj sobi i nisu pravovremeno prepoznali opasnost. Nakon same nesreće aktivirali su se alarmi i na poprište su stigli vatrogasci. [9]

Nakon saniranja štete u zgradi, vatrogasci su se uputili prema krovu uništenog reaktora, ali pretrpjeli su jako teške ozljede budući da je voda koju su koristila postajala kontaminirana para. Do jutra su ugašeni svi požari, osim onoga u jezgri reaktora koja je gorjela do 10. svibnja 1986. godine. Požar u jezgri pokušavao se ugasiti danima uz pomoć helikoptera koji su na vatru bacili nešto više od pet tisuća tona materijala - pijesak, glinu, dolomit, kako bi ugasili požar, koji je na kraju ugašen ubacivanjem olova, od strane likvidatora. Tu se javio problem i strah da će se temelji zgrade oštetiti te da

će radijacija učiniti još veću štetu podzemnim vodama i izazvati još veću katastrofu. Ovdje su u pomoć pozvani sovjetski rudari čiji je zadatak bio iskopati podzemne tunele i ispumpati vodu, nakon čega su nadograđeni zaštitni temelji zgrade i ojačani betonom. Nakon velike katastrofe koja se tada dogodila u Černobilu, međunarodna zajednica krenula je i s većim pritiskanjem i zahtijevanjem da se zatvore nuklearne elektrane u mnogim zemljama. Vlade zemalja G-7 i Ukrajine su 1995. godine potpisale memorandum o zatvaranju svih preostalih reaktora u Černobilu. Blok 2 zatvoren je 1991. godine, blok 1 u studenom 1996., a blok 3 u prosincu 2000. Blok 4 je nakon nesreće pretvoren u „betonski sarkofag“. Na tome su radili tisuće vojnika, ali i civila kako bi onemogućili daljnje kontaminiranje i istjecanje radioaktivnih materijala. Danas se smatra kako to nije više trajno rješenje jer nije prestabilno i moglo bi, u budućnosti, doći do urušavanja. U prosincu 2006. godine dodana je čelična konstrukcija koja je dodatno ojačala zaštitu. Unatoč tome, i dalje je potrebno obnoviti konstrukciju iz temelja kako bi opasnost potpuno nestala. [28]

### 3.2.1. Naučene lekcije

Prema izvorima i izvješćima Svjetskog udruženja nuklearnih operatora<sup>3</sup> (WANO), ali i prema mišljenjima ostalih stručnjaka, postoji nekoliko lekcija koje su naučene iz gore spomenute nesreće. Prva naučena lekcija je usvajanje „sigurnosne kulture“ koja se odnosi na sve zemlje koje posjeduju nuklearne elektrane. Cilj je povećati sigurnost svih nuklearnih reaktora koji su u pogonu, ali i jačati nadzorna tijela čiji je zadatak promicati tu istu nuklearnu sigurnost uz pomoć novih sigurnosnih dokumenata koji su izrađeni nakon nesreće. [26]

Budući da je jedan od mnogih uzroka nesreće bio i sam dizajn reaktora, izvršena je nadogradnja na svim reaktorima koji su tada bili u pogonu u Sovjetskom Savezu. Cilj je bio otkloniti sve nedostatke koji su utvrđeni na reaktoru u Černobilu, poboljšati mehanizme koji su utjecali na nesreću, redizajnirati upravljačke šipke, ali i povećati svijest o sigurnosnim protokolima među osobljem. Nadalje, naučeno je da su potrebni bolji programi osposobljavanja operatera u nuklearnim elektranama. Na primjeru nesreće u Černobilu, primijećeno je da operateri nisu bili upoznati dovoljno sa

---

<sup>3</sup> Članovi organizacije uglavnom su vlasnici i operateri nuklearnih elektrana.

sigurnosnim protokolima te su pogriješili spuštajući kontrolne šipke u samu jezgru reaktora. Intenzivna toplina deformirala je jezgru reaktora i kontrolne šipke su se zaglavile prije potpunog umetanja plus što su same po sebi bile loše dizajnirane. Sljedeći problem su betonske konstrukcije koje nisu bile postavljene oko niti jednog bloka u nuklearnoj elektrani Černobil, a mogle su spriječiti širenje radijacije u okoliš. Danas betonske konstrukcije čine sastavni dio sigurnosnih protokola u svim aktivnim nuklearnim elektranama. [28]

Osim svih sigurnosnih promjena koje su posljedica ove nesreće, mnoge bivše socijalističke zemlje odlučile su ne koristiti ovaj tip reaktora za proizvodnju električne energije.

Može se zaključiti kako je nesreća u Černobilu bila rezultat kombinacije nedostataka u projektiranju i nedovoljne obučenosti operatera koja je rezultirala lošim potezima istih. Najveći izazov tada je bilo zbrinjavanje stanovništva, a bilo je pogođeno gotovo pet milijuna ljudi koji su zahtijevali medicinsku, ali i psihološku pomoć. Stvaran broj žrtava ne može se znati. Broj službenih žrtava je 31, riječ je o radnicima i ostalom osoblju koje je sudjelovalo u saniranju štete. Neslužbeno se govori o otprilike četiristo tisuća osoba koje su imale blizak kontakt s nesrećom, a broj indirektnih žrtava se penje do milijun. [28] [9]

### 3.3. Nuklearna nesreća na Otoku tri milje

Nuklearna nesreća na Otoku tri milje započela je oko 4 sata ujutro, po lokalnom vremenu, 28. ožujka 1979. Uzrok nesreće prvotno je bio kvar na drugom bloku koji je tada radio na 97 %. Kvar je spriječio glavne pumpe da pošalju vodu u generatore koji su služili za hlađenje jezgre reaktora. To je uzrokovalo lančanu reakciju gašenja generatora, a zatim i samog reaktora. Tlak je počeo rasti u primarnom sustavu nuklearnog postrojenja. To je uzrokovalo otvaranje sigurnosnog ventila koji je bilo potrebno zatvoriti nakon što se tlak spustio na potrebnu razinu, ali ventil se nije zatvorio. Osoblje u kontrolnoj sobi nije vidjelo problem jer je sustav pokazivao zatvoreni ventil. Osoblje nije bilo svjesno da para rashladne vode izlazi van kroz otvoreni ventil. To je aktiviralo alarme, ali operateri i dalje nisu bili svjesni onoga što se događa, budući da su sustavi pokazivali da je sve u redu. Gubitak rashladne tekućine nije odmah uočen, a isti je izazvao nesreću. Ostali instrumenti nisu davali dobre i adekvatne

informacije o tome što se događa. Nije postojao instrument koji bi očitavao razinu vode. Zaglavljani ventil je s vremenom smanjio tlak daleko ispod razine i to je rezultiralo isključivanjem pumpi za rashladnu tekućinu. Bez cirkuliranja potrebne vode, jezgra se pregrijala. Nesreća nije prouzročila veću štetu niti za okoliš niti za ljude, ali nepravovaljano i pogrešno informiranje javnosti dovelo je do visoke razine straha i nepotrebne panike. Nesreća je kasnije okarakterizirana kao ljudska pogreška. [28]

S druge strane, nakon nesreće su se dogodile i neke pozitivne promjene. Prva velika promjena je nadogradnja i jačanje postrojenja i unapređenje opreme. To uključuje instalaciju komponenti i njihova stroga kontrola, kao što su ventili za smanjenje tlaka i nadzor postrojenja. Druga promjena je preinaka u obučavanju operatera i osoblja, budući da je ovdje riječ bila o ljudskom faktoru. Treća promjena je poboljšanje pripravnosti za hitne slučajeve i poboljšanje komunikacije kako se ne bi širile lažne i nepotpune informacije. To je dovelo i do vježbi koje se provode nekoliko puta godišnje, a uključuju vježbe ponašanja i komuniciranja u slučaju nesreće. [27]

### 3.4. Prikaz slučaja nuklearne nesreće u Fukushimi

Japanska meteorološka agencija izvijestila je 11. ožujka 2011. u 14.46 sati o jakom potresu u istočnom Japanu. Potres je iznosio magnitude 9 po Richterovoj ljestvici, a epicentar je bio 10 kilometara istočno od poluotoka Oshika na dubini od 24 km. Izvor potresa bio je na granici Sjevernoameričke tektonske ploče i Pacifičke tektonske ploče. Pomicanje morskog dna uzrokovano potresom stvorilo je lanac tsunamija koji je preplavio stotine četvornih kilometara japanske obale, uništio ili oštetio više od milijun zgrada u obalnim lukama i gradovima i rezultirao smrću oko 19 729 ljudi, s još 2 559 osoba nestalih i 6 233 ozlijeđenih. Nuklearna elektrana Fukushima Daiichi, u vlasništvu i pod upravom Tokyo Electric Power Company (TEPCO) ima šest BWR<sup>4</sup> reaktora i nalazi se na samoj granici gradova Okuma i Futaba na sjeveroistoku Japana. Sam potres nije uzrokovao nikakvu štetu na sigurnosnim sustavima reaktora. Tri pogonske jedinice automatski su se isključile, kako su i dizajnirane, nakon zabilježenog pomicanja tla. Pogon 4 bio je zatvoren zbog preinaka i radova, a ostala

---

<sup>4</sup> BWR (eng. – Boiling Water Reactor) reaktor s ključajućom vodom

dva su bila spremna za ponovno pokretanje nakon zamjene goriva. Iako nije bilo izravne štete nakon potresa, isti je prouzročio gubitak vanjskih izvora napajanja. Preostali su generatori za hitno napajanje koji su krenuli s napajanjem opreme koja je bila predviđena za korištenje u hitnim slučajevima. Na samom početku stvari su išle kako je i bilo zamišljeno u slučaju bilo kakvih nepoželjnih vanjskih utjecaja. Reaktori su bili osigurani, a jezgre su bile hlađene onako kako je i bilo potrebno. [29]

Manje od sat vremena nakon potresa, tsunami je pogodio velik dio sjeveroistočne Japanske obale i preplavio Fukushima Daiichi, donijevši ogroman val vode i krhotina koji su se obušili na postrojenje, posebno na blokove 1, 2, 3 i 4 i njihove prateće sustave. Tsunami je uzrokovao golemu štetu na sustavima za hlađenje i pumpe koje su bile instalirane u postrojenjima kako bi se spriječio ulazak vode. Svi generatori za hitne slučajeve, koji su napajali prijeko potrebne sustave, bili su smješteni u podrumskim dijelovima i potopljeni su. Generator koji je služio za hlađenje jedinice 6 preživio je nesreću jer se nalazio na povišenom položaju. Svi događaji uzrokovali su potpun prestanak opskrbljivanja električnom energijom u jedinicama 1, 2 i 3. Četvorka nije bila u pogonu te ondje nije bilo većih problema. S druge strane, operateri su ostali bez potrebne električne energije za praćenje stanja jer uređaji i prijeko potrebni instrumenti više nisu radili te je bilo nemoguće pratiti hlađenje reaktora. Osim svih događaja unutar same elektrane, potres i razoran tsunami otežali su pristup hitnim službama da dođu do same lokacije. [14]

Jezgre u tri bloka, bez rashladne vode, su se pregrijale i dio goriva se već otopio unutar prva tri dana. Posljedica toga bile su eksplozije prouzrokovane vodikom, najprije 12. ožujka u bloku 1, 14. ožujka u bloku 3 i 15. ožujka u bloku 4. U blokovima 1 i 3 ove su eksplozije značajno oštetile zgrade reaktora, gornje strukture zgrada. Sljedeća tri dana nastavili su raditi reaktori u bloku 2, ali uz silne pokušaje da se spriječi taljenje jezgre, i ti pokušaji bili su neuspješni. Međutim, nije došlo do eksplozije jer su voditelji uspjeli ispustiti vodik i spriječiti još jednu eksploziju. Agencija za nuklearnu i industrijsku sigurnost kategorizirala je nesreću u Fukushimi Daiichi kao događaj razine 7 na međunarodnoj ljestvici nuklearnih događaja (Tablica 1), koja je osmišljena tako da se težina događaja poveća oko deset puta za svaku višu razinu, a razlog toga je velika količina ispuštene radioaktivnosti u ocean i podzemnu vodu. Iz tog razloga je ova nuklearna nesreće preuzela ovu ne tako dobru vodeću poziciju na ljestvici civilnih nuklearnih nesreća u modernijoj ljudskoj povijesti. Iako su analize nakon nesreće



potvrdile da zračenje iz nesreće nije dovelo do bilo kakvog izravnog utjecaja na zdravlje ljudi, izvještavalo se da je evakuacija više od 150 000 ljudi, koji žive u okolnim područjima, rezultirala ranim smrtnim slučajevima, povezanim s evakuacijom građana iz tog područja, nedostatkom pristupa zdravstvenoj skrbi ili lijekovima, problemima povezanim sa stresom i drugim uzrocima. Niz događaja – potres, tsunami i nuklearna nesreća, te kasnije evakuacija i neke druge mjere oporavka nakon nesreće – utjecale su na dobrobit pojedinaca i zajednice. Budući da elektrana nije bila opremljena funkcionalnim instrumentima i sustavima upravljanja, a električna energija i hlađenje nisu bili na raspolaganju, pregrijano gorivo se rastopilo i potonulo na dno reaktora. To je dovelo do proboja posuda i taljenja. Budući da je su i ostali vitalni sigurnosni sustavi bili potopljeni, nisu bilo načina za praćenje događaja unutar samog reaktora. Kasnije su se uočili mnogi propusti u štednji koji su mogli spriječiti nesreću, ili barem smanjiti razmjere iste. Prvi korak koji je mogao spriječiti nesreću bila je zaštita izvora napajanja, barem onog rezervnog, generatora i baterija njihovim smještanjem na povišeni dio ili postavljanjem u vodonepropusne bunkere. Niti jedno od toga nije napravljeno iako je područje podložno prirodnim katastrofama kao što je potres i tsunami. Drugi korak koji je mogao biti poduzet i spriječiti nesreću bilo je osiguravanje veze između napajanja i sigurnosnih sustava koja bi također bila zaštićena od prodiranja vode. Na isti način s trebale biti zaštićene i crpke morske vode koje su služile za odvođenje topline, a rezervne nisu bile niti postavljene. Međunarodna praksa i standardi nisu bili slijeđeni od strane Tokyo Electric Power Company (TEPCO). Fokus je stavljen samo na osiguravanju od potresa bez da se u obzir uzela i mogućnost tsunamija. Nisu u obzir uzeti i drugi potencijalni rizici koje seizmička aktivnost može povući za sobom. [15]

7 TEŠKA NESREĆA	Černobil i Fukushima
6 OZBILJNA NESREĆA	
5 NESREĆA SA ŠIRIM POSLJEDICAMA	Nesreća na Three Mile Islandu
4 NESREĆA S LOKALNIM POSLJEDICAMA	
3 OZBILJNA NEZGODA	Nezgodu u NE Paks
2 NEZGODA	
1 NEPRAVILNOST	

**Tablica 1** INES ljestvica ili Međunarodna ljestvica za nuklearne nesreće [22]

### 3.4.1 Naučene lekcije

Ubrzo nakon nesreće 2011. godine, Međunarodna agencija za nuklearnu energiju (NEA), zemlje članice i, što je još važnije, vlada Japana pokrenuli su istraživanja i studije. Istraživanje same nesreće započelo je 2012. godine. Ujedno su svi uključeni pokrenuli i aktivnosti za poboljšanje sigurnosti kao odgovor na nesreću u Fukushima Daiichi. Sva pokrenuta istraživanja dovela su do boljeg općeg razumijevanja nesreće, ali i do zajedničkog razumijevanja te su ujedno dovela do alata koji bi trebali omogućiti, u budućnosti, bolje razumijevanje svih potrebnih mjera za sigurnost postrojenja. Nesreća Fukushima Daiichi na različite je načine u različitoj mjeri utjecala na strategiju nuklearne energije u različitim zemljama i regijama. U prvi plan dovedena je i važnost ljudske reakcije u takvim situacijama i organizacije nadležnih službi. Politička, gospodarska i socijalna pitanja, uključujući buduću opskrbu energijom, globalne klimatske promjene, troškove i sigurnost opskrbe nuklearnom energijom, razlikuju se od zemlje do zemlje. Nekoliko zemalja, poput Njemačke, donijelo je odluku o postupnom ukidanju svojih nuklearnih proizvodnih kapaciteta. Drugdje su niske cijene električne energije i poteškoće s financiranjem izgradnje novih nuklearnih postrojenja dovele do manjeg broja novih nuklearnih elektrana i nekih odluka o smanjenju proizvodnih kapaciteta ili zatvaranju starijih reaktora. Zatvaranje je također bio rezultat financijske krize jer nije bilo dovoljno novca da se uloži u nove sigurnosne protokole. Neke su zemlje nastavile širiti svoje nuklearne proizvodne kapacitete izgradnjom novih reaktora, ali vidno obraćajući pažnju na sve nove sigurnosne protokole kako bi se spriječile nuklearne nesreće u budućnosti.[15]

Agencija za nuklearnu energiju (NEA), pet godina nakon nesreće, objavila je službeni izvještaj u kojem je navedeno da je kontinuirani i inovativni napredak temelj za osiguranje sigurnosti, čak i tamo gdje su napravljena mnoga poboljšanja. Lekcije stečene kroz operativno iskustvo i istraživanje zahtijevat će stalnu pozornost. To posebno vrijedi za složena područja kao što su ljudski aspekti nuklearne sigurnosti koji se odražavaju u sigurnosnoj kulturi, obuci i organizacijskim čimbenicima. NEA je podržala aktivnosti i dugoročne inicijative o upravljanju nesrećama, kriznim komunikacijama, sigurnosnoj kulturi i regulaciji novih reaktora. Bavljenje ljudskim aspektima nuklearne sigurnosti, uključujući organizacijske čimbenike, ključna je za siguran rad nuklearnih postrojenja. Ovi aspekti također imaju važan utjecaj na

potencijalnu buduću upotrebu i regulaciju nuklearne tehnologije. Agencija za nuklearnu energiju (NEA) je nastavila pomagati svojim zemljama članicama u njihovim naporima da unaprijede svoju sigurnosnu kulturu. [1]

### 3.4.2. Utjecaj na postojeću politiku nuklearne energije

Sigurnosna kultura i njezin utjecaj na nuklearnu sigurnost raste s godinama. Sve je jasnije da na sigurnosnu kulturu utječu brojni čimbenici, a među njima i sama kultura jedne nacije. Nesreća u Fukushimi upravo je i ovaj čimbenik dovela u prvi plan i shvatilo se da je važno pažnju usmjeriti i na nacionalne utjecaje i da se shvati njihov potencijalni utjecaj na sigurnost i da se pronađe put prema održavanju zdrave radne atmosfere i sigurnosne kulture. Osmišljavanje sigurnosne kulture za svaku državu, u cilju praćenja nacionalnih interesa, jasan je cilj najvećih udruženja i agencija koje se bave proučavanjem nuklearnih elektrana. Cilj je pronaći i istražiti koji su točno utjecaji na nacionalnoj razini na nuklearnu sigurnost i izvući pristupe za održavanje i poboljšanje kulture nuklearne sigurnosti. [22]

Koncept koji stoji iza toga je najprije krenuti od kulturne stvarnosti jedne zemlje koja posjeduje nuklearne elektrane i voditi promišljeni dijalog o snagama i slabostima, kao i o tome što se može učiniti kako bi se ojačala sigurnosna kultura u nadležnim tijelima. Kako bi se poboljšala sigurnosna kultura, moraju se razumjeti atributi koji čine nacionalni kontekst. Važno je imati na umu da nacionalni atributi nisu ni dobri ni loši. Oni mogu podržati zdravu sigurnosnu kulturu ili, ukoliko se zanemare, mogu se u nekim slučajevima suprotstaviti sigurnosnu kulturu. Cilj je stvoriti svijest o tome kako se oni manifestiraju u organizacijskom ponašanju i, potencijalno, isticanje područja koja se dodatno trebaju obraditi u programima obuke. [30]

## 4. NUKLEARNA SIGURNOST

Radioaktivni materijali mogu imati i pozitivnu primjenu – primjerice u liječenju raka, ali su općenito loši za naše zdravlje. Njihova uporaba i proces u kojem se

proizvode moraju biti strogo regulirani kako bi se osigurala nuklearna sigurnost. U Republici Hrvatskoj osnovan je Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost koji uz Ravnateljstvo civilne zaštite provodi zakon o nuklearnoj energiji, sigurnosti i odlaganju otpada na području Republike Hrvatske. Hrvatska je aktivni član Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) te sukladno odredbama provodi i propisuje zakone na nacionalnoj razini. Iako na području Republike Hrvatske nema nuklearnih postrojenja, ne treba zaboraviti ulogu Republike Hrvatske u radu i zbrinjavanju otpada Nuklearne elektrane Krško. [23]

Osnovni cilj nuklearne sigurnosti je postizanje ispravnih radnih uvjeta i sprječavanje ili ublažavanje posljedica nesreće, što rezultira zaštitom radnika, javnosti i okoliša od nepotrebnih opasnosti od zračenja. Opseg nuklearne sigurnosti i njezina regulacija pokriva cijeli 'ciklus nuklearnog goriva'. Ciklus nuklearnog goriva uključuje vađenje i obogaćivanje radioaktivnih ruda, proizvodnju nuklearnih goriva, transport i korištenje goriva u radu nuklearnih elektrana, ponovnu obradu istrošenog goriva kako bi se ponovno iskoristili materijali za više goriva i skladištenje nuklearnog otpada. Nuklearna sigurnost posebno obuhvaća projektiranje, izgradnju i rad svih nuklearnih postrojenja kao što su nuklearne elektrane i skladišta otpada. Osiguravanje nuklearne sigurnosti također zahtijeva dostupnost odgovarajuće kvalificiranog osoblja, uspostavu učinkovite sigurnosne kulture u radnoj snazi, financiranje istraživanja operativnih i sigurnosnih pitanja te odgovarajući fokus na sigurnost. [5]

U *Strategiji radiološke i nuklearne sigurnosti za razdoblje 2017. – 2025.* kao glavni cilj navodi se sljedeće:

*“...zaštita ljudi i okoliša od štetnih posljedica ionizirajućeg zračenja. Taj cilj, namijenjen pojedinačnoj i kolektivnoj zaštiti ljudi i zaštiti okoliša, treba postići tako da se u što manjem opsegu ograničava rad postrojenja ili obavljanje djelatnosti, koja mogu dovesti do povećanja rizika od ionizirajućeg zračenja. Rad postrojenja i obavljanje djelatnosti treba provoditi tako da su zadovoljeni najviši standardi sigurnosti koje je razumno moguće postići.” [5]*

Da bi se to postiglo, potrebno je:

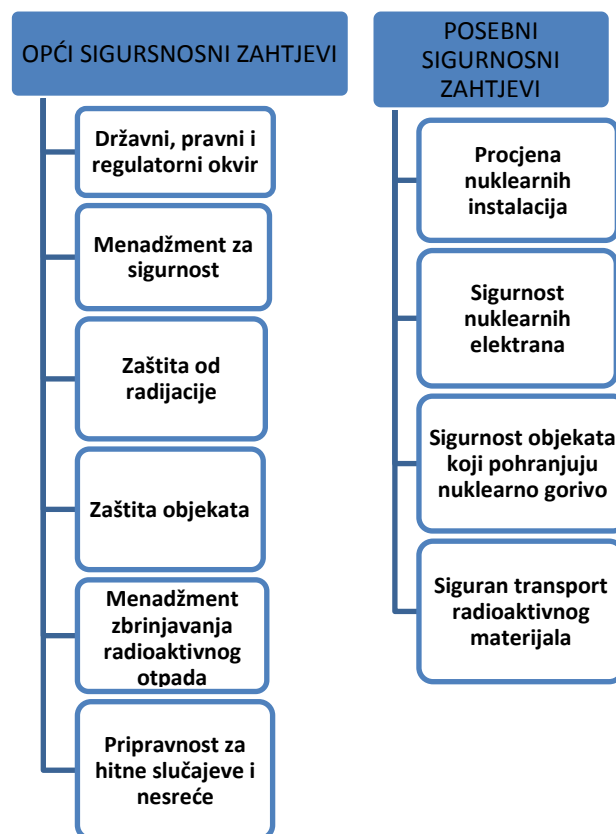
a) provoditi nadzor nad izlaganjem ljudi ionizirajućem zračenju i nad ispuštanjem radioaktivnih tvari u okoliš

b) smanjiti vjerojatnost događaja koji mogu dovesti do gubitka nadzora nad izvorima ionizirajućeg zračenja

c) ublažiti posljedice takvih događaja, ukoliko do njih dođe.

Osnovni cilj radiološke i nuklearne sigurnosti odnosi se na sva postrojenja i djelatnosti, uključujući planiranje, lociranje, projektiranje, proizvodnju, izgradnju, pokusni rad i pogon te razgradnju i zatvaranje postrojenja. To se također odnosi i na prijevoz radioaktivnih materijala, kao i na zbrinjavanje radioaktivnog otpada. [26]

Prikaz 1 pokazuje osnovne sigurnosne elemente u jednom nuklearnom postrojenju.



Prikaz 1 Osnovni sigurnosni elementi [14]

#### 4.1. Obrazovanje kao „jamac“ sigurnosti

Siguran rad u nuklearnoj industriji temelji se na osposobljavaju kompetentne radne snage. Ne samo zbog sigurnog rada elektrane, nego i zbog ulijevanja povjerenja

dionicima koji bi potencijalno mogli ulagati u istu i unapređivati rad. Politike na nacionalnoj, ali i međunarodnoj razini, te propisi, bitni su za organizaciju i obrazovanje radne snage. Sami propisi također zahtijevaju kompetentne ljude koji će iste donositi jer moraju biti upoznati s onime o čemu govore. [26]

Svi akteri koji sudjeluju u radu nuklearne elektrane, gradnji, upravljanju, održavanju trebaju imati sve potrebne kompetencije kako bi se što adekvatnije pokušale spriječiti potencijalne nesreće. Ljudski faktor u radu nuklearnih elektrana je ključan za sigurno funkcioniranje. To je vidljivo i prema nekim nuklearnim nesrećama u povijesti, a najbolji primjer je Černobil gdje je ljudski faktor zakazao u sprječavanju veće katastrofe. Važnost sigurnosne kulture i obuke tada je zanemaren. Danas je velik naglasak na stručnosti osoblja i svi se oslanjaju na to. Obučavanje nije vezano samo uz ljude koji rade u samoj elektrani, nego i za sve one koji sudjeluju u organizaciji i nabavki materijala. Okvir za osposobljavanje i obrazovanje kompetentne radne snage na svim razinama mogao bi dovesti do većeg standarda za obuku i kvalifikacije, omogućujući mobilnost i zadržavanje odgovarajuće kvalificiranog i iskusnog osoblja i bolje povjerenje u primjenu nuklearne tehnologije. Također može pružiti čvrstu osnovu za međunarodno istraživanje tržišta rada, unapređivanje smjernica za sigurno obrazovanje nuklearnog osoblja.[21]

Održavanje visokih sigurnosnih standarda i dalje je velik izazov s kojim se suočava nuklearna industrija. Održavanje visokih sigurnosnih standarda bitno je zbog pritiska od strane tržišta, a da bi se to postiglo potrebno je održati izvrsnost u ljudskim performansama i osigurati da obuka osoblja predstavlja vrijednost za organizacija za samu organizaciju i nešto na što se oni mogu osloniti. Nuklearna elektrana Krško, koja potencijalno može ugroziti stanovništvo blizu nama, na temelju svojeg iskustva, unutar, ali i izvan nuklearne industrije, navela je čimbenike koje smatraju učinkovitim za poboljšanje ljudskog učinka. Čimbenici su sljedeći:

- poticanje vodstva,
- poslovno planiranje koje integrira strategiju poboljšanja ljudskog učinka,
- komunikacija na svim razinama,
- uz osposobljavanje i osobni razvoj pojedinca,
- navođenje standarda i očekivanja,
- učinkoviti savjeti za rad. [19]

U Nuklearnoj elektrani Krško smatraju kako je potrebno imati visok broj visokokvalificiranih i iskusnih radnika kako bi se razina sigurnosti uvijek držala na visokoj razini. Radnike je također potrebno poticati na pozitivan stav i brigu o vlastitoj sigurnosti kao jedan od elemenata sigurnosne kulture. Održavanje visoke učinkovitosti osoblja velik je izazov, a kako bi se to postiglo potrebno je uspostaviti odgovarajuće programe obrazovanja i osposobljavanja i stalno ih kontrolirati kako bi se osigurala njihova relevantnost. Fokus se treba staviti i na tehničke kompetencije koje su vezane uz nuklearnu elektranu i njezine procese, a koji su izuzetno potrebni osoblju za upravljanje postrojenjima. Međutim, kako bi se osiguralo da nuklearne elektrane postižu visoke standarde u pogledu sigurnosti, operativnih performansi i ekonomske konkurentnosti potrebne u današnjem okruženju, prepoznato je da postoje i druga područja kompetencija koja su također važna, uključujući:

- Otvorena komunikacija;
- Timski rad;
- Vodstvo;
- Rješavanje problema;
- Usredotočenost na sigurnost;
- Poslovna usmjerenost;
- Profesionalnost. [19]

Agencija za nuklearnu energiju (NEA) dala je nekoliko preporuka za obrazovanje i osposobljavanje. Prva preporuka je uključivanje vlada u strateško planiranje, obrazovanje radne snage i infrastrukturu. Vlade bi na neki način trebale doprinositi planiranju kako bi osigurale da su ljudski faktori uzeti u obzir i da se radi na obrazovanju ljudi. Snažan angažman vlada ključan je za održavanje nuklearnog znanja, među uključenima, ali i u javnosti. Također, vlade bi trebale ulagati dugoročna istraživanja i razvoj i osiguravanje visokih standarda sigurnosti, zaštite i zaštitnih mjera. Ista agencija je deset godina kasnije provela dodatno istraživanje o ulozi vlade i zaključila da je većina vlada samo zadržala status *quo*, uz malo doprinosa u pogledu planiranja potreba za nuklearnim ljudskim resursima. Međutim, nekolicina se pozitivno pozabavila obrazovanjem, kapacitetom raspoložive radne snage i infrastrukturom, što

u nekim slučajevima označava stvarnu promjenu. U nekim slučajevima to je uključivalo snažnu suradnju s vlasnicima i dioničarima. [1]

Prema Kodeksu sigurnosne i poslovne etike [20] Nuklearne elektrane Krško (NEK), temeljne vrijednosti trebale bi biti polazište za ostvarivanje ciljeva, ali i sastavni dio radnih odnosa i procesa. Zaposlenici trebaju biti upoznati sa svojim pravila i treba se raditi na njihovom odnosu prema svijetu i poslovnom okruženju. Sigurnosnu kulturu, u NEK-u, smatraju i modelom ponašanja njihovih zaposlenika kojim se osigurava stabilan i siguran pogon, a samim time brinu i o zdravlju zaposlenika, partnera i društva općenito. Pozitivna usmjerenost na svim razinama djelovanja smatraju temeljem održivog razvoja. Da bi se došlo do toga, potrebno je educirati i radnike i društvo. Bitno je svoju proizvodnju usmjeriti prema okolišu i društvu. Poštovanje i povjerenje sljedeći su koraci u obrazovanju. Takav odnos treba se njegovati i sa zaposlenicima i sa suradnicima, partnerima. Usklađenost sa zakonima bitan je korak u stvaranju povjerenstva, ali prilikom obrazovanja na te zakone treba ukazati i svojim zaposlenicima. Sve navedeno mora biti uključeno u cjeloviti razvoj zaposlenika. Svi oni s odgovarajućim znanjima, sposobnostima i vještinama te primjerenim vrijednostima od strateškog su značenja i jedan od ključnih činitelja nuklearne sigurnosti, dugoročne stabilnosti, konkurentnosti i uspješnosti. Svoje zaposlenike treba poticati na stalno učenje i razvoj svojih sposobnosti kako bi bili spremni prilagoditi se promjenama. Kako bi cjeloviti razvoj bio potpun, treba raditi i na razvoju osobnih vrijednosti kod zaposlenika i svih koji ulaze u odnos s poduzećem, tj. svima koji pridonose oblikovanju i ostvarivanju temeljnih sustavnih vrijednosti. [20]

Svo stečeno znanje ne može se zadržati ukoliko se ne njeguje. Znanje je potrebno sustavno nadograđivati, dosljedno primjenjivati pri radu i širiti među suradnike. Da bi se znanje moglo širiti i dijeliti, potrebno je raditi na komunikaciji i učiti svoje zaposlenike pravilnom komuniciranju. Kvalitetnom komunikacijom smatra se razumijevanje zadataka, pružanje cjelovitih i odgovarajućih informacija. Dobrom komunikacijom poboljšavaju se međusobni odnosi i time se povećava kolektivna motivacija te učinkovitost. Dugoročno planiranje, pravovremeno zapošljavanje i sustavni razvoj novih zaposlenika u skladu s pravilima i s obzirom na predviđene potrebe ključan je korak u pravilnom obrazovanju svih uključenih. Pritom posebnu pozornost treba pridati razvoju kompetencija za vitalne funkcije u pogledu produbljenog razumijevanja tehnološkog procesa i povećanja kvalitete rada te



učinkovitosti zaposlenika pri radu. Zapošljavati treba na osnovi zahtjeva radnih procesa uzimajući u obzir sistematizirani broj zaposlenika, koji je u skladu s prihvaćenom strategijom upravljanja ljudskim izvorima. Rukovoditelji su odgovorni i osiguravaju sustavan prijenos i dokumentiranje znanja uz poseban naglasak na vještinama i sadržajima koji nisu obuhvaćeni u pogonskim dokumentima. Osoblju strukovnog osposobljavanja i mentorima treba osigurati tehnološka i procesna znanja te potrebna sredstva za provođenje osposobljavanja. Sustavno osposobljavanje bitno doprinosi ostvarivanju postavljenih ciljeva. Osposobljeni i kompetentni pojedinci preduvjet su za učinkovito, kvalitetno i sigurno provođenje radnih procesa, a time i za siguran i stabilan pogon elektrane. [5]

#### 4.2. Zaštitne mjere i predviđanje opasnosti

Sigurnosni vodiči daju preporuke i smjernice o tome kako se uskladiti sa sigurnosnim zahtjevima, ukazujući na međunarodni konsenzus da je potrebno poduzeti preporučene mjere. Sigurnosni vodiči predstavljaju međunarodnu praksu, a sve više odražavaju najbolju praksu, kako bi pomogli korisnicima koji nastoje postići visoku razinu sigurnosti. Preporuke u Sigurnosnim vodičima izražene su kao izjave „trebalo bi“.

Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) govori kako preporučene mjere, između ostaloga, uključuju zaštitu stanovnika oko elektrane. Iste mjere se smatraju posljednjim korakom u zaštiti od mogućeg negativnog djelovanja nuklearne elektrane. Svaka nuklearna elektrana dužna je imati plan zaštite okoliša u slučaju ispuštanja veće radioaktivnosti. Plan zaštite trebao bi sadržavati način obavještanja, način zaštite, sklanjanja i evakuacije stanovništva. Mjere opreza poduzimaju se i prije puštanja elektrane u rad. Već pri samoj gradnji i samom projektiranju nuklearne elektrane poduzimaju se određene mjere kako bi se izbjegli kvarovi na opremi i sustavima. Unatoč tome, uvijek se treba uzeti s oprezom sve provedene mjere i računati na mogućnost pojave kvarova tijekom rada nuklearne. Kako bi se ublažile posljedice kvarova mora se predvidjeti njihov utjecaj na postrojenje. Utjecaj može biti promjena bilo kojih parametara kao što su tlak, količina fluida, temperatura i povišenje graničnih vrijednosti tih parametara. Postoje posebni propisi koji definiraju skupove

kvarova koje je potrebno dodatno analizirati za svako nuklearno postrojenje. Nakon provedenih analiza potrebno je sastaviti i sigurnosni izvještaj. Njime se dokazuje sigurnost nuklearne elektrane. Kako bi se mogle provesti potrebne mjere za sigurnost postoje pomagala koja pomažu pri provedbi sigurnosnih analiza nuklearnih postrojenja. Modeli tih pomagala mogu biti matematički ili fizički. Matematički modeli koriste se za proračunavanje posljedica kvarova i prijelaznih pojava u nuklearnim postrojenjima. Ti proračuni se uvrštavaju u sigurnosni izvještaj. Kada govorimo mogućim kvarovima na nuklearnim postrojenjima, pažnja je na posljedicama po sigurnost postrojenja te ispitivanje toga koja je vjerojatnost nastanka kvarova na opremi i sustavima nuklearnih elektrana. Posebno se obraća pažnja na teže kvarove koji uključuju i ozbiljne posljedice. Procjena sigurnosti i rizika okoline od rada objekta, prema Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju, sadrži nekoliko analiza:

- 1) Analize posljedica određenih kvarova na nuklearnoj elektrani,
- 2) Analize vjerojatnosti pojave kvara na pojedinim sustavima nuklearne elektrane i vjerojatnosti utjecaja tih kvarova na integritet jezgre i ispuštanja radioaktivnosti,
- 3) Determinističke analize su temeljene na matematičkom modeliranju nuklearnog postrojenja. Poremećaji koji se spominju mogu biti izazvani kvarovima na opremi, poremećajima u napajanju energijom i poremećajima u hlađenju sustava.
- 4) Vjerojatnosne analize sigurnosti su zastarjele analize, a temelje se na metodi iz 1960-ih koju su 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. Cilj je procijeniti rizik odgovarajućeg nepovoljnog inicijalnog događaja. Metoda analize rizika omogućava povezivanje mogućih kvarova na opremi s utjecajem na postrojenje i okolinu, ali daje mogućnost ispitati i 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. [10]

Stablo događaja je iduća mjera opreza koja se može koristiti kao alat ispitivanja rizika. Isto nam određuje veze nekog početnog događaja s ishodima koji mogu dovesti do neželjenih posljedica za sigurnost okoline i objekta. Početni događaji unutar postrojenja dijele se u dvije grupe:

- 1) događaji koji dovode do gubitka primarnog hladila
- 2) događaji koji dovode do povećanja proizvodne snage u jezgri ili do smanjenja odvoda topline iz jezgre bez gubitka primarnog hladila

Početni događaji prve grupe mogu biti:

- a) lomovi na tlačniku,
- b) lomovi primarnih cjevovoda,
- c) lomovi cjevovoda izvan zaštitne posude koji su priključeni na primarni rashladni krug,
- d) lomovi cijevi u parogeneratoru.

Početni događaji druge grupe nazivaju se i prijelaznim pojavama, a događaji koji dovode do prijelaznih pojava mogu se pripisati poremećaju ravnoteže između proizvodnje i odvoda topline. U te događaje ubrajamo:

- a) promjenu u odvođenju topline iz reaktora ili parogeneratora,
- b) promjenu u proizvodnji topline u reaktoru,
- c) promjenu količine primarnog fluida u cirkulaciji,
- d) promjenu tlaka primarnog fluida.

Prijelazne pojave također dijelimo u nekoliko grupa, a to su:

- a) Pogonske prijelazne pojave, u koje ubrajamo gubitak rashladne vode, a uz to se veže i gubitak napojne vode s gubitkom i bez gubitka glavnog ponora topline, ali i gubitak električnog napajanja),
- b) prijelazne pojave uzrokovane oštećenjem ili lomom parovoda,
- c) prijelazne pojave koje su posljedica loma parovoda u zaštitnoj posudi i izvan nje,
- d) 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).

Početni događaji unutar postrojenja bili su razlog velike nuklearne nesreće u Černobilu. Uz ljudski faktor, gubitak rashladne vode i zakazivanje sustava uzrokovali su nesreću.

U vanjske početne događaje ubrajamo:

- 1) poplavu,
- 2) potres,
- 3) eksplozije (eksplozije plina, pad aviona),
- 4) ekstremni meteorološki uvjeti. [10]

Vanjski početni događaji uzrok su nesreće u Fukushimi. Isti vanjski događaji potaknuli su i unutarnje događaje koji nisu bili dio sigurnosnog protokola te na njih nije postojao valjan odgovor.

Svakom početnom događaju treba pripisati frekvenciju pojave. Za određena područja možemo statistički znati kolika je vjerojatnost potresa ili tsunamija. Nakon utvrđivanja početnog događaja sastavlja se stablo događaja radi utvrđivanja sustava u nuklearnoj elektrani čije su funkcije potrebne za povoljan ishod posljedica početnog događaja. [14]

#### 4.3. Krizno komuniciranje i komunikacijski protokol u slučaju nesreće

Upravljanje krizom predstavlja složen proces i operacije koje zahtijevaju više vremena i koji obuhvaćaju veći broj ljudi – iz političkog i poslovnog svijeta, ali i pojedinci koji su ugroženi samom krizom. Cilj upravljanja krizom je prevencija produbljanja krize i što brže rješavanje iste te vraćanje na stanje prije iste, a sa što manjim posljedicama. Krizni menadžment ovdje ima najveću ulogu i njegov glavni cilj je pravovaljano i pravovremeno djelovanje. Coombs [3] navodi dva osnovna cilja kriznog menadžmenta:

- 1) prevencija i
- 2) minimiziranje štete nastale krizom.

Planiranje omogućava bolju kontrolu i veće šanse za rješavanje krize s minimalnom štetom i velikim uspjehom. Vrlo je bitno imati na umu da do krize može doći, a ne ignorirati tu činjenicu. Samim time postiže se bolja kontrola i veća šansa za rješavanje krize. Kešetović i Korajlić [12] navode kako je bitno biti proaktivan – dobro pripremljen za krizu i znati kako djelovati. Proaktivno djelovanje može ublažiti posljedice, a pasivno promatranje i čekanje može nanijeti još veću štetu. Proaktivnost je bitan element kriznog menadžmenta. Kešetović i Korajlić [12] navode da se učinkovit

krizni menadžment i učinkovito upravljanje krizom može izvesti ukoliko se držimo principa upravljanja kriznim situacijama. Principi su sljedeći:

- 1) Suočavanje sa stvarnošću;
- 2) Brzo i odlučno djelovanje;
- 3) Zaštita ljudi kao prioritet;
- 4) Prisutnost vodećih ljudi na mjestu događaja i
- 5) Otvorena komunikacija.

Komunikacija je već navedena kao bitan dio obrazovanja zaposlenika i ostalih uključenih u rad postrojenja. Komunikacija je oduvijek velik izazov za svaku organizaciju koja je pogođena bilo kojim oblikom krize. Ukoliko se javi izostanak komunikacije, raste neizvjesnost, a to negativno utječe na svaki sljedeći korak. Krizno komuniciranje je neizostavno područje kriznog menadžmenta i neizostavan je alat umanjivanja neizvjesnosti i pritiska. Coombs i Holladay [2] krizno komuniciranje definiraju na sljedeći način:

*„...prikupljanje, obradu i širenje informacija potrebnih za rješavanje krizne situacije“.*

Novak [17] krizno komuniciranje definira na sljedeći način:

*„...posebno područje odnosa s javnošću koje obuhvaća predviđanje potencijalnih kriznih događaja, pripremu za njih, rješavanje kriza i komunikaciju s oštećenim i drugim ključnim javnostima organizacije te nakon analize i krizno ocjenjivanje“.*

Fearn-Banks [6] isto tako krizno komuniciranje smatra važnim dijelom upravljanja krizom i definira ga na sljedeći način:

*„...verbalna, vizualna i/ili pisana interakcija između organizacije i njenih javnosti (uobičajeno preko masovnih medija), prije negativnih događaja, tijekom i nakon njih“.*

Krizno komuniciranje prvenstveno se temelji na dijalogu između krizom pogođene organizacije i zainteresirane javnosti, prije krize, za vrijeme i nakon pojave krize. Powers i suradnici razlikuju četiri elementa kriznog komuniciranja:

- 1) sposobnost empatije s javnosti,
- 2) kompetentnost i sposobnost onog koji komunicira – komunikatora,
- 3) iskrenost prilikom davanja informacija,

4) dostupnost za javnost.

Ukoliko se prilikom kriznog komuniciranja u obzir uzmu navedeni elementi, može se pridonijeti boljem i uspješnom upravljanju krizom. Ukoliko se neki elementi izostave i ne zadovolje, može se potencijalno ugroziti daljnje nošenje s kriznom situacijom, a u opasnost se može dovesti i opstanak organizacije.[22]

Covello i Allen navode sedam ključnih elemenata kod kriznog komuniciranja:

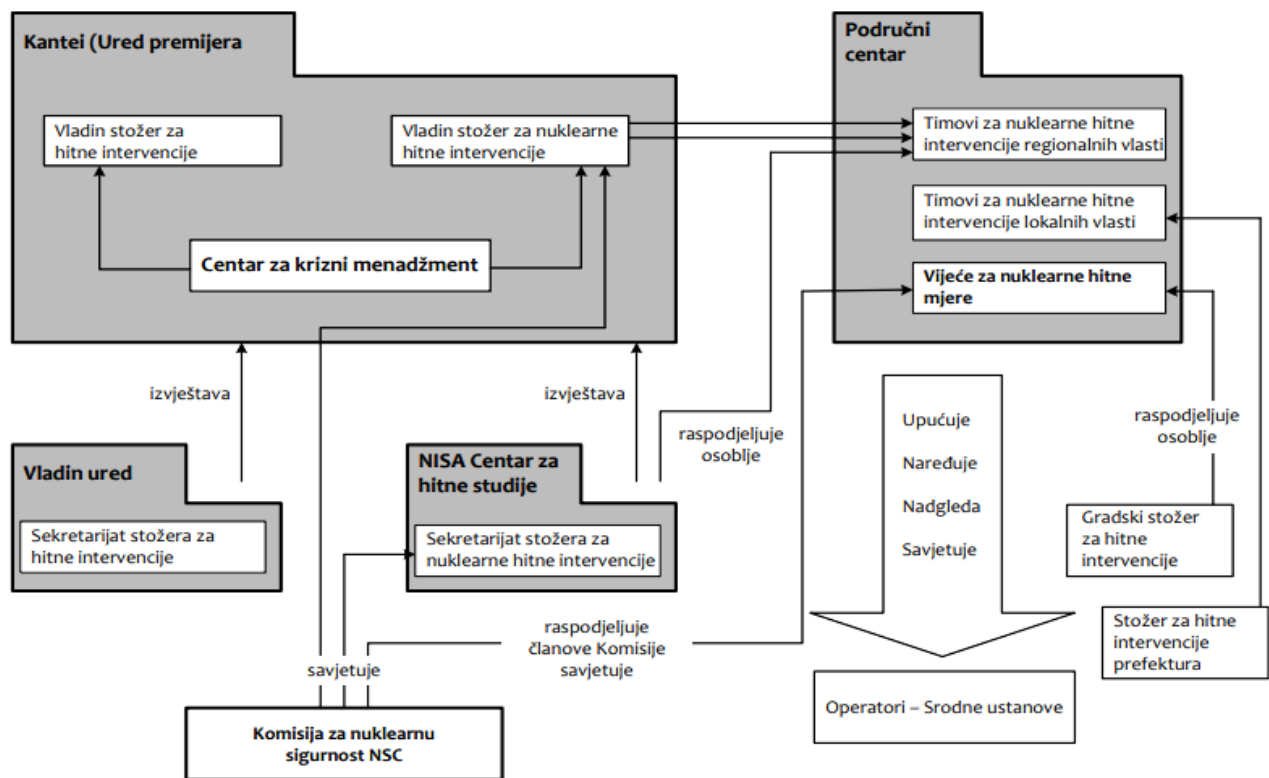
- 1) uključenje javnosti i prihvaćanje iste kao partnera,
- 2) planiranje i evaluacija rada,
- 3) prema različitim medijima razraditi različit pristup,
- 4) osluškivanje javnosti,
- 5) iskrenost i poštenje,
- 6) suradnja s ostalim vjerodostojnim izvorima,
- 7) jasno izlaganje s vidljivom empatijom. [4]

Okončanje krize ne znači i završetak kriznog komuniciranja. Ono se nastavlja kroz analizu kako bi se mogao unaprijediti u budućnosti u slučaju nove krize koju se ne smije isključiti. Analiza uključuje sve kanale i elemente koji su bili uključeni u komunikaciju s javnošću. Niti jedan element ne smije biti zanemaren. Novak (2001) smatra kako se propusti mogu popraviti ukoliko se ne ignoriraju i ukoliko se otkriju analizom. Neki propusti se mogu ispraviti i naknadno. Primjerice, ukoliko smo zakinuli javnost za neke informacije, one se mogu dostaviti naknadno i tako se može povratiti djelomično izgubljeno povjerenje. Time se sačuva i ugled koji se gradi jako dugo, a može se izgubiti jako lako. Strateško komuniciranje također ne smije biti izostavljeno jer je dio kriznog komuniciranja. Očuvanje reputacije uvijek je cilj svake organizacije. Ukoliko je reputacija djelomice narušena, organizacije se, prema Novaku [17], može poslužiti jednom od sljedećih strategija:

- 1) priznanjem,
- 2) pravnom pomoći,
- 3) šutnjom,
- 4) povlačenjem i napadom,
- 5) traženjem drugih razloga za nastanak krize. [17]

Priznanjem organizacija prihvaća i priznaje svoje pogreške ili upućuje na nesretan događaj. Nakon priznanja, organizacija može ponuditi pomoć onima koji su oštećeni i posljedice, najčešće u vidu otkaza, mogu snositi odgovorne osobe. Strategija pravne pomoći je u većini slučajeva neuspješna jer, bez obzira na konačan ishod, za sobom povlači loš publicitet i direktno šteti organizaciji. Ista stvar je i sa strategijom šutnje jer, iako se misli da će se pažnja skrenuti i s vremenom zaboraviti na krizu, a zapravo ta strategija polučiti suprotnim učinkom i jako šteti ugledu organizacije. Bilo koja krizna situacija, nesreća, bila ona nuklearna ili prirodna, uz krizno komuniciranje zahtijeva i poseban protokol u slučaju da do iste dođe. Priručnik za nuklearne hitne intervencije, u slučaju nuklearne katastrofe, nalaže da se formira *Nuclear Emergency Response Headquarters (NERHQ)*, Stožer za nuklearne katastrofe, u sklopu Ureda premijera koji služi kao centar za hitne intervencije od strane Vlade. [17]

Mihalinčić navodi kako protokol nadalje zahtijeva i formiranje Centra za krizni menadžment koji se također treba nalaziti u zgradi ureda premijera. Njegov primarni zadatak je prikupljanje informacija, izvještavanja premijera i centraliziranje svih vladinih aktivnosti i okupljanje visoko pozicioniranog osoblja – ministarstava, koji za zadaću imaju donošenje brzih, točnih i jasnih mišljenja. Prema Zakonu o specijalnim mjerama nuklearne pripravnosti, blizu mjesta same nesreće potrebno je formirati i područni centar unutar kojeg je potrebno formirati Lokalni stožer za nuklearne katastrofe i Vijeće za nuklearne hitne intervencije. Njihov zadatak je koordinirati informacije između Vlade, javnih tijela, nuklearnog operatera i ostalih. Komunikacijski protokol u slučaju nesreće prikazan je na slici 4. [16]



**Slika 4** Komunikacijski protokol u slučaju nesreće [16]

U Republici Hrvatskoj postupci i mjere zaštite i spašavanja u slučaju nuklearne nesreće propisani su Zakonom o sustavu civilne zaštite. Kao prvi korak navedeno je upozoravanje. Neke rizike je moguće smanjiti ukoliko se razvoj događaja, uz pomoć adekvatnih sredstava, može predvidjeti. Rano upozoravanje temelji se na nacionalnim sustavima predviđanja ili na podacima iz međunarodnih izvora. Upozoravanje je učinkovito samo ukoliko je pravovremeno i ako je informiranje jasno i djelotvorno. Državni centar 112 je ulazna i izlazna nacionalna kontakt točka za razmjenu većine informacija ranog upozoravanja. Drugi korak je upozoravanje i uzbunjivanje. Upozoravanje je najjeftinija i najučinkovitija metoda u pripremanju zajednice na izvanredne događaje u ublažavanju posljedica tog događaja. U Republici Hrvatskoj te korake vode nadležne institucije, a to su Državna uprava za zaštitu i spašavanje (DUZS), jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave (JLP(R)S), pravne osobe i stanovništvo. Ravnatelj Državne uprave za zaštitu i spašavanje donosi standardni operativni postupak (SOP) za djelovanje sustava javnog uzbunjivanja i njime se utvrđuju vrste izvanrednih događaja u kojima se koristi sustav javnog uzbunjivanja, način određivanja područja i prioriteta. U slučaju radiološke i nuklearne



nesreće kao izvor upozoravanja koristi se nacionalni i EU sustav upozoravanja. Tijelo koje je nadležno za poslove radiološke i nuklearne sigurnosti je Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost koji za potrebe upozoravanja koristi sustav pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću (SPUNN). Spomenuti sustav omogućava alarmiranje u slučaju povišenja razine radioaktivnosti u okolišu te osigurava ulazne podatke za procjenu doza za stanovništvo. Ukoliko s mjernih stanica, kojih ima 25 u Republici Hrvatskoj, dođu informacije o povećanoj radioaktivnosti, pokretni radiološki timovi se stavljaju u funkciju. Njihov zadatak je mjeriti brzinu doze, provesti in-situ gama spektrometrijsku analizu i prikupiti uzorke zraka, hrane, vode i tla potrebnih za detaljne laboratorijske analize. U slučaju radiološke i nuklearne katastrofe i velike nesreće glavni odgovorni su Vlada RH, Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Stožer zaštite i spašavanja Republike Hrvatske, Državna uprava za zaštitu i spašavanje, Zapovjedništvo civilne zaštite Republike Hrvatske, vatrogasna zapovjedništva i središnja tijela državne uprave. Osim vatrogasnih zapovjedništva i središnjih tijela državne samouprave koji djeluju sukcesivno, po potrebi, ostala tijela dužna su reagirati odmah po nastanku nesreće. [23]

#### 4.3.1. Komunikacijski protokol na primjeru Fukushime

U slučaju Fukushime komunikacijski protokol nije funkcionirao. Područni centar morao je biti evakuiran odmah nakon nesreće jer nije bio funkcionalan. Središnje tijelo premješteno je u ured premijera, a vlada se trebala fokusirati na komunikaciju s javnošću. Međutim, Vlada je zanemarile krizno komuniciranje i odnose s javnošću te se fokusirala na tekuće probleme u Fukushime, a to je trebala biti obveza operatera. Kasnije se pokazalo da je operater zataškao razmjere stvarne opasnosti iako se stanje pogoršavalo iz dana u dan. Operater je selektirao i prešućivao informacije te stvorio javno negodovanje i nepovjerenje. Niti javnost niti premijer nisu bili pravilno i pravovaljano informirani, pa čak niti dio javnosti koji je bio direktno ugrožen. Prve informacije o eksplozijama i radijaciji do premijera su došle preko medija i to ga je ponukalo na preuzimanje kontrole nad krizom koja ih je snašla. [15]

Nakon nekoliko dana izostanka pravih i valjanih informacija, premijer je, kako navodi Mihalinić, sam otišao do uprave operatera i zahtijevao informacije o stvarnim

razmjerima krize. Sama činjenica da je premijer neplanirano intervenirao, poremetila je cjelokupno planiranje i upravljanje kriznom situacijom. To je dovelo do još veće neorganiziranosti i zbrke. Javilo se i nekoliko dodatnih problema:

- a) prikupljanje informacija nije bilo moguće zbog zakrčenosti linija,
- b) mobilni telefoni nisu se mogli koristiti,
- c) razmjena informacija nije funkcionirala kako je trebala. [16]

Osim organizacijske strukture i komunikacije, patio je i plan evakuacije koji je donesen bez sudjelovanja Centra za krizno upravljanje koji je pak imao najviše informacija o stvarnom stanju. Uloge su se zamijenile bez da je Centar za krizno upravljanje uopće bio upućen da su premijer i čelnici okupljeni na petom katu postali središnje tijelo za donošenje odluka u upravljanju nesrećom. To je samo dodatno narušilo ionako već loše upravljanje krizom. Osim očitog problema u organizaciji vladinih tijela, problem je nastao i u upravljanju odnosa s javnošću. Javnost je zahtijevala točne i brze informacije o onome što se događa. Posljedično je došlo do toga da je samo dio stanovništva znao za nesreću u trenutku kada je došla naredba o evakuaciji. Ostatak stanovništva bio je zatečen i zbunjen te nisu znali reagirati u skladu s kriznom situacijom. Informacije su kolale sporo, pomno birane i nejasno predstavljene. Izvanredno stanje proglašeno je 11. ožujka 2011. u 19 sati i tri minute. Tri sata trebala su čelnicima da odluče proglasiti izvanredno stanje. Sam premijer nije bio svjestan važnosti takve odluke, a ostali članovi tima nisu obavili svoj posao i upoznali ga s ozbiljnošću situacije. Istraživanje provedeno kasnije, navodi Mihalinčić [16] pokazalo je jako nisku svijest o samoj nesreći jer informacije nisu dolazile dovoljno brzo. Najprije je zona evakuacije postavljena unutar tri kilometra da bi kasnije bila proširena u nekoliko navrata, a informacije su dolaze različitom brzinom do svake zone evakuacije. To je dodatno naručilo organizaciju upravljanja krizom i doprinijelo težoj organizaciji evakuacije. Budući da su neke informacije bile nedostupne, događalo se da se ljudi evakuiraju u područja s visokom dozom radijacije. Kaos koji je nastao prilikom evakuacije i prilikom informiranja, pokazali su mnoge nedostatke u obavljanju dužnosti gotovo svih onih koji su trebali biti obučeni za upravljanje krizom. [16]

Sva pravila uspješnog kriznog komuniciranja, koja su naveli Covello i Allen, zanemarena su prilikom nesreće u Fukushimi. Planiranje, komunikacija, informiranje i uključivanje svih koji su zahvaćeni tom nesrećom bilo je ključno, ali i zanemareno. [4]

## 5. ZAKLJUČAK

Još uvijek postoje velike dezinformacije o nuklearnoj tehnologiji i njenoj uporabi i korisnosti. Mediji i društvene mreže danas imaju jako velik utjecaj na javno mišljenje, a isti nerijetko nuklearne elektrane stavlja u isti koš s nuklearnim oružjem i velikim nuklearnim nesrećama u daljoj i bližoj povijesti, poput onih spomenutih u radu. Sve skupa je jako negativno utjecalo na javno mnijenje u pogledu korištenja nuklearnih postrojenja. Činjenica da se ljudi boje rizika i mogućih štetnih utjecaja je potpuno shvatljiva i jasna, ali je i posljedica neinformiranosti javnosti. Cilj Vlada trebao bi biti veće ulaganje u individualno obrazovanje stanovništva, posebice obrazovanje mladih. Osim informiranosti o tome što nuklearne elektrane predstavljaju, javnost, ali prvenstveno zaposlenike i operatere nuklearnih elektrana, treba podučiti o pojmu sigurnosne kulture. Sam pojam *sigurnosna kultura* inače obuhvaća skup stavova i praksi koji bi trebali pružiti veću sigurnost u radu elektrana i u slučaju potencijalnih nesreća. Sve organizacije koje upravljaju politikom nuklearne energije trebaju biti svjesni važnosti sigurnosne kulture koja uključuje i sigurnost u vidu opremljenosti i u vidu obrazovanja svoje radne snage. [5]

Sljedeći bitan aspekt kod nuklearnih nesreća, ali i kod potencijalnog sprječavanja da do iste dođe, je i krizno komuniciranje. Krizno komuniciranje ne odnosi se nužno samo na komuniciranje kada do krize dođe, nego i na komunikaciju prije i nakon krize. Komunikacija prije krize odnosi se na komunikaciju između osoblja i svih tijela koji se bave upravljanjem nuklearne elektrane. Odnos i dobra poslovna komunikacija između zaposlenika je od krucijalne važnosti za apsolutno svako poduzeće. Krizni menadžment ključan je u komuniciranju kada dođe do krize i kada kriza završi. Vrlo bitan element takvog komuniciranja je upravljanje informacijama, odnos s javnošću i očuvanje reputacije. Nesreća u Fukushimi prikaz je lošeg kriznog menadžmenta i lošeg kriznog komuniciranja. Sustav je zakazao i doveo do strašnih posljedica za ljude i okoliš. Sustav kriznog menadžmenta zahtijeva reforme. [2]

Ono što bi se moglo mijenjati na nacionalnim razinama je svakako podizanje svijesti o pitanju sigurnosne kulture i informiranje građana o prednostima korištenja nuklearne energije budući da je javnost ponajviše upoznata s negativnim stranama i posljedicama nuklearnih katastrofa. U Republici Hrvatskoj nema nuklearnih

postrojenja, ali spomenute su dvije koje se nalaze nedaleko, a u radu jedne Republika Hrvatska sudjeluje iako se ne nalazi na državnom teritoriju.

## 6. LITERATURA

- [1] Agencija za nuklearnu energiju (NEA). DOSTUPNO NA <https://www.oecd-nea.org/>. PRISTUPLJENO: 12.5.2022., 28.6.2022., 1.7.2022.
- [2] Coombs, Timothy W., Holladay, Sherry J. (2001). An extended communication of the crisis communication: a fusion of the relational management and symbolic approaches. *Journal of public relations research*, 13(4). str. 92.
- [3] Coombs, Timothy (2006). *Code Red in the Boardroom: Crisis Management as Organizational DNA*. Westport Connecticut London.
- [4] Covello Vincent T., Allen Frederick W. (1988). *Seven Cardinal Rules of Risk Communication*. US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis. Washington, DC.
- [5] Europska komisija, Nuklearna sigurnost i razgradnja nuklearnih postrojenja, DOSTUPNO NA: [https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclear-energy/decommissioning-nuclear-facilities\\_en#documents](https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclear-energy/decommissioning-nuclear-facilities_en#documents), PRISTUPLJENO: 24.3.2022.
- [6] Fearn-Banks, Kathleen (2009). *Crisis communications: A casebook approach*. 3rd Mahwah, NJ: Erlbaum.
- [7] Feretić, Danilo (1995). *Nuklearne elektrane*. Zagreb, Školska knjiga
- [8] Feretić, Danilo (2010). *Uvod u nuklearnu energetiku: udžbenik za studente Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu*. Zagreb, Školska knjiga, Hrvatsko nuklearno društvo
- [9] Hawkes, Nigel, Geoffrey Lean, David Leigh, Robin McKie, Peter Pringle i Andrew Wilson (1986). *Najgora nesreća na svijetu Černobil: kraj nuklearnog sna*. Zagreb, Globus.
- [10] IAEA, International Atomic Energy Agency (2001). *Risk management: A tool for improving nuclear power plant performance*

[11] Josipović, Ivana (2017). Nove tehnologije nuklearnih termoelektrana. Osijek, Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku.

[12] Kešetović, Želimir, Korajlić, Nedžad (2008). Krizni menadžment. Univerzitet, Pravni fakultet. Travnik.

[13] Kolarec, Jurica (2015). Nuklearna elektrana Krško. Karlovac, Veleučilište u Karlovcu

[14] Međunarodna agencija za atomsku energiju, Implementing Guide. DOSTUPNO NA: <https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-and-security> , PRISTUPLJENO: 15.5.2022., 1,7,2022.

[15] Mihalčić, Martina (2012). Krizno komuniciranje, slučaj Fukušima. Folitične analize, broj 12.

[16] Mihalinić, Martina (2018). Upravljanje krizama i komuniciranje, Veleučilište Velika Gorica

[17] Novak, Božidar 2001. Krizno komuniciranje i upravljanje opasnostima. Binoza Press. Zagreb.

[18] Nuklearna elektrana Krško, DOSTUPNO NA: <https://www.nek.si/hr/o-nama>. PRISTUPLJENO: 13.5.2022., 29.6.2022.

[19] Nuklearna elektrana Krško, Vizija i poslovanje, DOSTUPNO NA: <https://www.nek.si/hr/o-nama/vizija-misija-vrijednosti>, PRISTUPLJENO: 14.5.2022.

[20] Nuklearna elektrana Krško, Kodeks sigurnosne i poslovne etike, DOSTUPNO NA: <https://www.nek.si/hr/publikacije>, PRISTUPLJENO: 22.5.2022.

[21] Procjena nuklearne i radiološke opasnosti za Republiku Hrvatsku, Revizija.

DRŽAVNI ZAVOD ZA RADIOLOŠKU I NUKLEARNU SIGURNOST, 2018.

DOSTUPNO NA: <https://civilna->

[zastita.gov.hr/UserDocImages/dokumenti/Radioloska%20i%20nuklearna%20sigurnost/Procjene,%20istrazivanja%20i%20analize/Procjena%20nuklearne%20i%20radioloske%20opasnosti%20za%20Republiku%20Hrvatsku.pdf](https://civilna-zastita.gov.hr/UserDocImages/dokumenti/Radioloska%20i%20nuklearna%20sigurnost/Procjene,%20istrazivanja%20i%20analize/Procjena%20nuklearne%20i%20radioloske%20opasnosti%20za%20Republiku%20Hrvatsku.pdf)

[22] Powers Terence, Berry LaVerle, Jones Amanda (1999). Media Interaction with the Public in Emergency Situation: Four Case Studies. Library of Congress. Washington.

[23] Ravnateljstvo civilne zaštite, DOSTUPNO NA: <https://civilna-zastita.gov.hr/>

[24] Nuklearne elektrane, DOSTUPNO NA <https://civilna-zastita.gov.hr/> , PRISTUPLJENO: 28.6.2022.

[25] Savšek-Safić, Simona; Skube, Klemen; Tacer, Matej; Ambrožič, Tomaž (2008). Stability of the Krško Nuclear Power Plant. Sveučilište u Ljubljani, Ljubljana.

[26] Strategija radiološke i nuklearne sigurnosti za razdoblje 2017. – 2025. NN 65/2017. DOSTUPNO NA: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_07\\_65\\_1530.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_07_65_1530.html). PRISTUPLJENO: 14.5.2022.

[27] Svjetska udruga operatera nuklearnih elektrana (WANO). DOSTUPNO NA: <https://www.wano.info/> , PRISTUPLJENO: 11.5.2022.

[28] Three Mile Island Accident (2000). Nuclear Energy Institute, Review. DOSTUPNO NA: <https://world-nuclear.org/> , PRISTUPLJENO: 28.6.2022.

[29] Vuković, Vladimir. (1991). Otok tri milje i Černobil: dugoročne posljedice akcidenata i naučene lekcije". Energija: časopis Hrvatske elektroprivrede 40, broj 6.

[30] World Nuclear Performance Report 2021, World Nuclear Association, Report No. 2021/003. DOSTUPNO NA: <https://world-nuclear.org/getmedia/891c0cd8-2beb-4acf-bb4b-552da1696695/world-nuclear-performance-report-2021.pdf.aspx>. PRISTUPLJENO 13.5.2022.

[31] Slika 1 Proizvodnja nuklearne električne energije

[32] Slika 2 Završna montaža reaktorske zgrade u rujnu 1975. godine, PRISTUPLJENO 29.6.2022.

[33] Slika 3 Nuklearna elektrana Krško, PRISTUPLJENO: 15.5.2022.

[34] Slika 4 Komunikacijski protokol u slučaju nesreće

[35] Prikaz 1 Osnovni sigurnosni elementi [14]

[36] Tablica 1 INES ljestvica ili Međunarodna ljestvica za nuklearne nesreće [22]