Utjecaj nuklearne elektrane Krško na okoliš i zdravlje ljudi

Bašelović, Nora Lucia

Undergraduate thesis / Završni rad

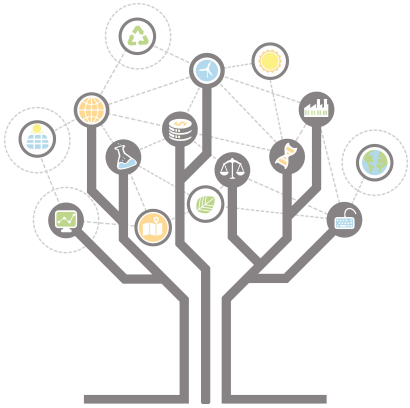
2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:799934

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

NORA LUCIA BAŠELOVIĆ

UTJECAJ NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE LJUDI

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2020.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva za
_____u _____ sati.

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred ispitnim povjerenstvom u Varaždinu.

Varaždin, _____.

Predsjednik ispitnog
povjerenstva:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

Članovi povjerenstva

1) Doc.dr.sc. Jelena Loborec
2) Prof.dr.sc. Sanja Kapelj
3) Prof.dr.sc. Miroslav Golub

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

NORA LUCIA BAŠELOVIĆ

UTJECAJ NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE LJUDI

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:
NORA LUCIA BAŠELOVIĆ

MENTOR:
DOC.DR.SC. JELENA LOBOREC

VARAŽDIN, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: NORA LUCIA BAŠELOVIĆ

Matični broj: 2837 - 2017./2018.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

UTJECAJ NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE LJUDI

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Nuklearna elektrana Krško
3. Radioaktivni otpad
4. Negativni učinci nuklearne elektrane
5. Nuklearna elektrana i obnovljivi izvori energije
6. Zaključak
7. Popis literature

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 16.03.2020. Rok predaje: 03.07.2020.

Mentor:
Doc.dr.sc. Jelena Loborec

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - VARAŽDIN

Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Utjecaj nuklearne elektrane Krško na okoliš i zdravlje ljudi

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Jelene Loborec

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 24.06.2020.

Nora Lucia Bašelović

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Utjecaj nuklearne elektrane Krško na okoliš i zdravlje ljudi

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 24.06.2020.

Doc.dr.sc. Jelena Loborec
(Mentor)

Jelena Loborec
(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

IME I PREZIME AUTORA: Nora Lucia Bašelović

NASLOV RADA: Utjecaj nuklearne elektrane Krško na okoliš i zdravlje ljudi

U posljednjim desetljećima utjecaj na okoliš je postao jedan od dominantnih faktora prema kojem šira javnost prihvaća ili odbija neki energetski objekt u svojoj blizini. Nuklearne elektrane su danas jedan od velikih izvora električne energije koji imaju mogućnost dugotrajnog zadovoljenja svjetskih potreba za energijom na ekološki prihvatljiv način. Ne proizvode stakleničke plinove te stoga mogu doprinijeti rješavanju problema globalnog zatopljenja. Najveća opasnost za okoliš iz nuklearne elektrane dolazi od radioaktivnog materijala iz kojeg se u nuklearnom reaktoru proizvodi energija. Nuklearne elektrane projektirane su, izgrađene i korištene na takav način da se spriječi ispuštanje radioaktivnog materijala u okoliš, međutim, štetni utjecaj na okolnu floru i faunu te na zdravlje ljudi moguć je radijacijom iz otpada. Republika Hrvatska se i dalje bori s problemom lokacije za skladištenje nuklearnog otpada, a potencijalni prijedlozi rješenja nailaze na blokade lokalnog stanovništva. U ovom radu predstavljen je princip rada nuklearnih elektrana, s posebnim osvrtom na nuklearnu elektranu Krško te njen utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi. Također, ukazano je na moguće promjene do kojih može doći u bliskoj budućnosti kao i na potencijalne katastrofe koje mogu biti uzrokovane nepažnjom ili razornom silom prirode. U radu se poseban naglasak stavlja na problem nastajanja i skladištenja radioaktivnog otpada u Republici Hrvatskoj kao i na mogućnosti njegove prerade.

KLJUČNE RIJEČI: nuklearne elektrane, ionizirajuće zračenje, zdravlje, utjecaj na okoliš.

ABSTRACT

NAME AND SURNAME of the AUTHOR: Nora Lucia Bašelović

TITLE: Impact of the Krsko nuclear power plant on the environment and human health

In recent decades, an environmental impact has become one of the dominant factors for the public acceptance of an energy facility. Nowadays, nuclear power plants are large source of electricity that has the potential to meet the world's needs in an environmentally friendly manner in the long term. They do not produce greenhouse gases and therefore, they can contribute to solving the problem of global warming. The greatest environmental hazard from a nuclear power plant comes from the radioactive material from which power is generated in a nuclear reactor. Nuclear power plants have been designed, constructed and used in such a way which prevents the release of radioactive material into the environment. However, adverse effects one surrounding flora and fauna and on human can be exerted by the radiation from waste material. The Republic of Croatia is still struggling with the problem of finding a nuclear waste storage site and potential solutions to the problem are opposed to by local residents.

This paper presents the principle of operation of nuclear power plants with the special reference to the Krško nuclear power plant as well as to its impact on the environment and human health. It also points to possible changes that may occur in the near future as well as to potential disasters that may be caused by carelessness or the destructive force of nature. The paper places special emphasis on the problem of generation and storage of radioactive waste in the Republic of Croatia as well as on the possibilities of its processing.

KEYWORDS: nuclear power plant, ionizing radiation, health, environmental impact

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO 3
2.1. POVIJESNI RAZVOJ 3
2.2. POSTROJENJE U NUKLEARNOJ ELEKTRANI KRŠKO 4
2.3. GORIVO U NUKLEARNOJ ELEKTRANI 7
2.4. NUKLEARNI REAKTOR 9
3. RADIOAKTIVNI OTPAD 10
3.1. KOLIČINA I AKTVNOSTI RADIOAKTIVNOG OTPADA U RH 11
3.2. UPRAVLJANJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM 13
3.3. LOKACIJA ODLAGALIŠTA 14
3.4. MIŠLJENJE JAVNOSTI 16
4. NEGATIVNI UČINCI NUKLEARNE ELEKTRANE 18
4.1. MOGUĆNOSTI POJAVE NESREĆE U ELEKTRANI 18
4.2. MJERE SIGURNOSTI ZA SLUČAJ NESREĆE 22
4.3. SEIZMIČNOST KRŠKOG 24
4.4. UTJECAJ RADIOAKTIVNOSTI NA OKOLIŠ 25
4.5. UTJECAJ RADIOAKTIVNOSTI NA ZDRAVLJE LJUDI 27
5. NUKLEARNA ELEKTRANA I OBNOVLJIVI IZVORI 32
6. ZAKLJUČAK 34
7. POPIS LITERATURE 36

1. UVOD

Rastom čovjekovih potreba za energijom ubrzano raste i razvoj tehnologije za proizvodnju energije. Najmlađa tehnologija za dobivanje električne energije je upravo nuklearna tehnologija. Sam pojam nuklearna elektrana kod većine ljudi izaziva osjećaj straha, ali i divljenja. Možda je to zbog njihove moći i zbog činjenice da, iako su vrlo korisne jer omogućuju proizvodnju energije na brz i efikasan način, uvijek postoji mogućnost da nešto pođe po zlu i nastupi katastrofa. Ali zanimljivo je kako je uopće netko nekad došao na ideju stvaranja takvog čudesa. Sve je započelo još davne 1898. godine kada je Marie Curie proučavala uranij i otkrila radioaktivnost. Njen trud i motivacija da dokaže kako postoji nešto o čemu nitko do tada nije imao pojma je bila samo uvertira na ono što je slijedilo nakon. Zajedno sa svojim mužem, koji je bio ugledni i poštovani znanstvenik, uspjeli su izolirati dva nova kemijska elementa, točnije polonij i radij. Za svoje otkriće su nagrađeni Nobelovom nagradom. Njihov uspjeh je nadahnuo mnoge, koji su istraživajući i proučavajući otkrivali sve više o radioaktivnosti.

Razumijevanje nuklearne fisije je u Drugom svjetskom ratu motiviralo daljnja istraživanja za razvoj nuklearnog oružja, a po njegovom završetku omogućen je početak mirne primjene nuklearne energije. Godine 1951. proizveden je prvi nuklearni reaktor. Nalazio se u SAD-u te je mogao proizvoditi električnu energiju dovoljno za jednu žarulju. Međusobnim natjecanjem u naoružanju tijekom Hladnog rata između tadašnjeg SSSR-a i SAD-a, poticalo se tadašnje inženjere i znanstvenike da razviju što bolju tehnologiju, što je na kraju dovelo do stvaranja nuklearne elektrane. Već 1954. godine izgrađen je u Rusiji, u Obninsku reaktor koji je mogao proizvoditi električnu energiju za lokalno stanovništvo. O važnosti nuklearnih elektrana za gospodarstvo svjedoči i činjenica da je u svega par godina polovica europskih država za zadovoljavanje energetskih potreba koristila energiju dobivenu iz nuklearnih reaktora. Neke tvrdnje govore da je za raširenost upotrebe nuklearne tehnologije u svijetu zaslužna upravo kriza koja je u to doba nastupila u nabavi fosilnih goriva prihvatljive cijene.

Međutim, još je jedan povijeni događaj predstavljao prekretnicu u odnosu javnosti prema nuklearnim elektranama. Taman u doba kada je nuklearna elektrana

postigla status sigurnosti, 1986. se dogodila jedna od najvećih katastrofa – Černobilska nesreća u kojoj je eksplodirao reaktor u nuklearnoj elektrani. Njen utjecaj je bio svjetskih razmjera, a posljedice se osjećaju još i danas. Iako znaju do čega može doći nepravilnim radom nuklearne elektrane, mnoge države u svijetu i dalje svoje gospodarstvo baziraju upravo na toj vrsti energije.

U ovom radu predstavljena je nuklearna elektrana Krško, od samog početka razvoja nuklearne industrije u Hrvatskoj, zatim njen princip rada te utjecaj na okoliš i posljedice na zdravlje ljudi. Nuklearna elektrana zauzima značajnu ulogu u energetici općenito, omogućuje dobivanje velike količine energije, a ne oslobađa štetne plinove što smanjuje staklenički učinak i klimatske promjene, ali ima i nedostatke koji se ne smiju zanemariti. U prvom redu to su troškovi proizvodnje i odgovarajućeg održavanja te nimalo bezopasnu mogućnost radijacije koja uzrokuje bolesti i onečišćenje okoliša.

2. NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO

Nuklearna elektrana Krško nalazi se u Sloveniji na lijevoj obali rijeke Save, nekoliko kilometara nizvodno od grada Krško. Zajedničko je vlasništvo Republike Hrvatske i Republike Slovenije. S komercijalnim radom započela je u siječnju 1983. godine i od tada neometano radi već više od tri desetljeća. U tom razdoblju dogodile su se mnoge društvene promjene i tehnološki razvoj koji je utjecao i na elektranu. Dok se u počecima najviše pažnje posvećivalo visokim stručno-tehničkim standardima nuklearne tehnologije u posljednje vrijeme povećava se osviještenost o očuvanju društvene prihvatljivosti, između ostalog i o zaštiti okoliša.

2.1. POVIJESNI RAZVOJ

Za vrijeme Jugoslavije došlo je do ideje o stvaranju nuklearne elektrane koja bi bila u zajedničkom vlasništvu dviju zemalja, Slovenije i Hrvatske. Istraživanja potencijalnih lokacija trajala su u razdoblju između 1965. i 1969. godine. Već slijedeće godine je potpisan sporazum kojim je između 34 moguće lokacije koje su pomno istraživane najadekvatnijom za izgradnju proglašena Krško polje, na samoj granici između ovih dviju zemalja. Četiri godine kasnije, u kolovozu 1974. kao simbol suradnje položen je kamen temeljac, a u listopadu iste godine predsjednik IS skupštine SR Slovenije Stane Kavčić i predsjednik IS sabora Hrvatske Dragutin Haramija, potpisali su sporazum kojim je započeta gradnja Nuklearna elektrana Krško. U veljači slijedeće godine započela je gradnja, odnosno, iskopavanje zemlje i ostali građevinski radovi, a u rujnu je postavljena reaktorska zgrada. U sljedećim godinama intenzivnog rada dovedeni su svi potrebni dijelovi elektrane, kao što su turboagregati, paranoagregati i reaktorska posuda koji su testirani kako bi se potvrdila funkcionalnost te sigurnost rada na platformi. Tek 1982. godine je postignuta stopostotna snaga nuklearke te je time dobiveno zeleno svijetlo za komercijalno poslovanje [1] .

Kako bi se održali sigurnost i zaštita radnika, okolnog stanovništva i okoliša nuklearna elektrana mora objaviti podatke o svojoj funkcionalnosti. Jedan od

takvih propisan dokumenata je PSA (Probability Safety Assessment). To je dokument kojim se analizira rad nuklearnih elektrana, a sadrži smjernice kojim se utvrđuje stanje, tj. ocjenjuje se radno iskustvo elektrane, njena funkcija, kao i rad samih zaposlenih o kojima najviše ovisi. Sam dokument je podijeljen u tri razine:

- prva razina predstavlja ocjenu koliko je često u određenom periodu došlo do oštećenja jezgre. U toj fazi se analizira dizajn i rad opreme i fokusira se na rad određenih elemenata koji uzrokuju taljenje jezgre.
- druga razina je spoj prve razine sa analizom utjecaja radioaktivnosti na okoliš. Ispituje se frekvencija ispuštanja radioaktivnosti u okoliš
- treća razina je spoj prvih dviju razina, ona pruža kvalitetan uvid u djelotvornost mjera zaštite na stanovništvo, na onečišćenje vode, zraka i tla. Ova razina stvara temelj stvaranja plana prevencije i zaštite u slučaju da dođe do ispuštanja radioaktivnog elementa u okoliš [2].

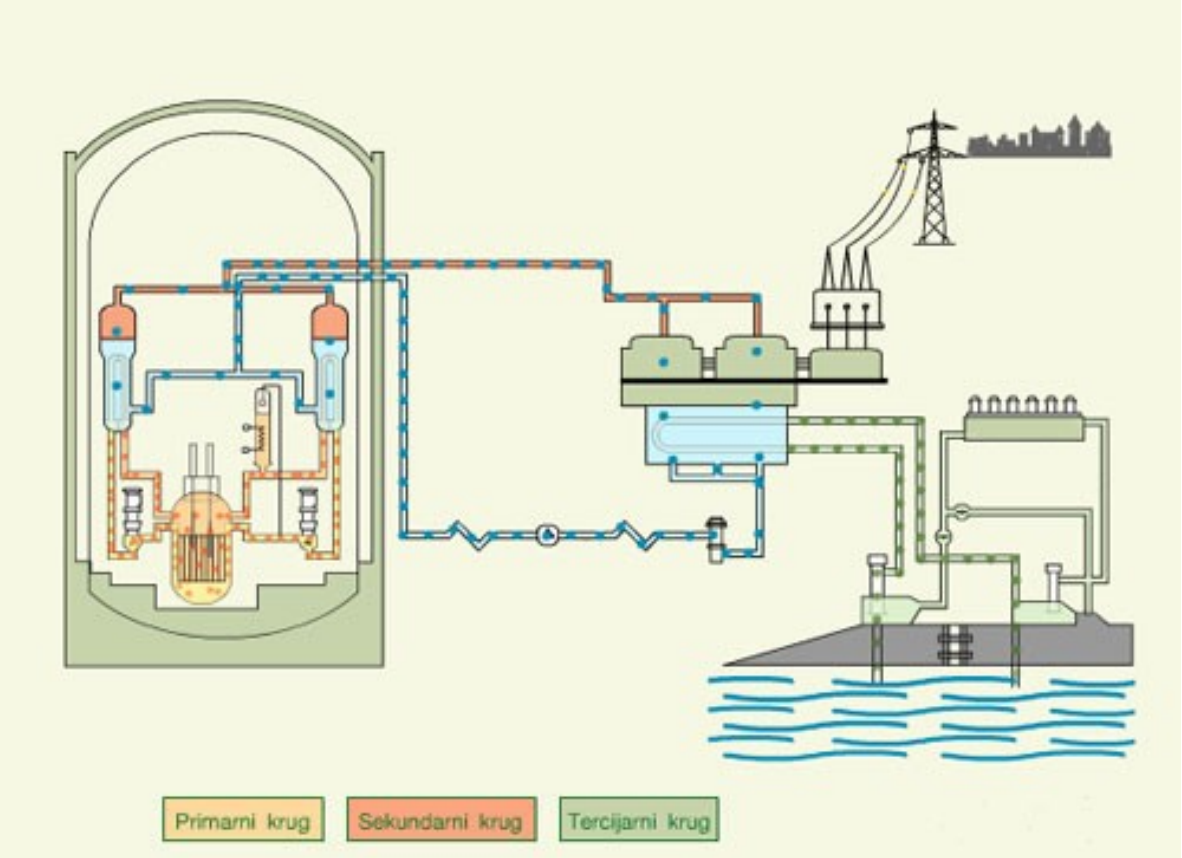
Zadovoljenjem sigurnosnih zahtjeva na sve tri razine nuklearna elektrana dobila je dozvolu za početak redovitog komercijalnog rada.

2.2. POSTROJENJE U NUKLEARNOJ ELEKTRANI KRŠKO

Upotreba nuklearne tehnologije zasniva se na prirodnim svojstvima tvari (atoma, izotopa i radioizotopa), a to su energija koja se oslobađa pri cijepanju jezgre te ionizirajuće zračenje radioizotopa. Dobivanje električne energije u nuklearnim elektranama temelji se na oslobađanju toplinske energije pri cijepanju jezgri u reaktoru.

Nuklearna elektrana Krško radi na istom principu kao i elektrane s izgaranjem fosilnih goriva, samo što se u ovom slučaju toplina oslobađa cijepanjem jezgre urana što se događa u reaktoru. Reaktor čine reaktorska posuda s gorivnim elementima, koji tvore jezgru reaktora. Kroz reaktor kruži pročišćena obična voda pod tlakom, koja odvodi oslobođenu toplinu u parogeneratore. U njima nastaje para koja pokreće turbinu, a ona pokreće električni generator. Rad nuklearne elektrane Krško odvija se u tri sklopa: primarni, sekundarni i tercijarni, kao što je

shematski prikazano na slici 1. Budući da u sva tri sklopa koja su međusobno odvojena, kruži voda, najčešće ih se naziva krugovi. Prva su dva kruga zatvorena, a treći je, budući da za hlađenje pare koristi savsku vodu, povezan s okolišem [1, 2].



Slika 1 Radna shema NeK

U primarnom krugu, parogenerator služi za dobivanje oslobođene topline koja se dalje koristi za pokretanje turbina, a one služe za pokretanje glavnog generatora. Kako ne bi došlo do problema u radu nuklearke, svakih 18 mjeseci dolazi do izmjene goriva. U tom slučaju nuklearka se mora zaustaviti, a period između zamjene se naziva gorivni ciklus. Nakon završetka svakoga gorivnoga ciklusa istrošeni se gorivni elementi nadomjeste svježim.

Reaktorska posuda je napravljena od ugljičnog čelika sa dodacima mangana radi povećanja čvrstoće. Kao dodatna zaštita od korozije, unutrašnja strana posude je prekrivena slojem nehrđajućeg čelika. Ona je stvorena kako bi

provodila rashladne fluide kroz jezgru, vodila neutronske detektore i učvrstila gorivne elemente. Kako bi mogla obavljati svoje zadatke, u njenoj unutrašnjosti se nalazi cilindrična posuda koja se sastoji od gornjeg i donjeg dijela. Gornji dio vodi kontrolne štapove, dok se u donjem smještaju gorivni elementi. Osim toga sadrži dva ulazna i izlazna otvora [3].

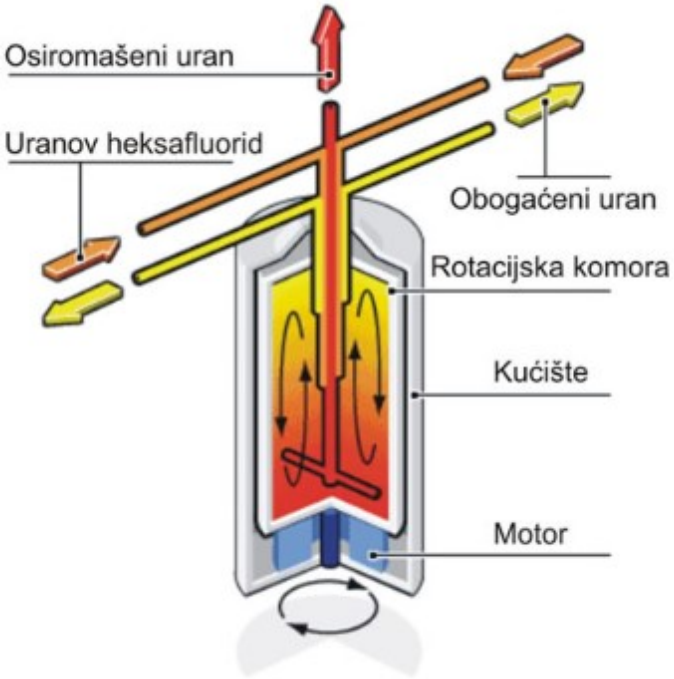
Tlačnik je cilindrična posuda koja se sastoji od dva dijela. Prvi, donji dio sadrži električne grijače vode i priključak za primarni krug, dok se u gornjem dijelu nalaze uređaji za ubrizgavanje vode. Većinom je ispunjenom vodom, dok manji dio tlačnika sadrži vodenu paru. Ako dođe do hlađenja, u primarnom krugu dolazi do pada tlaka, što uzrokuje smanjenje nivo vode. Ako dođe do rasta tlaka u primarnom krugu, tada dolazi do komprimiranja pare u gornjem dijelu tlačnika [3].

U drugom krugu termodinamičkog sklopa sustava, energija dobivena radom parogeneratora, putuje do generatora gdje se iz mehaničke energije pretvara u električnu. Tijekom tog procesa dolazi do stvaranje pare koja se u dodiru sa cijevima ponovno kondenzira u vodu. Nastala voda se vraća natrag u parogenerator i tim korakom zapravo zatvara jedan ciklus i otvara drugi [1].

Tercijarni krug je stvoren kako bi se toplina što jednostavnije mogla upotrijebiti za proizvodnju električne energije kao i za hlađenje kondenzatora. Da bi se to moglo provesti, potrebno je potisnuti vodu kroz rashladne crpke. Nuklearna elektrana Krško koristi savsku vodu, koja se prolaskom kroz crpke naglo zagrijava. Kako bi po izlasku iz ciklusa imala što manji utjecaj na okoliš, propisana su ograničenja koja određuju kvalitetu vode nakon što je iskorištena za reaktor. Jedan od načina određivanja kakvoće vode je mjerenje temperature. Naime, ako je temperatura porasla samo za 3°C, rashladni fluid mora proći kroz rashladne tornjeve kako bi joj se snizila temperatura [1].

2.3. GORIVO U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

Sirovina za nuklearno gorivo u elektrani Krško je prirodni radioaktivni element uran. Uran koji se dobiva iz rude potrebno je za nuklearno gorivo obogatiti budući da nuklearne elektrane trebaju gorivo koje sadrži 1 - 5 % ^{235}U, a prirodni uran sadrži samo 0,71 % tog izotopa. Za razdvajanje obaju izotopa urana (^{235}U i ^{238}U) najprimjereniji je uran u plinovitom obliku (UF_6). Uran se obogaćuje metodom razdvajanja plinskom centrifugom. U rotirajućim centrifugama različito teške molekule izotopa urana različito se raspoređuju. Lakše molekule okupljaju se oko središta cilindara, a tamo ih isisavaju, kao što je prikazano na slici 2 [1].



Slika 2 Prikaz obogaćenja urana

No, uran u obliku metala nije primjeren kao gorivo u reaktoru jer gorivo mora biti mehanički otporno u velikom temperaturnom rasponu, otporno na koroziju te je važno da zadrži produkte cijepanja u kristalnoj rešetki. Zato se za nuklearno gorivo koristi uranov dioksid koji ispunjava sve te zahtjeve i ima vrlo visoku točku taljenja - na 2880ºC. Obogaćeni uranov heksafluorid prerađuje se u uranov dioksid u obliku praha, sabija u tablete i termički obrađuje. Tablete se zatim

ugrađuju u gorivne šipke napravljene od cirkonijeve legure, metala koji ima dobra kemijsko-mehanička te fizikalna svojstva i zadržava produkte cijepanja. Prostor između košuljice i gorivnih tableta napunjen je helijem, što onemogućuje deformaciju gorivnih šipki koja bi mogla nastati zbog pogonskih uvjeta u reaktoru. 235 gorivih šipki povezano je u gorivni element. U reaktoru nuklearne elektrane Krško nalazi se 121 gorivni element, koji predstavlja jezgru reaktora i sadrži 50 tona urana, od toga je približno 95 % izotopa ^{238}U i 5 % izotopa ^{235}U [1].

2.4. NUKLEARNI REAKTOR

Nuklearna elektrana Krško je opremljena američkim Westinghouseovim lakovodnim tlačnim reaktorom. U nuklearnom reaktoru održava se i regulira nuklearna lančana reakcija, a time i oslobađanje topline. U reaktoru se odvija cijepanje fisijskih jezgri. Pri cijepanju u prosjeku nastanu dva do tri neutrona, od toga samo jedan u prosjeku cijepa novu fisijsku jezgru, a preostali pobjegnu iz jezgre reaktora ili se skupljaju u gorivu, a tamo mogu stvoriti nove jezgre za cijepanje. Vjerojatnost za cijepanje ^{235}U je veća što je manja brzina neutrona i zato neutrone treba usporiti. Proces usporavanja odvija se u moderatoru. Brzi neutroni prije svega sudaranjem s lakšim jezgrama elemenata moderatora gube svoju energiju i tako se usporavaju, odnosno moderiraju. U reaktoru nuklearne elektrane Krško funkciju moderatora neutrona ima obična voda za hlađenje.

Energija koja se oslobađa pri cijepanju jezgri u gorivnim elementima zagrijava primarno hladilo - običnu pročišćenu vodu. Ona kruži u zatvorenome primarnome krugu pod tlakom i pri tome se ne pretvara u paru unatoč visokoj temperaturi. Primarno hladilo preko stijenki cijevi parogeneratora prenosi toplinu sekundarnoj vodi i pretvara je u paru. Para za pogon turbine nastaje u parogeneratoru – izmjenjivaču topline između primarnoga i sekundarnoga kruga. U tom procesu nuklearno gorivo troši masu. Na kraju gorivnog ciklusa se to iskorišteno gorivo stavlja u bazen u kojem voda osigurava hladnoću i time štiti od posljedice radioaktivnosti.

Rad reaktora najjednostavnije se regulira utjecanjem na apsorpciju neutrona, odnosno na njihov broj u jezgri i time na rad, odnosno snagu reaktora. To se može postići promjenom koncentracije bora u primarnome hladilu ili regulacijskim šipkama, koje se spuštaju u jezgru reaktora ili se podižu iz nje. Naime, bor i kontrolne šipke, koje sadrže srebro, indij i kadmij, jaki su apsorberi termičkih neutrona [1].

3. RADIOAKTIVNI OTPAD

Radioaktivni otpad nastaje u mnogim ljudskim djelatnostima, kao na primjer u medicini, industriji ili u znanstvenim istraživanjima. Ipak kad se govori o radioaktivnom otpadu prva asocijacija je upravo otpad iz nuklearne elektrane i to nije pogrešno jer se najveća količina otpada stvara radom nuklearnih elektrana u svim fazama nuklearnog gorivnog ciklusa: kod vađenja uranove rude, u toku postupaka obogaćivanja urana, kao fisijski produkti trošenja goriva te na kraju potrošeno nuklearno gorivo i pogonski otpad koji uključuje različite dijelove opreme, otpad nastao pročišćavanjem vode i plinova te različitu zaštitnu opremu. U procesu zbrinjavanja radioaktivnog otpada koriste se pojmovi „skladištenje“ i „odlaganje“, a razlika je u nadzoru i vremenu koje otpad provede na lokaciji. Skladište radioaktivnog otpada je privremeno zbrinjavanje otpada (iako može trajati i nekoliko desetaka godina), u cijelom periodu svojeg postojanja je aktivno, može prihvaćati novi otpad, spremnici otpada su pod stalnim aktivnim nadzorom, moguće su dodatne obrade i pakiranja, a po premještanju radioaktivnog otpada skladište se razgradi. Takvo skladištenje otvara mogućnosti budućim generacijama da možda na bolji i efikasniji način prerade i zbrinu otpad. Na odlagališta se radioaktivni otpad zbrinjava na neodređeno vrijeme, bez namjere da ga se ikada vadi ili premješta. Osnovna funkcija odlagališta radioaktivnog otpada je izolacija otpada od okoliša, na način da spriječi izlaženje radionuklida u biosferu u dugom vremenskom periodu [6].

3.1. KLASIFIKACIJA RADIOAKTIVNOG OTPADA

Klasifikacija radioaktivnog otpada u obzir uzima vrijeme u kojem otpad ostaje radioaktivan, udio radioaktivnog materijala u otpadu te o tome stvara li otpad toplinu ili ne. Prema vremenu radioaktivnosti razlikujemo dvije kategorije [7]:

LL-LONG LIVED - otpad čiji izotopi imaju vrijeme raspada duže od trideset godina i takav otpad se naziva dugoživući otpad

SL-SHORT LIVED - otpad čije je vrijeme raspada jednako ili manje od trideset godina naziva se kratko živući otpad.

Ipak, međunarodno su priznate kategorije (slika 3) [6]:

- Vrlo nisko radioaktivan otpad - on je najmanje opasan za okoliš i ljudsko zdravlje jer sadrži malu specifičnu aktivnost, zbrinjava se isto kao i standardni komunalni otpad.
- Nisko radioaktivni otpad - on sadrži radionuklide čije je vrijeme poluraspada kratko, ima malu specifičnu aktivnost i zanemariv udio radionuklida s dugim vremenom poluraspada. Tu vrstu otpada uglavnom čine alati, zaštitna odjeća, rukavice i zbrinjava se u površinskim odlagalištima.
- Srednje radioaktivan otpad - sadrži veću količinu radioaktivnosti. Nastaje dekomisijom kemijskih taloga i kontaminiranih materijala. Može se odlagati na površinske ili podzemne tipove odlagališta, ovisi o stupnju radioaktivnosti.
- Visoko radioaktivan otpad – sastoji se od radionuklida u obliku fisijskih produkata i dugoživućih elemenata koje se stvaraju u jezgri reaktora. Otpad se najprije hladi, a nakon četrdeset do pedeset godina se odlaže.

Otpad koji nastaje u nuklearnim elektranama je 95 % volumnog udjela nisko i srednje radioaktivni otpad i od nosi 1 % radioaktivnosti. Ostatak od 5 % čini visoko radioaktivni otpad (istrošeni gorivi elementi) koji nose 99 % radioaktivnosti [6].



Slika 3 Prikaz vrsta otpada

Privremeno skladištenje može biti mokro ako se skladišti u bazenima koji se nalaze oko elektrane. Primjer takvog pohranjivana su postrojenja u Švedskoj (CLAB) i u Finskoj (Lovissa). Nakon hlađenja otpad se stavlja u spremnike i transportira do lokacije gdje će se trajno odložiti.

Visoko radioaktivni otpad se može odlagati:

- u oceanima
- u stabilnim geološkim formacijama na kopnu
- izvanzemaljsko odlaganje
- antarktički led

S time da posljednja opcija navodi samo kao teorijska mogućnost jer se Međunarodnim ugovorom o Antarktiku ne dopušta odlaganje radioaktivnog otpada. Izvanzemaljsko bi se moglo odviti, ali u samo malim količinama i to za posebne nuklide kao ^{129}I, dok se odlaganje u oceanima može provesti u tri dijela:

- odlaganje u duboke vode
- bušotine u morskom dnu
- oceanske tektonske rovove.

3.2. UPRAVLJANJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM U RH

Republika Hrvatska, kao zemlja članica EU, ima obvezu zbrinuti radioaktivni otpad i iskorištene izvore ionizirajućeg zračenja koji su nastali 60-godišnjom primjenom izvora ionizirajućeg zračenja u medicini, industriji, znanosti, vojnoj i javnoj uporabi. Obveza zbrinjavanja odnosi se i na dio radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva iz Nuklearne elektrane Krško. Iako u usporedbi s ostalim državama svijeta Hrvatska ima male količine radioaktivnog otpada, ali ipak ga treba adekvatno zbrinuti. Republika Hrvatska za sada nema trajnu lokaciju za skladištenje radioaktivnog otpada. Dok Vlada Republike Hrvatske ne utvrdi lokaciju odlagališta i dok se ono ne izgradi, dotad se sav radioaktivan otpad šalje u Institut Ruđera Boškovića i u Institut za medicinska istraživanja u Zagrebu [4]. Pritom treba naznačiti kako je Institut za medicinska istraživanja u Zagrebu prestao raditi još 2000. godine, a dotadašnji prikupljen otpad je prepakirani u olovne kontejnere 2005. godine. Otpad u IRB se prema klasifikaciji Instituta za medicinska istraživanja stavlja u skupinu nisko i srednje radioaktivnog otpada [5].

U nuklearnoj elektrani Krško nastaje 60 m^3 radioaktivnog otpada godišnje te se skladišti oko elektrane. Zbog svoje količine, skladišti se na poseban način. Najprije se sprema u bačve, a zatim skladišti u odlagalištima površinskog tipa. Princip rada je da se u zemlji iskopa duboka jama nekoliko metara, a zatim se stavlja nepropusni materijal koji sprječava proboj otpada u okoliš, najčešće beton na koji se postave bazeni. Kada se otpad poslaže u njih, dodatno se betoniraju te prekriju pločom [1].

3.3. LOKACIJA ODLAGALIŠTA

Izgradnjom Nuklearne elektrane Krško sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća, u dogovoru sa Republikom Slovenija, Hrvatska je dužna do 2023. godine preuzeti svoj dio radioaktivnog otpada i odložiti ga na zato predviđenu lokaciju. Ali da bi se sve to moglo odvijati prema dogovoru, Hrvatska mora odrediti lokaciju za odlaganje radioaktivnog otpada [5].

Za vrijeme Jugoslavije postojale su ideje o više projekata koji su bili vezani za izgradnju nuklearnih elektrana, točnije njih deset. Izgradnjom nuklearne elektrane Krško, istovremeno je dolazilo do istraživanja lokacija za odlaganje radioaktivnog otpada. Uzeto je u obzir 13 lokacija, kao potencijalne lokacije su predložene: Topusko, Vrgin most, okolica Slunja, sjeverni dio Korduna, Trgovska gora, Petrova gora, Papuk, Psunj i Moslavačka gora. Godine 1988. su Republika Slovenija i Republika Hrvatska osnovale Međurepubličku koordinaciju (MRK) radioaktivnog otpada koja je djelovala do 1991. godine. Tijekom njenog aktivnog rada ona je bila zadužena za koordinaciju, pronalazak i analizu lokaciju za potencijalno odlagalište [1, 5]. Zajedno sa MRK, Ministarstvo energetike i industrije je potaknulo Hrvatsku elektroprivredu da organizira studiju koja će razviti prostorno-planinsku podlogu, analizirati rezultate istraživanja i ocijeniti podobnost lokacije [7].

Nakon prestanka rada MRK 1991. godine, njen posao preuzima Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada. Da bi određena lokacija bila izabrana kao moguće odlagalište, ona mora zadovoljiti određene uvjete, kao što su:

- mora biti moguće testirati njen utjecaj na sigurnost i zaštitu okoliša
- susjedna zemljišta se ne smiju kasnije obrađivati na drugačiji način, već poštovati i nastaviti s obradom kako je urađeno u trenutku procjene
- ekonomičnost u financijskim troškovima izgradnje i održavanja odlagališta.

Osim ovih uvjeta moraju se provesti terenska istraživanja koja se sastoje od dvije faze. Prva faza je globalno vrjednovanje teritorija, a druga usporedno vrednovanje potencijalnih područja. Osim toga postoje eliminacijski kriteriji, a to su:

- Lokacija ne može biti područje gdje su moguće poplave
- Ne smije biti u trusnom području, ne smije biti područje gdje je jačina potresa veća od četiri stupnja po Mercallijevoj ljestvici.
- Također ne smije biti na području gdje su granice tektonskih ploča
- Područja gdje je pojačana erozija, ili bilo kojim procesom koji stavlja područje elektrane pod upitno, tj. nestabilno
- Ne smije biti lokacija kojom bi aktivnim radom elektrane dovelo do onečišćenja izvorišta pitke vode. Time se odmah eliminiraju krška područja ,s obzirom da je to područje karbonatnih stijena sa sustavom pukotina i čije kretanje podzemne vode nije moguće pratiti.
- Gustoća naseljenosti- područja u polumjeru od 20 km, gdje je gustoća naseljenosti veća od 80 stanovnika po kilometru kvadratnom
- Odbacuju se područja u kojima se ili su se odvijala eksploatacija minerala i ruda
- Zaštita prirodne i kulturne baštine

Problem je u tome što je međunarodnim ugovorom predviđeno da područje oko nuklearne elektrane, Vrbina, postane odlagalište za ukupno nastali radioaktivni otpad koji je došao iz nuklearne elektrane, dok Hrvatska želi odlagalište u kojem bi ona odložila samo svoj dio radioaktivnog otpada. Kada su pitali ministra zaštite okoliša i energetike Tomislava Ćorića, koje bi rješenje moglo nastupiti ne slaganjem Hrvatske i Slovenije, ministar je rekao kako nije logično da Hrvatska gradi drugi objekt za skladištenje radioaktivnog otpada na svom teritoriju, ako pristane na zajedničko skladištenje [1].

Suprotno njemu, slovenska ministrica za infrastrukturu Alenka Bratušek je izjavila kako će Slovenija nastaviti s izgradnjom skladišta, bez obzira na odluku koju bi Hrvatska donijela. Isto tako, ovo pitanje mora biti riješeno do 2025. jer nakon tog roka hrvatski dio otpada neće se smjeti odložiti u Vrbini. Za sada je najvjerojatnija lokacija vojni kompleks Čerkezovac na Trgovskoj gori, koja se nalazi na području Sisačko-moslavačke županije, preciznije 3 kilometra od državne granice koja dijeli Bosnu i Hercegovinu od Hrvatske. Osim toga, to je područje uz rijeku Unu koja je pritok Save i područje koje broji dvadeset tisuća stanovnika. Najbliže naselje Novi grad koji broji 28 799 stanovnika [1]. Osim toga, na Hrvatskom teritoriju, kraj vojarne se nalazi Hrvatska Kostajnica koja je udaljena manje od 30 km. Odabiru lokacije se protivi lokalno stanovništvo s obje strane granice. Lokacija je odabrana davne 1999. godine te su rađena istraživanja kako bi se utvrdilo je li odgovara kriterijima za odlagalište, ali sada je još samo potrebno napraviti studiju utjecaja na okoliš. Smatra se da malo što može doći po zlu s obzirom da je u pitanju imobilizirana tvar koja nije rasipna i tekućina i miješa se s betonom [1].

3.4. MIŠLJENJE JAVNOSTI

2016. godine je izrađeno Stručno mišljenje u kojima su prikazani nedostatci Strateške studije. Kao jedan glavnih nedostataka je samo područje koje je omeđeno rijekom i podzemnom vodom, među kojima je i rijeka Una. Osim toga u blizini se nalaze Parkovi prirode 2000, Nacionalni park Plitvice i područje rijeke Une koji su zaštićene zone. Uz geološke probleme, ekonomska situacija je vrlo upitna. Primarna djelatnost za ostvarivanje prihoda stanovništvu ovog područja je poljoprivreda, koja je temelj proizvodnje hrane kao i turizma. Uz to, zanemarena je mogućnost minskih polja , zaostalih još iz doba Domovinskog rata, seizmičnost i opasnost na požare [4, 7].

Osim toga, s druge strane granice Parlamentarna skupština Bosne i Hercegovine je donijela Rezoluciju o protivljenju izgradnje odlagališta na Trgovskoj gori. Radioaktivni otpad, prema Zakonu o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u BiH predstavlja materijal koji, u bilo kojem fizičkom obliku, preostane od djelatnosti ili intervencija i za koji nije predviđena više nikakva uporaba, a koji sadrži ili je kontaminiran radioaktivnim tvarima i ima aktivnost [9]. Unatoč podnesenim zahtjevima o zabrani odlaganja radioaktivnog otpada u BiH, Hrvatska je izradila stratešku studiju utjecaja na okoliš, gdje je navedeno da nema negativnog utjecaja na okoliš, iznoseći tako svoj stav i time zanemarujući stavove susjedne države. Kako u Hrvatskoj ne uvažavaju primjedbe lokalnog stanovništva države BiH, jedino što im preostaje je organiziranje protesta (Slika 4), ako je potrebno i blokadu granica, ali i tužba protiv Hrvatske u slučaju da krene gradnja.



Slika 4 Otpor stanovništva BiH odlaganju radioaktivnom otpadu

4. NEGATIVNI UČINCI NUKLEARNE ELEKTRANE

Već je više puta rečeno da su utjecaji nuklearnih elektrana na okoliš u odnosu na druge elektrane zanemarivi jer nuklearne elektrane u svom radu ne ispuštaju u atmosferu stakleнički plin CO_2 i time ne pridonose globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Ipak, ako se sagledaju aktivnosti vezane uz rudarenje i obogaćivanje uranove rude kod izrade reaktorskog goriva koje iziskuju velike količine energije te izrazito velike količine metala i betona za izgradnju nuklearnih elektrana, a koje također zahtijevaju velike količine energije za proizvodnju, i ako se za dobivanje sve te energije koriste fosilna goriva tada indirektno emisije izgaranja tih goriva mogu biti povezane s električnom energijom koju proizvode nuklearne elektrane [8]. Međutim, jedina izravna opasnost za okoliš iz nuklearne elektrane nastupa od radioaktivnog materijala koji služi kao gorivo u nuklearnom reaktoru te je odlaganje nuklearnog otpada i dalje najveći izazov kod korištenja nuklearne energije. No, u obzir se moraju uzeti i izvanredni događaji kao što su nesreće u rukovođenju elektranom, potresi i požari do kojih može doći tijekom rada nuklearnih elektrana.

4.1. MOGUĆNOSTI POJAVE NESREĆE U ELEKTRANI

Da bi se uočio koliki je stupanj opasnosti koja može prijetiti, Međunarodna agencija za atomsku energiju je osmislila INES (International Nuclear Event Scale) ili Međunarodnu ljestvicu za nuklearne nesreće (Slika 5). Klasifikacija se provodi s obzirom na tri kriterija, a to su utjecaj na okoliš, utjecaj unutar postrojenja i stanje sigurnosnih barijera u postrojenju. Ona označava razinu opasnosti koja prijeti od događaja koji su posljedica rada radioaktivnih izvora, u ovom slučaju u radu nuklearnih elektrana. Sastoji se od sedam razina, od toga prve tri razine spadaju pod „nezgode“, a razine od četiri do sedam spadaju pod nesreće. Uspoređujući, može se s tablice vidjeti kako prva razina označava zonu anomalije u pogonu, tj. da može doći do malog rizika, što upućuje na „rupe“ pri provođenju sigurnosnih mjera. Zadnja razina označava razinu opasnosti do koje

dolazi zbog ispusta sadržaja jezgre u atmosferu. Događaji koji ne ugrožavaju sigurnost i zdravlje spadaju pod razinu nula [4].

	K R I T E R I J I		
	Utjecaji na okoliš	Utjecaji na lokaciji	Stanje sigurnosnih barijera
7 Velika nesreća	Veliko ispuštanje, učinci na zdravlje ljudi i okoliš na velikom području		
6 Ozbiljna nesreća	Značajno ispuštanje, primjena svih planiranih zaštitnih mjera		
5 Nesreća s utjecajima na okoliš	Ograničeno ispuštanje, primjena određenih planiranih zaštitnih mjera	Veliko oštećenje jezgre ili radioloških barijera	
4 Nesreća bez značajnih utjecaja na okoliš	Manje ispuštanje, ozračenja reda veličine najvećeg dozvoljenog	Značajno oštećenje jezgre ili radioloških barijera, smrtonosna ozračenja	
3 Ozbiljna nezgoda	Veoma malo ispuštanje, ozračenja manja od najvećeg dozvoljenog	Značajna kontaminacija, ozračenja s akutnim učincima	Sve sigurnosne barijere narušene
2 Nezgoda		Značajna kontaminacija, prekomjerna ozračenja	Nepravilnosti u radu sigurnosnih sustava
1 Nepravilnost			Odstupanja od normalnog rada postrojenja
0 Devijacija	Z a n e m a r i v utjecaj na		s i g u r n o s t
Događaj izvan ljestvice	B e z u t j e c a j a n a s i g u r n o s t		

Slika 5: Prikaz INES ljestvice

Svaka država koja upravlja radom nuklearne tehnologije mora sadržavati plan zaštite. Iz tog je razloga Republika Hrvatska 1998. godine utemeljila Tehnički potporni centar (kasnije: TPC) čija je uloga praćenje rada nuklearnih tehnologija

te davanja upozorenja u slučaju opasnosti od radioaktivnosti. Tehnički potporni centar uspostavio je mrežu motrenja na kojoj se mjeri brzina doze ionizirajućeg zračenja na petnaest lokacija diljem Hrvatske (Slika 6) [4].



Slika 6. Sustav pripravnosti u RH [1]

Nuklearne elektrane su postrojenja koja sadrže ogromnu količinu ionizirajućeg zračenja. Stoga svaka zemlja koja sadrži nuklearnu elektranu mora imati razrađen plan zaštite okoliša i stanovništvo. Specifičnost nuklearnih elektrana jest činjenica da se u njihovim reaktorima stvaraju velike količine radioaktivne energije, koja može ugroziti život ljudi i kontaminirati ekološki sustav [1, 4].

Kako ne bi došlo do nezgode, svaka nuklearna elektrana mora osigurati kontrolu lančane reakcije fisije u jezgri reaktora, stalan toplinski ponor kako ne bi došlo do pregrijavanja i zaštitu primarnog dijela kruga kako ne bi došlo do oštećenja jezgre reaktora. Zaštita okoline od zračenja u toku rada nuklearne elektrane je postignuta već samom njenom gradnjom. Naime, tijekom gradnje elektrane u obzir se moraju uzeti sve nezgode koje se mogu dogoditi i gradnja mora biti u skladu s faktorom sigurnosti od pojave takve nezgode. Zbog toga se rade višestruke fizičke barijere koje sprječavaju prodor radioaktivnih izotopa u okoliš. Uz samo konstrukciju elektrane, sigurnost daju i obrazovani i kompetentni radnici koji u slučaju nezgode znaju pristupiti problemu, tj. riješiti ga na efektivan i brz

način [3]. Sjećanje na nezgode koje su se dogodile u nuklearnim elektranama u Černobilu, Fukushimi ili Three Mile Islandu samo po sebi izazivaju neugodan osjećaj. Kako se ne bi ponovila povijest Konvencijom o nuklearnoj sigurnosti, određena je međunarodna obveza prema kojoj svaka zemlja mora imati plan sigurnosti i sustav pripravnosti [1].

Budući da se na udaljenosti od 1000 km od teritorija Republike Hrvatske nalazi ukupno 40 nuklearnih elektrana u pogonu (Slika 7), danas u Republici Hrvatskoj postoje četiri organizacije koje imaju određenu ulogu pri rješavanju problema vezanim uz nuklearne nesreće. Te organizacije su: Državni centar za obavješćivanje (DCO), Tehnički potporni centar (TPC), Krizni stožer civilne zaštite (KSCZ) i Krizni stožer Vlade RH (KSV). Državni centar za obavješćivanje ima zadatak prikupiti početne informacije o nuklearnoj nesreći i kontaktirati Tehnički potporni centar, koji je zatim glavni i preuzima vodeću ulogu. On prikuplja podatke i informacije o nesreći, radi analizu mogućih posljedica i priprema plan zaštite i spašavanja stanovništva. Krizni stožer civilne zaštite ima obavezu informiranja javnosti i preuzima prijedloge o mjerama zaštite te organizira i nadzire njihovu provedbu. Krizni stožer Vlade RH koordinira aktivnosti među različitim tijelima državne uprave za razne krizne situacije, pa tako i za nuklearne nesreće [3].



Slika 5. Nuklearne elektrane u odnosu na položaj RH [3]

Hrvatska prikuplja informacije pomoću dva sustava. Jedan od njih je online, on na dnevnoj bazi prikuplja podatke o ionizirajućem zračenju. Prikupljeni podaci se zapisuju prema Nordijskom protokolu i razmjenjuju kako bi povećali mjere sigurnosti i na vrijeme uočili problem. Ako je vrijednost iznad propisane, sustav odmah generira alarm [1].

4.2. MJERE SIGURNOSTI ZA SLUČAJ NESREĆE

Nuklearno zračenje ne poznaje administrativne granice država, stoga je sigurnost nuklearnih elektrana međunarodna obveza svake države koja posjeduje takvu tehnologiju. Iz tog razloga je Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) organizirala stručnjake u takozvanu INSAG organizaciju (International Safety Advisory Group) koja je već 1988. godine izradila dokument nazvan „Osnovna sigurnosna načela za nuklearne elektrane“. U njemu su propisani međunarodni standardi sigurnosti nuklearnih elektrana, od gradnje i konzervativnog dizajna elektrane, koncepta obrane po dubini kao i razne tehničke norme kojima se osigurava kvaliteta svih komponenata elektrane u vrijeme gradnje i pogona [8].

U slučaju nesreće, najprije se mora ustanoviti stupanj opasnosti i u skladu s njima provoditi mjere. Sustav pripravnosti razlikuje tri zone potencijalne ugroženosti stanovništva:

- I zona – radijus 25 km oko elektrane, obuhvaća preventivne i hitne mjere zaštite.
- II zona – radijus 100 km oko elektrane, podrazumijeva preventivne i dugoročne mjere zaštite.
- III zona – preostali teritorij RH, poduzimaju se samo preventivne mjere zaštite.

U hitne mjere zaštite koje ovisno o fazi nesreće i ranije spomenutoj zoni ubrajaju se:

- **Zaklanjanje** - izolira se stanovništvo najbliže nuklearnoj elektrani u zatvoreni prostor (kuće, stanove). Izolacija traje dva dana iz razloga kako osoba ne bi stupila u kontakt s radioaktivnim izotopom. U izolaciji je osoba primorana otići

u zatvorenu prostoriju i pridržavati se uputa dobivenih od strane stožera prenesene preko medija [3, 14].

- **Evakuacija** - ako dođe do kontaminacije okoliša prevelikim zračenjem, država je dužna evakuirati stanovništvo radi njihovog zdravlja i sigurnosti. Pritom se evakuira stanovništvo u polumjeru 25 km od nuklearne elektrane Krško [3, 14].

- **Jodna profilaksa** - to je hitna mjera, pri kojoj osoba uzima tablete u formi kalijevog jodida kako bi se štitnjača (tiroida) zasitila stabilnim jodom, a ne radioaktivnim ^{131}I koji je prisutan kod radioaktivnih ispuštanja jer nastaje kao fisijski produkt i može doći u organizam putem inhalacije ili konzumiranjem kontaminirane hrane. Uzima se ukoliko je osoba bila izložena radijaciji, i to što ranije jer tako tableta ima veću efikasnost u blokiranju radioaktivnog joda. [3, 14].

U dugotrajne mjere zaštite spadaju:

- **Privremeno preseljenje** - podrazumijeva preseljenje stanovništva iz ugroženog područja u prihvatne centre, na određeno vremensko razdoblje. Primjenjuje se samo ako je zbog posljedica nesreće došla visoka koncentracija radionuklida u okoliš i provodi se unutar jednog mjeseca nakon nuklearne nesreće [3, 14].

- **Trajno preseljenje** - zbog prevelike kontaminacije, život u zagađenom okolišu nije više moguć. Kako bi osoba očuvala svoje zdravlje i sigurnost mora napustiti svoj dom u trajnosti. Ova mjera se provodi ako je onečišćenje velikog razmjera da se čišćenje ne može tehnički i financijski provesti [3, 14].

- **Mjere u poljoprivredi i prehrani** - zbog onečišćenja velikih poljoprivrednih površina i podzemnih voda, koje ulaze u prehrambeni lanac čovjeka, donose se mjere u kojima se zabranjuje njihova upotreba i uvode promjene u obradi okoliša [3, 14].

4.3. SEIZMIČNOST KRŠKOG

Područje Nuklearne elektrane Krško spada u jedno od seizmičkih aktivnih područja Slovenije. Prvi jači potresi zabilježeni su na tom području još 1917. godine kada je zabilježeno vrijednost magnitude 5.7 po Mercallijevoj ljestvici. Procjenjuje se da je žarište bilo na dubini od šest do dvanaest kilometara. Na području same elektrane je postavljen akcelerograf koji od 1994. bilježi potrese. Od dana postavljanja pa do danas je zabilježio više od dvadesetak potresa. Unatoč relativno velikom nemiru, zapisi su vrlo vrijedni za određivanje seizmičnosti oko same elektrane [15].

Tijekom vremena su naknadno dodani još osam akcelerografa čiji rezultati su se pokazali vrijednima jer olakšavaju određivanje parametara lokalnih potresa. Analizom triju potresa iz 1995. godine, pokazano je kako su žarišta udaljena svega 2 km od nuklearne elektrane Krško i to na dubini od 3 kilometara. Moguće je da su se ti potresi na istoj geološkoj strukturi [16].

Tijekom godina je zabilježeno više potresa, magnitude većinom u rasponu od dva do tri stupnja prema Richteru. Sve do 22. ožujka ove godine kada je područje Zagreba i šire zagrebačko područje pogodilo dva snažna potresa. Prvi je zabilježen rano ujutro, u šest sati, od strane Seizmološke službe Republike Hrvatske s epicentrom kod Markuševca, snage 5.5. prema Richteru, a zatim pola sata kasnije je slijedio potres magnitude 5. Udaljenost epicentra i nuklearne elektrane Krško je svega šezdesetak kilometara [14, 15].

Potres je u Krškom polju bio jačine četiri te ga je seizmička instrumentacija i zaštita NE Krško zabilježila. Sama elektrana je prošla bez ikakvih promjena i ostala je raditi na punoj snazi. Ono najbitnije, radiološko stanje je kroz cijelo vrijeme ostalo nepromijenjeno i bez ikakvog utjecaja na okoliš. Zbog izvanredne situacije, nuklearna elektrana Krško je proglasila prvi stupanj uzbune. Za razliku od reaktora u Japanu i Černobilu, Krško sadrži primarni i sekundarni rashladni krug i zaštitnu ogradu što povećava stupanj sigurnosti. Tome treba nadodati i održavanu opremu i osoblje koje je trenirano kako bi znale postupiti u ovakvim situacijama [15].

4.4. UTJECAJ RADIOAKTIVNOSTI NA OKOLIŠ

Nuklearne elektrane su izgrađene s ciljem da se spriječi ispuštanje radioaktivnog materijala u okoliš. Da bi se mogao mjeriti i bilježiti radioaktivnost u okolišu i utjecaj na ljude važno je spomenuti mjerne jedinice za aktivnost radioaktivnog uzorka, kao i doze ionizirajućeg zračenja koje ozrači neku materiju ili ljude. Radioaktivnost se izražava brojem raspada atomske jezgre u jedinici vremena i SI mjerna jedinica je 1 bekerel (Bq) što predstavlja 1 raspad u sekundi. Ako pak se želi izraziti težina štetnih učinaka zračenja na organizam uveden je pojam ekvivalentne doze a mjerna jedinica je sivert (Sv) = J/kg Istovremeno, u upotrebi je još i stara mjerna jedinica REM (Rentgen Equivalent for Men), a ona je sto puta manja jedinica od siverta.

Što se tiče NE Krško treba istaknuti kako je briga o zaštiti okoliša uključena u sve radne procese u Nuklearnoj elektrani Krško. Rezultati mjerenja potvrđuju da su svi utjecaji na okoliš bili daleko ispod upravnih ograničenja, a primjerenost upravljanja okolišem ponovno je potvrdila i ponovna prosudba ispunjavanja zahtjeva novog okolišnog standarda ISO 14001:2015. Nuklearna elektrana Krško mjeri radioaktivnost u kontroliranim ispustima otpadne vode u rijeku Savu i u ispustima iz ventilacijskog sustava u atmosferu, dok vanjske ovlaštene organizacije mjere uzorke iz okoliša prije svega na području s radijusom od 12 kilometara oko iste. Osim toga oko elektrane smješteno je 13 automatskih postaja za mjerenje zračenja, koje mogu registrirati kako promjene prirodne razine zračenja zbog oborina tako i možebitne promjene zbog nuklearnog objekta [8].

Postoje propisi kojih se svaka nuklearna elektrana mora držati i zadovoljiti uvjete:

- ograničenje doze kod stanovništva zbog ispuštanja u zrak i vodu – 50 μSv na godinu na udaljenosti 500 m ili više od reaktora
- ograničenje doze zbog zračenja iz zgrada i skladišta radioaktivnog otpada – 200 μSv na godinu na ogradi NE Krško
- operativna ograničenja koncentracije aktivnosti u ispuštenoj vodi i zraku,

- operativna ograničenja ispuštenih aktivnosti radioaktivnih tvari u vodi i zraku u jednoj godini.

Godišnja Glossary Link ekvivalentna doza od prirodnih radioaktivnih izvora u okolici NEK-a je na nivou svjetskog prosjeka: 2,44 mSv. Doprinos NEK-a ekvivalentnoj dozi stanovnika koji živi u okolici elektrane bio je 0,002 mSv 2007. godine, što je puno manje od dozvoljenih 0,050 mSv godišnje po stanovniku na udaljenosti od 500 m od ograde NEK-a. Iznos od 0,002 mSv je manje od 0,1% godišnje ekvivalentne doze od prirodnih izvora. Ispuštena aktivnost u tekućim ispustima za fisijske i aktivacijske produkte 2007. iznosila je 0,12% dozvoljene aktivnosti, odnosno 48,3% dozvoljene aktivnosti za biološki slabo aktivan tricij. Aktivnost plinovitih fisijskih i aktivacijskih plinova bila je oko 0,29% propisanih vrijednosti, dok je aktivnost 131I i ostalih izotopa joda bila na sličnom nivou: 0,26% dozvoljene vrijednosti.

Zagrijavanje rijeke Save mjereno u točki miješanja nije bila veća od dozvoljenih 3°C [3].

Prvi problem uzrokovan radioaktivnim otpadom je zagađenje zraka koje dovodi do zagađenja vode. Prema navedenim podacima objavljenim na njenim stranicama, može se reći da je rad nuklearne elektrane Krško ispod dopuštenog pravnog ograničenja, kao i toplinski utjecaj na rijeku Savu. Dok uprava nuklearne elektrane Krško tvrdi kako njen rad nema nikakav utjecaj na okoliš, brojna istraživanja pokazuju kako nizvodno od Krškog, svojstva Save se itekako mijenjaju. Smatra se da je do toga došlo zbog akumulacije suspendiranog materijala. Takav materijal može uzrokovati začepljenje pore korita, što omogućuje lakši transport onečišćujuće tvari iz rijeke Save u podzemne vode. Osim toga, dokazano je i znatno smanjenje koncentracije otopljenog kisika čime je otvoren put radionuklida u podzemne vode kao i povećanje količine organskog materijala. Uz navedene činjenice, bitno je napomenuti kako i nagla promjena vodostaja predstavlja posljedice utjecaja nuklearne elektrane kao i stvaranje lokalnih zagađenja [10].

Smatraju kako nuklearna elektrana Krško ima zanemariv utjecaj ne samo na rijeku Savu, već na cjelokupni okoliš kao i na stanovništvo okolnih mjesta. Prema njima, pojedinac koji pije vodu iz Save i jede ribu ulovljenoj u toj rijeci, može primiti najviše 0,82 mikrosiverta zračenja, što je manje od 1 % od dopuštene doze. Unatoč brojnim izjavama političara kako nema straha od zagađenja rijeke Save kao i stanje njene pitkosti, brojni građani i dalje odbijaju korištenje njenih izvora [10].

U 2018. godini nakon daljnje obrade u Nuklearnoj elektrani Krško je na privremeno skladištenje odloženo 18 novih paketa nisko radioaktivnog i srednje radioaktivnog otpada ukupnog volumena od 10,2 m^3. Tijekom godine je nastalo 14,6 m^3 NSRAO-a. Dio otpada iz 2018. godine uskladištit će se u 2019. godini jer je bilo potrebno u novu zgradu za rukovanje radioaktivnim teretima iz skladišta premjestiti tehnološku opremu za obradu radioaktivnog otpada kao što su visokotlačna preša i mjerna oprema, a nova zgrada omogućuje visoke radne standarde pri rukovanju otpadom, ispitivanjima i održavanju [8].

4.5. UTJECAJ RADIOAKTIVNOSTI NA ZDRAVLJE LJUDI

Od samih početaka, pomisao na nuklearnu energiju stvara neugodan osjećaj kod većine ljudi. Vjerojatno radi povezanosti rada nuklearnih elektrana i mogućnosti pojave štetnog ionizirajućeg zračenja. Upravo zbog toga, godinama se javnost i struka razilaze zbog suprotnog mišljenja. Činjenica je da nuklearke koje koriste nuklearno gorivo proizvode ogromne količine električne energije uz mali utjecaj na okoliš, za razliku od termoelektrana, ali unatoč tome stvaraju strah ljudi [11].

Možda se strah prvenstveno može pripisati nerazumijevanju i nedovoljnom obrazovanju šire javnosti o načinu funkcioniranja nuklearnih elektrani. No, u korist im svakako ne ide podatak da su se u zadnjih sto godina dogodile najgore nuklearne katastrofe. Posljedice koje su one imale globalno i dugotrajno, ne samo na ekonomiju, gospodarstvo, okoliš već na ono najbitnije – ljudski život i zdravlje čovječanstva. Stoga ne čudi što postoje oprečne struje, političari koji ističu

prednosti nuklearne energije i oni koji već godinama zagovaraju njihovo postupno gašenje. Ne samo što bi se time smanjio rizik pojave ponovne nuklearne katastrofe i time sačuvao naš planet, već postoji argumentacija da bi time maksimalno motivirali istraživanja i primjenu Zelene energije, tj. obnovljivih izvora energije, a naročito u Republici Hrvatskoj [11].

Usprkos svim znakovima koji upućuju na zatvaranje nuklearnih elektrana, neki tvrde kako nuklearne elektrane imaju prednost u odnosu na ostale energetske izvore. Nuklearna industrija sve više ulaže u sigurnost kako bi povećala sigurnost rada nuklearnih elektrana, čija se vjerojatnost da se ponovno dogodi nesreća smanjila tisuću puta. Princip povećanja njihove sigurnosti se svodi na to da se bazira na specifičnom sustavu obrane. Uz to je važno spomenuti da novije nuklearne elektrane sadrže reaktore koji ne zahtijevaju vanjsku intervenciju kao što je izvor napajanja. Nuklearne elektrane možda imaju zavidnu cijenu proizvedene električne energije i povoljan utjecaj na klimu, ali ono što ona može uraditi u sekundi kvara samo jednog njenog dijela, potiče na razmišljanje i istraživanje da se stvore nova rješenja za ekološke probleme koja postupno isključuju rad nuklearki [12, 13].

Radioaktivnost sama po sebi zvuči zastrašujuće, ali ona ne mora biti produkt radioaktivnog raspadanja. Najveći utjecaj na ljudsko zdravlje ima ionizirajuće zračenje. Ionizirajuće zračenje možemo definirati kao fotonsko zračenje koje ima dovoljno energije da ionizira tvari [11, 13]. Posljedice ionizirajućeg zračenja ne možemo utvrditi odmah, one se osjete tek nakon nekoliko dana, ovisno o njegovom utjecaju, njegovoj vrsti i svojstvima. Da bi se lakše prebrodio strah, potrebno je dodatno educiranje o zračenju, a to uključuje razumijevanje njegovih osnovnih svojstava, njegovo međudjelovanje s ostalim tvarima te najbitnije, kako djeluje na živa bića [12].

Organizam može biti izložen ionizirajućem zračenju na dva osnovna načina. Prvi način opisuje unutarnje zračenje i u tom slučaju izvor zračenja je u samom živom organizmu, dok je kod vanjskog načina, izvor zračenja izvan tijela, pritom može biti ozračen samo određeni dio tijela, a koji put i cijelo tijelo. Uz navedeno

potrebno je poznavati jakost zračenja, koliko je apsorbirane energije i način mjerenja [12].

Osim osnovne podjele na unutarnje i vanjsko zračenje, postoji još načina ozračivanja:

- akutno – impulsno, kratkotrajno i djelomično
- kronično – traje dulji vremenski period
- lokalno - slučaj kada je ozračen pojedinačni dio tijela ili organ
- totalno - kada je cijelo tijelo ozračeno

Promjene koje nastaju na živim tkivima uzrokovane ionizirajućim zračenjem nazivamo biološkim efektima zračenja. Fizikalno kemijski procesi koji nastaju tijekom zračenja mogu izazvati mnoge biološke promjene. Ako se simptomi zračenja pojavljuju kod pojedinca onda se to zove somatski efekt, ali ako se simptomi prenesu na potomke onda je u pitanju genetski efekt. Somatski efekti mogu biti rani i kasni. Ako se dogodi da su somatski efekt i genetski efekt kasni, onda se oni smatraju stohastičkim. Genetski efekt će se pojaviti kod potomaka. Pojavljuju se kao mutacije koje mogu biti negativne. A vjerojatnost da potomak sadrži određenu mutaciju nadopunjuje se s vjerojatnošću za prirodne i spontane mutacije [12].

Kako bi lakše uočili da li je neki organizam izložen utjecaju zračenja, potrebno je poznavati simptome. Najpoznatiji i najupečatljiviji simptomi izloženosti su: povraćanje, ispadanje kose, slabosti, crvenilo na kožo, promjenjiva krvna slika, bolesti zračenja. Jedan od prvih simptoma je gubljenje kose do kojeg dolazi ako je osoba izložena radijaciji na 200 REM-a ili više. Slijedeći pokazatelj je štitnjača koja je osjetljiva na radioaktivni jod. U velikim količinama, jod ju može cijelu uništiti. Ako pak se gleda krvna slika, tj. utjecaj na krvožilni sustava, broj limfocita će se u krvi smanjiti. Što se tiče općeg stanja organizma rani simptomi znaju izgledati sličnim simptomima gripe. Posljedice osjeća i gastrointestinalni trakt - zračenje izaziva mučninu i povraćanje. Do tog dolazi ako je osoba bila izložena radijaciji iznad 200 REM-a. Zračenje će uzrokovati uništavanje stanica koje se u

tijelu brzo dijele, a to su stanice kose, DNK, RNK, reproduktivni sustav. Kod reproduktivnog sustava, ozračene osobe vrlo brzo stupaju u sterilnu fazu [12, 13].

Ako je osoba bila pod većim utjecajem zračenja i unatoč tome u prvom vremenskom periodu nije pokazivala nikakve simptome, to ne znači da nema učinka, već se oni mogu pojaviti i do deset godina nakon izloženosti zračenju te mogu uzrokovati teške bolesti kao što su razne vrste tumora, leukemija i sl. Moguće su i razne druge bolesti , poput:

- bolesti krvi - najviše je zabilježenih slučajeva anemije kao posljedice zračenja, kod nekih smanjenje bijelih i crvenih krvnih stanica i nakon dužeg vremenskog perioda.

- utjecaj na srce - osoba koja je bila pod utjecajem zračenja većeg od 1000 REM-a će imati oštećenja krvnih žila i vjerojatno će u kratkom periodu doći do zatajenja srca, pri čemu nastupa smrt

- keloidi ili tkiva koja najviše trpe zbog direktnog utjecaja - osobe najprije razviju opekline koje počnu bubriti, a zatim abnormalno rastu.

- utjecaj na mozak - zračenje ubija moždane i krvne stanice , što može uzrokovati napadaj, pucanje žila i trenutnu smrt. Do toga dolazi ako je osoba bila duži period ozračena ili je jačina zračenja dosegla 5000 REM-a [12, 13].

Deterministički učinak zračenja - kod osobe može biti posljedica lokaliziranog zračenja tkiva, što znači da ubijene stanice nisu u mogućnosti biti zamijenjene s živim. To stvara veliki problem jer time je uzrokovano oštećenje funkcije tkiva i organa.

Stohastički učinak - efekt koji nastaje oštećenjem stanica ionizirajućim zračenjem. Pritom doza zračenja ne mora biti velika. Za stohastičke učinke je značajno da njihov nastanak i određivanje ovisi o dozi zračenja, dok kod

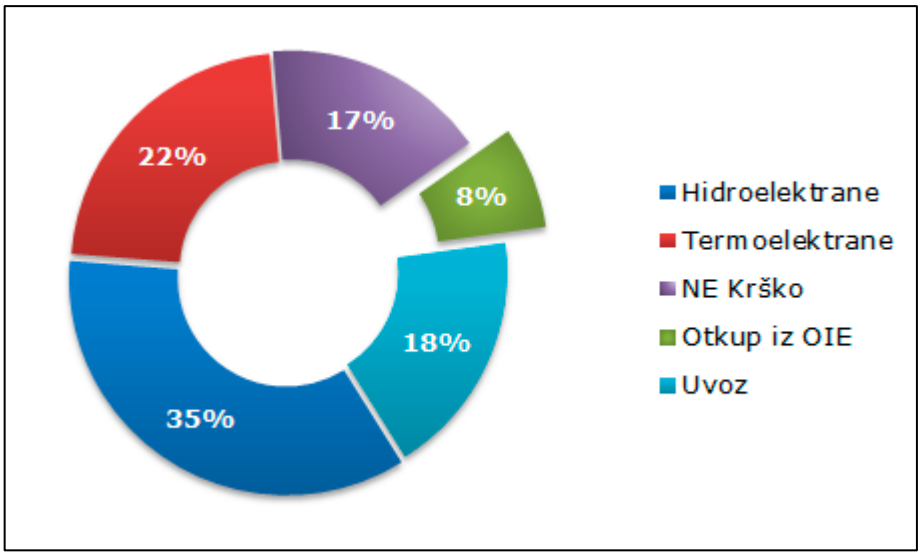
deterministički postoji prag. Ako je doza ionizirajućeg zračenja iznad praga, ozbiljnost determinističkih učinaka je ovisna o primljenoj dozi.

Učinak zračenja na DNA - biološka struktura DNA može biti oštećena izravnim ili neizravnim putem. Prvi slučaj opisuje da dolazi do pucanja kemijske veze između molekula stanice. Javljaju se u obliku prijeloma koji se može dogoditi na lancu. Taj prijelom uzrokuje oštećenje DNA, koja uzrokuje kromosomsku aberaciju ili staničnu smrt. Neizravnim putem dolazi do stvaranja slobodnih radikala. Slobodni radikali pritom oslobađaju energiju koja se predaje molekulama vode. Koji god slučaj se dogodi, ono uzrokuje velike posljedice. Jedna od njih je usporavanje dijeljenja. Odnosno, vrijeme odvijanja mitoze se produljuje te tim dolazi do kašnjenja slijedeće mitoze. Uz to, uzrokuje pojavu kromosomske aberacije. Kada u lancu DNA dođe do loma, stanica ima mogućnost popravljanja, ali kada je tijelo izloženo velikom ionizirajućem zračenju, ima drugačiji razvoj. Najprije kada dođe do loma, odvojeni dio lanca tijekom dijeljenja se može izgubiti, pa slijedeći dio lanca ne može dobiti genetsku informaciju koja se nalazi u izgubljenom fragmentu. Ili je moguća situacija u kojoj ako dođe do loma, ali na više dijelova kromosoma, dolazi do razmjene izgubljenih fragmenata između sebe te nastaju aberantni kromosomi. Takve stanice nemaju sposobnost reprodukcije. Zbog toga stanice koje se sporo dijele odumiru. Što je veće ionizirajuće zračenje, to je veći stupanj ubijanja stanica. Ako je veliki broj stanica umre, ono utječe na tkiva i organe, tj. njihova je funkcija poremećena što zna voditi do smrti organizma. Mutacija nastaje kao posljedica ionizirajućeg zračenja na stanicu organizma, pri čemu dolazi do disocijacije molekule i mogu se pojaviti na bilo kojem dijelu tijela. Postoje i točkaste mutacije koje se javljaju kada je genetska informacija oštećena kemijskim ili fizikalnim mutagenom koji uzrokuje poremećeni redoslijed baze u DNA molekuli. S obzirom da se točkaste mutacije prenose na slijedeću generaciju stanica, svaka, čak i mala doza zračenja može uzrokovati promjenu gena i mutacije [13].

5. NUKLEARNA ELEKTRANA I OBNOVLJIVI IZVORI

Današnja energetska politika u prvi plan stavlja kriterija održivog razvoja koji se koncentriraju na učinke smanjenja globalnog zatopljenja i ostalih utjecaja na okoliš, zatim adekvatno zbrinjavanje otpada, siguran rad energetskih postrojenja, pouzdanost opskrbe te brigu za buduće generacije. Danas se u svijetu 68 % električne energije dobiva iz fosilnih goriva (41 % iz ugljen, 21 % iz prirodnog plina i 5,5 % iz nafte), 13,4 % iz nuklearne fisije, a tek 19 % iz obnovljivih izvora (uključujući ovdje i hidroenergetski potencijal). Nema naznake da će se situacija u skoroj budućnosti promijeniti da bi se energetske potrebe čovječanstva mogle zadovoljiti bez tih izvora. Za proizvodnju iste količine energije nuklearne elektrane troše puno manje goriva od elektrana na fosilna goriva. Tako se iz jedne tone urana u nuklearnoj elektrani može dobiti isto električne energije kao iz 17000 tona ugljena u termoelektrani [3].

U današnje vrijeme sve se više europskih zemalja okreću energiji iz obnovljivih izvora, pitanje je kako u tome stoji Republika Hrvatska. Naime, u RH planira se gradnja dviju novih termoelektrana na ugljen i na plin. Što o tome misli struka, dovoljno govori činjenica da podržavaju takve planove jer su temelj za energetsku autonomijom, a o okolišu se manje brine. Hrvatska je u velikim problemima u proizvodnji električne energije. Prema određenim analizama, u budućnosti je moguć manjak električne energije, a već sada Hrvatska uvozi oko 20 % električne energije (u 2019. je taj udio iznosio 18 %, slika 8).



Slika 8: Struktura udjela pojedinih izvora energije u RH

Nuklearna elektrana predstavljala bi energetsku i ekonomsku sigurnost jer bi s njom RH ostvarila neovisnost i ne bi trebala uvoziti električnu energiju. Iako je energija iz nuklearne elektrane jedna od najskuplje proizvedenih, studije pokazuju da bi izgradnja nove NE bila isplativija od trenutnog uvoza skupe električne energije. U ukupnoj potrošnji električne energije, nuklearna elektrana Krško pridonosi oko 17 %. Smatra se da bi cijene struje iz Krškog bile više ako se računaju i troškovi skladištenja otpada. Moje mišljenje je da ne bi trebalo graditi nove NE, već se treba fokusirati na obnovljive izvore energije kao što su vjetar, iskorištavanje solarne energije i biomase. Već izgrađene nuklearne elektrane pokrivaju određeno opterećenje sa elektranama na fosilna goriva, ali izgradnja novih je skupa, duže traje i veći su rizici u odnosu na obnovljive izvore energije. Što se tiče Hrvatske, ona stimulira korištenje obnovljivih izvora energije. Vidljiv je razvoj tog tržišta, pogotovo vjetroelektrana. U Strategiji energetskog razvoja, koja je pred usvajanjem, promatra se energetska tranzicija kao prilika za razvoj domaće industrije kroz povećana ulaganja u inovacije u području zaštite kvalitete zraka, okoliša i općenito zdravlja ljudi, istovremeno povećavajući konkurentnost gospodarstva u području dekarbonizacije i razvoju obnovljivih izvora energije [17]. Cilj Europske unije je smanjiti emisiju štetnih plinova za 30 % do 2025., a RH kao dio EU mora također snositi trošak zelene energije [2].

6. ZAKLJUČAK

Porastom životnog standarda rastu i potrebe za energijom. Energetika, kao privredna djelatnost koja iz različitih izvora pretvorbama proizvodi električnu energiju, ima odgovornu zadaću zadovoljiti te potrebe. U svijetu su najrašireniје elektrane na fosilna goriva, no politika održivog razvoja i zaštite okoliša teži smanjenju utjecaja na globalno zagrijavanje i klimatske promjene. Nuklearna tehnologija iako najmlađa, zadovoljava kriterije održivosti, ali iziskuje znatna financijska ulaganja i zato je struja dobivena u nuklearkama najskuplja. Važno je naglasiti i pitanje stava javnosti prema nuklearnim elektranama koje u većini slučajeva nije pozitivno. Mnogi ljudi bi najradije da se nuklearne elektrane ugase. Možda je razlog tome nedovoljno razumijevanje nuklearne tehnologije, možda sjećanja na svjetske katastrofe povezane uz nuklearne elektrane ili pak jednostavno zbog činjenice da su izrazito moćne, dugovječne i predstavljaju trajnu prijetnju ionizirajućeg zračenja za zdravlje. No, činjenica je da to nije tako jednostavno jer za sad ne postoji način na koji bi se nadomjestila njihova proizvodnja.

Hrvatska je u posebnoj situaciji. Iako na njenom teritoriju nema nuklearnih elektrani, u vlasništvu je 50 % NE Krško. Uz sve ostale elektrane to nije dovoljno da podmiri energetske potrebe svog stanovništva pa određeni dio struje uvozi. Jedan od mogućih razloga je i to što Hrvatska nije izgradila elektranu desetljećima i tako osigurala energetsku neovisnost. Ipak, svoj energetski razvoj trebala bi više temeljiti na korištenju obnovljivih izvora energije kao i uvesti potrebne promjene u potrošnji energije.

Na primjeru Černobila, Three Mile Island i Fukushime, na težak način naučili smo da su nuklearne katastrofe destruktivne na mnogo različitih načina. Pridržavanjem pravila struke pri konstrukciji građevina nuklearnih elektrana, pravilnim i stručnim rukovanjem u toku rada te zbrinjavanjem radioaktivnog otpada na odgovarajući način štetne posljedice na okoliš i zdravlje se mogu svesti na minimum, ali nikada ne možemo potpuno jamčiti sigurnost. Stoga su daljnja istraživanja nužna za reduciranje negativnih posljedica rada nuklearne elektrane. Edukacija i osvješćivanje javnosti mora postati prioritet vladajućih u svim

zemljama, a prvenstveno onim s visokom stopom rizika od katastrofa. Trebaju se provoditi dosljedno i implementirati u sve slojeve svakodnevnog života građana.

7. POPIS LITERATURE

[1] Službena web stranica Nuklearne elektrane Krško. https://www.nek.si/hr Datum pristupa: 4.03.2020.

[2] D.A. Meneley, in Infrastructure and Methodologies for the Justification of Nuclear Power Programmes, 2012.

Datum pristupa: 4.03.2020.

https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/probabilistic-safety-assessment

[3] Nuklearna energija, Internet, Datum pristupa: 5.03.2020.

http://www.nemis.hr/index.php/energetske-svrhe/nuklearna-elektrana-krsko-nek.html

[4] Civilna zaštita, 2020., Internet, Datum pristupa: 5.03.2020.

https://civilnazastita.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Radioloska%20i%20nuklearna%20sigurnost/Procjene,%20istrazivanja%20i%20analize/Procjena%20nuklearne%20i%20radioloske%20opasnosti%20za%20Republiku%20Hrvatsku.pdf

[5] Vlada RH, Zagreb, srpanj 2014.,Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, Datum pristupa: 12.03.2020.

https://vlada.gov.hr/rezultati-pretrazivanja/49?pojam=radioaktivnost+

[6] Klasifikacija radioaktivnog otpada, Internet, Datum pristupa: 17.03.2020.

https://radioaktivniotpad.org/klasifikacija-radioaktivnog-otpada/

[7] Mateo Grjanić, 2018., Nuklearni otpad – skladištenje i utjecaj na okoliš, Sveučilište u Zagrebu, Prvostupnički rad, Datum pristupa: 17.03.2020.

https://zir.nsk.hr/islandora/object/pmf:4797/preview

[8] Tomislav Kelčec-Pester (2019): "Nuklearna energija – povijesni razvoj, stanje i perspektiva“, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet. Datum pristupa: 23.05.2020.

https://zir.nsk.hr/islandora/object/efzg%3A3710/datastream/PDF/view

[9] Strategija upravljanja radioaktivnim otpadom u Bosni i Hercegovini, Državna regulativna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost, Datum pristupa: 04.05.2020.

file:///C:/Users/Nora/Downloads/STRATEGIJA_hrvatski.pdf

[10] Nevenka Novosel, B. Sc., Zagreb 1996. , Ministry of Economic Affairs, Environmental impact of the NPP Krško, Datum pristupa: 19.05.2020.

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/035/29035043.pdf?r=1&r=1

[11] Centar zdravlja, Učinci na čovjeka, Internet, Datum pristupa: 23.03.2020.

https://www.centarzdravlja.hr/zdrav-zivot/zdravlje-opcenito/ucinci-radijacije-na-covjeka/

[12] Nenad Bolf: Ionizirajuće zračenje, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Datum pristupa: 4.05.2020.

http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/Osvjezimo-znanje-331-332.pdf

[13] Srećko Grgić: Djelovanje ionizirajućih zračenja na žive stanice, Ministarstvo zdravstva RH, Datum pristupa: 6.04.2020

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/000/29000441.pdf

[14] Civilna zaštita, Internet, Datum pristupa: 7.04.2020

https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/izvanredni-radioloski-i-nuklearni-dogadjaj/ines-ljestvica/179

[15] Seizmološka služba RH, Internet, Datum pristupa: 4.05.2020

https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/izvjesca_o_potresu?_v1=3dP89XM5Z56XeNAFclM98Ib_QRVZMq9y_eEA7FTz3ZNynaqKCFNLvqosW7lNPqusPhR5r47ZO7dX3hwVyxPU90NVPtUD80BwmJLOH_09HdTTgB1Qv9OalZc

DcFgCUugoSP9LeHMghY9wrC4IHGBocj4nh4j1ZRDSV13mmAI1L0xuvOjEGTJ
ScVTmHZocwrtxYNqs6Cna7c1gXN9WjH6YJKz9YgBJrQIV-
k2jWaDdkexQFwsA&_lid=45225#news_45225

[16] Krešimir Pavlić, 2010. Utjecaj nelinearnog odziva tla na elemente potresne opasnosti na lokaciji NE Krško, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno – matematički fakultet Diplomski rad, Datum pristupa: 4.05.2020

https://bib.irb.hr/datoteka/481871.Diplomski_Pavlic.pdf

[17] Prijedlog strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu. Internet. Datum pristupa:4.06.2020.

https://www.sabor.hr/sites/default/files/uploads/sabor/2019-10-31/111602/STRATEGIJA_ENERG_RAZVOJ_2030.pdf

POPIS SLIKA :

Slika 1: Radna shema NeK-a

https://www.nek.si/hr/o-nuklearnoj-tehnologiji/rad-nek-a/radna-shema-nek-a

Slika 2: Prikaz obogaćenja urana

http://www.nemis.hr/index.php/energetske-svrhe/nuklearni-gorivni-ciklus.html

Slika 3: Prikaz klasifikacije otpada

https://radioaktivniotpad.org/klasifikacija-radioaktivnog-otpada/

Slika 4: Otpor stanovništva BiH odlaganju radioaktivnog otpada

https://www.dw.com/hr/bih-ne-hrvatskom-nuklearnom-otpadu/a-50611999

Slika 5: Prikaz INES ljestvice

http://www.nemis.hr/index.php/sigurnost.html

Slika 6: Sustav pripravnosti

http://www.nemis.hr/index.php/energetske-svrhe/sto-u-slucaju-nezgode.html

Slika 7: Nuklearne elektrane u odnosu na položaj RH

http://www.nemis.hr/index.php/energetske-svrhe/sto-u-slucaju-nezgode.html

Slika 8: Struktura udjela pojedinih izvora energije u RH

https://www.hep.hr/opskrba/trziste-elektricne-energije/trziste/izvori-energije/1385