

# Zaštita od ionizirajućeg zračenja i reagiranje sustava zaštite i spašavanja u slučaju velike nesreće u NE Krško

---

**Marić, Nino**

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

**2015**

*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:128:662232>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-22**



**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

NINO MARIĆ

**ZAŠTITA OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA I  
REAGIRANJE SUSTAVA ZAŠTITE I  
SPAŠAVANJA U SLUČAJU VELIKE NESREĆE U  
NE KRŠKO**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2015

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I  
ZAŠTITE

NINO MARIĆ

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Slaven Lulić, dipl.ing.

Karlovac, 2015.

**Sažetak:** Ionizirajuće zračenje predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje iz razloga što ne osjetimo kada smo mu izloženi, a posjeduje dovoljno energije da izazove štetne učinke na ljudski organizam. Upravo zbog toga moramo biti svjesni opasnosti koju predstavljaju nuklearne elektrane kao izvori ionizirajućeg zračenja. U neposrednoj blizini granice Republike Hrvatske nalazi se Nuklearna elektrana Krško u Republici Sloveniji. Iako je opremljena svom potrebnom opremom za reguliranje i praćenje rada, ipak postoji mala vjerojatnost da dođe do velike nesreće ili čak katastrofe. Nesreća primjerice može biti uzrokovana ljudskim faktorom, ali i prirodnim uzrokom kao što je na primjer potres. S obzirom na rizik od utjecaja ionizirajućeg zračenja kojima je izložen dio teritorija naše zemlje potrebno je izraditi kvalitetne planove i pripremiti timove za provedbu mjera zaštite i spašavanja koje će se provoditi u slučaju ispuštanja zračenja iz reaktora. Mjere zaštite i spašavanja koje će se provesti mogu biti trenutne (žurne) i dugoročne ovisno o veličini nesreće i količini ispuštenih tvari. U takvim situacijama je najvažnije spasiti što više ljudskih života, a nakon toga se provode druge radnje. Zbog toga je izuzetno bitno provoditi vježbe reagiranja sustava zaštite i spašavanja u slučaju nesreće, kako bi se u stvarnoj situaciji moglo što bolje reagirati i smanjiti posljedice što je više moguće.

**Ključne riječi:** ionizirajuće zračenje, Nuklearna elektrana Krško, ugroženost od nuklearne katastrofe, reagiranje sustava zaštite i spašavanja, mjere zaštite i spašavanja

**Summary:** Ionizing radiation poses a threat to human health because we don't feel when we are exposed to it and it has sufficient amount of energy to cause adverse effects on the human body. This is why we have to be aware of the dangers represented by nuclear power as a source of the ionizing radiation. In Republic of Slovenia, near the border of the Republic of Croatia, Nuclear Power Plant Krško is located. Although it is equipped with all the necessary equipment for regulating and monitoring the work, there is always a small chance of a major accident or even catastrophe. Such accidents can be caused by the human factor, but also natural causes such as for example an earthquake. Due to the risk of the impact of the ionizing radiation which could be exposed part of the territory of our country it is necessary to develop quality plans and prepare teams for the implementation of protective and rescue measures that will be conducted in case of release of radiation from the reactor. Protection and rescue measures that will be implemented can be immediate (urgent) and long-term depending on the size of the accident and the amount of material discharged. In such situations it is important to save as many human lives, and after that the other operations can be carried out. Therefore it is extremely important to carry out the exercise response protection and rescue system in the event of an accident, in order to provide better response in the real situation and reduce the consequences as much as possible.

**Keywords:** ionizing radiation, Nuclear Power Plant Krško, the threat of a nuclear catastrophe, reaction of protection and rescue system, protection and rescue measures

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE.....                             | 3  |
| 2.1. Utjecaj zračenja na čovjeka.....                     | 6  |
| 2.2. Podjela ionizirajućeg zračenja.....                  | 7  |
| 2.2.1. Alfa zračenje .....                                | 7  |
| 2.2.2. Beta zračenje .....                                | 8  |
| 2.2.3. Gama zračenje.....                                 | 10 |
| 3. IZVORI OPASNOSTI OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA.....        | 11 |
| 3.1. Nuklearna elektrana Krško.....                       | 12 |
| 3.1.1. Nuklearna tehnologija .....                        | 12 |
| 3.1.2. Nuklearno gorivo .....                             | 13 |
| 3.1.3. Nuklearni reaktor .....                            | 14 |
| 3.1.4. Cijepanje jezgre i lančana reakcija .....          | 16 |
| 3.1.5. Sigurnosni sustavi .....                           | 17 |
| 3.1.6. Radioaktivni otpad.....                            | 18 |
| 3.1.6.1. Istrošeno nuklearno gorivo .....                 | 19 |
| 3.1.7. Nuklearne elektrane i rizici .....                 | 20 |
| 3.1.7.1. Sigurnosni ciljevi.....                          | 22 |
| 3.1.7.2. Načela dubinske obrane .....                     | 22 |
| 3.1.8. Zračenje i zaštita od zračenja .....               | 23 |
| 3.1.9. Izvori i vrste zračenja.....                       | 24 |
| 3.1.9.1. Zaštita od zračenja.....                         | 25 |
| 3.1.10. Mjerenja emisija i radioaktivnosti u okolišu..... | 25 |
| 3.1.11.1. Tekući ispusti .....                            | 27 |
| 3.1.11.2. Plinoviti ispusti.....                          | 28 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.11.3. Ostali utjecaji.....   | 28 |
| 4. RIZIK OD NUKLEARNE NESREĆE .....  | 30 |
| 4.1. Položaj i sektori NE Krško.....   | 33 |
| 4.2. Procjena ugroženosti od nuklearne nesreće .....   | 36 |
| 4.2.1. Procjena ugroženosti Zagrebačke županije u slučaju nuklearne i radiološke nesreće.....                | 37 |
| 4.3. Radiološke opasnosti.....   | 37 |
| 4.4. Reakcija sustava zaštite i spašavanja u slučaju velike nesreće ili katastrofe...                        | 38 |
| 4.5. Sustav pripravnosti .....   | 41 |
| 4.6. Kategorije ugroze .....   | 45 |
| 4.7. Mjere zaštite i spašavanja od radiološke i nuklearne nesreće.....                                       | 48 |
| 4.7.1. Trenutne – žurne mjere zaštite i spašavanja .....   | 49 |
| 4.7.2. Dugoročne mjere zaštite i spašavanja .....  | 52 |
| 4.8. Potreba za provedbom zaštitnih mjera .....  | 54 |
| 4.9. Postrojbe Civilne zaštite.....  | 55 |
| 4.10. RODOS sustav za podršku u odlučivanju.....   | 59 |
| 4.11. Upoznavanje građana sa mogućom opasnošću putem letka "Zaštita od utjecaja ionizirajućeg zračenja"..... | 60 |
| 5. ZAKLJUČAK .....   | 62 |
| LITERATURA.....  | 63 |

## POPIS SLIKA

Slika 1: *Znak opasnosti od ionizirajućeg zračenja*

[<http://www.zirs.hr/znakovi-sigurnosti.aspx?category=3&showsign=OP-60A>]

Slika 2: *Elektromagnetski spektar*

[<http://ljskola.hfd.hr/arhiva/2001/susac-ana/susac-ana.pdf> ]

Slika 3: *Prodornost alfa, beta i gama zračenja*

[<http://www.nek.si/hr/okolis/zracenje/> ]

Slika 4: *Utjecaj ekvivalentne doze zračenja na čovjeka*

[<http://161.53.18.5/static/erg/2001/kovac/d1.html> ]

Slika 5: *Prikaz nastanka alfa čestice*

[<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2003/petricevic/ionizirajuce.html> ]

Slika 6: Prikaz beta minus i beta plus raspada

[<http://personal.unizd.hr/~mdzela/nastava/KTF.pdf> ]

Slika 7: Prikaz gama raspada

[<http://personal.unizd.hr/~mdzela/nastava/KTF.pdf> ]

Slika 8: Broj nuklearnih elektrana po Europskim zemljama

[[http://www.nek.si/hr/elektricna\\_energija/zna\\_269\\_aj\\_nuklearne\\_energije/nuklearne\\_elektrane\\_u\\_svijetu/](http://www.nek.si/hr/elektricna_energija/zna_269_aj_nuklearne_energije/nuklearne_elektrane_u_svijetu/) ]

Slika 9: *Proces obogaćivanja uranija*

[Martin E. James, *Physics for Radiation Protection*, knjiga, Copyright 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN: 3-527-40611-5, 222.-242. str.]

Slika 10: *Radna shema Nuklearne elektrane Krško*

[[http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/rad\\_nek\\_a/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/rad_nek_a/) ]

Slika 11: *Kalorijska vrijednost tablete goriva*

[[http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/nuklearni\\_reaktor/cijepanje\\_jezgre\\_i\\_lancana\\_re\\_akcija/kalorijska\\_vrijednost\\_tablete\\_goriva/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/nuklearni_reaktor/cijepanje_jezgre_i_lancana_re_akcija/kalorijska_vrijednost_tablete_goriva/) ]

Slika 12: *Odlaganje radioaktivnog otpada*

[[http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/briga\\_za\\_otpad/nisko\\_i\\_srednje\\_radioaktivni\\_otpad/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/briga_za_otpad/nisko_i_srednje_radioaktivni_otpad/) ]

Slika 13: *Usporedba zračenja iz NEK i iz drugih izvora*

[[http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/zracenje\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/zracenje_i_zastita_od_zracenja/) ]

Slika 14: *INES ljestvica*

[[http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne\\_nesrece/ines\\_ljestvica](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne_nesrece/ines_ljestvica) ]

Slika 15: *Seizmološki zemljovid Republike Hrvatske*

Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od prirodnih i tehničko - tehnoloških katastrofa i velikih nesreća, Dostupno na: [PROCJENA\\_web\\_20.03.2013.](#)

Slika 16: *Karta seizmičnosti Republike Hrvatske i okolice*

[<http://www.gfz.hr/seismap.php> ]

Slika 17: *Prikaz zona i sektora oko najbližih nuklearnih elektrana*

Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od prirodnih i tehničko - tehnoloških katastrofa i velikih nesreća, Dostupno na: [PROCJENA\\_web\\_20.03.2013.](#)

Slika 18: *Prikaz zona i sektora NUK na području Republike Hrvatske*

Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od prirodnih i tehničko - tehnoloških katastrofa i velikih nesreća, Dostupno na: [PROCJENA\\_web\\_20.03.2013.](#)

Slika 19: *Prikaz mjernih postaja SPUNN-a*

[[http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/pravodobno\\_upozoravanje](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/pravodobno_upozoravanje) ]

Slika 20: *Tijek informacija ranog upozoravanja*

[[http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_08\\_96\\_2707.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_08_96_2707.html)]

Slika 21: *Shema sustava pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće*

[[http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/sustav\\_pripravnosti](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/sustav_pripravnosti) ]

Slika 22: *Prikaz sustava upravljanja u slučaju izvanrednog događaja I. i II. kategorije*

[<http://www.propisi.hr/print.php?id=11883> ]

Slika 23: *Prikaz sustava upravljanja u slučaju izvanrednog događaja III., IV. i V. kategorije*



[<http://www.propisi.hr/print.php?id=11883> ]

Slika 24: *Shema mjera CZ i drugih mjera za zaštitu stanovništva od posljedica radiološke i nuklearne katastrofe i velike nesreće*

[[Plan zaštite i spašavanja na području Republike Hrvatske \(NN 096/2010\)](#) ]

Slika 25: *Tim za RKBN zaštitu*

[ <http://digured.srce.hr/arhiva/263/26986/www.nn.hr/clanci/sluzbeno/2007/3258.htm> ]

Slika 26: *Ekipa tima za RKBN zaštitu za dekontaminaciju*

[<http://duzs.hr/news.aspx?newsID=22449&pageID=203#> ]

Slika 27: *Prostorni razmještaj timova ISPCZ RH prema procjeni ugroženosti RH*

Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od prirodnih i tehničko - tehnoloških katastrofa i velikih nesreća, Dostupno na: [PROCJENA\\_web\\_20.03.2013](#).

Slika 28: *RODOS sustav za podršku u odlučivanju- prikaz vježbe*

[[http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/potporni\\_sustavi/rodos](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/potporni_sustavi/rodos) ]

## POPIS TABLICA

Tablica 1: *Ekvivalent godišnje efektivne doze*

[<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/svec/UTJECAJ%20ZRA%C4%8CENJA%20NA%20ORGANIZAM/utjecaj%20ioniz.htm>]

Tablica 2: *Ciljevi i načela zaštite*

[[http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/ciljevi\\_i\\_nacela\\_sigurnosti/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/ciljevi_i_nacela_sigurnosti/)]

Tablica 3: *Podaci o radioaktivnosti u tekućim ispuštima u 2011. godini*

[[http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji\\_na\\_okolis/tekuci\\_ispusti/](http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji_na_okolis/tekuci_ispusti/)]

Tablica 4: *Podaci o ispuštanjima radijacije u zrak za 2011. godinu*

[[http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji\\_na\\_okolis/plinoviti\\_ispusti/](http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji_na_okolis/plinoviti_ispusti/)]

Tablica 5: *Pregled obveza (mjera zaštite i spašavanja) sudionika uključenih u provedbu mjera ZiS u slučaju radioloških i nuklearnih nesreća*

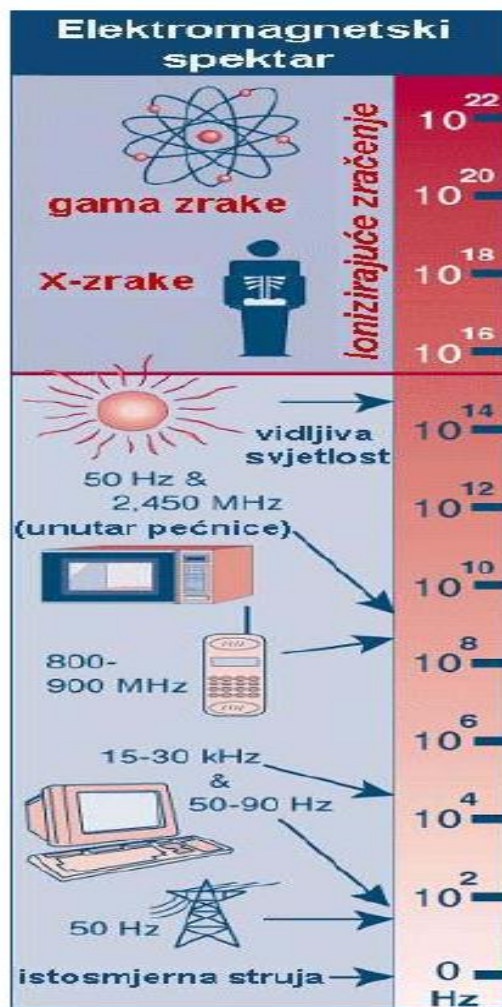
[[Plan zaštite i spašavanja na području Republike Hrvatske \(NN 096/2010\)](#)]

Tablica 6: *Generičke intervencijske razine za hitne zaštitne mjere*

Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od prirodnih i tehničko - tehnoloških katastrofa i velikih nesreća, Dostupna na: [PROCJENA\\_web\\_20.03.2013.](#)

# 1. UVOD

Svakodnevno smo izloženi zračenju iako toga nismo ni svjesni. Razlog tome je što nemamo razvijene receptore za prepoznavanje zračenja. Iz tog razloga ne prepoznajemo kada smo izloženi i kojoj količini zračenja, a posljedice osjetimo naknadno tek nakon nekog vremena, od nekoliko sati do nekoliko dana ili čak godina, što ovisi o vrsti i svojstvima tog zračenja. No nisu sva zračenja jednako štetna i opasna. Dok neionizirajuće zračenje uglavnom izaziva biološke učinke kao što je zagrijavanje tkiva i stanica, ionizirajuće zračenje je mnogo opasnije jer ima dovoljnu energiju fotona da izazovu ionizaciju, odnosno uzrokuje izbijanje elektrona iz stanica i molekula. Iz tog razloga je razumljiv čovjekov strah, a poznavanje osnovnih svojstava ionizirajućeg zračenja, međudjelovanja zračenja sa tvarima i djelovanja zračenja na živa bića je izuzetno važno, pogotovo u slučaju velike nesreće ili katastrofe.



Slike 1 i 2: Znak opasnosti od ionizirajućeg zračenja i Elektromagnetski spektar

Iskustva pokazuju da ranjivost zajednica na prirodne katastrofe i velike nesreće opada s rastom njihove ukupne razvijenosti. Razvijene zajednice su u razdoblju od 1990. – 2001. godine pretrpjele štete u iznosu od 2% njihovog BDP-a, a nerazvijene od 13% BDP-a. Zadnjih godina bilježi se porast broja katastrofa, koji prati porast broja ljudskih žrtava i šteta izraženih u novcu. Komparativni pokazatelji ovog tipa koriste se kao globalne iskustvene podloge i od posebne su koristi za utvrđivanje planova zaštite i spašavanja, smjernica razvoja i željenih karakteristika sustava zaštite i spašavanja u Republici Hrvatskoj.

## 2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE

Zračenje ili radijacija označava prijenos energije na daljinu elektromagnetskim valovima bez posredstva medija (materije). Brzina širenja elektromagnetskih valova ( $c$ ), valna dužina ( $\lambda$ ) i frekvencija ( $f$ ) povezani su relacijom:  $c = \lambda f$ . Prolaskom kroz materiju frekvencija ostaje konstantna, ali se zbog promjene valne dužine mijenja i brzina širenja elektromagnetskih valova. [1]

Ionizirajuće zračenje jest elektromagnetsko i čestično zračenje čijim prolazom u tvari izravno ili neizravno nastaju parovi pozitivno i negativno električki nabijenih čestica – iona, prema Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, 39/15). [2]

Izvori ionizirajućeg zračenja mogu biti prirodni i umjetni, kao što je prikazano u „Tablici 1“.

Tablica 1: *Ekvivalent godišnje efektivne doze*

| Ekvivalent godišnje efektivne doze   |                    |                   |                        |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| IZVOR                                | DOZA<br>(mrem/god) | DOZA<br>(mSv/god) | POSTOTAK OD<br>UKUPNOG |
| <b>Prirodni</b>                      |                    |                   |                        |
| Radon                                | 200                | 2.0               | 55%                    |
| Kozmičko                             | 27                 | 0.27              | 8%                     |
| Zemaljsko                            | 28                 | 0.28              | 8%                     |
| Unutarnje                            | 39                 | 0.39              | 11%                    |
| <b>Ukupno prirodni</b>               | <b>300</b>         | <b>3</b>          | <b>82%</b>             |
| <b>Umjetni</b>                       |                    |                   |                        |
| Medicinske X-zrake                   | 39                 | 0.39              | 11%                    |
| Nuklearna medicina                   | 14                 | 0.14              | 4%                     |
| Potrošački proizvodi                 | 10                 | 0.1               | 3%                     |
| <b>Ostali</b>                        |                    |                   |                        |
| Različita zanimanja                  | 0.9                | <0.01             | <0.3                   |
| Nuklearno gorivo                     | <1                 | <0.01             | <0.03                  |
| Oborinsko zračenje                   | <1                 | <0.01             | <0.03                  |
| Ostalo                               | <1                 | <0.01             | <0.03                  |
| <b>Ukupno umjetni</b>                | <b>63</b>          | <b>0.63</b>       | <b>18%</b>             |
| <b>Ukupno prirodni<br/>i umjetni</b> | <b>360</b>         | <b>3.6</b>        | <b>100%</b>            |

Apsorbirana doza (skraćeno doza; D) je količina energije ionizirajućeg zračenja koju apsorbira tvar na koju zračenje djeluje. Apsorbirana doza se označava u Gy (grej;  $Gy = J/kg$ ). Jedan grej (Gy) predstavlja 1 J (džul) energije koju je ionizirajuće zračenje predalo 1 kilogramu (kg) tvari.

Kako apsorbirana doza, u različitim uvjetima, ne izražava dovoljno precizno težinu štetnih učinaka zračenja na organizam, uveden je pojam ekvivalentne doze (ekvivalentan - jednakomjeran, istog značaja). Ekvivalentna doza ili dozni ekvivalent (H, eng. RBE – Relative Biological Effectiveness) je jednaka umnošku apsorbirane doze (D), faktora kvaliteta (Q), i proizvoda ostalih čimbenika (N). Jedinica za ekvivalentnu dozu je Sv (sievert,  $Sv = J/kg$ ).

Dakle:  $H = DQN$

gdje je: H - ekvivalentna doza ili dozni ekvivalent u Sv (sievert;  $Sv = J/kg$ ), D - apsorbirana doza Gy (grej;  $Gy = J/kg$ ), Q - faktor kvalitete je faktor kojim trebamo pomnožiti apsorbiranu dozu (D) kako bi saznali kolika je šteta nanosena ozračenim jedinkama bilo kojom vrstom ionizirajućeg zračenja. Q ovisi o linearnom prijenosu energije (LPE) pojedinih vrsta zraka, N - proizvod svih ostalih modifikacijskih čimbenika, za sada se uzima  $N = 1$ .

Povijesti radi, potrebno je spomenuti staru jedinicu za dozni ekvivalent. To je bio rem (engl. Rentgen Equivalent for Men).  $1Sv = 100$  rem ili rem je sto puta manja jedinica od Sv.

Okvirno, male doze zračenja su do 0,2 Gy gama zračenja. Kada se radi o učincima malih doza ionizacijskog zračenja, nije dovoljno poznavati samo D, nego treba znati o kojoj vrsti ionizacijskog zračenja se radi. Naime, učinci neće biti isti ukoliko je D ista, a različito je ionizacijsko zračenje, jer je različit linearni prijenos energije, pa je različit Q. [3]

Prosječna osoba u razvijenim zemljama primi oko 360 mrem (odnosno 3.6 mSv) zračenja (rem - jedinica za mjerenje biološke štete nastale zbog zračenja) svake godine i svi dijelovi tijela podjednako. Ta količina dolazi uglavnom od prirodnih izvora zračenja, kao što je radon.

Zračenje uzrokuje ionizaciju u molekulama živih stanica. Te ionizacije rezultiraju otklanjanjem elektrona iz atoma, oblikujući ione ili nabijene atome. Ti ioni zatim dalje mogu reagirati s drugim atomima u stanici, uzrokujući štete. Primjer toga bila bi gama zraka koja prođe kroz stanicu, molekula vode blizu DNA može se ionizirati i oni mogu reagirati s DNA uzrokujući njeno kidanje.

Pri malim dozama, koje svakodnevno primamo iz pozadinskog zračenja, stanice brzo poprave štetu. Pri većim dozama (do 1 Sv), stanice možda neće moći popraviti štetu pa stanice mogu biti trajno izmijenjene ili mogu umrijeti. Većina stanica koje umru imaju male posljedice na zdravlje, tijelo ih jednostavno zamijeni. Trajno izmijenjene stanice mogu dalje proizvoditi abnormalne stanice prilikom diobe. U pravim okolnostima, te stanice mogu postati kancerogene. To je izvor povećanog rizika od raka, dakle rezultat izloženosti zračenju.

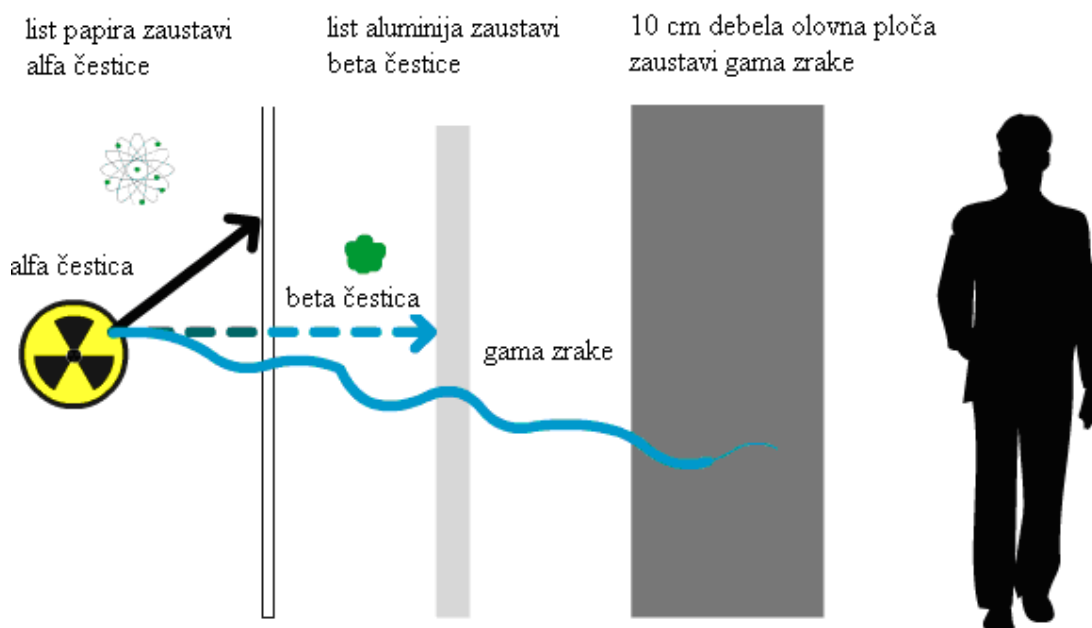
Pri većim dozama, stanice se ne mogu zamijeniti dovoljno brzo i tkivo zakaže u svojoj funkciji. Primjer za to bi bila „bolest zračenja“. To je stanje koje je rezultat velikih akutnih doza na cijelo tijelo ( $>2$  Gy - gray ), zbog čega se ošteti imuno sustav tijela i tijelo se ne može boriti s

infekcijom i bolesti. Nekoliko sati nakon izlaganja dolazi do mučnine i vrtoglavice, a zatim slijedi opća slabost. Sa većim dozama po cijelom tijelu ( $>10$  Gy), unutarnji poredak je narušen do te mjere da se ne mogu obavljati funkcije uzimanja vode i hrane te štiti tijelo od infekcija. Bez medicinskog djelovanja, za očekivati je da oko 50% ljudi umre unutar 60 dana nakon izlaganja, uglavnom zbog infekcija.

Ako netko primi dozu po cijelom tijelu veću od 20 Gy, pretrpjeti će oštećenje krvožilnog sustava koji osigurava krv za živčano tkivo kakvo je i mozak. Vjerojatno je da će pri ovakvim dozama 100% ljudi umrijeti, od kombinacije svih uzroka povezanih s malim dozama i oštećenjima krvožilnog sustava.

Neophodno je naglasiti da postoji vrlo velika razlika između doze za cijelo tijelo i doze za dio tijela. Osim toga, bitno je naglasiti i da je vrlo malo ljudi ikad primilo dozu veću od 2 Gy. Danas je vrlo malo vjerojatno da će netko primiti dozu veću od 0.05 Gy na godinu ukoliko se svi drže propisanih ograničenja. Takvu dozu moguće je primiti uslijed nagle izloženosti. Stoga se rizik od izloženosti procjenjuje i bazira na porastu stope oboljenja od raka, a ne direktne smrti od zračenja. [4]

Ovdje je još bitno spomenuti i bekerel (bacquerel – Bq), mjernu jedinicu za radioaktivnost (aktivnost radioaktivnoga izvora). Ona označava jedan radioaktivni raspad u sekundi ( $1 \text{ Bq} = 1 \text{ 1/s}$ ). Kako su aktivnosti atomskih jezgara radioaktivnih uzoraka često vrlo velike, koriste se kilobekerel (tisuću bekerela,  $1 \text{ kBq} = 1 \cdot 10^3 \text{ Bq}$ ), megabekerel (milijun bekerela,  $1 \text{ MBq} = 1 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ ), gigabekerel (milijarda bekerela,  $1 \text{ GBq} = 1 \cdot 10^9 \text{ Bq}$ ) i terabekerel (bilijun bekerela,  $1 \text{ TBq} = 1 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$ ). U upotrebi je i veća jedinica- kiri (Ci), 1 Ci iznosi  $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ . [5]



Slika 3: Prodornost alfa, beta i gama zračenja

## 2.1. Utjecaj zračenja na čovjeka

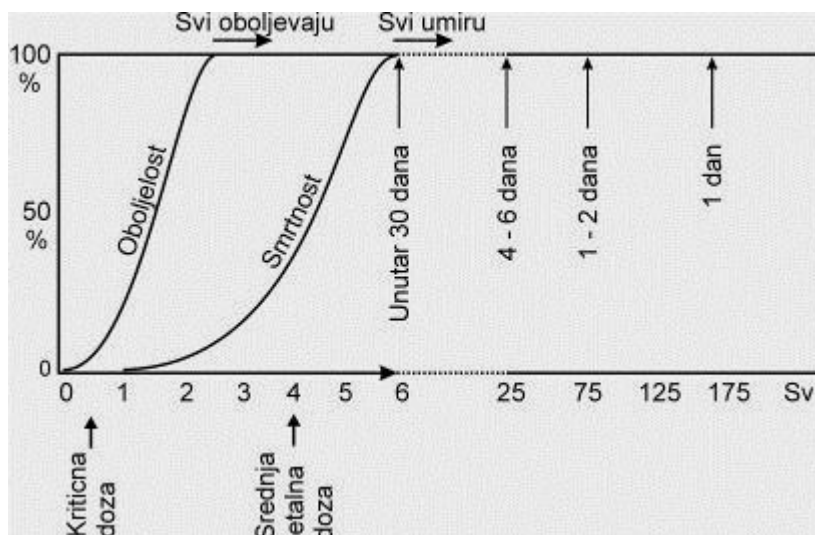
Biološke učinke zračenja možemo podijeliti u dvije grupe. Jedni su deterministički (nestohastički), a drugi su stohastički učinci. Deterministički su učinci posljedica gubitka velikog broja stanica i nastaju primjenom velikih doza zračenja i vidljivi su brzo nakon ozračenja. Da bi učinak bio vidljiv potrebna je određena količina ("prag") zračenja. Stohastički učinci, kao što su mutacije, nasljedne promjene, te tumori vidljivi su tek nakon određenog vremena latencije, za njih nema praga, tj. može ih izazvati i veoma mala doza zračenja. Stoga ih se niti ne može predvidjeti, kao što se to može učiniti za točno određeni - determinirani učinak, nego ih se može statistički predvidjeti. Stohastički učinci mogu nastati u somatskim, ali i u spolnim stanicama, pa se promjene mogu prenijeti na potomstvo (nasljedne promjene, indukcija leukemija, mentalna retardacija, malformacije, smrt ploda).

Zračenje može izazvati čitav spektar nasljednih promjena koje mogu biti veoma male, poput promjene u pojedinom genu, veće, poput onih nastalih lomovima kromosoma i spajanjem preostalih dijelova, do veoma opsežnih kada se mijenja i broj kromosoma. Jasno je da će i biološke posljedice biti to teže što su promjene genoma opsežnije, a veoma velike promjene, uslijed odumiranja stanica, tkiva, te organa, nespojive su sa životom jedinke.

Treba uočiti da učinci zračenja ne ovise samo o apsorbiranoj dozi zračenja, koja je omjer predane energije zračenja i mase tkiva (jedinica je Gray -Gy), nego i o vrsti zračenja i o ozračenoj tvari. Znači da će jednaka apsorbirana doza različitih vrsta zračenja izazvati i različite biološke učinke pa se govori o ekvivalentnoj dozi zračenja. Ona osim apsorpcije energije po masi tkiva vodi računa i o vrsti zračenja i o distribuciji energije u tkivu, što omogućuje izravno uspoređivanje učinaka raznih vrsta zračenja u raznim tkivima, a jedinica ekvivalentne doze je J/g i to je 1 Sv (Sievert). Uz mutacije, navedene potencijalne maligne promjene, u kasne posljedice zračenja spadaju zamućenje očne leće, degenerativne promjene u plućima, oštećenja bubrega, te skraćenje životnog vijeka, zbog navedenih, ali i drugih razloga. Smrt jedinke nastane radi teških, nepopravljivih oštećenja tkiva i organa. Ako je čovjek po cijelom tijelu primio dozu veću od 2 Gy, te ako nije uslijedila adekvatna pomoć, uslijedit će smrt. Znatno veće doze, 100 Gy ili veće, oštećuju mozak i krvne žile te smrt uslijedi nekoliko minuta nakon zračenja, pa i tijekom zračenja, a može uslijediti i unutar 48 sati od incidenta. Doze od 10 do 100 Gy oštete probavni trak, pa uslijedi veliki gubitak tekućine i elektrolita, a nastanu i infekcije, pa smrt uslijedi nakon 3 do 5 dana, ukoliko nije uslijedila odgovarajuća intervencija (davanje infuzije, presađivanje koštane srži). Doze od 2 do 10 Gy oštete najviše krvotvorno tkivo. U cirkulaciji postupno nestaju krvne stanice pa je smanjena koagulabilnost krvi (nema trombocita), povećana osjetljivost na infekcije (nema leukocita), a manjak eritrocita otežava opskrbu tkiva kisikom. Smrt nastupa unutar 10 do 30 dana ukoliko se nije interveniralo (presađivanje koštane srži).

Za mogući oporavak, ukoliko je liječenje odgovarajuće, treba do potpunog oporavka proći i nekoliko godina. Navedene su granice okvirne, temeljene pretežno na rezultatima dobivenim na eksperimentalnim životinjama, te nakon pojedinih incidenata kada su ljudi, najčešće radi grešaka na reaktorima, bili izloženi zračenju. [6]





Slika 4: Utjecaj ekvivalentne doze zračenja na čovjeka

## 2.2. Podjela ionizirajućeg zračenja

Ionizirajuće zračenje dijeli se na alfa, beta i gama zračenje. Radioaktivni materijali obično emitiraju alfa čestice (čestice slične jezgri helija), beta čestice (elektroni ili pozitroni koji se gibaju velikom brzinom) ili gama zrake. Alfa i beta čestice mogu biti zaustavljene listom papira ili tankom čeličnom pločom. Najviše oštećenja uzrokuju ako se emitiraju unutar ljudskog tijela. Gama zrake su slabije ionizirajuće od alfa i beta čestica, ali zahtijevaju deblju zaštitu (olovne ploče). Gama zrake uzrokuju oštećenja u obliku opekline, karcinoma i genetske mutacije. [7]

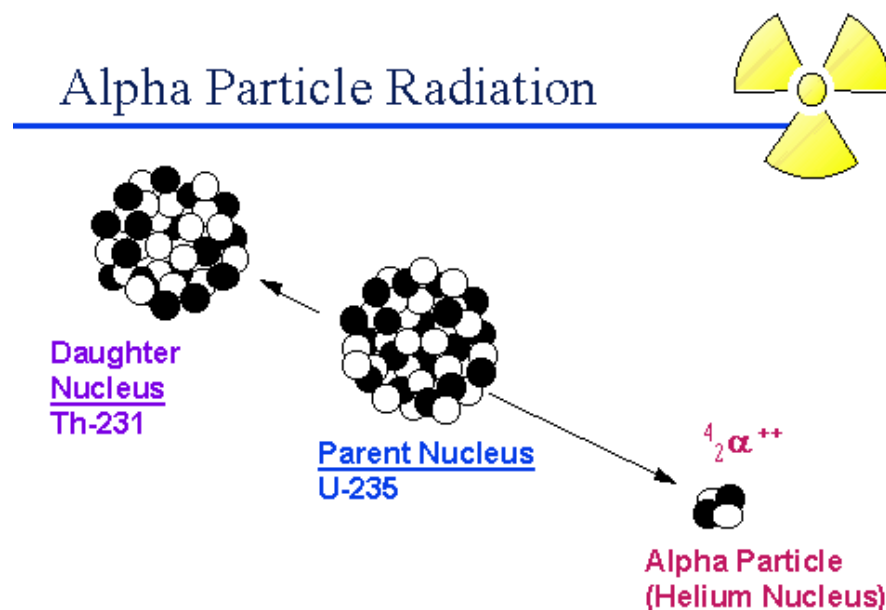
### 2.2.1. Alfa zračenje

Alfa zračenje je roj čestica koje se sastoje od dva protona i dva neutrona, po čemu su čestice identične jezgri atoma helija. Energija alfa-čestica koje izbacuju atomske jezgre iznosi nekoliko MeV (megaelektronvolti). U zraku mogu prijeći tek nekoliko centimetara. [5]

Raspadanje alfa čestice je radioaktivni proces u kojem čestica s dva neutrona i dva protona napušta jezgru radioaktivnog atoma. Alfa raspad se događa samo kod vrlo teških elemenata kao što su uranij, torij i radij. Jezgra tih atoma je vrlo „bogata neutronima“ (što znači da ima puno više neutrona nego protona u jezgri) što emisiju alfa čestice čini mogućom.

Nakon što atom izbaci alfa česticu, formira se novi atom roditelj koji ima dva neutrona manje i dva protona manje. Stoga, kad se uranij-238 raspadne emisijom alfa čestice, nastaje torij-234.

Zbog toga što alfa čestice sadrže dva protona, imaju pozitivan naboj dva. Nadalje, alfa čestice su vrlo teške i vrlo energetične u usporedbi s ostalim čestim tipovima zračenja. Ta svojstva omogućuju alfa česticama da spremno međudjeluju (reagiraju) s materijalima na koje naiđu, uključujući i zrak, te tako uzrokuju puno ionizacija na vrlo malim udaljenostima. Tipična alfa čestica neće putovati više od nekoliko centimetara u zraku i može se lako zaustaviti listom papira. [8]



Slika 5: Prikaz nastanka alfa čestice

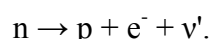
### 2.2.2. Beta zračenje

Beta raspad je radioaktivni proces u kojem se emitira elektron iz jezgre radioaktivnog atoma, zajedno sa neobičnom česticom nazvanom antineutrino. Neutrino je čestica gotovo bez mase koja sa sobom odnosi dio energije u procesu raspada. Zbog toga što je taj elektron iz jezgre atoma, naziva se beta čestica kako bi se razlikovala od elektrona koji kruže oko jezgre.

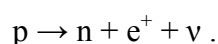
Kao i alfa raspad, beta raspad se također događa kod izotopa koji su „bogati neutronima“. Atomi koji podliježu beta raspadu locirani su ispod linije stabilnih elemenata u prikazu nuklida i tipično se proizvode u nuklearnim raketama i ciklotronima. Kada jezgra izbaci beta česticu, jedan od neutrona jezgre se transformira u proton. S obzirom da se promijenio broj protona u

jezgri, oblikuje se novi atom kćer s jednim neutronom manje, ali jednim protonom više od atoma roditelja. Na primjer, kad se renij-187 raspada beta raspadom, nastaje osmij-187. Beta čestice imaju jedan negativni naboj i teže samo dio težine neutrona ili protona. Rezultat toga je da beta čestica manje spremno reagira s materijalima nego alfa čestica. Ovisno o energiji beta čestice (koja ovisi o radioaktivnom atomu i koliko energije odnese antineutrino), beta čestice će putovati do nekoliko metara u zraku, a zaustavljaju se tankim slojem metala ili plastike. Antineutrino ima vrlo malu masu i nema naboja. Kaže se da neutrino ima više od 50% vjerojatnosti putovanja kroz svjetlosnu godinu ako ga nešto čvrsto ne zaustavi. [8]

Beta čestice ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ) su elektroni i pozitroni (elektroni s pozitivnim nabojem, tj. antielektroni).  $\beta^-$ -raspad se događa kada se, kod jezgri koje imaju previše protona ili previše neutrona, jedan od protona (ili neutrona) pretvori u neutron (odnosno proton). Kod  $\beta^-$ -raspada, neutron se raspada u proton, elektron i antineutrino:



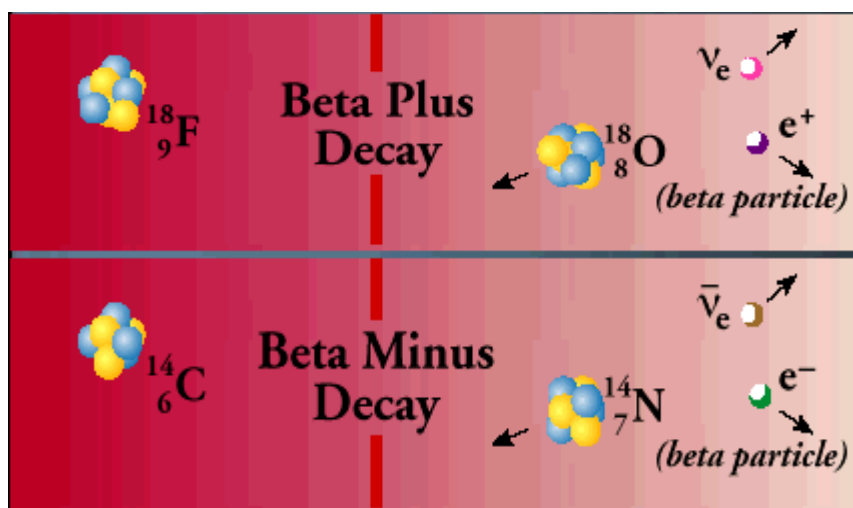
Kod  $\beta^+$ -raspada, proton se raspada u neutron, pozitron i neutrino:



I kod ovih raspada određeni zakoni očuvanja moraju biti zadovoljeni. Na primjer, zakon očuvanja naboja zahtjeva da ako se električki neutralni neutron pretvori u pozitivni proton, tada mora biti proizvedena električki negativna čestica (u ovom slučaju elektron). Slično tome, zakon očuvanja leptonskog broja zahtjeva da kod raspada neutrona (leptonski broj = 0) u proton (leptonski broj = 0) i elektron (leptonski broj = 1) dodatna čestica mora biti proizvedena s leptonskim brojem -1 (u ovom slučaju antineutrino). Treba naglasiti da leptoni emitirani u beta raspadu ne postoje u jezgri prije raspada. Oni su stvoreni u trenutku raspada. Ono koliko se danas zna, izolirani proton (tj. jezgra vodika s ili bez elektrona) se ne raspada. No, unutar jezgre, beta proces može promijeniti proton u neutron. Izolirani neutron je nestabilan i raspada se s vremenom poluraspada od oko 10.5 minuta. Unutar jezgre neutron se raspada s vremenom poluraspada ovisno o jezgri u kojoj se nalazi.

Raspad protona, raspad neutrona, te tzv. uhvat elektrona su tri načina u kojoj se proton može pretvoriti u neutron i obratno. Kod svih tih raspada, mijenja se redni broj elementa za jedan, a maseni broj ostaje nepromijenjen. Kod beta raspada, promjena energije vezanja odlazi na masu i kinetičku energiju beta čestice, energije neutrina, te kinetičke energije nove jezgre. Kinetička energija emitirane beta čestice može imati široki spektar vrijednosti (zbog postojanja triju čestica u raspadu). [5]

Ovisno o energiji beta čestice (koja ovisi o radioaktivnom atomu i koliko energije odnese antineutrino), beta čestice će putovati do nekoliko metara u zraku, a zaustavljaju se tankim slojem metala ili plastike. [8]



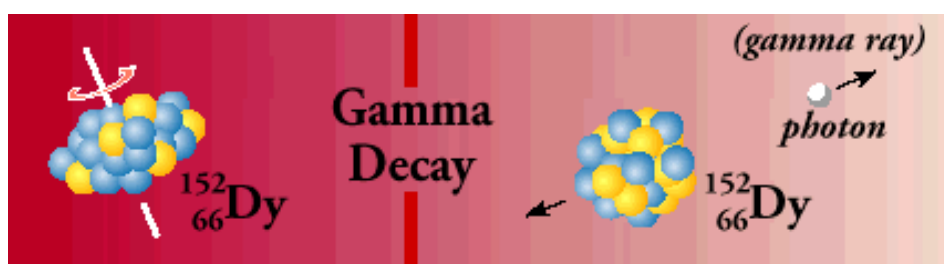
Slika 6: Prikaz beta minus i beta plus raspada

### 2.2.3. Gama zračenje

Nakon reakcije raspadanja, jezgra je obično u „uzbuđenom“ stanju. To znači da je raspad rezultirao proizvodnjom jezgre koja još ima suvišne energije koje se želi osloboditi. Umjesto da emitira još jednu alfa ili beta česticu, ta se energija troši emitiranjem pulsa elektromagnetskog zračenja, nazvanim gama zraka. Gama zraka je po prirodi identična svjetlosti ili mikrovalovima, ali ima vrlo veliku energiju.

Kao i svi oblici elektromagnetskog zračenja, gama zrake nemaju ni masu niti naboj. Gama zrake međudjeluju (reagiraju) s materijalima tako što se sudare s elektronima u ljuskama atoma. One izgube svoju energiju polako u materijal, pritom mogu proputovati značajnu udaljenost prije stajanja. Ovisno o svojoj početnoj energiji, gama zrake mogu putovati od 1 do nekoliko stotina metara u zraku i lako mogu proći kroz ljude.

Bitno je naznačiti da većina alfa i beta emitera također emitiraju gama zrake kao dio svog procesa raspadanja. Međutim, ne postoji „čisti“ gama emiter. Važni gama emiteri uključuju tehnecij-99 koji se koristi u nuklearnoj medicini i cezij-137 koji se koristi za kolaboraciju nuklearnih instrumenata. [8]



Slika 7: Prikaz gama raspada

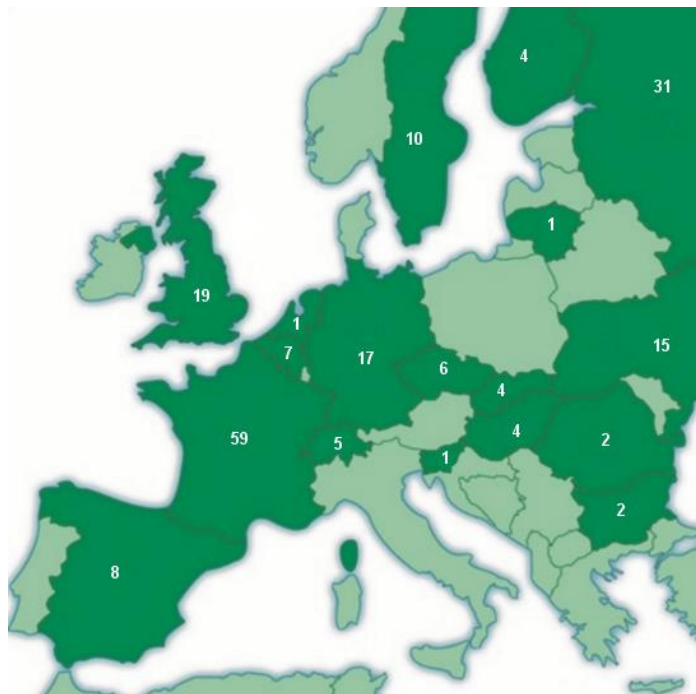
### 3. IZVORI OPASNOSTI OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Nuklearna energija pokriva oko 16 posto svjetske potrebe za električnom energijom. U Europskoj uniji taj je udio dostigao čak 38 posto.

Krajem 2009. godine u svijetu je radilo 437 energetske nuklearne reaktora, od toga oko 80 posto u razvijenim zemljama. Položaj nuklearne energije u svijetu relativno je stabilan, u Aziji i Rusiji svjedoci smo intenzivnog ulaganja u nove mogućnosti, a u SAD-u je u prvom planu produljenje vijeka trajanja postojećih nuklearnih elektrana. Nove nuklearne elektrane u Europi grade se u Finskoj, Slovačkoj, Francuskoj, Rusiji, Ukrajini i Bugarskoj.

Jedan od ključnih razloga produljenja vijeka trajanja nuklearnih elektrana i planiranja novih jest i spoznaja da se problemi onečišćenja zraka mogu rješavati povećanom uporabom nuklearne energije, jer ona ne ispušta stakleničke plinove. I trajno odlaganje radioaktivnog otpada razmatra se sve racionalnije. U većini država danas je već riješen problem trajnog odlaganja nisko i srednje radioaktivnog otpada. Bliži se također i gradnja prvih trajnih odlagališta visoko radioaktivnog otpada (Finska, Švedska, SAD, Japan, Rusija i dr. ).

Nuklearna energija ima i imat će važno mjesto u proizvodnji električne energije u svijetu. Isto vrijedi za Nuklearnu elektranu Krško, koja ostaje važan izvor električne energije za Sloveniju i Hrvatsku u sljedećih dvadeset godina. [9]



Slika 8: Broj nuklearnih elektrana po Europskim zemljama (2009. godine)

### 3.1. Nuklearna elektrana Krško

Kamen temeljac Nuklearne elektrane Krško položen je prvoga prosinca 1974. godine, a u siječnju 1984. je dobila dozvolu za redovit rad.

NEK je opremljena Westinghouseovim lakovodnim tlačnim reaktorom toplinske snage od 2000 MW. Njezina je snaga na pragu 696 MW. Elektrana je priključena na 400-kilovoltnu mrežu za napajanje potrošačkih središta u Sloveniji i Hrvatskoj.

Godišnje proizvede više od pet milijardi kWh električne energije, što je 40 posto ukupno proizvedene električne energije u Sloveniji.

Poslovanje elektrane između dva remonta naziva se gorivni ciklus. Tijekom remonta dio istrošenoga goriva nadomješta se svježim, preventivno se pregledava oprema i zamjenjuju dijelovi, provjerava integritet materijala, obavlja kontrolna testiranja te korektivne mjere s obzirom na zatečeno stanje. 27. gorivni ciklus, koji je počeo priključivanjem elektrane na mrežu 19. studenoga 2013, trajat će 18 mjeseci, što je radna smjernica elektrane za budućnost.

#### 3.1.1. Nuklearna tehnologija

Sve vrste nuklearnih tehnologija u uporabi temelje se na prirodnim svojstvima tvari: atoma, izotopa i radioizotopa. Dobivanje električne energije u nuklearnim elektranama temelji se na oslobađanju toplinske energije pri cijepanju jezgri u reaktoru. [10]

Sirovina za nuklearno gorivo je prirodni radioaktivni element uran. Nuklearno gorivo u NEK-u je u obliku tableta uranovog dioksida, koje su složene u gorivne šipke u cijevima od cirkonijeve slitine. 235 gorivih šipki povezano je u gorivni element. U reaktoru je 121 gorivni element, koji sadrži 50 tona urana, od toga je približno 95 posto izotopa urana 238 i 5 posto izotopa urana 235. Najzastupljeniji uranovi izotopi u prirodi su uran 238 (99,29 %) i uran 235 (0,71 %). Pri cijepanju urana neutronima oslobađa se energija.

Uranova ruda kupuje se i kemijski prerađuje u inozemstvu, a gorivne elemente za NEK sastavlja poduzeće Westinghouse iz SAD-a. [11]

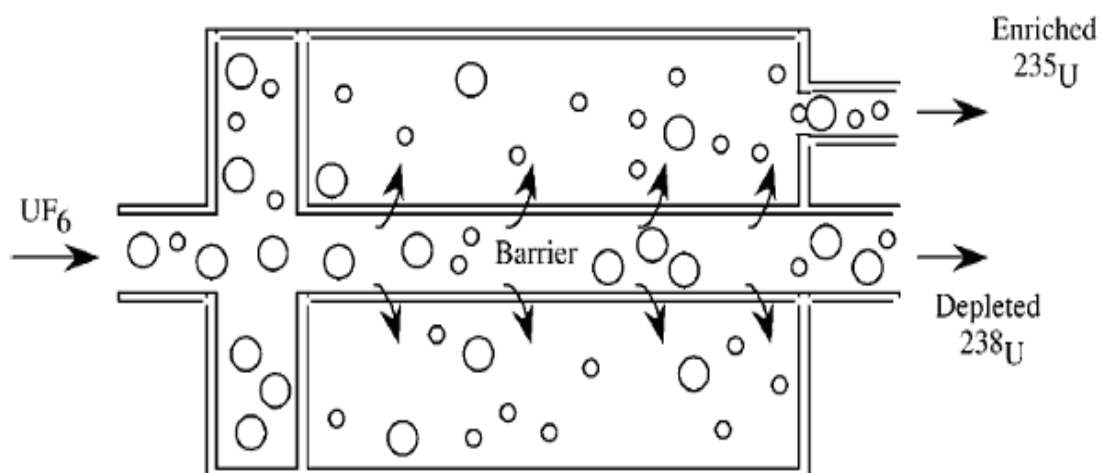
### 3.1.2. Nuklearno gorivo

Kako bi se uran dobiven iz rude mogao koristiti kao nuklearno gorivo, a da se pritom kao rashladno sredstvo (moderator) koristi obična voda, prethodno se mora povećati (obogatiti) postotak urana 235.

Obična voda,  $H_2O$ , ima poželjna obilježja za korištenje u reaktorima. Prvo, dobro prenosi toplinu i ima je u izobilju pa se lako može zamijeniti ako dođe do propuštanja ili isparavanja. Drugo, jako je učinkovita pri usporavanju neutrona, ali ta dobra osobina je neutralizirana visokim zauzećem u poprečnom presjeku sa neutronima, što je čini neprikladnom za rashladno sredstvo (moderator) za reaktore sa gorivom od prirodnog urana.

Obična voda se može koristiti kao rashladno sredstvo (moderator) ako je količina urana 235 ( $^{235}U$ ) u gorivu obogaćena do 3–4%.

Tehnologija obogaćivanja koristi difuziju plinova u kojoj je plin uranov heksafluorid ( $UF_6$ ) upumpan kroz poroznu difuznu barijeru od nikla, što je prikazano na slici 9. Oko 1700 takvih faza je potrebno kako bi se povećala količina urana 235 ( $^{235}U$ ) u uranu do 3-5%. S obzirom da uran nije plin, obogaćivanje urana difuzijom plinova zahtjeva njegovu pretvorbu u  $UF_6$  koji lako isparava ako je na odgovarajućoj temperaturi.  $UF_6$  je stabilan spoj, ali je jako reaktivan sa vodom i djeluje nagrizajuće za većinu uobičajenih metala. Kao posljedica, bilo koja površina u dodiru sa njim mora biti proizvedena od nikla ili austenitnog nehrđajućeg čelika (sadrži ugljik, krom i nikal) i cijeli sustav mora biti nepropustan. U skladu s tim zahtjevima,  $UF_6$  je jedini spoj urana koji je dovoljno hlapljiv kako bi se koristio u procesu difuzije plinova. [12]



Slika 9: Proces obogaćivanja uranija

Gorivo u reaktoru mora biti:

- mehanički otporno u širokome temperaturnom rasponu,
- otporno na koroziju,
- mora zadržati produkte cijepanja u kristalnoj rešetki.

Zbog tih zahtjeva, za nuklearno gorivo koristi se keramički materijal, uranov dioksid ( $\text{UO}_2$ ), koji te zahtjeve ispunjava, a njegova je točka taljenja vrlo visoka - i to  $2880\text{ }^\circ\text{C}$ .

Obogaćeni uranov heksafluorid prerađuje se u uranov dioksid u obliku praha, sabija u tablete i termički obrađuje. Tablete promjera oko 8 mm i dužine 9,8 mm hermetički su zatvorene u cijevima gorivnih šipki promjera 9,5 mm.

Gorivne šipke duge su 3,658 m, a debljina je njihove košuljice približno 0,57 mm. Gorivna šipka napravljena je od cirkonijeve legure, metala koji ima dobra kemijsko-mehanička svojstva. Ima i vrlo dobra 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.

Gorivni element čini snop od 235 gorivnih šipki, 20 vodilica neutronske apsorbera i jedna vodilica nuklearne instrumentacije. Snop je povezan s osam distancijskih rešetki te gornjom i donjom mlaznicom koje omogućuju jednostavno upravljanje i rukovanje elementima. Neutronske apsorberi za kontrolu reaktivnosti i snage reaktora zovu se kontrolne šipke. U reaktoru NEK-a su 33 kontrolne šipke koje su na punoj snazi rada elektrane izvučene. [13]

### 3.1.3. Nuklearni reaktor

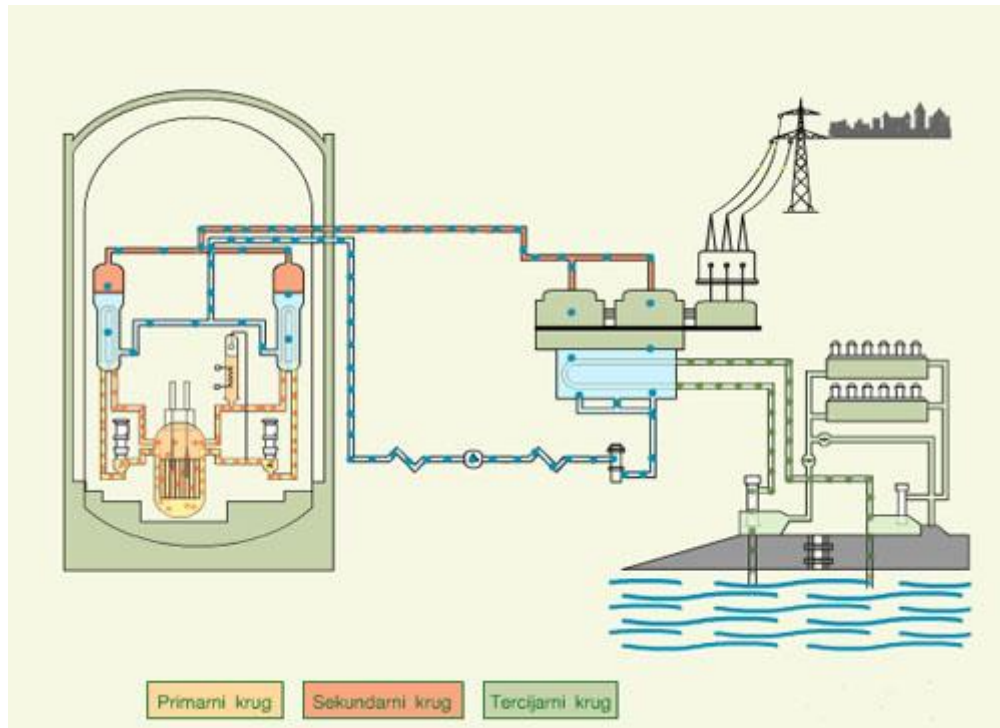
Nuklearni reaktori razlikuju se međusobno s obzirom na vrstu goriva, rashladnog sredstva i moderatora. Kao rashladno sredstvo koriste se obična voda, teška voda, plin i tekući metal. Većina reaktora za hlađenje koristi običnu vodu,  $\text{H}_2\text{O}$  (lakovodni reaktor). S obzirom na način dobivanja pare, razlikujemo tlačni i kipući reaktor.

Nuklearni reaktor Nuklearne elektrane Krško je lakovodni tlačni reaktor (PWR: Pressurized Water Reactor). To je najrašireniji tip reaktora jer više od polovine nuklearnih elektrana u pogonu ima tlačni reaktor. Kao gorivo koristi obogaćeni uran.

Rashladna je voda (primarni rashladni krug) u reaktorskoj posudi pod tlakom većim od zasićenoga parnoga tlaka pri najvišoj radnoj temperaturi. Zato se reaktorsko rashladno sredstvo ne može pretvoriti u paru u reaktorskoj posudi. Do pretvaranja u paru dolazi tek u parogeneratoru (sekundarni rashladni krug) – izmjenjivaču topline, gdje je velik broj tankih cijevi. Snažne primarne crpke tjeraju kroz njih reaktorsko rashladno sredstvo, a ono svoju toplinu šalje sekundarnome rashladnom sredstvu, koje kruži oko cijevi parogeneratora. Zbog



zagrijavanja sekundarno se rashladno sredstvo pretvara u paru. Para pokreće turbinu, a nakon završetka rada kondenzira se u kondenzatoru i potom se vraća u parogenerator (tercijarni rashladni krug). Kod tlačnoga su reaktora primarni i sekundarni rashladni krug odvojeni. [14]



Slika 10: Radna shema Nuklearne elektrane Krško

U nuklearnom reaktoru održava se i regulira nuklearna lančana reakcija, a time i oslobađanje topline. Energija koja se oslobađa pri cijepanju jezgri u gorivnim elementima zagrijava primarno hladilo - običnu pročišćenu vodu. Ona kruži u zatvorenom primarnome krugu koji, osim reaktora, čine parogeneratori, reaktorske crpke, tlačnik i cjevovodi. Budući da je voda u primarnome krugu pod tlakom, ne pretvara se 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.

Nuklearni reaktor, osim reaktorske posude, čine primarni elementi: jezgra reaktora, voda koja je moderator i rashladno sredstvo te regulacijske šipke.

U jezgri se odvija cijepanje fisijskih jezgri. Pri cijepanju u prosjeku nastanu dva do tri neutrona. Od neutrona nastalih pri cijepanju, samo jedan u prosjeku cijepa novu fisijsku jezgru, a preostali pobjegnu iz jezgre reaktora ili se skupljaju u gorivu, a tamo mogu tvoriti nove jezgre za cijepanje.

Pri cijepanju fisijskih jezgri oslobađaju se brzi neutroni. Vjerojatnost za cijepanje urana 235 tim je veća što je manja brzina neutrona. Zato neutrone treba usporiti. Proces usporavanja protječe u moderatoru. Brzi neutroni prije svega sudaranjem s lakšim jezgrama elemenata moderatora gube svoju energiju i tako se usporavaju, odnosno moderiraju. Obična voda za hlađenje u reaktoru NEK-a ima funkciju moderatora neutrona.

Pri cijepanju atoma goriva oslobađa se toplina koju je potrebno odvesti rashladnim sredstvom. U lakovodnom tlačnom reaktoru rashladna tekućina je obična pročišćena (demineralizirana) voda koja među ostalim ima dobre toplinske karakteristike i nisku cijenu. Reaktorska rashladna tekućina ujedno je medij za prijenos topline na sekundarni krug.

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 rashladnom sredstvu 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. [15]

#### 3.1.4. Cijepanje jezgre i lančana reakcija

Jezgre težih elemenata, kao što je uran, lako se rascijepu na dvije jezgre lakših elemenata ako im se dovede energija. Pri cijepanju dio mase pretvara se u energiju. Produkt cijepanja je i radioaktivno zračenje. Naime, jezgre nastale cijepanjem su radioaktivne i raspadaju se prije svega isijavanjem beta (minus) čestica i gama zraka. Energija koja se oslobađa u tim raspadima naziva se zakašnjelom toplinom.

Najveći udio svih cijepanja čine cijepanja urana 235, koje potičemo tako da mu apsorpcijom neutrona dovedemo energiju. Potaknuta uranova jezgra najvjerojatnije će se rascijepiti. Kao produkt cijepanja nastaju dvije srednje teške jezgre (fragmenti) i u prosjeku dva do tri brza neutrona. Pri cijepanju atoma urana oslobađa se 200 MeV energije, što znači da je u jednoj gorivnoj tableti toliko kalorijske vrijednosti koliko i u toni ugljena.

## Kalorijska vrijednost tablete goriva



Slika 11: Kalorijska vrijednost tablete goriva

Temeljni princip lančane reakcije prilično je jednostavan. Atom urana 235 apsorbira neutron, koji uzrokuje njegovo cijepanje. Pri cijepanju se oslobađa energija i u prosjeku dva do tri nova neutrona, koji mogu izazvati nova cijepanja. Taj se proces naziva lančanom reakcijom. U reaktoru proces lančane reakcije kontroliramo jer od dva do tri novonastala neutrona pri cijepanju u prosjeku samo jedan uzrokuje novo cijepanje urana 235. U reaktoru se, dakle, odvija kontrolirana lančana reakcija.

Nakon cijepanja nastaju dvije vrste neutrona: promptni i zakašnjeli. Promptni se oslobađaju neposredno nakon cijepanja, a zakašnjeli kasnije, i to samo nakon raspada nekih fragmenata, odnosno njihovih potomaka. Iako zakašnjeli neutroni čine samo malen dio – 0,65 % svih oslobođenih neutrona, imaju presudnu ulogu za regulaciju reaktora.

Svi fragmenti i većina njihovih potomaka radioaktivni su i raspadaju se. U prosjeku su do konačnoga stabilnog izotopa potrebna tri do četiri radioaktivna raspada. [16]

### 3.1.5. Sigurnosni sustavi

Sigurnosni sustavi osiguravaju integritet vitalne opreme, omogućuju siguran rad zaposlenih i sprečavaju negativne utjecaje na okoliš. Sigurnosni sustavi onemogućuju nekontrolirano oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš. Nuklearnoj sigurnosti već je u fazi planiranja reaktora i projektiranja elektrane posvećena velika pozornost. Projektirani su zaštitni sustavi koji u svim radnim stanjima, čak i u slučaju otkazivanja određene opreme, osiguravaju zaštitne funkcije.

Nuklearna je elektrana u sigurnome stanju ako su u svakom trenutku ispunjena tri osnovna sigurnosna uvjeta:

- učinkovit nadzor nad snagom reaktora
- hlađenje nuklearnoga goriva u reaktoru
- zadržavanje radioaktivnih tvari (onemogućeno oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš).

Oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš sprečavaju četiri uzastopne sigurnosne pregrade:

- samo nuklearno gorivo (tablete nuklearnoga goriva), koje zadržava radioaktivne tvari u sebi,
- košuljica koja okružuje gorivne tablete i sprečava istjecanje radioaktivnih plinova iz goriva,
- granica primarnoga sustava (stijenke cijevi, reaktorske posude i drugih primarnih komponenti), koja zadržava radioaktivnu vodu za hlađenje reaktora,
- zaštitna zgrada koja hermetički odvaja primarni sustav od okoliša.

Osnovni je cilj prvih triju pregrada da onemoguće prelazak radioaktivnih tvari do sljedeće pregrade, a četvrta pregrada sprečava neposredno oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš nuklearne elektrane.

Budući da je rad sigurnosnih sustava u slučaju pogreške i otkazivanja, pa čak i malo vjerojatne nezgode u nuklearnoj elektrani, iznimno važan, svi su sigurnosni sustavi udvostručeni (nuklearna elektrana ima dvije linije sigurnosnih sustava). Za ispunjavanje sigurnosnih uvjeta i očuvanje sigurnosnih pregrada inače je dovoljno djelovanje samo jedne linije sigurnosnih sustava. Osim toga, svi se sigurnosni sustavi, odnosno njihovi pojedini uređaji, tijekom rada elektrane i za vrijeme redovitoga remonta sustavno testiraju. [17]

Kontrolna soba je središnje mjesto nadzora tehnoloških parametara i upravljanja opremom. U kontrolnoj sobi prikupljaju se i obrađuju tehnološki pokazatelji presudni za razumijevanje pogonskoga stanja opreme i cijele elektrane. Kontrolna soba je središnji informacijski prostor iz kojeg operateri nadziru tehnološki proces i uspostavljaju željeno stanje elektrane.

Nadzor lančane reakcije reaktora, osiguravanje uvjeta hlađenja reaktora i nadzor stanja sigurnosnih sustava imaju najviši prioritet. Odluke operatera temelje se na cjelovitom informacijskome sustavu kontrolne sobe. [18]

### 3.1.6. Radioaktivni otpad

U radu nuklearne elektrane nastaju radioaktivne otpadne tvari koje mogu biti u plinovitom, tekućem i čvrstom agregatnome stanju. Ako je količina radionuklida iznad propisanih vrijednosti, te se tvari tretiraju kao radioaktivni otpad. S obzirom na svoju specifičnu

aktivnost, on se dijeli na nisko i srednje radioaktivni otpad. Odgovarajućim postupcima otpad se mijenja u oblike koji osiguravaju sigurno čuvanje i transport te zaštitu ljudi i okoliša od ionizirajućega zračenja.

Količina nastaloga nisko i srednje radioaktivnog otpada ovisi o stabilnosti rada elektrane i opsega intervencija održavanja. Posljednjih godina u NEK-u u prosjeku nastane oko 30 m<sup>3</sup> nisko i srednje radioaktivnog otpada, što se može predstaviti zamišljenom kockom sa stranicom od 3,1 m.

Potkraj 2013. godine u privremenome skladištu NEK-a za nisko i srednje radioaktivni otpad bilo je uskladišteno 2250,6 m<sup>3</sup> tog otpada. Ukupna aktivnost tog otpada bila je 19,3 TBq ( $19,3 \cdot 10^{12}$  Bq). [19]



Slika 12: Odlaganje radioaktivnog otpada

#### 3.1.6.1. Istrošeno nuklearno gorivo

Gorivni elementi koji su dosegili tehničku i ekonomsku granicu iskoristivosti nazivaju se istrošenim nuklearnim gorivom. Prema podjeli radioaktivnoga otpada s obzirom na specifičnu aktivnost, spadali bi u visokoradioaktivni otpad, a budući da je prihvaćena samo odluka o njihovu skladištenju do kraja rada NEK-a, nazvani su istrošenim gorivnim elementima.

U skladu s prihvaćenom strategijom, u NEK-u se skladište u posebnoj zgradi, u bazenu za istrošeno gorivo. Nakon modernizacije bazena, kad su postojeće rešetke zamijenjene novima, gušćima, za istrošeno nuklearno gorivo dobiveno je dovoljno prostora do kraja predviđenoga vijeka trajanja NEK-a. U bazenu ima prostora za 1694 istrošena gorivna elementa, a potkraj 2013. godine bila su pohranjena 1096 istrošena gorivna elementa iz prethodnih 26 gorivnih ciklusa. Ukupna masa istrošenoga goriva iznosila je 448 tona.

Istrošeni gorivni elementi jako su radioaktivni i oslobađaju znatnu količinu topline pa su pohranjeni u rešetkama uronjenima u vodu kojoj je dodana borna kiselina. Debeli sloj vode istodobno je štiti od zračenja i sredstvo za odvođenje topline. [20]

### 3.1.7. Nuklearne elektrane i rizici

Rizici povezani s radom nuklearnih elektrana, kao i oni povezani sa skladištenjem radioaktivnih materijala, su na prihvatljivo niskoj razini. Stvarni su utjecaji na okoliš maleni, a rad nuklearnih elektrana sa suvremenim organizacijskim pristupima i opremom je siguran. [21]

Pri cijepanju u nuklearnome gorivu (uran 235) nastaju produkti cijepanja. To su srednje teške jezgre koje ostaju u strukturi gorivnih elemenata. Te nestabilne jezgre u prirodnome raspadu prelaze u stabilnije jezgre. Pritom se oslobađaju različiti oblici radioaktivnoga zračenja ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Riječ je o radioaktivnom raspadu koji kod različitih produkata cijepanja protječe različitom brzinom. Proces je kontroliran i bez utjecaja na okoliš dok protječe unutar planiranih sigurnosnih pregrada koje su ključan element nuklearne sigurnosti.

U jezgri nuklearnoga reaktora koji radi dulje vrijeme, kao rezultat cijepanja i radioaktivnoga raspada produkata cijepanja uspostavlja se karakterističan uravnoteženi izotopski sastav jezgre. Radioaktivni izotopi koji nastaju radom elektrane čuvaju se u gorivnim elementima i nakon što su oni istrošeni i uskladišteni ili trajno odloženi. Prirodni raspad nekih izotopa vremenski je vrlo dug. Neki od najčešćih produkata cijepanja – radioaktivni izotopi, koji nastaju tijekom rada reaktora i akumuliraju se u nuklearnom gorivu, jesu: ksenon, kripton, jod, cezij, kobalt, stroncij. [22]

Nakon gašenja reaktora prestaje cijepanje u gorivu i glavnog izvora energije u jezgri reaktora više nema. Ipak, produkti cijepanja i njihovi potomci i dalje se radioaktivno raspadaju. Njihovo raspadanje u jezgri reaktora pretvara se u toplinsku energiju. Naziva se zaostalom toplinom. Ovisi o vremenu rada reaktora prije zaustavljanja. Što je dulje reaktor radio prije zaustavljanja, više se dugoživećih izotopa nakupi u jezgri i sporije će se smanjivati zaostala toplina.

Jezgra reaktora u NEK-u ima razmjerno malen volumen ( $17,5 \text{ m}^3$ ), pa je koncentracija snage velika. I nakon gašenja reaktora potrebno je dulje vrijeme uklanjati zaostalu toplinu iz jezgre jer se inače gorivo može pregrijati, oštetiti ili rastaliti.

Zato svaka nuklearna elektrana mora imati sustave za odvođenje zaostale topline i sustave za prisilno hlađenje jezgre reaktora. Isto vrijedi za bazen za istrošeno gorivo. [23]

Nadzor nad lančanom reakcijom u jezgri, odnosno nad snagom reaktora, stalan je i prioritetan zadatak. Zbog dobrih tehničkih rješenja, postupaka i procesa koji se odvijaju u reaktoru mogućnosti nekontroliranoga rasta snage reaktora, čija bi posljedica bilo oštećenje goriva zbog pregrijavanja, iznimno su malene.

Sigurnoj regulaciji snage znatno pridonose i prirodne osobine goriva u reaktoru, jer svako povećanje snage pokreće učinke zaustavljanja daljnjega rasta snage – smatramo da je reaktor inherentno siguran ili drukčije rečeno – siguran bez obzira na druge vanjske čimbenike.

U elektrani su projektirane i automatske zaštite (ukupno ih je 20). To su zaštite koje u trenutku prekidaju lančanu reakciju u reaktoru i time proizvodnju topline ako neki od ključnih čimbenika dosegne graničnu vrijednost (tlak, temperatura, snaga, protok hladila). Stabilnost snage reaktora, a time sigurnost rada, osigurana je stoga nizom mjera. [24]

Sigurnost nuklearnih objekata nije važna samo na državnoj, nego i na međunarodnoj razini; zato je Međunarodna agencija za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency - IAEA) osnovala posebnu skupinu stručnjaka, nazvanu INSAG (International Safety Advisory Group). Ta je skupina već 1988. godine izradila dokument pod nazivom Osnovna sigurnosna načela za nuklearne elektrane (Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants), u kojem su sažeta uz međunarodnu suglasnost dogovorena načela.

Tri temeljna cilja zaštite, nuklearnu zaštitu, zaštitu od zračenja i tehničku zaštitu, možemo ostvariti ostvarenjem četiriju zajedničkih načela:

- temeljnih načela upravljanja,
- načela dubinske zaštite,
- općih tehničkih načela,
- specifičnih tehničkih načela.[25]

Tablica 2: *Ciljevi i načela zaštite*

| CILJEVI<br>NAČELA                 | Nuklearna<br>sigurnost               |                           | Zaštita<br>od zračenja                 |                                     |       | Tehnička<br>zaštita                  |   |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|-------|--------------------------------------|---|
| Temeljna<br>načela<br>upravljanja | Sigurnosna<br>kultura                |                           | Odgovornost<br>upravljača<br>elektrane |                                     |       | Nadzor<br>upravnog<br>organa         |   |
| Načela<br>dubinske<br>obrane      | Dubinska<br>obrana                   |                           | Sprečavanje<br>nezgoda                 |                                     |       | Ublažavanje<br>posljedica<br>nezgoda |   |
| Opća<br>tehnička<br>načela        | Provjerena<br>tehnološka<br>rješenja | Osiguravanje<br>kvalitete | Ljudski<br>faktor                      | Sigurnosne<br>analize i<br>provjere |       | Zaštita<br>od<br>zračenja            | Pogonska<br>iskustva i<br>ispitivanja<br>sigurnosti |
| Specifična<br>načela              | Izbor<br>lokacije                    | Projektiranje             | Proizvo-<br>dnja i<br>gradnja          | Preuzi-<br>manje                    | Pogon | Postupanje<br>u slučaju<br>nezgode   | Pripremljenost<br>za slučaj<br>nezgode              |

### 3.1.7.1. Sigurnosni ciljevi

Cilj je nuklearne sigurnosti zaštititi pojedince, društvo i okoliš tako da u nuklearnim elektranama organiziramo učinkovitu obranu od radioloških opasnosti. Učinkovita obrana mora osigurati da rizik vezan uz djelovanje nuklearne elektrane ne bude znatno viši od opće prihvaćenoga rizika zbog drugih sličnih industrijskih djelatnosti.

Rizik zbog korištenja nuklearne elektrane trebao bi stoga biti manji od rizika povezanog s proizvodnjom električne energije iz drugih izvora.

Zaštita od zračenja treba osigurati što niža opterećenja zračenjem u elektrani, koja moraju svakako biti unutar propisanih granica. Mjere koje vode do ispunjenja tog cilja moraju također biti u skladu s preporukama ICRP-a (International Commission of Radiation Protection- Međunarodna komisija za radiološku zaštitu).

Cilj je tehničke sigurnosti učinkovito sprečavanje nezgoda u nuklearnim elektranama. Potrebno je osigurati iznimno malu vjerojatnost nezgoda s ozbiljnim radiološkim posljedicama.

Tehnička sigurnost nuklearnog objekta prvi je cilj projekatata i upravljača nuklearnih elektrana, a može se postići korištenjem pouzdanih materijala, komponenti sustava i postupaka te dobro osposobljenim osobljem, koje se pridržava stroge sigurnosne kulture.

Elektrana se mora projektirati i voditi tako da otkazivanje opreme ili bilo koja ljudska pogreška ne dovedu do nezgode. Ako do nezgode ipak dođe, tehnički sigurnosni sustavi moraju omogućiti ublažavanje njezinih posljedica.[26]

### 3.1.7.2. Načela dubinske obrane

Načela dubinske obrane obuhvaćaju:

- koncepciju dubinske obrane – četiri uzastopne razine zaštite,
- sprečavanje nezgoda,
- ublažavanje posljedica nezgoda.

Za koncepciju dubinske obrane karakteristično je više razina zaštite, koje uključuju uzastopne pregrade za sprečavanje oslobađanja radioaktivnih tvari u okoliš. Ta koncepcija omogućava kompenzaciju mogućih ljudskih pogrešaka ili mehaničkih kvarova. Osim sprečavanja štete elektrani i pregradama dubinska obrana uključuje i dodatne mjere za zaštitu stanovništva i okoliša od oštećenja. Koncepcija dubinske obrane osigurava da moguća ljudska pogreška ili kvar ne uzrokuju radiološku opasnost. U dubinsku se obranu ubrajaju: kvaliteta projekta, odgovarajuće osposobljeno osoblje s postupcima, upute i postupci za postupanje u slučaju nezgode te planiranje i spremnost za slučaj nezgode.



Iako bi za proizvodnju električne energije u nuklearnim elektranama bili dovoljni primarni sustav, turbina i električni generator, postavljeni su i brojni drugi elementi koji su dio sustava dubinske obrane (na primjer zaštitna zgrada, sustavi za sigurnosno ubrizgavanje, dizelski generatori i drugi pomoćni sustavi).

U NEK-u temeljno projektno rješenje na razini opreme čine četiri pregrade za sprečavanje širenja radioaktivnosti iz jezgre reaktora:

- keramička struktura uranovih tableta, koja u velikoj mjeri zadržava produkte cijepanja,
- košuljice gorivnih šipki, koje su nepropusne i onemogućuju istjecanje radioaktivnih produkata cijepanja u primarni krug,
- kontrolirana tlačna granica primarnog kruga, koja mora zadržati normalni radni tlak od 155 bara, što osigurava i visoku pouzdanost pregrade od istjecanja radioaktivnih tvari,
- zaštitna zgrada koja bi u slučaju otkazivanja prvih triju pregrada zadržala oslobođene radioaktivne tvari.

Posebna pozornost posvećena je osnovnim sredstvima za postizanje sigurnosti, to jest za sprečavanje nezgoda. Prvi je korak koji vodi sprečavanju nezgoda u nuklearnoj elektrani održavanje visoke kvalitete u projektiranju, gradnji i radu objekta. U elektranu su ugrađeni sigurnosni sustavi koji osiguravaju da odstupanja od normalnog rada ne dovedu do nezgode. Njihovo djelovanje osigurano je udvostručivanjem, odnosno usporednim radom sustava koji postižu isti cilj na različite načine.

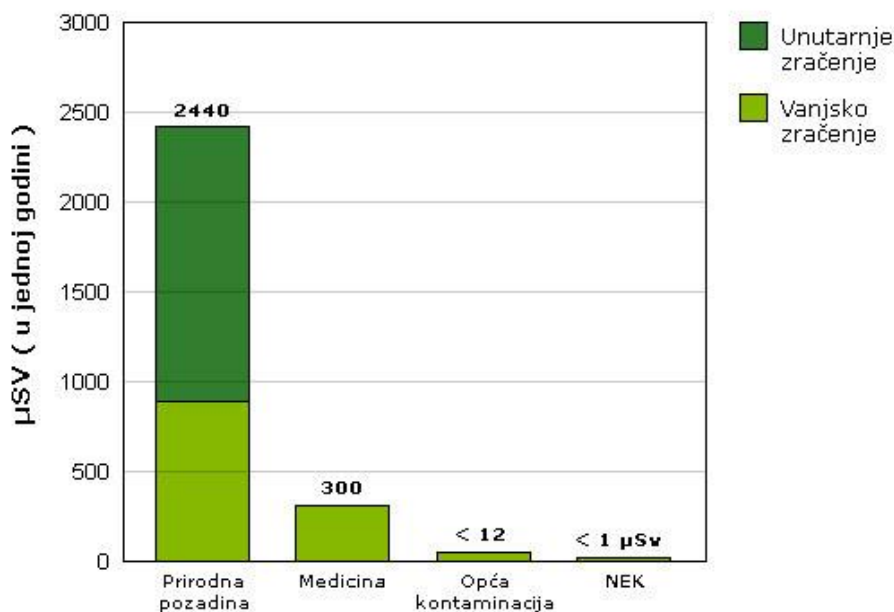
Važne za smanjenje učestalosti nezgoda su i vjerojatnosne sigurnosne analize i metode. I u elektrani i oko nje na raspolaganju su i sredstva i mjere za ublažavanje posljedica koje mogu ublažiti učinke mogućeg nezgodnog ispusta radioaktivnih tvari. [27]

### 3.1.8. Zračenje i zaštita od zračenja

Radiološka zaštita ili zaštita od ionizirajućih zračenja u nuklearnim elektranama temelji se na sustavu sigurnosnih standarda za zaštitu zdravlja radnika i stanovnika, koji su na temelju preporuka Međunarodne komisije za radiološku zaštitu, ICRP-a (International Commission on Radiological Protection) sastavni dio svih međunarodnih sigurnosnih standarda koje izrađuje Međunarodna agencija za atomsku energiju ili ih izdaje Europska unija u obliku direktiva za svoje članice

Radioaktivni elementi u uzorcima koji su karakteristični za efluente (otpadne ispuste u okoliš) iz NEK-a u većini su slučajeva ispod donje granice detekcije. Efektivna je doza na pojedinca iz skupine okolnoga stanovništva, koje je može biti najviše izloženo utjecaju NEK-a,

ispod 1 mikroSv, što je manje od 0,1 posto doze koja je posljedica zračenja prirodnih i umjetnih izvora. [28]



Slika 13: Usporedba zračenja iz NEK i iz drugih izvora

### 3.1.9. Izvori i vrste zračenja

U nuklearnome reaktoru nastaje toplinska energija zbog cijepanja jezgri atoma urana 235, odnosno mikroskopskog gibanja njegovih produkata cijepanja i zbog njihova zračenja.

Zračenje je posljedica nestabilnosti jezgri koje tako oslobađaju višak svoje energije i postaju stabilnije. U reaktoru također dolazi do aktivacije elemenata u rashladnoj vodi koji se prenose po cijelome primarnom rashladnom krugu. Voda sadrži produkte korozije koji se nakon aktivacije mogu taložiti u cjevovodima i uzrokovati da se iz njih širi gama-zračenje. Energija tog elektromagnetskog zračenja slična je energiji rendgenskog zračenja, ali je energija gama-zraka još veća.

Pri radioaktivnome raspadu jezgra gubi energiju tako da se neutron promjenjuje u proton i oslobađa elektron. Takvo zračenje elektrona zove se beta minus zračenje. Ostatak energije nakon te promjene isijava se u obliku gama zraka. Teže jezgre, kao što su na primjer uran i plutonij, zrače veće čestice koje se sastoje od dva protona i neutrona te se nazivaju alfa zračenjem. [29]

### 3.1.9.1. Zaštita od zračenja

Ozračenost radnika u Nuklearnoj elektrani Krško koji su u radu izloženi ograničena je propisima na godišnju dozu od 20 mSv. To ograničenje vrijedi također za zdravstvene radnike i za izvođače industrijske radiografije. Ograničenje od 20 mSv godišnje postavljeno je na temelju vjerojatnosti pojava štetnih učinaka za zdravlje. U normalnim okolnostima rizici iznad te doze nisu više prihvatljivi. Optimiranjem ozračenosti pokušava se postići da izloženost bude najniža moguća. Tome su prilagođeni planiranje i vođenje poslova, nadzor radnika i evidentiranje njihove izloženosti.

Prosječna je godišnja doza radnika u NEK-u oko 1 mSv, a najviše su doze kod pojedinaca oko 10 mSv. Godine 2006. u kontroliranome području s izvorima zračenja radilo je ukupno 902 radnika, od kojih je bilo 489 radnika NEK-a i 413 radnika ugovorom povezanih poduzeća. Najveća doza kod pojedinca bila je 13,8 mSv. Pritom je potrebno još jednom naglasiti da doza prirodnoga zračenja kojoj su izloženi svi ljudi iznosi 2,4 mSv godišnje.

Iz mjerenja koncentracije radioaktivnosti u ispuštima u zrak i vodu te mjerenja u okolišu proizlazi da je utjecaj na stanovništvo tako nizak da se zapravo ne može ni izmjeriti. Preko modela može se izračunati za najizloženiju skupinu stanovnika. Izračun pokazuje da je godišnja doza manja od 0,1 posto doze koju prosječno primi čovjek zbog prirodnih izvora zračenja. Mjerenja u okolici NEK-a izvode neovisne tehničke institucije. [30]

### 3.1.10. Mjerenja emisija i radioaktivnosti u okolišu

Programom radiološkoga nadzora – monitoringa – utvrđuje se poštivanje propisanih ograničenja, prati rad elektrane te ocjenjuje utjecaj na okoliš i stanovništvo.

U svom radu NEK kontrolirano ispušta male količine radioaktivnih tvari u zrak i vodu. Utjecaj Nuklearne elektrane Krško nadzire se mjerenjem ispuštene radioaktivnosti (emisije) i mjerenjem unosa radioaktivnih tvari u okoliš (imisije). U okviru programa mjerenja radioaktivnosti u okolici NEK-a neovisne institucije iz Slovenije i Hrvatske provode opsežna mjerenja zraka, zemlje, vode, hrane i krmiva na više od trideset lokacija u okolici elektrane i svake godine izrađuju izvješće o mjerenjima i njihovim rezultatima.

NEK obavlja mjerenja radioaktivnosti u ispuštima otpadne vode u rijeku Savu i u ispuštima iz ventilacijskoga sustava u zrak. U okolici NEK-a postavljeno je 13 automatskih postaja za mjerenje zračenja. Ti uređaji mogu prepoznati i promjene prirodnoga zračenja zbog vremenskih promjena i moguće promjene zbog utjecaja rada elektrane. Neposrednim mjerenjima ustanovljavaju se koncentracije radioaktivnih tvari u zraku, hrani i vodi koje bi mogle unosom u tijelo prouzročiti unutarnju ozračenost pojedinaca. Te koncentracije mjere se na uzetim uzorcima u laboratorijima. Mjerenjem unosa radioaktivnih tvari u okoliš na raspolaganju su također podaci

za ocjenu izloženosti prirodnome zračenju. U okolici elektrane postavljeno je više od 60 dozimetara, koji se provjeravaju dvaput godišnje.

Prema programu monitoringa godišnje se provede 108 laboratorijskih mjerenja uzoraka savske vode i 84 mjerenja uzoraka sedimenata i riba. Godišnje se obavi ukupno 36 različitih mjerenja vode iz krškog i brežičkoga vodovoda te iz bušotine na lokaciji NEK-a. Nadzire se i pet važnih crpilišta, odnosno izvora, a to znači 180 mjerenja radioaktivnosti godišnje. Padaline i nakupine prašine iz zraka provjeravaju se na trima lokacijama i godišnje se obave 144 mjerenja. Zrak se crpi crpkom preko filtera na sedam lokacija u naseljima do 12 km udaljenima od NEK-a. Godišnje se obave 232 mjerenja zračnih filtera. Godišnje se 48 puta uzmu uzorci gornjega sloja tla s triju lokacija. Kontrolu mlijeka, voća, povrća i poljoprivrednih proizvoda te mesa, peradi i jaja iz okolice NEK-a osigurava 168 mjerenja različitih uzoraka godišnje. Mlijeko se kontrolira mjesečno.

Svrha je uzorkovanja i mjesečnih analiza vode iz crpilišta i izvora nadzor najvažnijih izvora pitke vode u okolici NEK-a. Analizama se utvrđuju sadržaj prirodnih i umjetnih radionuklida te moguće posljedice aktivnosti radionuklida zbog rada NEK-a. Mjesta na kojima se uzima uzorak odabrana su tako da su uključena crpilišta vodovoda za koja nije isključena mogućnost napajanja iz rijeke između mjesta ispusta i točke miješanja.

U Hrvatskoj se godišnje provede 76 mjerenja različitih uzoraka i mjerenja doza. Dozimetri su postavljeni na 10 lokacija u Zagrebu i okolici.

Na temelju izmjerenih koncentracija aktivnosti radionuklida u uzorcima (zrak, voda, hrana) može se ustanoviti izloženost stanovništva, što izražavamo efektivnom ekvivalentnom dozom, mjereno u mikrosievertima ( $\mu\text{Sv}$ ).

Većinom su koncentracije radionuklida u okolici zbog ispusta iz NEK-a ispod granica mjerljivih instrumentima, pa se utjecaji vrednuju prema mjerenim emisijskim podacima i korištenjem modela za širenje radionuklida u okolišu. [31]

### 3.1.11. Utjecaji na okoliš

Utjecaj zračenja zbog rada nuklearnih elektrana, pa tako i NEK-a, na stanovništvo, toliko je nizak da zapravo nije mjerljiv i može se izračunati samo preko modela.

Ukupni godišnji utjecaj na pojedinca manji je od 1  $\mu\text{Sv}$ . To je oko 0,1 posto doze koju pojedinac prosječno primi zbog prirodnih izvora zračenja. Uzeta je u obzir konzervativna procjena opterećenja odrasloga stanovnika koji bi mogao primiti najviše doze i hranio se isključivo lokalno proizvedenom hranom i ulovljenom ribom.

Radioaktivnost u ispustima u zrak i vodu (u efluentima- otpadnim ispustima u okoliš) laboratorijski se mjere zbog provjere poštivanja upravnih ograničenja. Osim toga postavljeni su

radiološki monitori koji mogu upozoriti posadu u kontrolnoj sobi da pravodobno reagira ako se radioaktivnost u ispuštima u zrak i vodu poveća.

Propisi određuju:

- ograničenje doze kod stanovništva zbog ispuštanja u zrak i vodu – 50  $\mu\text{Sv}$  na godinu na udaljenosti 500 m ili više od reaktora,
- ograničenje doze zbog zračenja iz zgrada i skladišta radioaktivnog otpada – 200  $\mu\text{Sv}$  na godinu na ogradi NEK-a,
- operativna ograničenja koncentracije aktivnosti u ispuštenoj vodi i zraku,
- operativna ograničenja ispuštenih aktivnosti radioaktivnih tvari u vodi i zraku u jednoj godini.

Tekući i plinoviti ispusti radioaktivnosti u svim su godinama rada NEK-a daleko ispod dopuštenoga pravnog ograničenja, a također su unutar granica i toplinski utjecaji na rijeku Savu. [32]

#### 3.1.11.1. Tekući ispusti

Granična koncentracija radioaktivnih tvari u tekućim ispuštima u ispusnome kanalu određena je tehničkim specifikacijama koje definiraju pogonske uvjete. Te koncentracije ne smiju prelaziti propisane vrijednosti određene pravnim ograničenjima.

Otpadne radioaktivne vode čiste se isparavanjem i ionskom izmjenom. Pročišćena se voda prije ispuštanja zadržava u nadzornom spremniku radi laboratorijske kontrole i provjere u vezi s ograničenjima. Nakon administrativnog odobrenja voda se može ispustiti u rijeku Savu.

Otpadna voda može sadržati fisijske i aktivacijske produkte. Aktivnost fisijskih i aktivacijskih produkata (bez tritija H-3, ugljika C-14 i alfaemitera) u 2011. godini iznosila je manje od 0,03% godišnjeg ograničenja za tekuće ispuste. Aktivnost ispuštenog tritija iznosila je približno 8,2% propisanog godišnjeg ograničenja. Tritij je izotop vodika koji se nalazi u vodi, a zbog niske radiotoksičnosti manje je važan unatoč visokoj aktivnosti u usporedbi s ostalim kontaminirajućim tvarima. [33]

Tablica 3: Podaci o radioaktivnosti u tekućim ispuštima u 2011. godini

| Radioaktivne tvari              | Godišnje ograničenje | Ispuštena aktivnost | Postotak ograničenja |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| produkti cijepanja i aktivacije | 100 GBq              | 26 MBq              | 0,026 %              |
| tritij (H-3)                    | 45 TBq               | 3,69 TBq            | 8,2 %                |

### 3.1.11.2. Plinoviti ispusti

Zrak iz ventilacijskih sustava filtrira se visoko učinkovitim filtrima za prašinu i ugljenim filtrima. Ugljeni filtri zadržavaju radioaktivne izotope joda, ako bi se pojavili u slučaju puštanja gorivnih elemenata. Prozračivanje zaštitne zgrade u kojoj je nuklearni reaktor dopušteno je samo nakon provjere koncentracija radioaktivnosti u zraku s obzirom na propisana ograničenja. Tijekom rada reaktora zaštitna zgrada hermetički je zatvorena.

Doza zbog ukupne godišnje aktivnosti ispuštenih plemenitih plinova bila je 0,124 % godišnjeg ograničenja. Aktivnosti ispuštenog radioaktivnog joda u 2011. godini nije bilo. Radioaktivni izotopi kobalta i cezija, koji se pojavljuju u obliku prašnih čestica u zraku, također su izmjereni u izvanredno niskim koncentracijama.

Tablica 4: Podaci o ispuštanjima radijacije u zrak za 2011. godinu

| Radioaktivne tvari                 | Godišnje ograničenje        | Ispuštena aktivnost | Postotak od ograničenja |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|
| plinovi cijepanja i aktivacije     | doza < 50 $\mu$ Sv          | 0,95 TBq            | 0,124 %                 |
| jodovi (I-131 i ostali)            | 18,5 GBq (ekvivalent I-131) | 0 MBq               | 0 %                     |
| čestice prašine (kobalt, cezij...) | 18,5 GBq                    | 92 kBq              | 0,0005 %                |
| tritij (H-3)                       | -                           | 5,28 TBq            | -                       |
| ugljik (C-14)                      | -                           | 21,5 GBq            | -                       |

U godini 2011. uzeti su u obzir i tehnički normativi za rad nuklearne elektrane, tako da trenutna koncentracija radioaktivnosti u zraku odnosno brzina doze na udaljenosti od 500 m od reaktora nije prelazila propisane vrijednosti.

Poštovanje godišnjeg ograničenja doze od 50  $\mu$ Sv na udaljenosti od 500 m od reaktora za ispuste u zrak provjerava se mjesečno izračunom doze koju bi mogla primiti osoba na toj udaljenosti u godinu dana zbog vanjskog i unutrašnjeg ozračenja. Za pojedini smjer vjetra uzima se u obzir najnepovoljnije mjesečno prosječno razrjeđivanje i ispušt pri tlu. Rezultat za 2011. godinu iznosi 1,2  $\mu$ Sv (2,4 % godišnjeg ograničenja). [34]

### 3.1.11.3. Ostali utjecaji

Kako bi se odredio toplinski utjecaj na rijeku Savu vodnogospodarska dozvola nalaže NEK-u stalno mjerenje temperature, protoka i koncentracije kisika u savskoj vodi. Mjerenja se provode automatskim sustavom. Zbog istjecanja rashladne vode temperatura vode kod točke

miješanja ispod elektrane smije biti najviše 3 °C viša od temperature vode iznad elektrane, a ne smije prelaziti 28 °C. NEK izvodi sva propisana mjerenja temperature, protoka i koncentracije kisika u savskoj vodi te mjesečna mjerenja biološkog i kemijskoga korištenja kisika.

NEK također nadzire podzemne vode, ali i neprekidno mjeri nivo i temperaturu na trima bušotinama i dvjema lokacijama na rijeci Savi te tjedna mjerenja na deset bušotina Krško-Brežičkoga polja. [35]

## 4. RIZIK OD NUKLEARNE NESREĆE

Sva tehnička postrojenja, pa tako i nuklearna, u svom pogonu generiraju određene rizike. Za nuklearna postrojenja najveći rizici se vezuju uz pojavu takvih događaja koji bi doveli do nekontroliranog ispuštanja većih količina radioaktivnih tvari u okoliš. Da bi se spriječila pojava kvarova koji dovode do nekontroliranog ispuštanja radioaktivnosti u okoliš, u nuklearnim elektranama se provodi princip obrane po dubini („defence in depth“) koji se sastoji od uvođenja niza aktivnih i pasivnih barijera između radioaktivnih tvari smještenih u jezgri reaktora i okoliša. Unatoč tome, ipak postoji mala vjerojatnost pojave takvog slijeda događaja koji bi doveo do ispuštanja većih količina radioaktivnih tvari u okoliš - nuklearne nesreće. [36]

Iz tog razloga osmišljena je Međunarodna ljestvica za nuklearne nesreće, skraćeno nazvana INES ljestvica (engl. International Nuclear and Radiological Event Scale - INES), odnosno alat koji na dosljedan način objašnjava sigurnosno značenje nuklearnih i radioloških događaja i stoga se u cijelom svijetu koristi za komuniciranje s javnošću. Kao što Richterova ili Celzijeve ljestvice omogućavaju razumijevanje informacija o potresima ili temperaturama, INES ljestvica označava razinu važnosti događaja koji su posljedica različitih djelatnosti kao što su korištenje radioaktivnih izvora u industriji i medicini, rad nuklearnih postrojenja ili transport radioaktivnog materijala.

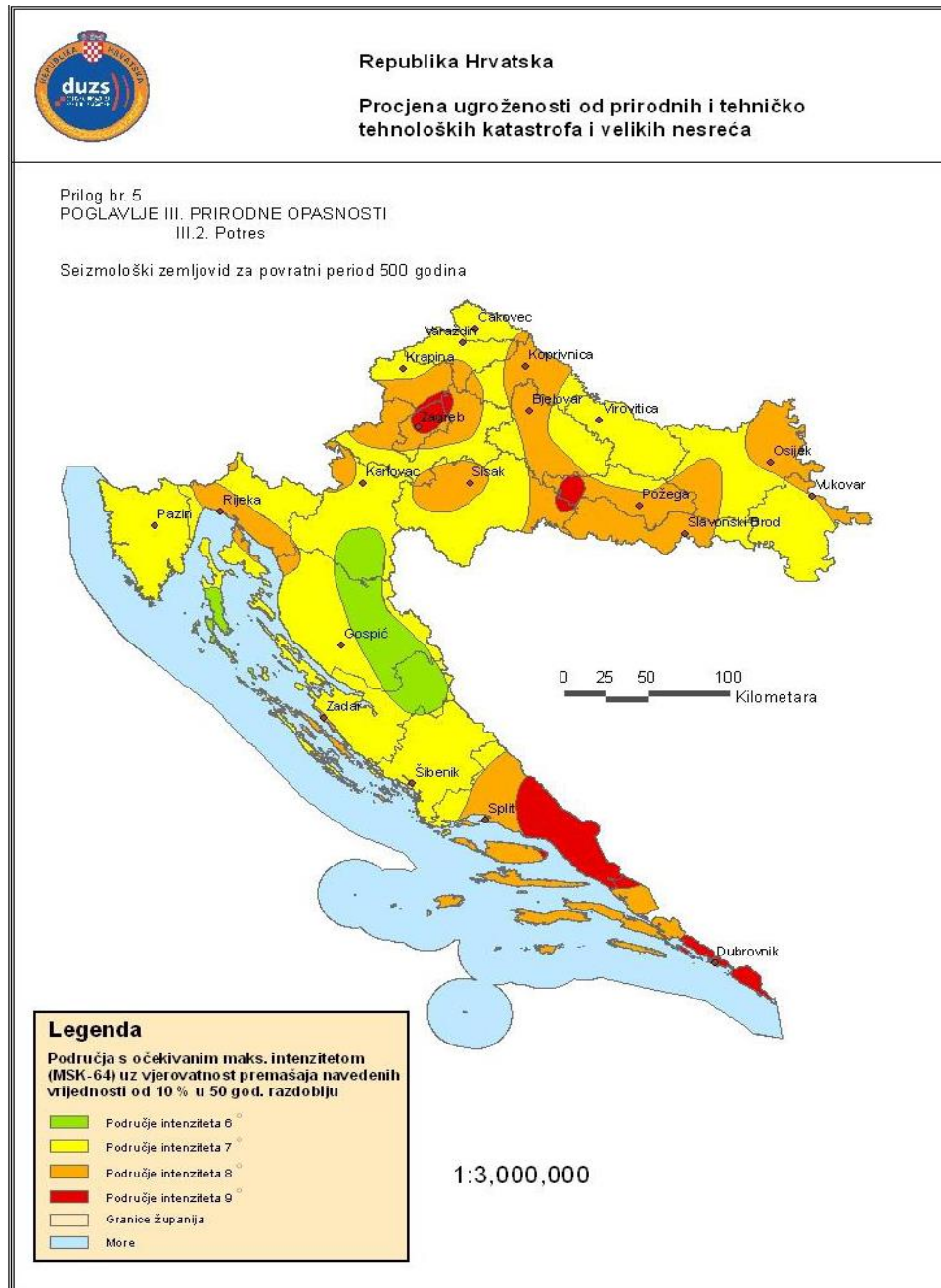
Događaji su na ljestvici klasificirani na sedam razina: razine 1-3 nazivaju se "nezgode", a razine 4-7 "nesreće". Ljestvica je osmišljena tako da se težina događaja poveća oko deset puta za svaku višu razinu. Događaji koji ne ugrožavaju sigurnost zovu se "otkloni", te se klasificiraju ispod ljestvice / Razina 0. [37]



Slika 14: INES ljestvica

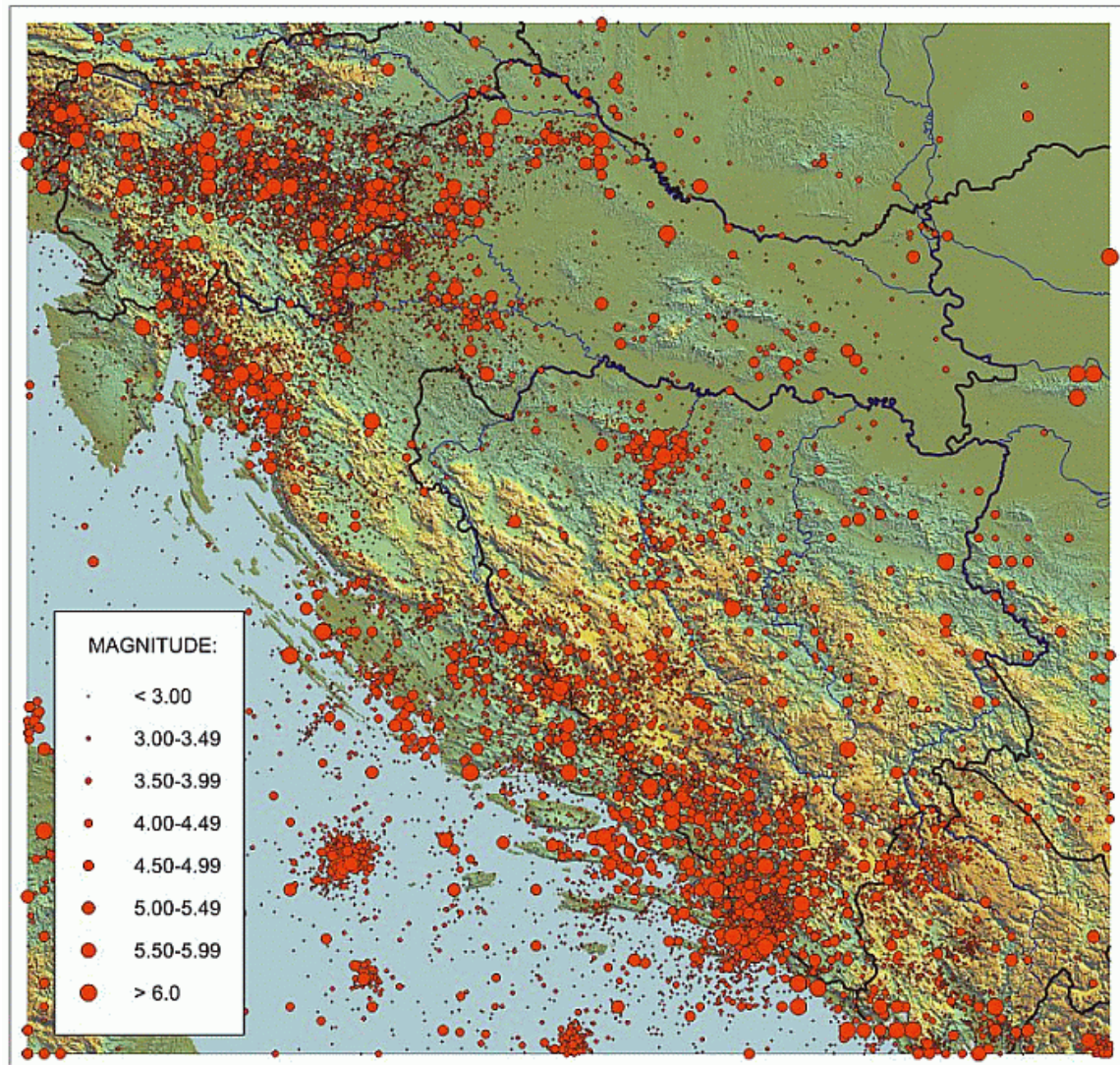


No osim kvarova postoje i drugi uzroci koji mogu dovesti do nuklearne nesreće. Ti uzroci mogu biti prirodni i antropološki. Prirodni su uzroci primjerice poplave, potresi i slične prirodne pojave. Republika Hrvatska se nalazi na području na kojem se javljaju potresi, a prema Seizmološkom zemljovidu za zadnjih 500 godina (slika 15) između ostalog i na području grada Zagreba možemo očekivati jači potres. S obzirom da na tom području živi većina hrvatskog stanovništva, te da se na tom području nalaze sjedišta glavnih organa vlasti, a osim toga u blizi se nalazi i NEK smatram da moramo biti spremni reagirati u slučaju pojave takvih situacija.



Slika 15: Seizmološki zemljovid Republike Hrvatske

Također prema karti seizmičnosti Hrvatske i okolnih područja od prije Krista do 2008. godine Geofizičkog odsjeka prirodoslovno-matematičkog fakulteta, prema dopunjenom Hrvatskom katalogu potresa (Geofizički odsjek PMF-a; M. Herak, D. Herak i S. Markušić (1996): Terra Nova, 8, 86-96). Slika prikazuje epicentre od oko 30 000 potresa. Na prikazanom području u prosjeku se svake godine dogodi potres magnitude veće od 6 prema Richteru, a osjeti se oko 65 potresa godišnje.



Slika 16: Karta seizmičnosti Republike Hrvatske i okolice

Svi se sjećamo što se događalo u japanskoj nuklearnoj elektrani Fukushima 11.3.2011. godine kada je Japan pogodio jak potres, a nakon toga i tsunami. Na tom se području još uvijek suočavaju sa posljedicama koje su nastale nakon nesreće.

U antropološke uzroke ubrajamo takozvani ljudski faktor, odnosno ljudsku pogrešku, sabotaže i terorizam. Stariji će se prisjetiti dana 26. travnja 1986. godine, kada je kombinacijom nesigurnog dizajna sovjetskog nuklearnog reaktora, te ljudskom pogreškom prouzrokovana

manja eksplozija koja je pritom učinila štetu na reaktoru, zbog čega je došlo do otpuštanja velike količine radioaktivne prašine, otprilike devet puta jače kontaminacije nego prilikom eksplodirane bombe u japanskom gradu Hirošimi. Radioaktivnost je na tom području ostala trajni problem. Vjetar i oblaci tada su radioaktivni materijal prenijeli i na područje zapadne Europe, pa tako i Republike Hrvatske zbog čega je nemoguće sa sigurnošću utvrditi koliko je ljudi bilo izloženo zračenju te koliko je ljudi umrlo od posljedica ove katastrofe. [38]

Zbog ovih primjera nuklearnih nesreća koji su prema INES ljestvici 7. stupnja, dakle predstavljaju tešku nesreću, moramo biti svjesni moguće opasnosti koju predstavljaju nuklearne elektrane. Sve veću opasnost, na žalost, predstavlja terorizam jer teroristi ne biraju sredstva za ostvarenje svojih ciljeva. Ipak Republika Hrvatska je mala zemlja, a Europa još uvijek spada među najsigurnije dijelove Svijeta.

Iz tog razloga ću pokušati objasniti funkcioniranje sustava zaštite i spašavanja u Republici Hrvatskoj u slučaju nesreće u Nuklearnoj elektrani Krško.

#### 4.1. Položaj i sektori NE Krško

U cilju razumljivijeg i primjerenijeg prikazivanja rezultata procjene posljedica koje mogu nastupiti usljed potencijalne nuklearne nesreće i u cilju provođenja mjera zaštite i spašavanja stanovništva, područje u bližoj i daljoj okolici nuklearnih postrojenja dijeli se na sektore.

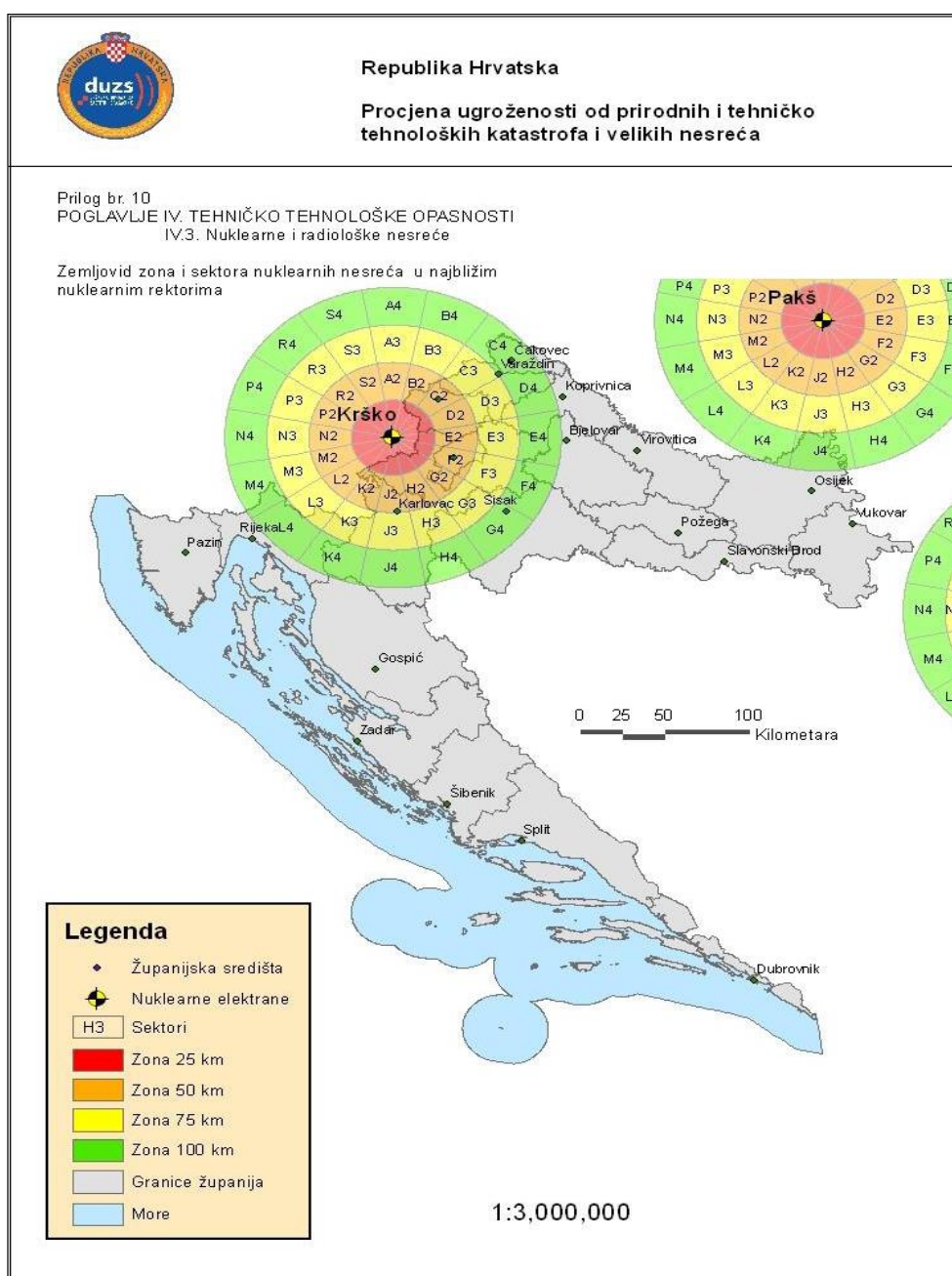
Sektorizacija područja oko nuklearnog postrojenja uobičajeno se provodi njegovom aksijalnim i radijalnom podjelom, pri tome se samo nuklearno postrojenje smješta u središte podjele.

U konkretnom slučaju, za NE Krško i NE Paks, aksijalno je izvršena podjela područja na kružne isječke kuta  $22,5^\circ$ . Time je dobiveno 16 aksijalnih sektora, koji su označeni velikim slovima od A do S. Način aksijalne podjele, kao i način označavanja pojedinih aksijalnih sektora, identični su onima koje koristi Međunarodna agencija za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency - IAEA).

Radijalna podjela provedena je koncentričnim kružnicama polumjera 25, 50, 75 i 100 km. Na taj su način dobivena 4 radijalna sektora (kružna vijenca), koji su označeni brojevima od 1 do 4. Polumjeri od 25 i 100 km podudaraju se s polumjerima koji su predviđeni za određivanje planskih zona potencijalne ugroženosti. Preostala dva polumjera (50 i 75 km) uvedena su zbog potrebe da se provede detaljnija radijalna sektorizacija onih dijelova hrvatskog područja koji okružuju dvije nuklearne elektrane u neposrednom susjedstvu. [36]

NE Krško u Republici Sloveniji udaljena je samo 10,6 km od državne granice, tako da se gradovi Samobor (udaljen 22 km) i Zaprešić (udaljen 24 km) nalaze u prvom radijalnom sektoru. Glavni grad RH, Zagreb udaljen je 38 km zračne linije u smjeru jugoistoka od NEK i nalazi se u

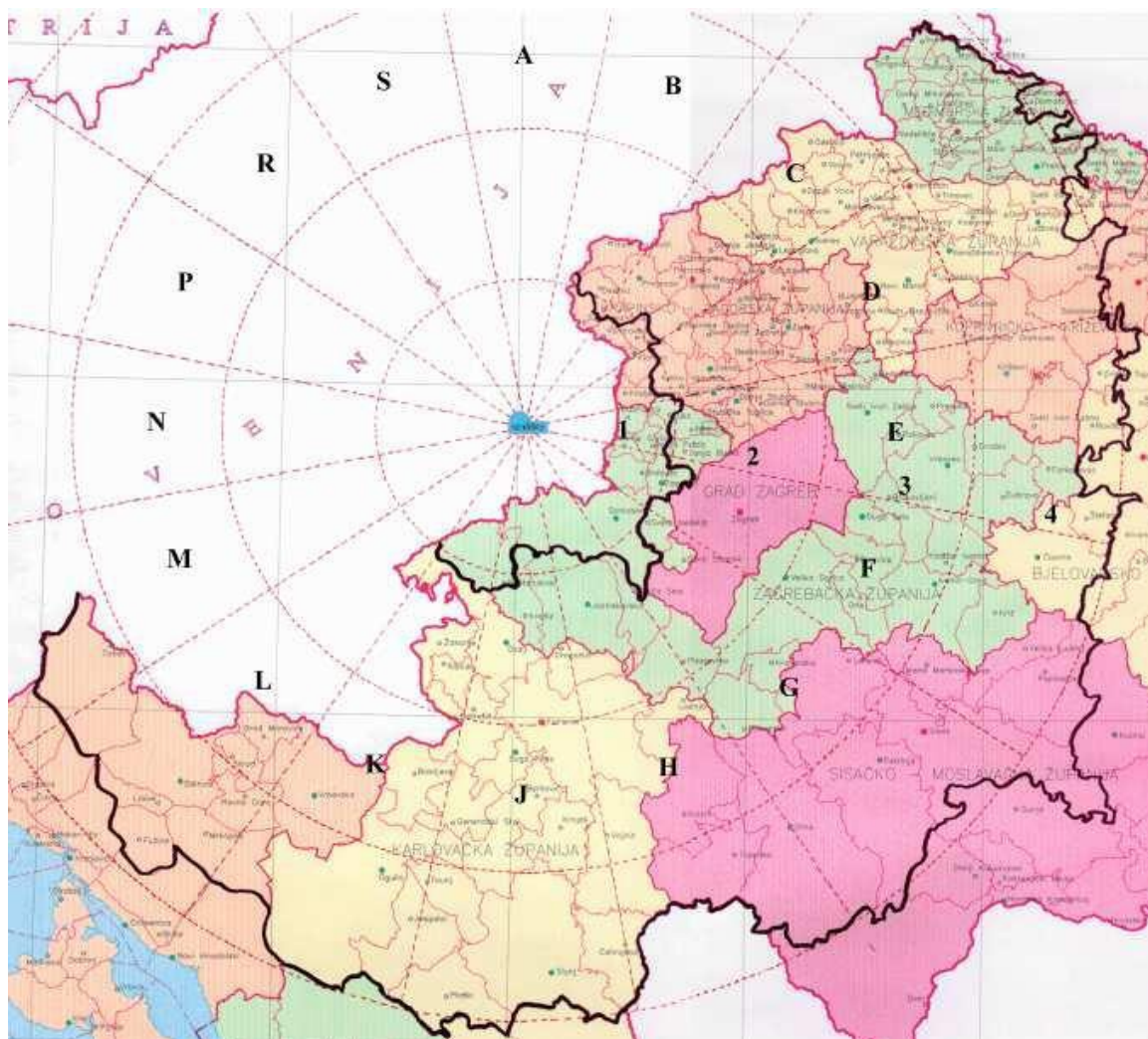
drugom radijalnom sektoru. S obzirom na navedenu blizinu našim gradovima, lako je zaključiti da bi NEK vrlo lako mogla prouzročiti štetne posljedice na području Republike Hrvatske. [39]



Slika 17: Prikaz zona i sektora oko najbližih nuklearnih elektrana

Rezultat sektorizacije područja oko NE Krško su sektori, koji se protežu na područje četiri države: Hrvatske, Slovenije, Austrije i Bosne i Hercegovine. Od ukupnog broja sektora (64), njih 39 seže u područje Republike Hrvatske. Radi se o sektorima B1 i B2, svim sektorima oznaka C, D, E, F, G, H, J, K i L te sektoru M4. Navedeni sektori protežu se preko područja jedanaest županija. Pri tome je u potpunosti obuhvaćeno područje Krapinsko-zagorske i Zagrebačke županije te Grada Zagreba, a većim ili manjim dijelom područja Bjelovarsko-

bilogorske, Karlovačke, Koprivničko-križevačke, Ličko-senjske, Međimurske, Primorsko-goranske, Sisačko-moslavačke i Varaždinske županije. To jako dobro možemo vidjeti na slici 18. [36]



Slika 18: Prikaz zona i sektora NE Krško na području Republike Hrvatske

Područje unutar radijalnog sektora 1 posebno je važno, jer obuhvaća područje najbliže NE Krško, odnosno područje u kojem se u slučaju nesreće mogu očekivati najveće posljedice. Ukupni se broj stanovnika unutar Republike Hrvatske u tom području procijenjuje na oko 124.000 ljudi. Najveći broj stanovnika smješten je u sektorima F1 i G1. U tim se sektorima nalaze gradovi Zaprešić i Samobor. [36]

Na temelju simulacija, uz upotrebu posebnih programskih paketa, pokazalo se da bi se akutni učinci na području radijalnog sektora 1 (do 25 km) mogli očekivati u slučaju nuklearne nesreće najrazličitijih karakteristika. U sektorima 2 (do 50 km), 3 (do 75 km) i 4 (do 100 km)

akutni bi se učinci mogli očekivati samo u slučaju najtežih nesreća (nesreće s oštećenjem reaktorske jezgre i katastrofalnim otkazom reaktorske zgrade). [40]

## 4.2. Procjena ugroženosti od nuklearne nesreće

Procjena radioloških posljedica za zdravlje stanovništva Republike Hrvatske provedena je u elaboratu Ocjena ugroženosti od nuklearne nesreće u NE Krško i NE Pakš, koja se odnosi na potencijalne nesreće u NE Krško – kao nama najbližoj nuklearnoj elektrani. Posljedice nuklearnih nesreća analizirane su za skupinu detaljno definiranih scenarija, prema kojima dolazi do ispuštanja radioaktivnog materijala u atmosferu. Upravo su takvi scenariji ocijenjeni kao najrelevantniji.

Prema rezultatima navedenog elaborata, za udaljenosti od 10 do 25 km od NE Krško, u slučaju pretpostavljenih scenarija mogu se očekivati i deterministički učinci radioaktivnog zračenja (pretpostavljeno je da efektivne doze veće od 250 mSv mogu, osim stohastičkih, prouzročiti i determinističke učinke). Na udaljenosti od 25 do 50 km, deterministički se učinci mogu očekivati u slučaju oštećenja jezgre uz potpuni gubitak integriteta zaštitne zgrade (brzina ispuštanja 100%/h), odnosno velike kontaminacije i veoma intenzivnog ispuštanja iz sekundarnog kruga (100 m<sup>3</sup>/h). Na udaljenosti od elektrane od 50 do 100 km deterministički se učinci mogu očekivati samo za slučaj oštećenja reaktorske jezgre uz katastrofalno otkazivanje funkcija zaštitne zgrade.

Potrebno je dodatno upozoriti na to da se procijenjene efektivne doze nipošto ne smiju poistovjećivati sa dozama koje bi u slučaju nesreće primilo svo ili većina stanovništva zahvaćenog radioaktivnim oblakom. Naprotiv, budući da se radi o maksimalnim dozama procijenjenim prema maksimalnim koncentracijama radionuklida u zraku i na tlu, može se ustvrditi da bi doze bliske takvima primio relativno mali broj osoba. Srednju dozu koju bi primilo izloženo stanovništvo može se procijeniti pod pretpostavkom da je razdioba koncentracije radionuklida (a time i radioaktivnosti) u radioaktivnom oblaku normalna, odnosno Gaussova. Tada se pokazuje da se na intervalu od  $-2\sigma$  do  $2\sigma$  (sa  $\sigma$  se označava standardna devijacija normalne distribucije) nalazi više od 95% vjerojatnosnog opterećenja. Ako bi se radioaktivni oblak u oba horizontalna smjera definirao kao područje od  $-2\sigma$  do  $2\sigma$ , njime bi se obuhvatilo više od 95% radioaktivnog materijala. Za tako definirani radioaktivni oblak može se izračunati odnos maksimalne i srednje doze, i on iznosi približno 2,8. Dakle, srednje doze koji bi primilo stanovništvo zahvaćeno radioaktivnim oblakom bile bi oko 2,8 puta manje od procijenjenih maksimalnih doza. [36]

#### 4.2.1. Procjena ugroženosti Zagrebačke županije u slučaju nuklearne i radiološke nesreće

Na području Zagrebačke županije nema nuklearnih postrojenja, ali je cijelo područje županije u I. i II. zoni ugroženosti od NE Krško. Dođe li do ispuštanja radioaktivnog materijala u atmosferu cjelokupno stanovništvo na području županije će biti izloženo djelovanju ionizirajućeg zračenja izravnim zračenjem radioaktivnog oblaka i udisanjem radioaktivnih čestica i plinova sadržanih u oblaku. U kasnijoj fazi, nakon taloženja čestica na površini i prolaska radioaktivnog oblaka, dominantni načini izlaganja biti će izravno zračenje deponiranog materijala i udisanje ponovo emitiranih čestica, a na kraju, kontaminirana atmosfera, voda i tlo, a time i biljna i životinjska hrana, dovest će do izlaganja putem hranidbenog lanca. Županija nema resurse niti specijalizirane snage za borbu sa ovom ugrozom. Za upravljanje u nuklearnoj nesreći zadužena je Državna uprava za zaštitu i spašavanje. U toj se instituciji donose odluke o primjeni zaštitnih mjera, te se organizira i nadzire njihova provedba. Stručnu potporu DUZS-u pruža Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. [41]

#### 4.3. Radiološke opasnosti

Posljedice izvanrednih događaja (ID) s izvorima ionizirajućeg zračenja, tzv. opasnim izvorima, znatno su manjeg intenziteta od posljedica koje nastaju od ID s nuklearnim materijalom.

Temeljem Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti („Narodne novine“, 28/10) i Uredbe o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja („Narodne novine“, 102/12), Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost je obvezan izraditi i ažurirati popis opasnih izvora u Republici Hrvatskoj s njihovim lokacijama, kao i distribuirati te podatke jedinicama lokalne i područne (regionalne) samouprave za njihovo područje.

U objektima, u kojima se opasni izvori koriste, ID s opasnim izvorima mogu imati za posljedicu doze ionizirajućeg zračenja zbog kojih može biti potrebno primijeniti hitne mjere zaštite i spašavanja unutar lokacije/objekta s opasnim tvarima, a samo iznimno posljedice ID s nekim kategorijama opasnih izvora mogu zahtijevati provođenje mjera zaštite i spašavanja na ograničenom području izvan lokacije/objekta ID.

Nositelj odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja odgovoran je za provedbu mjera radiološke sigurnosti, a jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave (JLP(R)S), u suradnji s nositeljima odobrenja za korištenje opasnih izvora na njihovom području, koristeći podatke iz sigurnosnih planova nositelja odobrenja, ima za cilj izvršiti aktivnosti usmjerene na bolju pripravnost za moguće ID.

Dakle, JLP(R)S planira mjere zaštite i spašavanja u planovima zaštite i spašavanja JLP(R)S, odnosno planira provođenje adekvatnih hitnih i daljnjih mjera zaštite i spašavanja u slučaju akcidenata s opasnim izvorima određenih kategorija. Obveza JLP(R)S je i informiranje žurnih službi o postojanju opasnih izvora i njihovoj lokaciji, za potrebe zaštite njihovih pripadnika koji bi se angažirali na mjestu akcidenta, te informiranje stanovništva, na području povećanog rizika, o opasnosti i mjerama za zaštitu. [36]

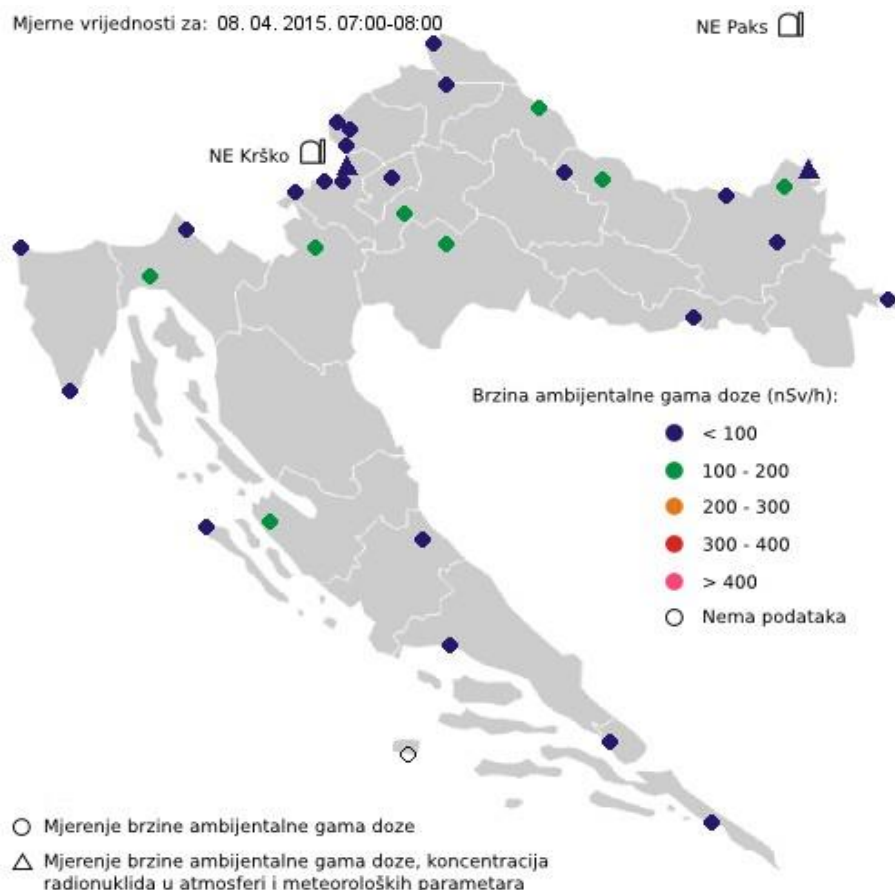
#### 4.4. Reakcija sustava zaštite i spašavanja u slučaju velike nesreće ili katastrofe

Uzmimo primjerice da je uslijed ljudske pogreške ili nakon potresa došlo do ispuštanja radioaktivnog materijala iz reaktora Nuklearne elektrane Krško. U prvim trenucima nije poznato koliko je oštećenje reaktora kao ni koliko je ispušteno radioaktivnog materijala. Informaciju o izvanrednom događaju zaprimaju sustav 112 i Državni informacijski i komunikacijski centar zaštite i spašavanja te postupaju u skladu s komunikacijskim protokolom koji donose ravnatelji Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost i Državne uprave za zaštitu i spašavanje. Državni centar 112 je operativan 24 sata dnevno te se koristi kao ulazna i izlazna nacionalna kontakt točka za razmjenu većine informacija ranog upozoravanja.

Informacija o nesreći može se dojaviti na nekoliko načina. Na primjer, stanovništvo koje živi u blizi može primjetiti da se nešto događa i dojaviti u Županijski centar na broj 112, koji će zatim proslijediti informaciju u Državni centar 112. Sljedeći način dobivanja informacije je putem Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost koji upravlja Sustavom pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću (SPUNN). U sklopu tog sustava nalaze se 33 mjerne postaje i centralna jedinica u kojoj se rezultati mjerenja prikupljaju, analiziraju i pohranjuju. Svaka postaja kontinuirano prati brzinu ambijentalne gama doze. Na dvije postaje se dodatno mjere i koncentracije radionuklida u atmosferi, te određeni meteorološki parametri. Mjerni podaci se šalju u centralnu jedinicu odmah po isteku svakog mjernog ciklusa. Ako se detektiraju povišene vrijednosti, automatski se alarmira dežurni djelatnik Zavoda, koji utvrđuje razloge odstupanja.

Na karti je prikazan smještaj svih mjernih postaja SPUNN-a. Boja oznake pojedine postaje upućuje na prosječnu vrijednost brzine gama doze za posljednji dostupni jednosatni mjerni interval. Odmah nakon početka ispuštanja dolazi do očitavanja povećane radijacije na mjernim postajama koje se nalaze u blizini nuklearne elektrane, te Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost dojavljuje u Državni centar 112 da je došlo do povećanog očitavanja.

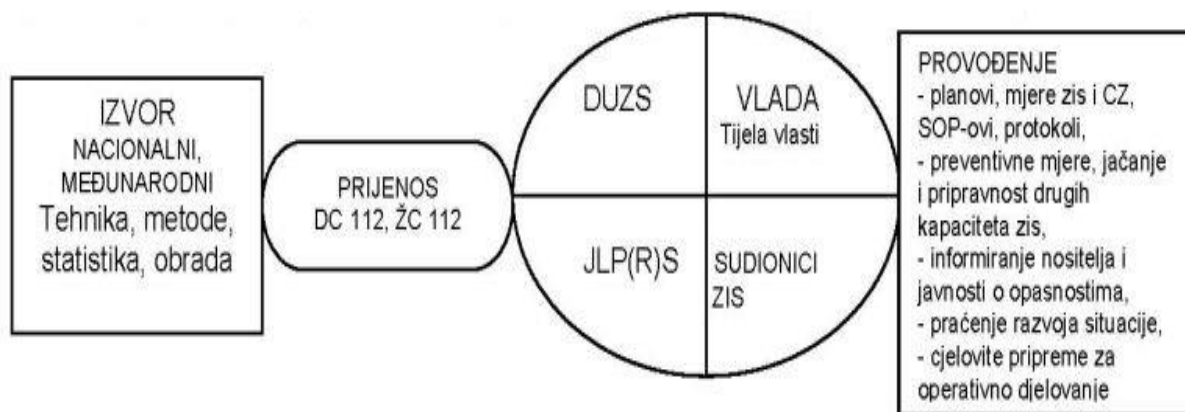




Slika 19: Prikaz mjernih postaja SPUNN-a

Svi mjerni podaci prikupljeni SPUNN-om kontinuirano se šalju u sustav Europske komisije pod nazivom EURDEP (European Radiological Data Exchange Platform- Europska platforma za razmjenu radioloških podataka). EURDEP je sustav za razmjenu radioloških mjernih podataka u kojemu participira najveći broj europskih zemalja. Tim sustavom se također mogu dobiti informacije o nuklearnim nesrećama u Europi koje bi mogle imati utjecaj na teritoriju Republike Hrvatske. No neovisno o EURDEP-u, radiološki mjerni podaci se razmjenjuju sa Slovenijom i Mađarskom temeljem bilateralnih sporazuma o suradnji na području pripravnosti za nuklearnu nesreću.

Nakon što je Državni centar 112 dobio informaciju o nesreći, na bilo koji od navedenih načina, odmah i bez odgode, prosljeđuje prvu zaprimljenu informaciju kontaktnoj točki Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost, ako prva informacija nije došla iz tog zavoda. Daljnje aktivnosti provode se prema posebnim planovima, nalogima i odlukama.



Slika 20: *Tijek informacija ranog upozoravanja*

Državna uprava za zaštitu i spašavanje po dojavi o radiološkoj/nuklearnoj katastrofi i velikoj nesreći, poduzima mjere iz vlastite nadležnosti te osobito: informacije o nesreći, putem županijskih centara 112, dostavlja čelnicima jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, na temelju kojih se nalaže pripravnost operativnih snaga i poduzimaju druge mjere iz Plana zaštite i spašavanja na području Republike Hrvatske (NN 096/2010); ravnatelj Državne uprave za zaštitu i spašavanje odlučuje o aktiviranju Stožera zaštite i spašavanja Republike Hrvatske, aktiviranju svih ostalih operativnih snaga zaštite i spašavanja Republike Hrvatske, predlaže uključivanje namjenskih postrojbi Oružanih snaga Republike Hrvatske te predlaže Vladi Republike Hrvatske traženje međunarodne pomoći, kada se operativne snage Republike Hrvatske nisu u mogućnosti nositi s posljedicama u pojedinim područjima.

Ukoliko je pogođeno područje onespособljeno u tolikom razmjeru da ne može izvršiti aktivnosti zaštite i spašavanja svojim operativnim snagama, traži se pomoć susjednih jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, putem vertikalnog sustava upravljanja, odnosno uz koordinaciju Stožera zaštite i spašavanja Republike Hrvatske i rukovođenje ravnatelja Državne uprave za zaštitu i spašavanje. Pogođena jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, u pravilu, nije sposobna koristiti vlastite snage, stoga je nastala situacija strategijskog značaja.

Narastanje operativnih snaga ovisi o razmjerima radiološke i nuklearne katastrofe, a uključuje sve sudionike sustava pripravnosti na svim razinama.

Sposobnost angažiranja operativnih snaga po spremnosti:

- lokalna razina – u vremenu od ODMAH do 3 sata,
- područna (regionalna) razina u vremenu od 2 do 6 sati,
- državna razina u vremenu od 4 do 12 sati.

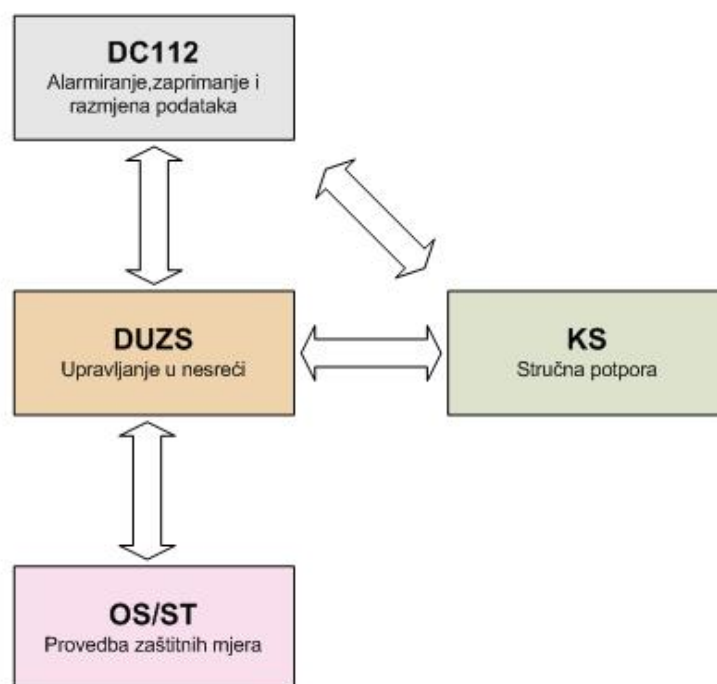
Vrsta i veličina postrojbi na pojedinim razinama, tj. u pojedinom stupnju procesa narastanja, mijenja se ovisno o spremnosti, procijenjenoj potrebi za snagama, planiranim zadaćama i prihvaćenim obvezama.

Mjere zaštite i spašavanja poduzimaju se na prijedlog Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost, a provode ih nositelji na svim razinama ustrojavanja sustava zaštite i spašavanja u područjima zahvaćenim posljedicama radiološke i nuklearne nesreće. [40]

#### 4.5. Sustav pripravnosti

Nacionalni sustav pripravnosti za slučaj nuklearnih i radioloških nezgoda i nesreća temelji se na Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 28/10) i Državnom planu i programu mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja (NN 49/08). Sustav pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće uključuje slijedeće glavne sudionike:

- Državni centar 112 (DC112)
- Krizni stožer Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost (KS)
- Državnu upravu za zaštitu i spašavanje (DUZS)
- Operativne snage i specijalne timove (OS/ST)



Slika 21: Shema sustava pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće

Za upravljanje u nuklearnoj nesreći zadužena je Državna uprava za zaštitu i spašavanje. U toj se instituciji donose odluke o primjeni zaštitnih mjera te se organizira i nadzire njihova

provedba. Nakon početne zaprimljene informacije u kasnijim fazama nesreće DC112 zaprima i prosljeđuje podatke koji pristižu od različitih međunarodnih i domaćih institucija, organizacija i pojedinaca.

Krizni stožer Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost predstavlja vodeće potporno tijelo za slučaj nuklearne nesreće. Njegova osnovna zadaća je prikupiti i distribuirati potrebne informacije, pripremiti stručne podloge neophodne u postupku donošenja odluka o poduzimanju zaštitnih mjera te pravovremeno i točno informirati javnosti.

Poduzimanje zaštitnih mjera u nadležnosti je operativnih snaga i specijalnih timova. Operativne snage se sastoje od profesionalnih postrojbi tijela državne uprave i lokalne samouprave, vatrogastva, civilne zaštite i specijaliziranih tvrtki. Specijalni timovi su posebno uvježbani i opremljeni timovi koji su u mogućnosti obavljati zadatke kao što su dekontaminacija, sanacija oštećenja ili uspostava radiološkog monitoringa. [42]

Aktiviranje sustava pripravnosti u nadležnosti je ravnatelja Državne uprave za zaštitu i spašavanje, a provodi se putem jedinstvenog operativno-komunikacijskog centra 112, korištenjem odgovarajućih standardnih operativnih postupaka za aktiviranje sustava pripravnosti u slučaju radioloških i nuklearnih katastrofa i velikih nesreća.

Sustav pripravnosti u Republici Hrvatskoj u slučaju radiološke i nuklearne katastrofe i velike nesreće uključuje sljedeća državna tijela i službe:

- Vlada Republike Hrvatske,
- 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,
- državne upravne organizacije i zavodi,
- Stožeri zaštite i spašavanja županije, gradova i općina,
- Zapovjedništva civilne zaštite županija, gradova i općina,
- Zapovjedništva civilne zaštite gradskih četvrti Grada Zagreba,
- jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave,
- postrojbe Državne uprave za zaštitu i spašavanje,
- postrojbe civilne zaštite,
- druge operativne snage i sudionici zaštite i spašavanja.

Svakom od navedenih državnih tijela i službi dodijeljene su određene aktivnosti koje mora ostvariti kako bi cijeli sustav zaštite i spašavanja bio pripravan reagirati. Sada ćemo vidjeti koje se aktivnosti provode tijekom pripravnosti ODMAH po nastanku događaja ili sukcesivno po zahtjevu nadležnih osoba / tijela u sustavu zaštite i spašavanja u slučaju radiološke i nuklearne katastrofe i velike nesreće.

### 1. Vlada Republike Hrvatske

Na prijedlog ravnatelja DUZS proglašava radiološku i/ili nuklearnu katastrofu, zapovijeda mobilizaciju svih raspoloživih kapaciteta za reagiranje, donosi odluku o evakuaciji ugroženog stanovništva, poduzima sve neophodne mjere i aktivnosti za pravovremeno i učinkovito spašavanje, donosi odluku o traženju međunarodne pomoći, izvještava Predsjednika Republike Hrvatske i Hrvatski sabor o opsegu katastrofe, o poduzetim mjerama i aktivnostima zaštite i spašavanja te o procjenama vezanim uz daljnji razvoj situacije.

### 2. Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost

Koristi SPUNN i druge sustave i izvore podataka, prvenstveno operatera i nadležnih tijela susjednih država u kojima se nalaze nuklearne elektrane. Obavlja sljedeće poslove vezane uz reagiranje na izvanredni događaj: organizira i nadzire, a po potrebi i provodi ispitivanja prisutnosti vrste i jakosti ionizirajućeg zračenja u okolišu, hrani, lijekovima i predmetima opće uporabe u redovitim uvjetima te u slučaju sumnje na izvanredni događaj, osigurava stručnu pomoć za provođenje plana i programa postupaka u slučaju nuklearne nesreće i izvanrednog događaja vezanim uz izvore ionizirajućeg zračenja, obavještuje sredstva javnog informiranja, nadležna tijela, organizacije, udruge i međunarodne institucije o izvanrednim događajima vezanim uz izvore ionizirajućeg zračenja, osigurava stručnu pomoć i suradnju u poslovima suzbijanja nedozvoljenog prometa nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala tijelima državne uprave nadležnim za te poslove, prati stanje sigurnosti nuklearnih elektrana u regiji i provodi procjenu opasnosti od mogućih nuklearnih nesreća u njima, a osobito za NE Krško u Sloveniji i NE Paks u Mađarskoj. U slučaju radiološkog i nuklearnog akcidenta, koji može prerasti ili će prerasti u katastrofu i veliku nesreću, pruža stručnu pomoć Državnoj upravi za zaštitu i spašavanje i Stožeru zaštite i spašavanja Republike Hrvatske, na način da prikuplja podatke o radiološkom/nuklearnom akcidentu, analizira i procjenjuje potencijalne posljedice, izrađuje stručne podloge neophodne u postupku donošenja odluka o poduzimanju mjera zaštite i spašavanja stanovništva te priprema podloge neophodne za točno i pravovremeno informiranje javnosti.

### 3. Stožer zaštite i spašavanja Republike Hrvatske

Priprema akcije zaštite i spašavanja kojima rukovodi Državna uprava za zaštitu i spašavanje, angažira sve neophodne materijalne resurse putem članova stožera koji imaju ovlasti za koordinaciju uporabe resursa nadležnog tijela državne uprave, odnosno pravne osobe koje predstavljaju u Stožeru.

#### 4. Državna uprava za zaštitu i spašavanje

Rukovodi operativnim snagama te koordinira djelovanje drugih sudionika u aktivnostima zaštite i spašavanja, rukovodi akcijama zaštite i spašavanja koje je stručno, operativno i koordinativno pripremio Stožer zaštite i spašavanja Republike Hrvatske, provodi pravovremeno informiranje stanovništva, provodi mobilizaciju za potrebe sustava zaštite i spašavanja, angažira službe i postrojbe Državne uprave za zaštitu i spašavanje, a posebno Državni centar 112 i županijske centre 112 s pogođenih područja, osigurava komunikaciju s nadležnim tijelima susjednih država i međunarodnim organizacijama, koordinira sudjelovanje vatrogasnih operativnih snaga uključenih u aktivnost zaštite i spašavanja od sekundarnih posljedica radiološke i/ili nuklearne nesreće, surađuje s tijelima jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, udrugama i pravnim osobama čija je djelatnost zaštita i spašavanje, osigurava stručnu psihološku potporu pripadnicima interventnih postrojbi. Angažira druge snage zaštite i spašavanja sukladno Planu zaštite i spašavanja.

#### 5. Zapovjedništvo civilne zaštite Republike Hrvatske

Usklađuje svoje aktivnosti s aktivnostima drugih sudionika sustava na stožerima zaštite i spašavanja. Preko zapovjedništava civilne zaštite županija, gradova do stožera zaštite i spašavanja općina zapovjedništvo zapovijeda aktivnostima, snagama i sredstvima civilne zaštite na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske, usklađuje provođenje mjera civilne zaštite, sklanjanja – zaklanjanja, evakuacije i zbrinjavanja.

#### 6. Vatrogasna zapovjedništva

Postupaju po nalogima i zahtjevima čelnika JLP(R)S, ravnatelja DUZS, odnosno koordinatora na mjestu događaja. Usklađuju i neposredno zapovijedaju i rukovode angažiranim vatrogasnim postrojbama (javnim vatrogasnim postrojbama, dobrovoljnim vatrogasnim društvima, državnim intervencijskim postrojbama i vatrogasnim postrojbama u gospodarstvu) u zaštiti i spašavanju stanovništva, materijalnih dobara i okoliša, ugroženih djelovanjem radiološkog i nuklearnog akcidenta ili otklanjanja njegovih sekundarnih posljedica.

#### 7. Središnja tijela državne uprave, upravne organizacije i zavodi

Krizni stožer Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi te rukovoditelji drugih tijela državne uprave koja obavljaju zadaće iz svojih djelokruga postupaju na temelju posebnih planova i SOP-ova (standardni operativni postupak), nalogima ravnatelja Državne uprave za zaštitu i spašavanje i Stožera zaštite i spašavanja Republike Hrvatske.

#### 8. Ostali sudionici

Stožeri zaštite i spašavanja županije, gradova i općina predlažu angažiranje svih neophodnih materijalnih resursa iz djelokruga rada tijela državne uprave, odnosno pravne osobe iz kojih su imenovani; zapovjedništva civilne zaštite županija i gradova, zapovijedaju aktivnostima, snagama i sredstvima civilne zaštite u područjima odgovornosti; zapovjedništva

civilne zaštite gradskih četvrti Grada Zagreba zapovijedaju aktivnostima, snagama i sredstvima civilne zaštite na svojim područjima i izvršavaju zapovjedi i naloge zapovjedništva civilne zaštite grada Zagreba; jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave nalažu pripravnost i mobilizaciju operativnih snaga na svom području i osiguravaju područja za evakuaciju i zbrinjavanje stanovništva; postrojbe Državne uprave za zaštitu i spašavanje – interventne specijalističke postrojbe civilne zaštite Republike Hrvatske (timovi za radiološku, kemijsku, biološku i nuklearnu zaštitu, interventne specijalističke postrojba za logistiku) i državne intervencijske postrojbe Zadar, Šibenik, Split i Dubrovnik postupaju po vlastitim operativnim planovima i nalogima zapovjednika civilne zaštite Republike Hrvatske; postrojbe civilne zaštite – specijalističke postrojbe civilne zaštite za RKBN zaštitu županija i gradova, postrojbe civilne zaštite opće namjene, povjerenici civilne zaštite i voditelji skloništa postupaju po nalogima nadležnih zapovjednika i zapovjedništava te vlastitim operativnim planovima i planovima civilne zaštite; druge operativne snage i sudionici zaštite i spašavanja – Državni hidrometeorološki zavod, Hrvatska gorska služba spašavanja, Hrvatski crveni križ, Hrvatska vatrogasna zajednica, Hrvatska zajednica tehničke kulture (radioamateri), Hrvatski zavod za javno zdravstvo, IMI pokretni mjerni laboratorij, ustanove za hitnu medicinsku pomoć, komunalna poduzeća, građevinska i transportna poduzeća, inspekcije (Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost, sanitarna i druge), postrojbe pravnih osoba kojima je zaštita i spašavanje redovna djelatnost (gotove operativne snage), pravne osobe koje imaju postrojbe i stručne timove za zaštitu i spašavanje postupaju prema nalogima mjerodavnih tijela i prema vlastitim planovima djelovanja, a postrojba Oružanih snaga Republike Hrvatske i logistika OS RH prema odluci ministra obrane, zapovijedima nadležnih tijela i zapovjednika i vlastitim planovima, sukladno zakonu. [40]

#### 4.6. Kategorije ugroze

Postoji više kategorija ugroze od ionizirajućeg zračenja čije posljedice se mogu osjetiti i na našem teritoriju. Prema Uredbi o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencijama u slučaju izvanrednog događaja (NN 102/2012), ugroze možemo podijeliti u pet kategorija.

U I. kategoriju ugroze pripadaju objekti u kojima izvanredni događaji mogu izazvati ozbiljne determinističke zdravstvene učinke izvan lokacije na kojoj se obavlja nuklearna djelatnost ili djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja i imati za posljedicu potrebu primjene hitnih mjera zaštite i spašavanja na ograničenom području, a dugoročnih mjera zaštite i spašavanja na cijelom području Republike Hrvatske. Jednu od takvih ugroza predstavlja nuklearna elektrana Krško u Republici Sloveniji. Upravo iz tog razloga moramo biti svjesni opasnosti i rizika koje za našu zemlju predstavlja nuklearna elektrana u neposrednoj blizini. No, također I. kategoriju ugroze predstavlja i brod na nuklearni pogon u Jadranskom moru ako ima reaktore termičke snage veće od 100 MW.

Objekti koji predstavljaju II. kategoriju ugroze ne postoje u Republici Hrvatskoj. Takvi izvanredni događaji mogu imati za posljedicu doze ionizirajućeg zračenja zbog kojih bi bilo potrebno primijeniti hitne mjere zaštite i spašavanja na ograničenom području, a dugoročne mjere zaštite i spašavanja na širem području Republike Hrvatske. Ipak, navedene posljedice može izazvati plovilo na nuklearni pogon reaktora termičke snage od 2 MW do 100 MW u Jadranskom moru.

III. kategoriju ugroze predstavljaju objekti u kojima izvanredni događaji mogu imati za posljedicu doze ionizirajućeg zračenja zbog kojih može biti potrebno primijeniti hitne mjere zaštite i spašavanja na lokaciji izvanrednog događaja, a iznimno i na ograničenom području oko lokacije izvanrednog događaja. Popis takvih objekata koji predstavljaju III. kategoriju ugroze na području Republike Hrvatske određuje Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost.

U IV. kategoriju ugroze pripadaju aktivnosti koje mogu dovesti do izvanrednog događaja i imati za posljedicu potrebu primjene hitnih mjera zaštite i spašavanja na lokacijama koje nije moguće unaprijed predvidjeti. Takav slučaj će se pojaviti u jednom od sljedećih primjera:

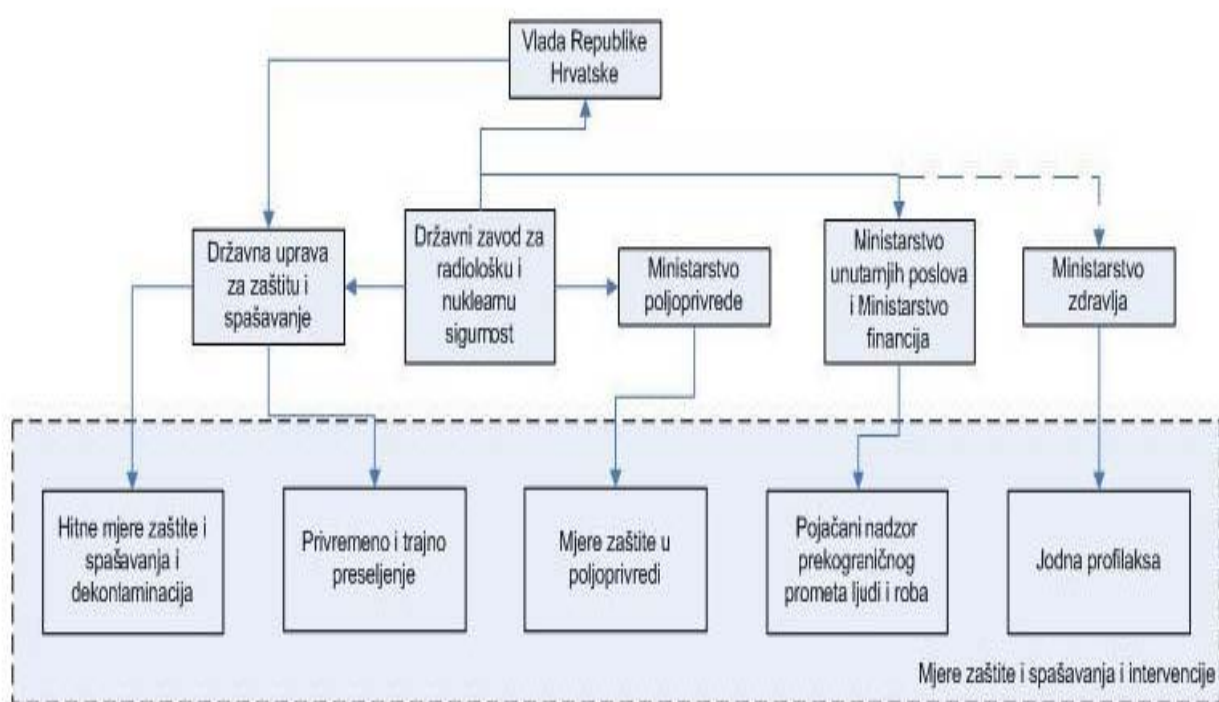
- izvanredni događaji u prijevozu radioaktivnih izvora i nuklearnog materijala,
- izvanredni događaji prilikom korištenja mobilnih izvora ionizirajućeg zračenja kao što su industrijski radiografi,
- nedozvoljeni promet radioaktivnih izvora i nuklearnog materijala na cestovnim i željezničkim graničnim prijelazima te pomorskim, riječnim i zračnim lukama,
- izvanredni događaj pada satelita koji za proizvodnju energije koristi radioizotope,
- izvanredni događaji otkrivanja izvora bez posjednika u otpadnom metalu ili drugdje,
- izvanredni događaji koji ima za posljedicu radioaktivno onečišćenje ili povišeno izlaganje ionizirajućem zračenju, a izazvani su drugim okolnostima, npr. vandalizam, sabotaza i terorizam.

Posljednju, V. kategoriju ugroze predstavljaju aktivnosti koje mogu dovesti do izvanrednog događaja, a uslijed kojih ne treba očekivati potrebu primjene hitnih mjera zaštite i spašavanja, ali neposredne i dugoročne mjere zaštite i spašavanja mogu biti potrebne na cijelom području Republike Hrvatske. U ovu se kategoriju svrstava ugroza od nuklearne nesreće u nuklearnoj elektrani Paks u Mađarskoj i drugim nuklearnim objektima u svijetu, kao i ugroza od uvoza kontaminirane hrane ili drugih materijala onečišćenih radionuklidima iznad propisanih granica. [43]

Na sljedećim slikama su prikazani sustavi upravljanja u slučaju izvanrednih događaja I. i II. kategorije ugroze, koju predstavlja i Nuklearna elektrana Krško, te III., IV. i V. kategorije.

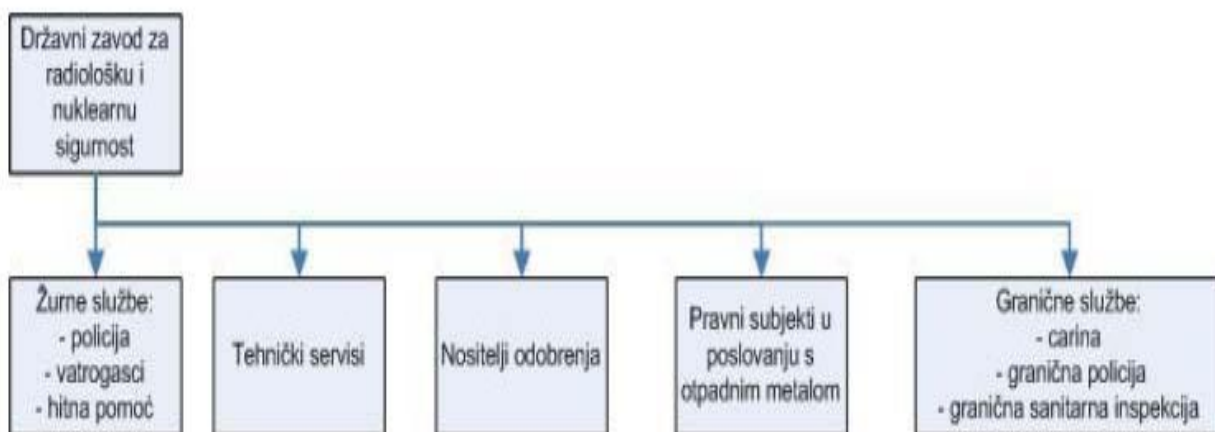
Kao što vidimo kod velikih ugroza u sustav upravljanja su uključeni Vlada Republike Hrvatske, Državna uprava za zaštitu i spašavanje, Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, te Ministarstva poljoprivrede, unutarnjih poslova, financija i zdravlja. Neophodna je njihova suradnja kako bi se pravodobno i kvalitetno mogle provesti mjere zaštite i spašavanja, kao i druge intervencije operativnih snaga.





Slika 22: Prikaz sustava upravljanja u slučaju izvanrednog događaja I. i II. kategorije

Kod lokalnih i manjih ugroza u sustav upravljanja u slučaju izvanrednog događaja uključen je samo Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Taj zavod tada koordinira žurne, granične i druge službe, te ostale subjekte kako bi se posljedice izvanrednog događaja svele na minimum. [43]



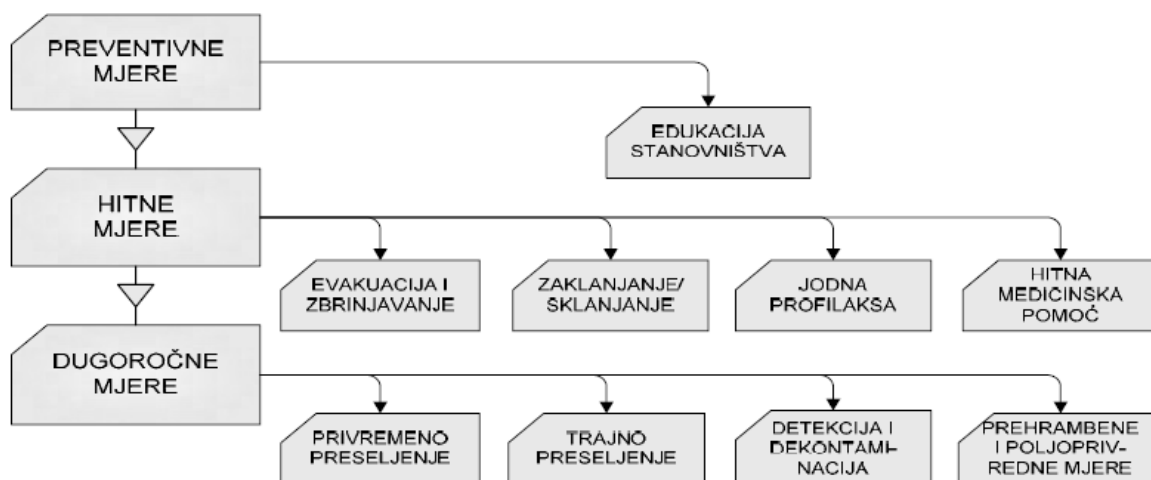
Slika 23: Prikaz sustava upravljanja u slučaju izvanrednog događaja III., IV. i V. kategorije

#### 4.7. Mjere zaštite i spašavanja od radiološke i nuklearne nesreće

Temeljni dokument za planiranje provođenje mjera zaštite i spašavanja u slučaju radiološkog/nuklearnog izvanrednog događaja je Državni plan i program mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja. Plan se razrađuje standardnim operativnim postupcima po svakom pojedinom segmentu od operativnog značaja. Ovaj Plan predstavlja nadopunu temeljnog Plana zaštite i spašavanja na području Republike Hrvatske, u segmentu mjera od interesa za zaštitu i spašavanje, kojih su nositelji JLP(R)S i operativne snage ZiS, odnosno Državna uprava za zaštitu i spašavanje i Stožer zaštite i spašavanja Republike Hrvatske.

Nositelji planiranja na taktičkim i operativnim razinama, vlastitim planovima zaštite i spašavanja i SOP-ovima utvrđuju operativne postupke usmjerene na zaštitu i spašavanje stanovnika na svojim područjima, osobito jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave iz radijalnih područja I i II oko NE Krško.

Pregled mjera zaštite i spašavanja čije se provođenje preporučuje u slučaju radiološke/nuklearne nesreće prikazan je u narednoj shemi.



Slika 24: Shema mjera CZ i drugih mjera za zaštitu stanovništva od posljedica radiološke i nuklearne katastrofe i velike nesreće

Mjerama zaštite i spašavanja razrađuje se postupanje u zaštiti i spašavanju u slučaju radiološke i nuklearne opasnosti i prijetnji, koje mogu izazvati katastrofe i velike nesreće. [40]

Štetne učinke nuklearne nesreće moguće je umanjiti pravovremenom primjenom zaštitnih mjera. Te se mjere mogu podijeliti na hitne (primjenjuju se u ranim fazama nesreće) i dugotrajne (primjenjuju se u kasnijim fazama, kada je neposredan utjecaj radioaktivnog oblaka prošao).

U najvažnije hitne zaštitne mjere spadaju:

- zaklanjanje (upućivanje stanovništva da se skloni u zatvorene prostore)
- evakuacija (hitno preseljenje stanovništava iz ugroženog područja)
- jodna profilaksa (zasićenje štitne žlijezde stabilnim jodom da bi se spriječio unos radioaktivnog joda)

U najznačajnije dugotrajne zaštitne mjere ubrajaju se:

- privremeno preseljenje (preseljenje stanovništava iz ugroženog područja u trajanju do dvije godine)
- trajno preseljenje
- mjere vezane za prehrambene proizvode (mjere za smanjenje razine kontaminacije i ograničenja u konzumiranju prehrambenih proizvoda)
- mjere u poljoprivredi (ograničenja u korištenju kontaminirane stočne hrane, promjene u načinu obrađivanja zemljišta, skladištenja i prerade poljoprivrednih proizvoda)

Postupak donošenja odluka o primjeni zaštitnih mjera vrlo je složen. Naime, svaka takva mjera, osim korisnih učinaka (smanjenje primljenih radijacijskih doza), uzrokuje veće ili manje štetne učinke. [44]

#### 4.7.1. Trenutne – žurne mjere zaštite i spašavanja

Ove mjere se provode odmah nakon nastanka nesreće kako bi se štetni učinci što više umanjili i ograničili na mjestu nastanka, ako je to moguće. Također ovim mjerama se nastoji spasiti što više ljudskih života, jer su oni najvrijedniji, a sve ostalo se može obaviti kasnije. Trenutne mjere ZiS obuhvaćaju:

1. Detekcija, dekontaminacija, zaklanjanje, evakuacija, zbrinjavanje ljudi, materijalnih dobara i okoliša

Nositelji su DUZS (preko snaga civilne zaštite za RKBN zaštitu, na svim razinama ustrojavanja i vatrogastva) te MORH (preko postrojbi Oružanih snaga RH). Operativni postupci provode se uz pomoć interventnih specijalističkih RKBN timova civilne zaštite RH, specijalističkih postrojbi civilne zaštite za RKBN zaštitu županija i gradova. Uporaba ovih snaga razrađuje se planovima ZiS JLP(R)S i SOP-ovima (operativne i taktičke razine), kao i planom djelovanja ISPCZRH. (strategijska razina)

## 2. Zadaće operativnih snaga i način uzbunjivanja i obavješćivanja stanovnika o opasnostima

Zadaće operativnih snaga zaštite i spašavanja propisane su posebnim propisima: Operativnim planom djelovanja RKBN interventnih specijalističkih postrojbi civilne zaštite Republike Hrvatske, planovima zaštite i spašavanja na svim razinama, operativnim planovima pravnih osoba i drugim planovima i propisima. Uzbunjivanje stanovništva i postrojbi zaštite i spašavanja vrši se temeljem Uredbe o jedinstvenim znakovima za uzbunjivanje putem sirena, zatim izdavanjem priopćenja za stanovništvo i putem medija. Nositelji su Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, DUZS (preko Stožera ZiS RH, centra 112, postrojbi DUZS-ISPCZRH, Državne interventne postrojbe), JLP(R)S, MORH (preko postrojbi OS RH), MUP (preko vatrogastva, zapovjedništva i postrojbi, JVP i DVD), Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, Ministarstvo financija, MVPEI i dr. središnja tijela državne uprave kao što su DHMZ, gospodarske ustanove RH, znanstvene ustanove RH (Institut R. Bošković, Hrvatski mjeriteljski institut, Institut za fiziku, IMI i medicinu rada), Hrvatske vode, Državni zavod za zaštitu prirode, poljoprivredne ustanove RH (instituti i savjetodavne službe), ustanove zdravstva i socijalne skrbi RH (Hrvatska agencija za hranu, Hrvatska komora biokemičara, Hrvatski zavod za hitnu medicinu, Hrvatski i županijski zavodi za javno zdravstvo, Hrvatski zavod za toksikologiju), HEP, Hrvatske telekomunikacije, Hrvatske šume, HŽ, INA i dr. poduzeća od javnog interesa za RH. Zadaće operativnih snaga se planski razrađuju vlastitim planovima ZiS i SOP-ovima operativnih snaga i sudionika ZiS.

## 3. Lokacije i resursi za dekontaminaciju ljudi, životinja i materijalnih dobara

Za ovaj dio žurnih mjera zaštite i spašavanja odgovoran je čelnik jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave (načelnik općine, gradonačelnik, župan), sukladno dokumentima prostornog uređenja. Dekontaminaciju provode interventne specijalističke postrojbe civilne zaštite Republike Hrvatske, državne intervencijske postrojbe, vatrogasne postrojbe i Oružane snage RH. Operativni postupci se određuju i razrađuju dokumentima jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, prvenstveno iz radijalnih područja I i II oko NE Krško.

## 4. Organizacija upoznavanja građana o preventivnim mjerama, osobnoj i uzajamnoj zaštiti, nastaloj opasnosti i o postupanju

Nositelji ove mjere su Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, DUZS (preko Stožera ZiS RH i centra 112), JLP(R)S i drugi sudionici pripravnosti. Edukacija stanovništva o preventivnim mjerama provodi se distribucijom edukativno-informacijsko-promidžbenog materijala (letaka, brošura), održavanjem predavanja i radionica, natpisima i objavama u sredstvima javnog informiranja (televizija, tisak, radio, internet). Kroz edukaciju najugroženije stanovništvo se obavještava o načinu provedbe prvenstveno hitnih zaštitnih mjera te o načinu provedbe dugoročnih mjera, koje se poduzimaju nakon prolaska radioaktivnog oblaka.

## 5. Organizacija provođenja zaklanjanja /sklanjanja

Mjera je samozaštitna, a provodi je ugroženo stanovništvo uz pomoć povjerenika CZ i aktivista HCK. Provođenje mjere predlaže Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost; ukoliko nema skloništa osnovne zaštite, stanovništvo se sklanja u druge adekvatne prostore npr. podruma, prostorije bez prozora te prostorije udaljene od otvora (prozora i vrata). Na prozorima i vratima obavlja se hermetizacija brtvljenjem otvora širokim ljepljivim trakama. Ovu mjeru provode osobna i uzajamna zaštita, dakle građani, JLP(R)S, zapovjedništva CZ, povjerenici i postrojbe CZ, DUZS (preko centra 112, ISPCZRH za KBRN), Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost i operativne snage i sudionici ZiS. Ova mjera se provodi uvijek kada je moguće, a ugroženo stanovništvo sklanja se u skloništa osnovne zaštite. Provodi se prosječno 2 dana.

## 6. Evakuacija i zbrinjavanje

Ovu mjeru provode DUZS, Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, MUP, građani, JLP(R)S, Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi, Civilna zaštita (preko zapovjedništva, povjerenika i postrojbe), vatrogastvo, te druge operativne snage i sudionici ZiS. Evakuacija, odnosno premještanje stanovništva provodi se s ugroženog na neugroženo područje, kako bi se izbjegla kratkotrajna izloženost visokim dozama zračenja. Provodi se u potpunosti prije dolaska radioaktivnog oblaka, jer je u suprotnom slučaju stanovništvo izloženije ionizirajućem zračenju tijekom evakuacije, nego ako ostane u svojim kućama i drugim objektima. Zbrinjavanje evakuiranog stanovništva provodi se na neugroženom području, na lokacijama i na način sukladno planu zbrinjavanja JLP(R)S. Provođenje mjere predlaže Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost.

Što se tiče NE Krško, evakuacija se može očekivati samo u nekim dijelovima područja koja se nalaze u polumjeru od 25 km, odnosno području zone planiranja hitnih mjera zaštite i spašavanja. MUP osigurava putove evakuacije i konvoje, regulira promet, skrbi o općoj sigurnosti. Mjera se provodi sukladno planu evakuacije JLP(R)S, a može trajati do tjedan dana. Za provedbu mjere odgovoran je čelnik JLP(R)S. Kod radioloških / nuklearnih nesreća iz drugih izvora, evakuaciju je moguće očekivati na bilo kojem dijelu RH, u uskom pojasu moguće ugroženosti. Mjera se provodi kao: samozaštitna – samoevakuacija te organizirana. Civilna zaštita samostalno, kao glavni nositelj, planira podizanje kamp naselja za zbrinjavanje građana koji su ostali bez smještaja, nabavlja potrebna sredstva te usklađuje aktivnosti sa Ravnateljstvom za robne zalihe i HCK u provođenju zbrinjavanja stanovništva.

## 7. Jodna profilaksa

Jodna profilaksa je zasićenje štitne žlijezde stabilnim jodom da bi se spriječio unos radioaktivnog joda. Ovu mjeru provode Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi (preko Kriznog stožera ministarstva zdravstva), DUZS, JLP(R)S, stanovništvo, civilna zaštita, Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Ona je dodatna hitna zaštitna mjera koja se provodi uzimanjem tableta kalijevog jodida / jodata, a primjenjuje se samo u slučaju nesreće u NE Krško, uz primjenu drugih zaštitnih mjera (sklanjanje, zaklanjanje). Tablete kalijevog jodida uzimaju se na

preporuku. Potreba provedbe mjere objavljuje se putem javnih medija, a provodi se sukladno ranije provedenoj edukaciji stanovništva i planovima ZiS JLP(R)S.

#### 8. Organizacija i mogućnost pružanja hitne medicinske pomoći i psihosocijalne potpore

Nositelji provedbe ove mjere su Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi i Hrvatski crveni križ. Oni organizaciju hitne medicinske pomoći, psihosocijalne potpore ugroženom stanovništvu i zbrinjavanje u bolnice te vođenje evidencije o nastradalima.

#### 4.7.2. Dugoročne mjere zaštite i spašavanja

Za razliku od trenutnih mjera, dugoročne mjere ZiS provode se kako bi se ljude zaštitilo od dugotrajnog izlaganja zračenju koje se zadržalo nakon prolaska radioaktivnog oblaka. Pritom se misli na kontaminiranu atmosferu, a samim time na vodu i tlo. Usljed toga moglo bi doći i do izlaganja putem hranidbenog lanca (biljna i životinjska hrana). Iz tih razloga pristupa se sljedećim mjerama:

##### 1. Privremeno preseljenje

Privremeno preseljenje povode Vlada RH, Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, DUZS, MUP, JLP(R)S, operativne snage i sudionici ZiS (središnja tijela državne uprave, zavodi, instituti, ustanove RH) te građani. Premještanje stanovništva iz ugroženog područja u privremene prihvatne centre na vremensko razdoblje od nekoliko mjeseci do nekoliko godina. Mjera privremenog preseljenja provodi se unutar prvog tjedna ili prvog mjeseca poslije radiološke / nuklearne nesreće. Pored preseljenja ljudi, ova mjera zaštite i spašavanja podrazumijeva i premještanje pokretne imovine i domaćih životinja iz ugroženog područja. Odluku donosi Vlada RH, a provode je sve mjerodavne snage i sudionici ZiS. Kompleksna je i jedna od najskupljih.

##### 2. Trajno preseljenje

Trajno preseljenje provode iste institucije, službe i operativne snage kao i privremeno preseljenje. Provođenje mjere predlaže Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Ova mjera zaštite primjenjuje se kada je neko područje kontaminirano u tolikoj mjeri da njegova dekontaminacija tehničko-financijski nije opravdana.

##### 3. Radiološka detekcija i dekontaminacija te asanacija– detekcija (sekundarna)

Detekciju provode stručni timovi Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada, Instituta „Ruđer Bošković“ i Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost, DUZS (preko ISPCZRH za RKBN i DIP), specijalističke RKBN postrojbe CZ JLP(R)S, postrojbe

vatrogastva, MORH (preko OS RH), Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi, Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja (veterinarske službe), stožeri ZiS i zapovjedništva CZ.

Provodi se radi utvrđivanja stupnja kontaminacije zraka, tla i drugih površina. Dekontaminacija se provodi radi uklanjanja radioaktivnih tvari s kontaminiranih površina, uključujući vodocrpilišta, u potpunosti ili do dozvoljenih (za ljude neopasnih) količina kontaminacije. Nakon dekontaminacije, ako je potrebno, provodi se i asanacija. Provođenje mjere predlaže Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, a provedbu mjere koordinira ravnatelj Državne uprave za zaštitu i spašavanje.

#### 4. Mjere vezane uz prehrambene proizvode i mjere u poljoprivredi

Nositelji provedbe ove mjere su Vlada Republike Hrvatske, Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi (preko KSZ), Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja, Ministarstvo gospodarstva, Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, inspeksijske službe (sanitarna, veterinarska, državna i dr.), JLP(R)S, DUZS, proizvođači i trgovci hranom i prehrambenim proizvodima. Sve informacije relevantne za provedbu ove mjere objavljuju se putem sredstava javnog informiranja. Provođenje mjere predlaže Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Restrikcija, odnosno zabrana korištenja određenih prehrambenih proizvoda i vode poduzima se odmah nakon što se procijeni očekivana razina kontaminacije određenog područja. [40]

Tablica 5: Pregled obveza (mjera zaštite i spašavanja) sudionika uključenih u provedbu mjera ZiS u slučaju radioloških i nuklearnih nesreća

|   |   |
|---|---|
| Skraćenice:   |   |
| DUZS – Državna uprava za zaštitu i spašavanje                 | VOS – Vatrogasno operativno središte                          |
| PUZIS – Područni ured za zaštitu i spašavanje                 | DC 112 – Državni centar 112                                   |
| DZRNS – Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost     | HMP – Hitna medicinska pomoć                                  |
| HZT – Hrvatski zavod za toksikologiju                         | OKC PU – Operativno komunikacijski centar policijske uprave   |
| MVPEI – Ministarstvo vanjskih poslova i europskih integracija | ŽC 112 – Županijski centar 112                                |
| HGSS – Hrvatska gorska služba spašavanja                      | DHMZ – državni hidrometeorološki zavod                        |
| DIP – Državne intervencijske postrojbe                        | HCK – Hrvatski crveni križ                                    |
| JVP – Javna vatrogasna postrojba                              | MORH – OS RH – Ministarstvo obrane, Oružane snage RH          |
| CZ – Civilna zaštita  | JLP(R)S – Jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave |

#### 4.8. Potreba za provedbom zaštitnih mjera

Učinci štetnog djelovanja radioaktivnog zračenja na stanovništvo mogu se umanjiti provedbom zaštitnih mjera. Da li je pojedinu mjeru zaštite potrebno primijeniti ili ne, odlučuje se na temelju procjene one doze koju bi se provođenjem određene mjere moglo izbjeći ili spriječiti. U svrhu lakšeg i bržeg donošenja odluka uvedene su tzv. intervencijske razine za pojedinu mjeru zaštite i spašavanja stanovništva. Intervencijska razina je definirana kao granična vrijednost doze. Zaštitnu je mjeru opravdano primijeniti samo ako je doza koju je moguće izbjeći viša od intervencijske razine.

U Republici Hrvatskoj je na snazi Pravilnik o granicama izlaganja ionizirajućem zračenju te o uvjetima izlaganja u posebnim okolnostima i za provedbe intervencija u izvanrednom događaju („Narodne novine“, broj 125/06) Ministarstva zdravlja Republike Hrvatske, kojim se generičke intervencijske razine preporučene od Međunarodne agencije za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency- IAEA) usvajaju kao nacionalne. Intervencijske razine iz Pravilnika koje se odnose na hitne zaštitne mjere (i na koje se ova procjena isključivo odnosi) daje sljedeća tablica:

Tablica 6: *Generičke intervencijske razine za hitne zaštitne mjere*

| <b>Zaštitna mjera</b> | <b>Intervencijska razina</b> |
|-----------------------|------------------------------|
| Zaklanjanje           | 10 mSv                       |
| Evakuacija            | 50 mSv                       |
| Jodna profilaksa      | 100 mGy (štitna žlijezda)    |

Analizom rezultata za NE Krško i zaštitne mjere zaklanjanja, uočava se da bi u slučaju najtežih nesreća provođenje te zaštitne mjere gotovo sigurno bilo opravdano u sva četiri radijalna sektora. Ako se najteže nesreće izuzmu iz razmatranja (zbog veoma male vjerojatnosti njihove realizacije) pokazuje se da bi zaštitnu mjeru zaklanjanja u određenim slučajevima bilo opravdano primijeniti u radijalnim sektorima 1 i 2.

Razmatra li se zaštitna mjera evakuacije stanovništva u slučaju nesreće u NE Krško, pokazuje se kako je opravdano provesti ovu mjeru u radijalnim sektorima 1 i 2 u slučaju nesreća prilikom kojih bi došlo do oštećenja jezgre i potpunog otkaza (gubitka integriteta) zaštitne zgrade ili pak do oštećenja jezgre te do kontaminacije i intenzivnog ispuštanja iz sekundarnog kruga elektrane. Primjena ove mjere u radijalnim sektorima 3 i 4 nije opravdana čak i u slučaju najtežih nesreća.

Opravdanost provedbe jodne profilakse procijenjena je vrlo slično kao i provedba zaštitne mjere zaklanjanja. To znači da bi u slučaju najtežih analiziranih nesreća provođenje jodne profilakse bilo opravdano u sva četiri radijalna sektora. Ukoliko se rezultati najtežih sljedova



dogadaja izuzmu iz razmatranja, onda bi provođenje zaštitne mjere jedne profilakse bilo u određenim slučajevima opravdano u radijalnim sektorima 1 i 2.

Procijenjene doze (efektivne i apsorbirane) nisu izravno usporedive s intervencijskim razinama (dozama) propisanim u Pravilniku i to zato što doze u tablicama nisu jednake dozama koje je moguće spriječiti. Dva su osnovna razloga za to:

- 1) svaka zaštitna mjera ima svoj tzv. faktor efikasnosti i
- 2) tijekom nuklearne nesreće doza koju je moguće spriječiti funkcija je vremena.

Radi se o padajućoj funkciji koju determinira položaj radioaktivnog oblaka, faktor efikasnosti, ali i vrijeme potrebno za dojavu o nesreći, analizu stanja, pripremu i provedbu zaštitne mjere. Općenito, najveće se doze mogu spriječiti poduzimanjem zaštitnih mjera prije nailaska radioaktivnog oblaka, a najmanje nakon njegovog prolaska. [36]

#### 4.9. Postrojbe Civilne zaštite

Postrojbe civilne zaštite osnivaju se prema namjeni kao:

- postrojbe interventne specijalističke namjene,
- postrojbe specijalističke namjene i
- postrojbe opće namjene.

Postrojbe civilne zaštite jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave osnivaju se odlukom jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, na temelju procjene ugroženosti, i to:

- na razini županije – postrojbe specijalističke namjene,
- na razini gradova – postrojbe specijalističke namjene i postrojbe opće namjene,
- na razini općina – postrojbe opće namjene.

Postrojbe civilne zaštite osnivaju se kao potpora za provođenje mjera zaštite i spašavanja kojih su nositelji operativne snage zaštite i spašavanja koje se u okviru redovne djelatnosti bave zaštitom i spašavanjem te za provođenje mjera civilne zaštite.

Postrojbe civilne zaštite na razini Republike Hrvatske jesu:

- interventne specijalističke postrojbe civilne zaštite i
- postrojbe za uzbunjivanje Državne uprave za zaštitu i spašavanje.

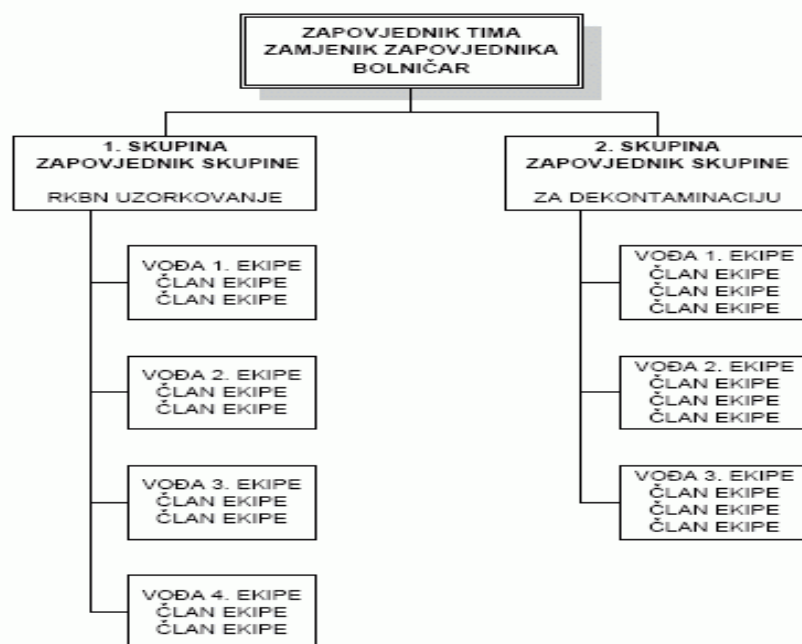
Struktura postrojbi je sljedeća:

- ekipa se sastoji od 3 do 5 pripadnika;
- skupina se sastoji od 3 do 23 ekipe i zapovjednika skupine;
- tim se sastoji od 3 do 20 skupina, zapovjednika, zamjenika zapovjednika i bolničara.

Interventne specijalističke postrojbe civilne zaštite (ISPCZRH) za RKBN zaštitu, sa vremenom mobilizacije od 2 sata, bi u slučaju velike nesreće ili katastrofe u NE Krško imale vrlo značajnu ulogu u sustavu zaštite i spašavanja. Temeljni ustrojstveni modul svake od ISPCZRH je tim, pa tako i postrojbe za radiološku, kemijsku, biološku i nuklearnu zaštitu (RKBN). Tim ove postrojbe sastavljen je od dvije skupine i veličine je 29 pripadnika:

- 1. skupina za uzorkovanje RKBN kontaminacije koja se sastoji od zapovjednika skupine i četiri ekipe u sastavu od rukovatelja RKBN detektorima i dva pomoćnika;
- 2. skupina za dekontaminaciju koja se sastoji od zapovjednika skupine i tri ekipe dekontaminatora po četiri pripadnika, kao što je vidljivo na slici 23 ispod. [45]

## Tim za RKBN zaštitu



Tim za RKBN zaštitu koji sastavljen od dvije skupine

- 1. skupina za uzorkovanje RKBN kontaminacije koja se sastoji od zapovjednika skupine i četiri ekipe u sastavu od rukovatelja RKBN detektorima i dva pomoćnika;
- 2. skupina za dekontaminaciju koja se sastoji od zapovjednika skupine i tri ekipe dekontaminatora od po četiri člana

Tim za RKBN zaštitu veličine je 29 pripadnika

Slika 25: Tim za RKBN zaštitu

Na sljedećoj slici se nalazi ekipa tima za RKBN zaštitu koja je zadužena za dekontaminaciju. Ta ekipa je sudjelovala na nedavno održanoj vježbi u Stubičkoj Slatini, pri čemu je pokazala kapacitete koje posjeduje u situacijama izloženosti nekom obliku zračenja. Korišten je šator za masovnu dekontaminaciju u kojemu je odrađena dekontaminacija ranjenika, pripadnika policije i policijske opreme.



*Slika 26: Ekipa tima za RKBN zaštitu za dekontaminaciju*

U skladu sa Procjenom ugroženosti Republike Hrvatske, po teritoriju naše zemlje su raspoređene interventne specijalističke postrojbe civilne zaštite. Kao što se vidi na slici 25, interventne specijalističke postrojbe se nalaze u naša četiri najveća grada Zagrebu, Splitu, Rijeci i Osijeku. U svakom od tih gradova nalazi se RKBN tim, tim za spašavanje na vodi, tim za spašavanje iz ruševina (USAR) i tim za logistiku. Naravno u slučaju potrebe timovi u pojedinom gradu se mogu lako povećati premještanjem potrebnih snaga iz drugih gradova. [36]

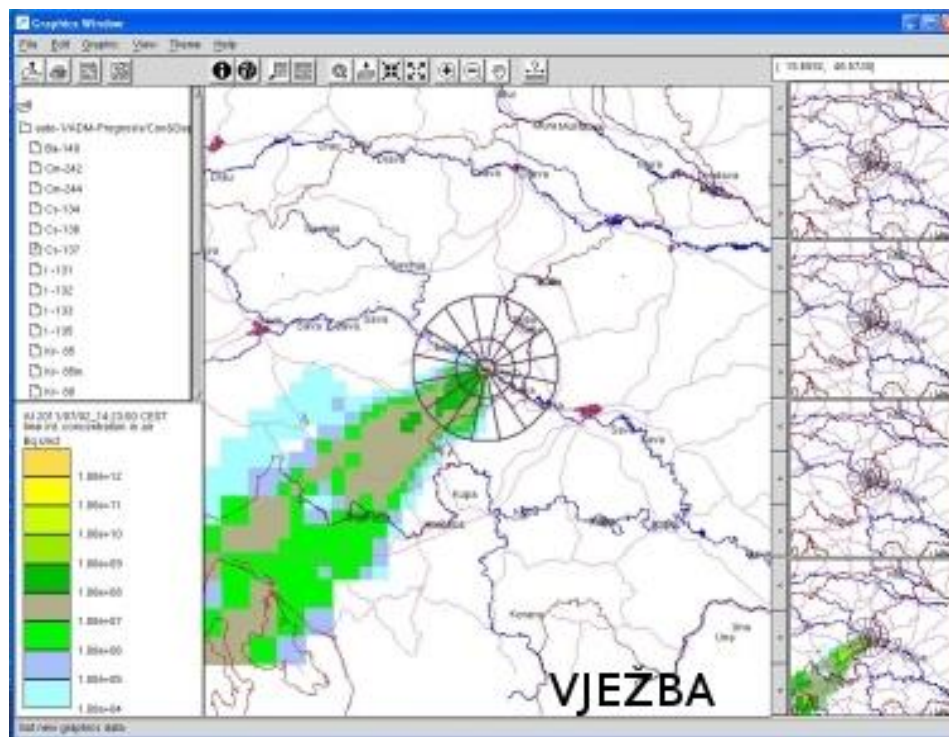


Slika 27: Prostorni razmještaj timova ISPCZ RH prema procjeni ugroženosti RH

#### 4.10. RODOS sustav za podršku u odlučivanju

RODOS (Real Time On Line DecisiOn Support System) sustav služi za numeričko modeliranje, uključivo u realnom vremenu, širenja radioaktivnosti i procjenu izloženosti stanovništva. Sustav omogućava dosljednu procjenu i prognozu moguće radiološke situacije te simuliranje mogućih mjera zaštite s vrednovanjem njihovih pozitivnih i negativnih učinaka. Čine ga mreža radnih stanica u ustanovama korisnicama i poslužitelja u Državnom zavodu za radiološku i nuklearnu sigurnost koji izvode programe prilagođene lokalnim i regionalnim

statičkim podacima, povezanim s izvorima radioloških i meteoroloških mjerenja te vremenskom prognozom. Poslužitelji u Zavodu i radne stanice korisnika povezane su zakupljenim fiksnim linijama u zatvorenoj mreži. Prihvat mjernih podataka u realnom vremenu ostvaruje se putem Interneta. Prikazana slika 26 je primjer jednog izračuna tijekom vježbe - nije povezana sa stvarnim stanjem i trenutnim meteorološkim uvjetima. [46]



Slika 28: RODOS sustav za podršku u odlučivanju- prikaz vježbe

#### 4.11. Upoznavanje građana sa mogućom opasnošću putem letka "Zaštita od utjecaja ionizirajućeg zračenja"

U okviru preventivnih mjera zaštite i spašavanja provodi se edukacija stanovništva na potencijalno ugroženom području. Iz tog razloga je Ured za upravljanje u hitnim situacijama Grada Zagreba u suradnji sa Državnom upravom za zaštitu i spašavanje i Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost izradio letak „Zaštita od utjecaja ionizirajućeg zračenja“. U letku se nalaze praktični savjeti za građane što raditi kako bi zaštitili sebe i svoje obitelji u slučaju radiološkog izvanrednog događaja, pobrojane su i objašnjene moguće mjere zaštite i to hitne i dugoročne mjere. Iako u Hrvatskoj nema nuklearnih elektrana, NE Krško u Sloveniji nalazi se svega 10,6 km od državne granice. S obzirom na broj i pouzdanost sigurnosnih sustava u nuklearnoj elektrani vjerojatnost da će se dogoditi nesreća opasna za stanovništvo vrlo je mala.

Međutim, moguće izravne i neizravne posljedice takve nesreće, osobito u okolnim područjima, zahtijevaju stalno poboljšanje pripremljenosti snaga zaštite i spašavanja.

Letak je tiskan u 500.000 primjeraka, u Gradu Zagrebu će se dostaviti 321.000 u sve poštanske sandučiće. Preostali dio namijenjen je za podjelu u Zagrebačkoj županiji.

Izrada, tisak i distribucija letka samo je jedna od aktivnosti u projektu „Priprema evakuacije u slučaju nuklearne nesreće“. Osnovni ciljevi projekta su poboljšati učinkovitost sustava zaštite i spašavanja u kriznim situacijama, povećati spremnost snaga zaštite i spašavanja i podići svijest stanovništva o zaštitnim mjerama. Projekt „Priprema evakuacije u slučaju nuklearne nesreće“ proveden je 2013. godine kao dio šireg programa Europske unije „Financijski instrument za civilnu zaštitu“ koji služi za financiranje „Mehanizma Zajednice za civilnu zaštitu“. [47]

## 5. ZAKLJUČAK

Iako u Republici Hrvatskoj nema nuklearnih elektrana, u blizine državne granice nalazi se Nuklearna elektrana Krško, a nešto dalje od granice je i Nuklearna elektrana Paks. Iz tog razloga moramo biti spremni reagirati u slučaju nezgode ili nesreće u tim elektranama, mada je vjerojatnost takvih događaja izuzetno mala. No više je primjera nesreća za koje je postojala mala vjerojatnost, a ipak su se dogodile. Ponekad je odgovoran isključivo čovjek (NE Černobil), a ponekad je pravi uzrok u prirodi koju ne možemo kontrolirati (NE Fukushima - potres i tsunami). Nekad je dovoljno da se spoji više situacija koje su manje opasne, ali zajedno mogu uzrokovati katastrofu. Iz tih razloga moramo se pripremiti i biti svjesni da rizik ipak postoji, iako je realno mali. Ne treba paničariti i hitno se iseliti, nego se treba upoznati sa mogućim razvojem događaja u slučaju katastrofe kako bi se svi pripremili na postupanje u tim okolnostima.

U tom dijelu je najvažnija preventivna edukacija. Svi moraju znati koje su opasnosti i na koji način se možemo najučinkovitije zaštititi od njih. Pritom ne mislim samo na građane, već i na djelatnike žurnih službi i operativnih snaga. Snage koje će provoditi mjere zaštite i spašavanja moraju biti pripremljene, opremljene, osposobljene i koordinirane kako bi se štetne posljedice velike nesreće ili katastrofe svele na što manju razinu. Iz tih razloga je provođenje vježbi postupanja u takvim ili sličnim situacijama od presudne važnosti. Jer sve je u redu dok se ne dogodi neka opasna situacija ili nesreća, no da bi bili spremni djelovati kad se nešto dogodi potrebno je uvježbati operativne snage i pripremiti adekvatnu opremu kako bi u slučaju pojave opasnosti mogli što prije djelovati i na taj način spasiti što više života, jer su oni neprocjenjivi.



## LITERATURA

- [1] <http://www.fsb.unizg.hr/termovel/Zracenje.htm>, Pristupljeno: 20.4.2015.
- [2] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, 39/15), Dostupno na: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_11\\_141\\_3012.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_11_141_3012.html) Pristupljeno: 23.3.2015.
- [3] [http://hr.wikipedia.org/wiki/Sievert\\_\(jedinica\)#cite\\_note-3](http://hr.wikipedia.org/wiki/Sievert_(jedinica)#cite_note-3) Pristupljeno: 21.4.2015.
- [4] <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/svec/UTJECAJ%20ZRA%C4%8CENJA%20NA%20ORGANIZAM/utjecaj%20ioniz.htm> Pristupljeno: 23.3.2015.
- [5] <http://personal.unizd.hr/~mdzela/nastava/KTF.pdf> Pristupljeno: 25.3.2015.
- [6] <http://161.53.18.5/static/erg/2001/kovac/d1.html> Pristupljeno: 23.3.2015.
- [7] [http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod\\_io.htm](http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod_io.htm) Pristupljeno: 24.3.2015.
- [8] <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2003/petricevic/ionizirajuće.html> Pristupljeno: 24.3.2015.
- [9] [http://www.nek.si/hr/elektricna\\_energija/zna\\_269\\_aj\\_nuklearne\\_energije/](http://www.nek.si/hr/elektricna_energija/zna_269_aj_nuklearne_energije/)  
Pristupljeno: 20.4.2015.
- [10] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [11] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/nuklearno\\_gorivo/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/nuklearno_gorivo/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [12] Martin E. James, Physics for Radiation Protection, knjiga, Copyright 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN: 3-527-40611-5, 222.-242. str.
- [13] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/nuklearno\\_gorivo/izrada\\_tableta\\_i\\_gorivnih\\_elementa/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/nuklearno_gorivo/izrada_tableta_i_gorivnih_elementa/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [14] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/nuklearni\\_reaktor/tipovi\\_reaktora/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/nuklearni_reaktor/tipovi_reaktora/)  
Pristupljeno: 20.4.2015.
- [15] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/nuklearni\\_reaktor/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/nuklearni_reaktor/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [16] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/nuklearni\\_reaktor/cijepanje\\_jezgre\\_i\\_lancana\\_reakcija/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/nuklearni_reaktor/cijepanje_jezgre_i_lancana_reakcija/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [17] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/rad\\_nek\\_a/sigurnosni\\_sustavi/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/rad_nek_a/sigurnosni_sustavi/)  
Pristupljeno: 20.4.2015.
- [18] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/rad\\_nek\\_a/kontrolna\\_soba/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/rad_nek_a/kontrolna_soba/)  
Pristupljeno: 20.4.2015.

- [19] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/briga\\_za\\_otpad/nisko\\_i\\_srednje\\_radioaktivni\\_otpad/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/briga_za_otpad/nisko_i_srednje_radioaktivni_otpad/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [20] [http://www.nek.si/hr/o\\_nuklearnoj\\_tehnologiji/briga\\_za\\_otpad/istroseno\\_nuklearno\\_gorivo/](http://www.nek.si/hr/o_nuklearnoj_tehnologiji/briga_za_otpad/istroseno_nuklearno_gorivo/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [21] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/nuklearne\\_elektrane\\_i\\_rizici/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/nuklearne_elektrane_i_rizici/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [22] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/nuklearne\\_elektrane\\_i\\_rizici/radioaktivne\\_tvori\\_u\\_jezgri/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/nuklearne_elektrane_i_rizici/radioaktivne_tvori_u_jezgri/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [23] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/nuklearne\\_elektrane\\_i\\_rizici/toplina\\_pri\\_radioaktivnome\\_raspadu/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/nuklearne_elektrane_i_rizici/toplina_pri_radioaktivnome_raspadu/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [24] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/nuklearne\\_elektrane\\_i\\_rizici/reguliranje\\_snage\\_reaktora/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/nuklearne_elektrane_i_rizici/reguliranje_snage_reaktora/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [25] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/ciljevi\\_i\\_nacela\\_sigurnosti/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/ciljevi_i_nacela_sigurnosti/)
- [26] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/ciljevi\\_i\\_nacela\\_sigurnosti/sigurnosni\\_ciljevi/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/ciljevi_i_nacela_sigurnosti/sigurnosni_ciljevi/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [27] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/ciljevi\\_i\\_nacela\\_sigurnosti/nacela\\_dubinske\\_obrane/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/ciljevi_i_nacela_sigurnosti/nacela_dubinske_obrane/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [28] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/zracenje\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/zracenje_i_zastita_od_zracenja/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [29] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/zracenje\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/izvori\\_i\\_vrste\\_zracenja/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/zracenje_i_zastita_od_zracenja/izvori_i_vrste_zracenja/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [30] [http://www.nek.si/hr/nuklearna\\_sigurnost\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/zracenje\\_i\\_zastita\\_od\\_zracenja/zastita\\_od\\_zracenja/](http://www.nek.si/hr/nuklearna_sigurnost_i_zastita_od_zracenja/zracenje_i_zastita_od_zracenja/zastita_od_zracenja/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [31] [http://www.nek.si/hr/okolis/mjerenja\\_emisija\\_i\\_radioaktivnosti\\_u\\_okolisu/](http://www.nek.si/hr/okolis/mjerenja_emisija_i_radioaktivnosti_u_okolisu/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [32] [http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji\\_na\\_okolis/](http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji_na_okolis/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [33] [http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji\\_na\\_okolis/tekuci\\_ispusti/](http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji_na_okolis/tekuci_ispusti/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [34] [http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji\\_na\\_okolis/plinoviti\\_ispusti/](http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji_na_okolis/plinoviti_ispusti/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [35] [http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji\\_na\\_okolis/ostali\\_utjecaji/](http://www.nek.si/hr/okolis/utjecaji_na_okolis/ostali_utjecaji/) Pristupljeno: 20.4.2015.
- [36] Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od prirodnih i tehničko - tehnoloških katastrofa i velikih nesreća, Dostupno na:

[PROCJENA\\_web\\_20.03.2013](#). Pristupljeno: 23.3.2015.

[37] [http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne\\_nesrece/ines\\_ljestvica](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne_nesrece/ines_ljestvica) Pristupljeno: 25.4.2015.

[38] [http://hr.wikipedia.org/wiki/INES\\_ljestvica](http://hr.wikipedia.org/wiki/INES_ljestvica) Pristupljeno: 25.4.2015.

[39] [http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne\\_nesrece/nuklearne\\_elektrane](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne_nesrece/nuklearne_elektrane) Pristupljeno: 25.4.2015.

[40] Plan zaštite i spašavanja za područje Republike Hrvatske (N.N. 96/10), Dostupno na: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_08\\_96\\_2707.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_08_96_2707.html) Pristupljeno: 23.3.2015.

[41] Procjena ugroženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara i okoliša za područje Zagrebačke županije, Dostupno na:

[http://www.zagrebicka-zupanija.hr/static/files/misc/zastita\\_i\\_spasavanje/procjena\\_ugrozenosti\\_zagrebacke\\_zupanije\\_2015.pdf](http://www.zagrebicka-zupanija.hr/static/files/misc/zastita_i_spasavanje/procjena_ugrozenosti_zagrebacke_zupanije_2015.pdf) Pristupljeno: 23.3.2015.

[42] [http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/sustav\\_pripravnosti](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/sustav_pripravnosti) Pristupljeno: 25.4.2015.

[43] Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja („Narodne novine“, 102/12), Dostupno na:

[http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012\\_09\\_102\\_2238.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_09_102_2238.html) Pristupljeno: 23.3.2015.

[44] [http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne\\_nesrece/zastitne\\_mjere](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/nuklearne_nesrece/zastitne_mjere) Pristupljeno: 25.4.2015.

[45] Pravilnik o ustrojstvu, popuni i opremanju postrojbi civilne zaštite i postrojbi za uzbunjivanje, Dostupno na:

<http://digured.srce.hr/arhiva/263/26986/www.nn.hr/clanci/sluzbeno/2007/3258.htm> Pristupljeno: 26.4.2015.

[46] [http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/potporni\\_sustavi/rodos](http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/potporni_sustavi/rodos) Pristupljeno: 25.4.2015.

[47] <http://www.zagreb.hr/default.aspx?id=55928> Pristupljeno: 26.4.2015.