



VISOKA ŠOLA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ

VISOKA ŠOLA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ

Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija
Program: Varstvo okolja

**ANALIZA PRIDOBIVANJA ELEKTRIČNE
ENERGIJE S POMOČJO JEDRSKIH
TEHNOLOGIJ V PRIMERJAVI Z OSTALIMI
VIRI**

Mentor: viš. pred. Anže Pungerčič, mag. jed. teh. Kandidatka: Nina Sonia Kovačič
Lektorica: Mija Čuk, univ. dipl. spl. jez.

Ljubljana, december 2023

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju viš. pred. Anžetu Pungerčiču, mag. jed. teh., za strokovno pomoč, podporo in usmerjanje pri pisanju diplomskega dela.

Zahvala gre tudi direktorici EKOSKLADA ge. Mojci Vendramin in moji nadrejeni ge. Vesni Črnilogar za podporo in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Miji Čuk, ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebna zahvala gre moji družini, prijateljem, sodelavcem in sodelavkam za njihovo podporo, motivacijo in ker so verjeli vame bolj, kot sem verjela sama vase skozi celoten študij.

IZJAVA

Študentka Nina Sonia Kovačič izjavljam, da sem avtorica tega diplomskega dela, ki sem ga napisala pod mentorstvom Anžeta Pungerčiča.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Potrebe po električni energiji se iz leta v leto povečujejo. Slovenija trenutno proizvede samo dobro polovico potrebne električne energije. Skoraj polovico energetskih virov moramo uvoziti, medtem ko moramo nafto in zemeljski plin uvoziti v celoti, saj teh virov ne želimo in ne moremo koristiti.

Pri vsem tem je pomemben tudi vpliv na okolje, saj so podnebne spremembe vedno bolj opazne in jih vedno bolj občutimo. Zato smo raziskali, katere tehnologije za pridobivanje električne energije so v Sloveniji najbolj pogoste, v kakšnem odstotku pridobivamo električno energijo iz teh tehnologij ter katere so njihove prednosti in slabosti.

Nahajamo se tudi v času, ko se načrtuje izgradnja novega bloka jedrske elektrarne v Krškem. Zelo verjetno, da se bomo o izgradnji drugega bloka odločali na referendumu. V ta namen smo na kratko opisali vse, kar je povezano z delovanjem jedrske elektrarne, da bi na referendumu odločitev za drugi jedrski reaktor ali proti njemu bila bolj strokovna.

Med januarjem in aprilom 2022 smo izvedli anketo, da bi ugotovili mnenje državljanov o tej temi. V času izvajanja ankete smo se nahajali v obdobju pred energetske krize, danes pa ta predstavlja vedno večji problem. Zato smo tudi poizkusili ugotoviti, če se je v tem času mnenje večine državljanov spremenilo.

Rezultati ankete, ki smo jo naredili, kažejo na to, da je strah pred radioaktivnim sevanjem še vedno prisoten, saj je dobra polovica anketiranih odgovorila, da so proti gradnji drugega jedrskega reaktorja.

Raziskali smo tudi fuzijo in možnost pridobivanja električne energije s pomočjo fuzijskih reaktorjev, ki so še v eksperimentalni fazi, kot sta JET in ITER. Planira se tudi izgraditev prve fuzijske elektrarne, ki naj bi se začela leta 2032, prvič pa naj bi iz nje dobili električno energijo leta 2050.

KLJUČNE BESEDE

- električna energija
- elektrarne
- fisija
- fuzija
- jedrska elektrarna

ABSTRACT

The demand for electricity is increasing year by year. Currently, Slovenia produces only just over half of the necessary electricity. Almost half of our energy resources have to be imported, while oil and natural gas must be entirely imported, as we neither want nor are able to utilize these resources.

In all this, the impact on the environment is also important, as climate changes are becoming more noticeable and their effects are being felt more and more. Therefore, we investigated which technologies for generating electricity are most common in Slovenia, what percentage of electricity we generate from these technologies, and what their advantages and disadvantages are.

We are also at a time when the construction of a new nuclear power plant block in Krško is being planned. It is very likely that the decision to build a second block will be made through a referendum. For this purpose, we briefly described everything related to the operation of a nuclear power plant, so that the decision for or against a second nuclear reactor in the referendum would be more professional.

Between January and April 2022, we conducted a survey to find out the opinion of citizens on this topic. At the time of conducting this survey, we were still in the period before the energy crisis, which today is becoming a bigger problem. Therefore, we also tried to find out if the opinion of the majority of citizens has changed during this time.

The results of the survey I conducted show that the fear of radioactive radiation is still present, as a good half of the respondents answered that they would be against the construction of a second nuclear reactor.

We also investigated fusion and the possibility of generating electricity with fusion reactors, which are still in the experimental phase, such as JET and ITER. The construction of the first fusion power plant is also planned, which is supposed to start in 2032, and the first electricity from it is expected to be obtained in 2050.

KEYWORDS

- electrical energy
- power plants
- fission
- fusion
- nuclear power plant

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Namen in cilji naloge.....	2
1.3	Predpostavke in omejitve.....	2
1.4	Metode dela.....	3
2	TEORETIČNE OSNOVE JEDRSKE ENERGIJE	4
2.1	Sevanje	4
2.2	Odkritje radioaktivnosti	5
2.3	Fisija in radioaktivni razpad.....	5
2.3.1	Sestava atoma.....	5
2.3.2	Razpad alfa	7
2.3.3	Razpad beta	7
2.3.4	Sevanje gama.....	8
2.3.5	Rentgenska svetloba	9
2.3.6	Merske enote	9
2.3.7	Razpolovna doba.....	10
2.4	Radiacijska bolezen.....	10
2.5	Fuzija.....	11
2.5.1	Sonce in fuzija	12
2.5.2	Fuzija kot vir električne energije.....	12
2.5.3	Stellarator	14
2.5.4	Tokamak.....	15
3	JEDRSKA ELEKTRARNA	16
3.1	Opis in delovanje Nuklearne elektrarne Krško	16
3.1.1	Termodinamični sklopi	16
3.1.2	Komandna soba.....	18
3.1.3	Zadrževalni hram	18
3.1.4	Skladišča za radioaktivne odpadke	18
3.1.5	Stikališče	19
3.1.6	Zgradba za rokovanje z radioaktivnimi tovari	19
3.1.7	Utrjena varnostna zgradba.....	19
3.1.8	Dekontaminacijska zgradba	20
3.2	Radioaktivni odpadki.....	20
3.2.1	Vrste radioaktivnih odpadkov	20
3.2.2	Skladiščenje in odlaganje RAO	21
3.2.3	Skladišče radioaktivnih odpadkov v NEK	22
3.2.4	Centralno skladišče za RAO v Brinju pri Ljubljani.....	22
3.2.5	Odlagališče Vrbina.....	23
3.3	Prednosti in slabosti jedrske energije.....	23
3.3.1	Prednosti jedrske tehnologije	23
3.3.2	Slabosti jedrske tehnologije	23

3.4	Pravna podlaga	24
4	PREGLED PREDNOSTI IN SLABOSTI OSTALIH NAJPOGOSTEJŠIH TEHNOLOGIJ ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	26
4.1	Elektrarne na fosilna goriva	26
4.1.1	Elektrarne na trda fosilna goriva	27
4.1.2	Elektrarne na tekoča fosilna goriva	29
4.2	Hidroelektrarne	30
4.2.1	Pretočne vodne elektrarne	31
4.2.2	Akumulacijske vodne elektrarne	31
4.3	Sončne elektrarne	33
4.3.1	Monokristalna silicijeva sončna celica	35
4.3.2	Polikristalna silicijeva sončna celica	35
4.3.3	Amorfna silicijeva sončna celica	35
4.3.4	Tankoslojne sončne celice	36
4.3.5	Sončne celice iz galijevega arzenida	36
4.3.6	Koncentrirane sončne celice	36
4.4	Vetrne elektrarne	37
4.4.1	Savoniusov rotor	38
4.4.2	Darrieusov rotor	38
4.4.3	Flettnerjev rotor	38
4.5	Primerjava tehnologij	39
4.5.1	Izpusti CO ₂	39
4.5.2	Uporaba prostora	40
4.5.3	Faktor zmogljivosti	41
4.6	Nesreče, povezane s pridobivanjem električne energije	42
5	ANKETA	45
5.1	Splošna vprašanja	45
5.2	Tematska vprašanja	47
5.3	Zaključki analize rezultatov ankete	53
5.4	Primerjava z drugimi anketami	54
6	PRIHODNOST PRIDOBIVANJA ELEKTRIČNE ENERGIJE S POMOČJO FUZIJE	56
6.1	JET	56
6.2	ITER	57
6.3	Prednosti in slabosti fuzijskih reaktorjev	58
7	ZAKLJUČEK	59
8	LITERATURA IN VIRI	61
	PRILOGA	67

KAZALO SLIK

Slika 1:	Ponazoritev delcev v atomu.....	6
Slika 2:	Cepitev jedra	6
Slika 3:	Razpad alfa	7
Slika 4:	Negativni razpad beta.....	8
Slika 5:	Pozitivni razpad beta	8
Slika 6:	Sevanje gama	9
Slika 7:	Upadanje radioaktivnosti elementov	10
Slika 8:	Stellarator, običajni (levo), optimizirani (desno)	15
Slika 9:	Tokamak	15
Slika 10:	Nuklearna elektrarna Krško	16
Slika 11:	Shema delovanja NEK	17
Slika 12:	Bazen za izrabljeno gorivo.....	22
Slika 13:	Viri električne energije	26
Slika 14:	Termoelektrarna Šoštanj	27
Slika 15:	Plinska elektrarna v Brestanici.....	29
Slika 16:	Hidroelektrarna Zlatoličje (kanalski tip)	31
Slika 17:	Monokristalni sončni panel	34
Slika 18:	Polikristalni sončni panel	35
Slika 19:	Vetrna elektrarna	38
Slika 20:	Izpusti CO ₂	40
Slika 21:	Uporaba prostora	40
Slika 22:	Faktor zmogljivosti.....	42
Slika 23:	Černobil nekaj dni po nesreči	44
Slika 24:	Spol.....	45
Slika 25:	Starost.....	46
Slika 26:	Izobrazba	46
Slika 27:	Območje bivanja.....	47
Slika 28:	Odnos do jedrske tehnologije nasploh	47
Slika 29:	Odnos do jedrske tehnologije nasploh	48
Slika 30:	Zaskrbljenost zaradi izgraditve JE v bližini bivališča	49
Slika 31:	Zaradi katerih dejavnikov pri JE obstaja največja zaskrbljenost	50
Slika 32:	Najboljša možnost pridobivanja električne energije.....	51
Slika 33:	Pri kateri oddaljenosti od doma bi bila graditev jedrske elektrarne še sprejemljiva	52
Slika 34:	Odločitev o gradnji drugega jedrskega reaktorja v NEK.....	52
Slika 35:	Notranjost tokamaka v JET-u	57
Slika 36:	ITER	57

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prednosti in slabosti jedrske elektrarne	24
Tabela 2: Prednosti in slabosti elektrarne na premog.....	28
Tabela 3: Prednosti in slabosti plinskih elektrarn.....	30
Tabela 4: Prednosti in slabosti hidroelektrarn.....	33
Tabela 5: Prednosti in slabosti sončne elektrarne	37
Tabela 6: Prednosti in slabosti vetrne elektrarne.....	39
Tabela 7: Primerjava odgovorov na vprašnji o odnosu do NEK in JT nasploh.....	48
Tabela 8: Primerjava odgovorov na vprašnji o odnosu do NEK in zaskrbljenosti zaradi izgraditve JE v bližini bivališča	50
Tabela 9: Prednosti in slabosti fuzijskega reaktorja	58

KRATICE IN AKRONIMI

CdTe:	kadmijev telurid
CIGS:	bakrov indij galijev diselend
CO:	ogljikov monoksid
CO ₂ :	ogljikov dioksid
DNK:	Deoksiribonukleinska kislina
H ₂ SO ₄ :	žveplova kislina
HE:	hidroelektrarna
ICJT:	Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo
JE:	jedrska energija, jedrska elektrarna
JEK2:	Jedrska elektrarna Krško 2
JT:	jedrska tehnologija
K:	kelvin
MWh:	megavatna ura
NEK:	Nuklearna elektrarna Krško
NO ₂ :	dušikov dioksid
NO _x :	dušikovi oksidi
NSRAO:	nizko in srednje radioaktivni odpadki
O ₃ :	ozon
PM ₁₀ in PM _{2,5} :	trdni ali tekoči delci, ki so ujeti v aerosolih
RAO:	radioaktivni odpadki
SO ₂ :	žveplov dioksid
SO ₃ :	žveplov trioksid
VRAO:	visoko radioaktivni odpadki

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Na področju energetike je največji uspeh človeštva uporaba energije jeder atoma za pridobivanje električne energije. Tako imenovane jedrske elektrarne imajo nizek ogljični odtis in so posledično odlična alternativa za pridobivanje električne energije v primerjavi s konvencionalnimi viri (npr. premog, zemeljski plin). Slednje je zelo pomembno, saj se nahajamo v času energetske krize in podnebnih sprememb, kjer je razogljčenje družbe na prvem mestu.

Jedrska energija marsikomu vzbuja strah. Eden izmed razlogov je povezava z jedrskim orožjem, ki je bilo uporabljeno leta 1945 na Japonskem v mestih Hirošima in Nagasaki, kjer je zaradi udarnega vala in radiacijske bolezni življenje izgubilo veliko ljudi. Drugi pomemben razlog so jedrske nesreče. Največji in najbolj odmevni nesreči jedrskih elektrarn sta nesreči v ukrajinskem mestu Pripjat v jedrski elektrarni Černobil in na Japonskem v jedrski elektrarni Fukušima. V Černobilu je leta 1986 prišlo do eksplozije jedrskega reaktorja. Razlog za nesrečo je bil človeški dejavnik, od političnega pritiska do napačnih strokovnih odločitev. V Fukušimi leta 2011 je zaradi cunamija prišlo do odpovedi rezervnih dizelskih agregatov, kar je privedlo do taljenja sredice reaktorjev. Kljub temu je zaradi nesreče življenje izgubil samo en človek, v primerjavi z 20.000 žrtvami zaradi potresa in cunamija.

Kljub slabostim ima jedrska tehnologija veliko prednosti. Na svetu je veliko držav, ki pridobivajo električno energijo iz jedrskih elektrarn zaradi velike gostote energije in majhnega negativnega vpliva na okolje. Mednarodna skupnost se zaveda, da jedrske elektrarne predstavljajo določeno tveganje, zato vsi, ki so vpleteni v delovanje le-teh, med seboj sodelujejo in si delijo izkušnje. V ta namen obstajajo mednarodne organizacije, ki nadzorujejo delovanje jedrskih elektrarn. Primer takšnih organizacij so Mednarodna agencija za jedrsko energijo (IAEA), Svetovno združenje podjetij, ki upravljajo vse jedrske elektrarne na svetu (WANO), in Svetovno jedrsko združenje (WNA). Takšne organizacije skrbijo, da se iz prej omenjenih nesreč naučimo in izboljšamo varnost v jedrskih elektrarnah po svetu.

Vsaka država, ki ima jedrske elektrarne, mora poskrbeti tudi za jedrske odpadke. Teh odpadkov ni veliko, pa kljub temu predstavljajo določeno tveganje ob nepravilnem rokovanju. Za te odpadke je treba pravilno poskrbeti, saj se radioaktivni odpadki razlikujejo med sabo. Radioaktivnih odpadkov ne proizvajajo samo jedrske elektrarne, ampak nastajajo tudi v medicini, raziskavah in industriji.

Nekatere države so se jedrski tehnologiji odpovedale (npr. Nemčija, Italija, Avstrija) in za pridobivanje električne energije uporabljajo druge tehnologije, kot so

hidroelektrarne, sončne elektrarne, vetrnice, geotermalna energija, elektrarne na fosilna goriva. V diplomskem delu bomo preverili, kakšne prednosti in slabosti imajo te tehnologije v primerjavi z jedrsko tehnologijo.

Tudi Slovenija je jedrska država. Poleg raziskovalnega reaktorja v Ljubljani imamo jedrsko elektrarno v Krškem, katere lastništvo si delimo s Hrvaško, vsaka država je lastnica polovice jedrske elektrarne. Ta elektrarna ima eno 700 MW_e enoto, od tega ostane 350 MW_e v Sloveniji. Zaradi vedno večjih potreb po elektriki, staranja Nuklearne elektrarne Krško (v nadaljevanju NEK) in razogljichenja družbe je planirana izgradnja drugega bloka. Obstaja velika verjetnost, da se bomo državljani Slovenije na referendumu odločali za ali proti izgradnji drugega bloka Jedrske elektrarne Krško. V diplomskem delu bomo poskusili ozavestiti bralce z dejstvi o jedrski tehnologiji za morebitno lažje odločanje na referendumu, ki bo odločal o prihodnosti jedrske energije v Sloveniji.

1.2 Namen in cilji naloge

Osnovni namen diplomskega dela je opisati različne tehnologije, ki jih v Sloveniji uporabljamo za pridobivanje električne energije. Predstaviti želimo vse povezave z jedrskimi elektrarnami, opisati delovanje le-teh ter predstaviti njihove prednosti in slabosti. Namen je tudi opisati možnosti pridobivanja električne energije v prihodnosti s pomočjo fuzije. Vzporedno z razvojem fisijskih reaktorjev je ves čas potekal tudi razvoj fuzijskih reaktorjev. V namen boljšega razumevanja so predstavljene fizikalne teoretične osnove.

Cilj diplomskega dela je približati bralcem delovanje jedrskih elektrarn za lažjo odločitev, če se bomo morali na referendumu odločati za gradnjo drugega bloka NEK, saj bomo s tem tudi odločali o prihodnosti nuklearne energije v Sloveniji.

1.3 Predpostavke in omejitve

Potrebe po električni energiji se iz leta v leto povečujejo, predvideva pa se izgradnja nove (druge) jedrske elektrarne v Krškem. Projekt je zaenkrat poimenovan Jedrska elektrarna Krško 2 (v nadaljevanju JEK2). V Slovenijo uvozimo skoraj polovico električne energije, prav tako moramo uvažati energetske vire. Z izgradnjo JEK2 bi lahko ta uvoz nekoliko zmanjšali.

Preverili bomo, kakšen je odnos državljanov do jedrske tehnologije. Glavna predpostavka je, da jedrska tehnologija pri večini spodbuja strah ali vsaj nelagodje, zato smo pričakovali od večine negativen odziv na izgradnjo drugega bloka.

Omejitev je predvsem v tem, da pri anketi nismo dobili pravega reprezentativnega vzorca. Anketiranci so bili sorodniki, prijatelji, znanci, sodelavci in njihovi sorodniki,

znanci, sodelavci itd. Večina anketirancev je iz Ljubljane, ožje in širše okolice, kar je vplivalo na rezultat ankete.

1.4 Metode dela

Diplomsko delo bo sestavljeno iz teoretičnega in empiričnega dela. V teoretičnem delu bomo na kratko opisali različne tehnologije za pridobivanje električne energije, malo bolj podrobno opisali jedrsko tehnologijo in vse, kar je povezano s tem. Opisana bo tudi možnost pridobivanja električne energije s pomočjo fuzije.

Empirični del naloge pa predstavlja anketa, s katero smo preverili, kakšno je splošno mnenje o jedrski tehnologiji in o izgraditvi drugega jedrskega bloka v NEK. Anketa je bila izvedena med januarjem in aprilom 2022. Rezultati ankete so bili primerjani z znanstvenimi podatki.

Metode dela, ki bodo uporabljene v diplomskem delu:

- z induktivno-deduktivno metodo bomo iz praktičnega dela oz. ankete sklepali, kakšen je pogled javnosti na jedrsko tehnologijo;
- z opisno metodo bomo opisali različne tehnologije za pridobivanje električne energije;
- s primerjalno metodo bomo med seboj primerjali različne tehnologije za pridobivanje električne energije;
- z metodo anketiranja bomo ugotavljali, kakšen je odnos javnosti do jedrske tehnologije.

2 TEORETIČNE OSNOVE JEDRSKE ENERGIJE

Pojmi, kot sta sevanje in radioaktivnost, pri ljudeh nemalokrat vzbudijo skrb, nelagodje ali celo strah, predvsem zaradi nesreč v jedrskih elektrarnah in povezave z atomskimi bombami. Največ strahu verjetno vzbujajo slike ljudi, ki so bili izpostavljeni smrtnim dozam sevanja, in pa dejstvo, da večina o sevanju ve zelo malo. Zato še danes med ljudmi krožijo neresnice, polresnice ali celo miti. Posledično bomo v naslednjem poglavju raziskali, kaj se skriva za temi pojmi.

2.1 Sevanje

Sevanje predstavlja normalni del narave in življenja, brez sevanja ne bi bilo vesolja, zvezd, planetov, niti nas. Sevanje je nujno potrebno za naš obstoj, obstoj našega planeta in vsega okoli nas. Med sevanje štejemo tudi svetlobo, toploto, zvok. Stalno smo izpostavljeni različnim oblikam sevanja, ki so lahko naravna ali umetna. Naravna sevanja predstavljajo Sonce, vsa telesa, ki oddajajo toploto, kozmično sevanje, sevanje Zemlje. Umetna sevanja pa so tista, ki so nastala zaradi človekovega delovanja, kot so: naprave za pridobivanje, prenos in uporabo električne energije, naprave, ki se uporabljajo v medicini, industriji, gospodinjstvu, telekomunikacij itd. Z besedo sevanje tako označujemo električna in mehanska valovanja in valovanja magnetnih polj ter delcev, ki oddajajo energijo v prostor. Vpliv sevanja na naše zdravje je odvisen od vrste sevanja in prejete doze sevanja. Ni pa odvisno od tega, ali gre za naravno ali umetno sevanje. Ločimo ionizirajoče in neionizirajoče sevanje (Marhl et al., 2017).

Neionizirajoča sevanja so sevanja, ki nimajo dovolj energije, da bi razbila atome na elektrone in ione. To so: vidna, infrardeča in ultravijolična svetloba ter radijski in mikrovalovi. Ta sevanja so elektromagnetna valovanja in se razlikujejo po valovni dolžini ter s tem tudi energiji, ki jo nosijo fotoni (Kvarkadabra, 2000).

Neionizirajoče sevanje lahko npr. s segrevanjem prenese energijo v tkivo ali material, vseeno pa ne poškoduje tkiva oz. DNK, saj zato nima dovolj energije (International Agency for Research on Cancer, 2016).

Ionizirajoča sevanja pa so tista, ki imajo dovolj energije, da lahko cepijo kemijske vezi. Pri svojem razpadu oddajajo delce ali močne žarke, ki so lahko škodljivi. To so delci alfa, beta, gama in rentgenski ali X žarki. Pri ionizirajočem sevanju v telesu nastanejo prosti radikali, ki vplivajo na delovanje celic. Lahko poškodujejo dedno informacijo celice (v nadaljevanju DNK). To lahko povzroči nepravilno delitev celic, kar lahko pripelje do degenerativnih sprememb (Zdešar, 2011).

2.2 Odkritje radioaktivnosti

Prvi, ki je odkril dokaze o radioaktivnosti, je bil francoski fizik Antoine Henri Becquerel. Rodil se je 15. 12. 1852 v družini znanstvenikov, saj se je njegov oče ukvarjal s fluorescenco in fosforescenco, njegov ded pa z elektrokemijo, verjetno ga je zato znanost začela zanimati že v otroštvu.

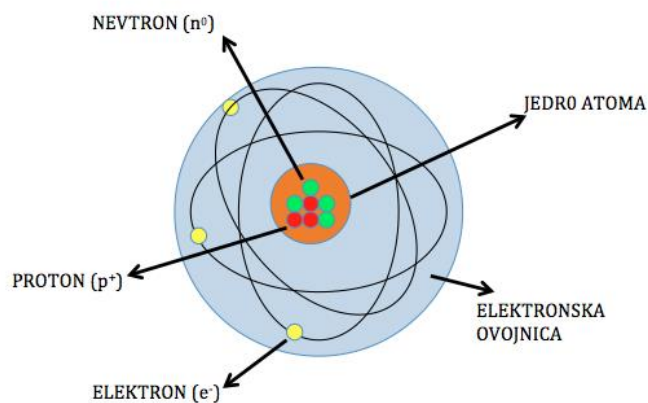
Henri Becquerel je radioaktivnost odkril po naključju. Bilo je leta 1896, ko je Henri pospravil fotografske plošče v predal svoje pisalne mize. Na plošče je položil ključke, na ključke pa škatlo z minerali, ki so vsebovali uran. Nekaj tednov kasneje je hotel uporabiti fotografske plošče, vendar se ni spomnil, ali so že bile uporabljene ali ne, zato je eno ploščo razvil, da bi se prepričal. Ko je ploščo razvil, je videl podobo ključev v enakem položaju, kot jih je pustil na plošči. Ni se spomnil, da bi kdaj ključke slikal, spomnil pa se je, da je bila na ključih škatla z minerali. Pomislil je, da morajo iz mineralov prihajati žarki, ki so pustili sliko ključev na fotografski plošči, kljub temu da plošča ni bila osvetljena s sončno svetlobo. Tako je raziskal minerale in njihovo kemijsko sestavo ter ugotovil, da so sliko za sabo pustili žarki iz urana. Kasneje je ugotovil, da je del tega sevanja sestavljen iz malih nabitih delcev, da gre za negativni del sevanja, ki je v resnici snop elektronov (IAM študent, 2023).

2.3 Fisija in radioaktivni razpad

Eden najpomembnejših virov pridobivanja električne energije z nizkim ogljičnim odtisom je jedrska energija. To je energija, ki se sprosti pri cepitvi jeder ali fisiji in zlivanju jeder ali fuziji. V obeh primerih se sprosti energija, ki jo lahko uporabimo za pridobivanje električne energije. V nadaljevanju bosta ti dve reakciji opisani.

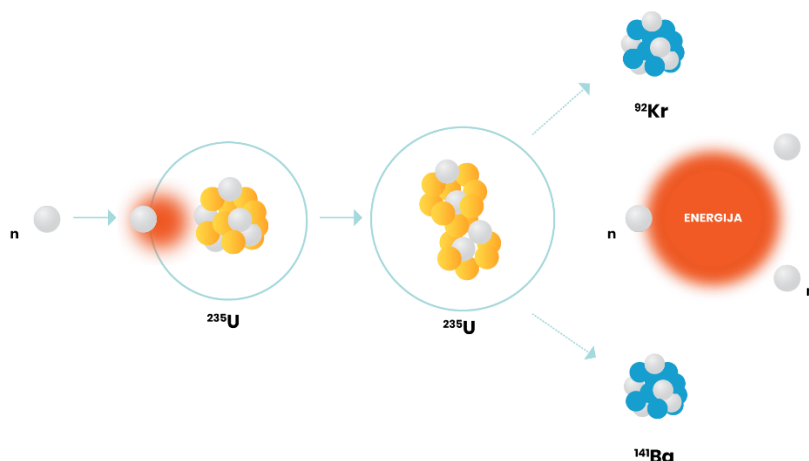
2.3.1 Sestava atoma

Slika 1 prikazuje atom, ki je sestavljen iz jedra in elektronske ovojnice. Jedro je sestavljeno iz pozitivno nabitih protonov, ki jih označimo s p^+ , in iz nevtralnih nevtronov, ki jih označujemo z n^0 in nimajo naboja. V elektronski ovojnici pa se z veliko hitrostjo gibajo elektroni, ki imajo negativen naboj in jih označujemo z e^- . Večina mase je zbrana v jedru atoma, saj imajo protoni in nevtroni veliko večjo maso od elektronov (Stritar in Istenič, 1997).



Slika 1: Ponazoritev delcev v atomu
(Vir: Openprof, 2023)

Slika 2 prikazuje fisijo ali jedrsko cepitev. Neutron se absorbira v jedru težkega elementa in ga razcepi na dve lažji jedri, pri tem se del mase pretvori v energijo po enačbi $E = mc^2$ (Stritar in Istenič, 1997).



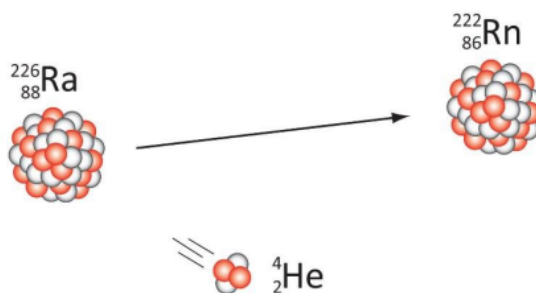
Slika 2: Cepitev jedra
(Vir: Nuklearna elektrarna Krško, 2023a)

Energija, ki se je sprostil, se odraža v hitrosti dveh novih jeder, dveh ali treh nevtronih in gama žarkih (Stritar in Istenič, 1997).

Ionizirajoča sevanja pa delimo naprej na alfa, beta in gama sevanje ter X žarke oz. rentgensko svetlobo (Stritar in Istenič, 1997).

2.3.2 Razpad alfa

Slika 3 prikazuje razpad alfa. Sevanje alfa pomeni, da nestabilno jedro atoma odda delec alfa, ki je helijevo jedro. To je sestavljeno iz dveh pozitivno nabitih protonov in dveh nevtralnih nevtronov. Novi atom je bolj stabilen, njegovo vrstno število se zmanjša za dva, masno število pa za štiri (Jenčič, 2013).



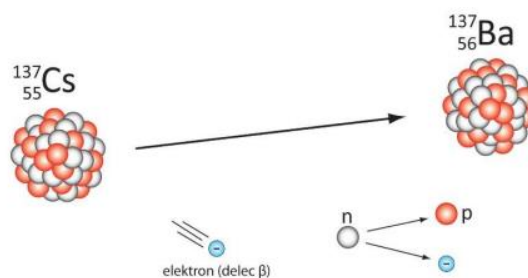
Slika 3: Razpad alfa
(Vir: Jenčič, 2013, str. 13)

Delci alfa so pozitivno nabiti delci, ki so veliki, težki in masivni in se zato gibljejo počasi. Ti delci lahko v zraku prepotujejo le nekaj centimetrov, zaustavi pa jih lahko že list papirja ali povrhnjica kože. Zato ti delci postanejo nevarni samo, če jih vnesemo v telo s hrano, vodo ali pa jih vdihavamo (Wingate, 1993).

2.3.3 Razpad beta

Pri aktivnih jedrih beta je razmerje med številom protonov in nevtronov nestabilno, torej imajo presežek protonov ali nevtronov. Ločimo negativni in pozitivni razpad beta (Jenčič, 2013).

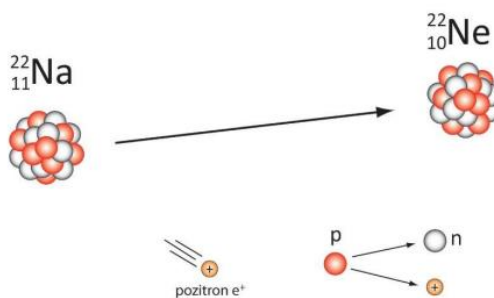
Slika 4 prikazuje negativni razpad beta. O negativnem razpadu govorimo, kadar imajo presežek nevtronov. Nestabilno jedro atoma odda delec beta, ta nastane v jedru ob pretvorbi nevtrona v pozitivno nabit proton in negativno nabit elektron. V tem primeru se novemu atomu vrstno število poveča za ena, medtem ko masno število ostane enako. Pri tem razpadu nastane tudi delec brez mase – nevtrino, ki ne reagira s snovjo ali okolico (Jenčič, 2013).



Slika 4: Negativni razpad beta

(Vir: Jenčič, 2013, str. 13)

Slika 5 prikazuje pozitivni razpad beta. Pri pozitivnem razpadu beta pa se proton v jedru pretvori v nevtron in pozitivno nabit elektron (antidelec elektrona), ki mu pravimo delec beta plus ali pozitron. Pri tem razpadu se novonastalemu atomu vrstno število zmanjša za ena, masno število pa ostane enako (Jenčič, 2013).



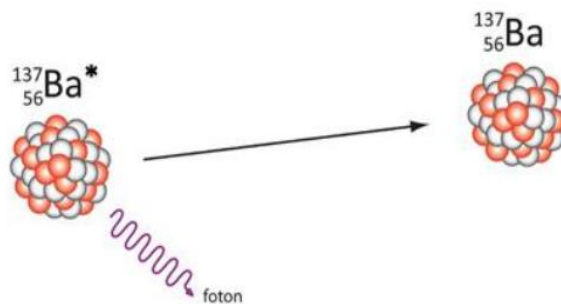
Slika 5: Pozitivni razpad beta

(Vir: Jenčič, 2013, str. 14)

Beta delci so lažji in bolj prodorni kot alfa delci, v zraku lahko prepotujejo razdaljo enega metra. Hitrost je odvisna od energije. Za zaustavitev teh delcev je zato potrebnih nekaj milimetrov kovine, kot so svinec, aluminij ali baker (Jenčič, 2013).

2.3.4 Sevanje gama

Slika 6 prikazuje sevanje gama. Sevanje gama ali gama žarki skoraj vedno spremljajo sevanji alfa in beta. V tem primeru nestabilno jedro atoma odda foton v prehodu v stabilnejše stanje. Foton je nevtralen, zato vrstno in masno število ostaneta enaki (Golli, 2015).



Slika 6: Sevanje gama
(Vir: Golli, 2015)

Gama žarki se premikajo s svetlobno hitrostjo in imajo najvišjo frekvenco sevanja. So med najnevarnejšimi za ljudi in druga živa bitja, saj se brez težav gibljejo skozi človeško telo. Te delce lahko zaustavi šele več centimetrov debela plast betona, svinca ali vode (Mrežna meteorologija, 2023).

2.3.5 Rentgenska svetloba

Rentgenska svetloba je elektromagnetno valovanje z visoko energijo, ki ima veliko prodorno moč tako kot gama žarki, le da imajo manjšo energijo in večjo valovno dolžino. Dobimo jo lahko na dva načina:

- zavorno sevanje: upočasnjevanje pospešenih elektronov v bližini jeder,
- značilno ali karakteristično sevanje: prehodi med energijskimi stanji elektronov v elektronski ovojnici.

Rentgenska svetloba nastane v rentgenski cevi. Zaradi termične emisije iz katode izhajajo elektroni, ki jih električno polje med katodo in anodo pospeši, in pred trkom dobijo maksimalno kinetično energijo. Ta kinetična energija se spremeni v toploto, manjši del pa v žarke X (Jevtič et al., 2014).

2.3.6 Merske enote

Poznamo kar nekaj merskih enot, s katerimi merimo količine sevanja:

- Gy – gray (merimo absorbirano dozo sevanja),
- Sv – sievert (za merjenje ekvivalentne doze – je merilo za različne učinke, ki jih ima posamezna vrsta ionizirajočih sevanj na posamezno tkivo ali organ),
- Bq – becquerel (izraža aktivnost radioaktivnega vira, 1 bq pomeni en razpad jedra v sekundi).

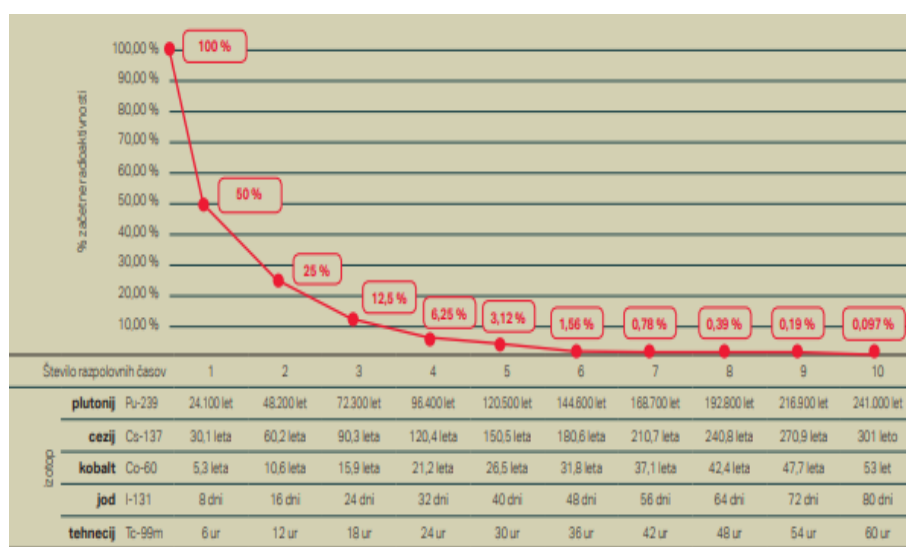
Obstajajo še stare merske enote (IAM študent, 2023):

- rad – (en rad = 0,001 Gy),

- Ci – curie (stara enota za aktivnost in pomeni 37 milijard razpadov v eni sekundi),
- rutherford (1 rutherford pomeni milijon razpadov v sekundi).

2.3.7 Razpolovna doba

Slika 7 prikazuje upadanje radioaktivnosti elementov. Radioaktivnost snovi se zaradi radioaktivnega razpada s časom zmanjšuje. Kako hitro se bo radioaktivnost zmanjšala, je odvisno od razpolovnega časa. Različni elementi razpadajo z različno hitrostjo. Nekateri elementi lahko razpadajo več 10.000 let, nekateri pa razpadejo že v nekaj urah. Radioaktivnost s časom upada, in sicer se po preteku vsake razpolovne dobe radioaktivnost zniža za polovico od prejšnjega stanja. Po desetih razpolovnih dobah je radioaktivnost manjša kot 0,1 % od začetne vrednosti (ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke, 2023b).



Slika 7: Upadanje radioaktivnosti elementov
(Vir: ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke, 2023b)

2.4 Radiacijska bolezen

Prekomerna izpostavljenost ionizirajočemu radioaktivnemu sevanju v zelo kratkem času lahko privede do radiacijske bolezni. Kako hudi bodo simptomi bolezni, pa je odvisno od količine sevanja, ki se absorbira v telesu, pogosto pa pride do smrti. Rentgensko in CT-slikanje ne povzročata radiacijske bolezni. Radiacijskemu sevanju so najbolj izpostavljene celice sluznice, prebavil in krvne celice. V primeru, da je doza sevanja, ki jo prejme telo, višja od enega Gy, se pojavijo simptomi radiacijske bolezni, ki so ozdravljivi. Pri dozah, višjih od 6 Gy, pa večinoma pride do smrti, lahko že v dveh dneh do dveh tednih. Radiacijsko bolezen spremljajo naslednji simptomi: vročina, slabost, zmedenost, slabo počutje, šibkost, znižan krvni pritisk, krvava driska,

bruhanje krvavih izbljuvkov, slabo celjenje ran, močno izpadanje in izguba las. Simptomi lahko nastopijo že v času ene do šest ur, odvisno od prejete količine sevanja. Pri dozi 10 Gy pa nastopijo vsi naštetih simptomi že v eni uri. Po prvih znakih simptomov se lahko stanje umiri in je obolela oseba lahko nekaj časa brez znakov bolezni, temu pa sledi nov krog simptomov, ki so intenzivnejši. Sevanje alfa lahko zaustavi že list papirja in ne prodre pod povrhnjico. Nevarno pa je, če sevanje alfa pride v telo in nas obseva od znotraj. Sevanje beta lahko ustavi plast snovi, ki je debela samo nekaj milimetrov, poškoduje pa lahko kožo in oči.

Sevanje gama pa lahko znatno oslabi šele več centimetrov debela plast svinca, ta pa lahko poškoduje naše notranje organe (Kojič, 2011).

Pri sevanju obstaja samo en način preventive, in sicer izogibanje sevanju, vse ostalo je kurativa. Ob preveliki dozi sevanja ali če sumimo, da smo prejeli preveliko dozo sevanja, je prvi ukrep zmanjšanje izpostavljenosti sevanju in zmanjševanje odmerka obsevanja, sledi dekontaminacija oz. odstranitev zunanjih radioaktivnih delcev. To zajema čiščenje oblačil in obutve, s tem odstranimo 90 % zunanjih radioaktivnih delcev, sledi umivanje z milom in vodo. S tem preprečimo raznašanje radioaktivnih delcev (Kojič, 2011).

Zdravljenje poškodovanega kostnega mozga poteka z uporabo zdravil na osnovi beljakovin, da preprečimo nadaljnje okužbe. Pri hudih poškodbah kostnega mozga pa je potrebna transfuzija rdečih krvnih celic ali krvnih ploščic.

Poškodbe notranjih organov pa lahko zmanjšamo s kalijevim jodidom, ki je neradioaktivna oblika joda. Pri zdravljenju moramo doseči primerno raven joda v telesu, kar je pomembno za pravilno delovanje ščitnice. Kalijev jodid ščitnici preprečuje absorpcijo radioaktivnega joda, ki se sčasoma izloči iz telesa z urinom.

Pruska modra je barvilo, ki nase veže radioaktivne delce, kot sta cezij in talij, ki jih telo izloči z blatom, to pa zniža raven radioaktivnih delcev v telesu.

Dietilentriaminpentaocetna kislina se veže na delce radioaktivnega plutonija, americija in kirija ter se nato izloči iz telesa z urinom in s tem se sevanje zmanjša.

Pri osebah, ki so prejele 6 Gy sevanja ali več, pa so možnosti za ozdravitev minimalne. Običajno smrt nastopi že v dveh dneh do dveh tednov. Ti ljudje dobijo zdravila proti bolečinam, driski, bruhanju in slabosti (Kojič, 2011).

2.5 Fuzija

Fuzija je fizikalni proces pridobivanja energije, ki je bila odkrita in teoretično opisana kmalu po odkritju fisije. Tako kot pri fisiji se tudi pri fuziji masa pretvarja v energijo.

Masa nastalega jedra je manjša, kot je seštevek mas delcev pred procesom. Fiziki, ki so to teorijo raziskovali, so odkrili fisijo in fuzijo.

2.5.1 Sonce in fuzija

Sonce sestavljajo zmesi plinov, predvsem vodika in helija. V notranjosti Sonca je izredno visok tlak zaradi velike gostote sončevega jedra in visoke temperature v sončevem jedru. Sončevo jedro ima temperaturo od 15 do 20 milijonov K (v nadaljevanju Kelvin). Sonce pa drži skupaj gravitacija. Vsa snov, ki je v sončevem jedru, je v stanju plazme zaradi visoke temperature. Plazmi pravijo tudi četrto agregatno stanje. Električno nevtralni atom sestavljajo jedro in elektroni, ki krožijo okoli jedra. Jedro je sestavljeno iz pozitivno nabitih protonov in nevtralnih nevtronov, ki nimajo električnega naboja, okrog tega jedra pa krožijo elektroni, ki imajo negativen električni naboj. Atom vodika je najosnovnejši, katerega jedro ima en proton, okoli njega pa kroži elektron. Pri zelo visokih temperaturah, kot so na Soncu, atom razpade. Torej je sončeva plazma sestavljena iz pozitivno nabitih jeder in elektronov, ki krožijo okrog njega. V vidnem polju vesolja plazma predstavlja kar 99 % snovi, na Zemlji pa je to agregatno stanje izjemno redko. Torej potek fuzije omogočata visoka temperatura in velika gostota v jedru Sonca. Odbojna sila med jedri deluje zaradi prisotnosti odbojnih sil med telesi, ki so naelektrena z nabojem enakega predznaka. Za preboj te sile pa je potrebna še višja temperatura, kot je v Sončevem jedru. Potek fuzije na Soncu sta razkrila kvantna mehanika in pojav tuneliranja, ki je z njo povezan. Na Soncu je najpogostejša oblika fuzije, da se štirje protoni zlijejo v helijevo jedro. Dva protona se najprej združita in tako oblikujeta jedro težkega izotopa vodika, ki mu pravimo devterijevo jedro. Za združitev teh dveh protonov je lahko potrebnih tudi nekaj milijonov let, torej združitev poteka zelo počasi, kar je tudi vzrok, da Sonce sveti že pet milijard let in svetilo naj bi še enkrat toliko časa. Nato se devterijevo jedro združi še z enim protonom, da nastane jedro lahkega vodikovega izotopa helij-3. Dve jedri helij-3 se združita in s tem nastane helij-4 z dvema protonoma. Na ta način se štirje protoni zlijejo v helijevo jedro. Masa tega helijevega jedra je manjša od mase štirih protonov, iz katerih je jedro nastalo, ker se je masa pretvorila v energijo. Ta energija pa se prenaša navzven kot toplota in potuje kot sevanje skozi radiacijsko plast in se z oddaljenostjo od jedra ohlaja, naprej preide v fotosfero, kjer jo vidimo kot sončno svetlobo. Torej fuzija omogoča življenje na Zemlji. Z razumevanjem fuzije Sonca se je njen razvoj lahko začel tudi na Zemlji (McCracken in Stott, 2005).

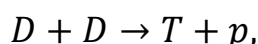
2.5.2 Fuzija kot vir električne energije

Fuzija, ki poteka na Soncu, je zelo počasna in lahko traja milijone let, zato je neprimerna za pridobivanje električne energije. Za pričetek fuzije na Zemlji je kot začetno jedro najbolj primeren devterij, ki je naravni izotop vodika. Za razliko od navadnega vodika, ki nima protona v jedru, ima devterij v jedru en proton in en nevtron. Devterij najdemo v vodi, ki obstaja na Zemlji in vsebuje skupne mase

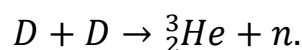
devterija 10^{15} ton. Na leto bi za pridobivanje električne energije potrebovali približno 1000 ton devterija, kar pomeni, da imamo devterija v neomejeni količini (McCracken in Stott, 2005).

Pri zlitju dveh devterijev, ki ga označujemo z D, dobimo skupaj dva protona in dva nevtrona, ki se lahko razporedita na dva različna načina:

- dobimo lahko tritij, ki ga označujemo s črko T, in proton, torej jedro z enim protonom in dvema nevtronoma:



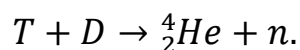
- izotop helij-3 in nevtron, torej jedro z dvema protonoma in enim nevtronom:



Tritij označujemo s črko T ali ${}^3\text{H}$ in je izotop vodika. Jedro sestavljajo en proton in dva nevtrona. Pridobivajo ga v laboratorijih z obstreljevanjem litija z nevtroni, saj ga v naravi ni. Litij pa se nahaja v zemeljski skorji (Vojvodič-Tuma et al., 2005).

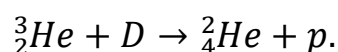
Tritij ponovno zlijemo z devterijem in dobimo (Vojvodič-Tuma et al., 2005):

- jedro z dvema protonoma, dvema nevtronoma in nevtronom:



Helij-3 ponovno zlijemo z devterijem in dobimo (Vojvodič-Tuma et al., 2005):

- jedro z dvema protonoma, dvema nevtronoma in protonom:



Ugotovili so, da je zlitje devterija in tritija najprimernejše za potek fuzije na Zemlji. Pri tem se sprosti največ energije pri temperaturi od 100 do 140 milijonov °C. Pri ostalih možnih reakcijah je potrebna bistveno višja temperatura, sprosti pa se manj energije.

Zaradi istega pozitivnega elektrostatskega naboja se devterij in tritij med seboj odbijata, zato je ta dva elementa treba čim bolj približati. Šele, ko sta dovolj blizu, začne nad njima prevladovati privlačna jedrska sila, pri tem gre za proženje fuzije.

Poznamo tri tipe proženja fuzije (McCracken in Stott, 2005):

- tip curek – tarča (devterij pospešimo in ga usmerimo v tarčo, ki je tritij),
- tip curek – curek (pospešimo devterij in tritij enega proti drugemu),

- termonuklearna fuzija (devterij in tritij segrevamo tako dolgo, da se spremenita iz plina v plazmo).

Pri fuzijski elektrarni uporabljamo termonuklearno fuzijo, tipa curek – tarča in curek – curek pa se uporabljata predvsem za vojaške potrebe. Plin, ki vsebuje devterij in tritij, segrejemo na okoli 100 milijonov Kelvina, s tem dosežemo, da plin spremeni agregatno stanje v plazmo in tako lahko z električnim ali magnetnim poljem vplivamo nanjo. Plazma je električno prevodna in skozi njo teče električni tok. Poznamo dva koncepta za zadrževanje plazme: termonuklearna z vztrajnostnim zadrževanjem in magnetnim zadrževanjem. Postopek termonuklearne fuzije z vztrajnostnim zadrževanjem je podoben fuziji pri vodikovi bombi. S tem, da primerno gostoto in temperature dosežemo z močnimi laserskimi žarki, medtem ko pri vodikovi bombi to dosežemo z eksplozijo jedrske bombe. Pri termonuklearni fuziji z magnetnim zadrževanjem imamo plazmo, ki je sestavljena iz elektronov in ionov. Na njen tok lahko vplivamo z zunanjim magnetnim poljem, nabiti delci pa se okoli magnetnih silnic gibljejo po vijačnici. S primernim magnetnim poljem lahko plazmo spravimo stran od sten reaktorja. Plazma se nahaja v toroidni posodi, v kateri magnetne silnice tvorijo sklenjene zanke in vzdolžni tok nabitih delcev ustvari magnetno polje v polarni smeri. Radialna magnetna sila kaže proti središču in tako pride do stiskanja, to pa povzroči zožitev toka in plazmo loči od sten. Ioni imajo večjo maso od elektronov, zato krožijo po krožnici z večjim polmerom in lahko hitreje pobegnejo. Nevtralnost plazme pa lahko zagotavljamo tudi z magnetnim poljem. Na osnovi tega so razvili dva glavna tipa fuzijskih reaktorjev, stellarator in tokamak (Kvarkadabra, 2008).

2.5.3 Stellarator

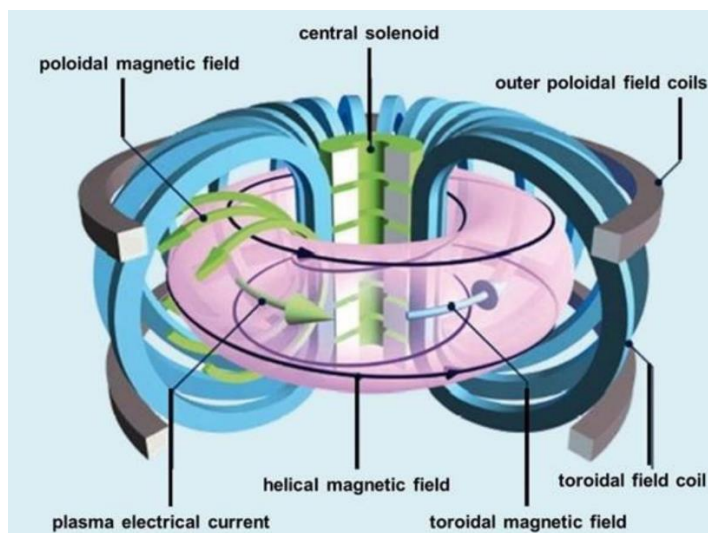
Slika 8 prikazuje običajni in optimizirani stellarator. Ta reaktor je leta 1951 razvil Lyman Spitzer in je tehnologija, ki jo znanstveniki raziskujejo za pridobivanje fuzijske moči. V primerjavi s tokamaki imajo več prednosti. Za vzdrževanje plazme potrebujejo manj vbrizgane moči, prilagodljivost zasnove je večja in omogočajo poenostavitev nadzora plazme. Te prednosti pa so možne zaradi povečane kompleksnosti zlasti za tuljave magnetnega polja. Za razliko od Tokamaka uporabljajo zunanje tuljave za ustvarjanje zasukanega magnetnega polja za nadzor plazme (U.S. Department of Energy, 2023).



Slika 8: Stellarator, običajni (levo), optimizirani (desno)
(Vir: U.S. Department of Energy, 2023)

2.5.4 Tokamak

Slika 8 prikazuje tokamak, prvega so izdelali v Rusiji. Ta z uporabo magnetnih polj omejuje plazmo, ki je v obliki krofa, imenovano torus, omogoči doseči pogoje, ki so potrebni za fuzijo. Magnetne tuljave ustvarijo intenzivno polje, ki je usmerjeno na dolgo pot okoli torusa. Magnet, ki prenaša električni tok, ustvari še eno magnetno polje, ki je usmerjeno vzdolž smeri na kratki poti okoli torusa. To povzroči zvito magnetno polje, ki omejuje delce v plazmi. Tretji niz tuljav pa ustvarja zunanje poloidno polje, ki oblikuje in pozicionira plazmo (Instalater, 2019).



Slika 9: Tokamak
(Vir: Instalater, 2019)

3 JEDRSKA ELEKTRARNA

V Nuklearni elektrarni Krško (v nadaljevanju NEK) v Sloveniji, prikazani na sliki 10, proizvajajo električno energijo 24 ur na dan, vse dni v letu, z izjemo mesečnega remonta vsakih 18 mesecev. V Sloveniji polovica proizvedene električne energije v NEK pokrije 20 % potreb in ostala polovica 16 % potreb na Hrvaškem. Od začetka obratovanja se je proizvodnja električne energije povečala za skoraj 40 %. Razlog za slednje so bile razne posodobitve (npr. novi uparjalniki, nova visokotlačna turbina, nadgradnja stikališča itd.) (Nuklearna elektrarna Krško, 2023a).



Slika 10: Nuklearna elektrarna Krško
(Vir: Nuklearna elektrarna Krško, 2023b)

3.1 Opis in delovanje Nuklearne elektrarne Krško

Kot je prikazano na sliki 11, je NEK sestavljena iz treh termodinamičnih sklopov: primarnega, sekundarnega in terciarnega. Poleg teh treh sklopov pa jo sestavljajo še: kontrolna soba, zadrževalni hram, skladišče za radioaktivne odpadke (v nadaljevanju RAO), stikališče in zgradba za rokovanje z radioaktivnimi tovari (Nuklearna elektrarna Krško, 2023c).

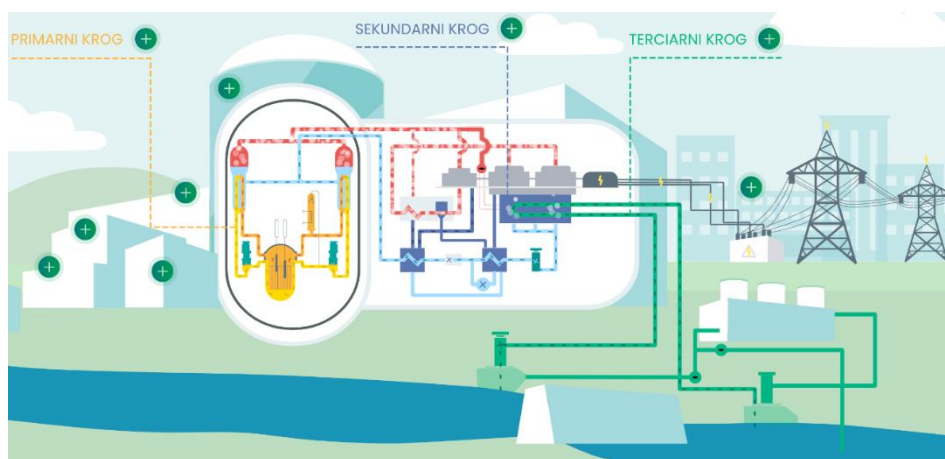
3.1.1 Termodinamični sklopi

Naloga primarnega kroga je proizvodnja in prenos toplote iz reaktorja do uparjalnikov, kjer se proizvaja para. Primarni krog je sestavljen iz več komponent, to so (Nuklearna elektrarna Krško, 2023č):

- reaktor – to je tlačna posoda, ki ima sredico, skozi katero se pretaka voda, ki se segreje zaradi jedrske reakcije cepitve atomov – fisije;
- dva uparjalnika – to sta toplotna izmenjalnika, ki preprečujeta prenos radioaktivnih snovi na sekundarno stran in v katerih se toplota prenese iz primarnega v sekundarni krog. Ta toplota proizvaja paro, ki je potrebna za pogon turbine;
- dve črpalki primarnega hladila – skozi reaktorsko sredico, cevovode in uparjalnika poganjata hladilo in skrbita za stalen prenos toplote;
- tlačnik – ta s pomočjo električnih grelcev oziroma hladilnih prh uravnava tlak v primarnem krogu.

V sekundarnem krogu para, ki nastaja v uparjalnikih na sekundarni strani, poganja turbino, ta pa naprej generator, ki oddaja električno energijo v omrežje. Para se v kondenzatorju utekočini in jo kot vodo prek toplotnih izmenjalnikov in črpalk ponovno vrača v uparjalnik. Cevi uparjalnika so zalite z vodo, ki se stalno uparja zaradi nižjega tlaka. Iz primarnega reaktorja se odvaja toplota z istočasnim dovajanjem napajalne vode in odvajanjem pare. Ta para se potem vodi po cevovodu do visoko- in nizkotlačnih turbin, v njih pa se para razteza in s tem poganja turbino (Nuklearna elektrarna Krško, 2023d).

Terciarni krog zajema kondenzator, hladilne črpalke, hladilne stolpe in cevovode. Terciarni krog je namenjen odvajanju toplote, ki je za proizvodnjo električne energije ne moremo več uporabiti. To vodo črpalke potiskajo skozi kondenzator in jo odvajajo nazaj v reko Savo. Voda se pri pretoku skozi kondenzator segreje z izparilno toploto izrabljene pare. V primeru, da se pri tem reka Sava na točki mešanja segreje na več kot 3 °C, se vključijo hladilni stolpi in vodo ohladijo (Nuklearna elektrarna Krško, 2023e).



Slika 11: Shema delovanja NEK
(Vir: Nuklearna elektrarna Krško, 2023c)

3.1.2 Komandna soba

Komandna soba je osrednji nadzorni in krmilni prostor, v katerem se vzpostavlja želeno stanje in delovanje elektrarne ter nadzorujejo in upravljajo tehnološki procesi. Tukaj operaterji s svojim znanjem, veščinami in doslednim upoštevanjem obratovalnih navodil skrbijo za varno in stabilno delovanje elektrarne. Ob nadgradnji je bila zgrajena tudi pomožna komandna soba, iz katere se lahko obvladuje več različnih nevarnih stanj, elektrarno vzdržuje v stabilnem stanju in se jo tudi ohladi do hladne zaustavitve (Nuklearna elektrarna Krško, 2023f).

3.1.3 Zadrževalni hram

Naloga zadrževalnega hrama je zagotavljanje visoke stopnje tesnosti med obratovanjem in različnimi nevarnostmi. To je reaktorska zgradba, ki vsebuje reaktor s hladilnima zankama in varnostnimi sistemi, sestavljajo pa jo notranji jekleni plašči in zunanja armiranobetonska zaščitna zgradba. Zadrževalni hram ščiti pred zunanjimi projektili ter ločuje primarni sistem in radioaktivne snovi od okolja (Nuklearna elektrarna Krško, 2023g).

3.1.4 Skladišča za radioaktivne odpadke

Skladišče za nizko in srednje radioaktivne odpadke je začasno skladišče, kjer se hranijo nizko in srednje radioaktivni odpadki (v nadaljevanju NSRAO), ki so v trdni obliki. Tudi v NEK nastajajo NSRAO, katerih določena količina radionuklidov presega predpisane vrednosti. Ta zgradba je armiranobetonska in protipotresno odporna. Količina NSRAO je odvisna od stabilnosti obratovanja in obsega vzdrževalnih posegov. Na leto povprečno nastane toliko NSRAO, da bi jih lahko spravili v kocko s stranico 3,1 m (Nuklearna elektrarna Krško, 2023f).

Bazen za izrabljeno gorivo je v stavbi za rokovanje z gorivom. Izrabljeno jedrsko gorivo bi glede na specifično aktivnost moralo spadati med visoko radioaktivne odpadke (v nadaljevanju VRAO), vendar ker je bila sprejeta odločitev o začasnem skladiščenju do konca obratovanja NEK, ga imenujemo izrabljeni gorivni elementi. Izrabljeno jedrsko gorivo lahko skladiščimo v bazenu (mokro skladiščenje, aktivno hlajenje) ali posebnih zabojnikih (suho skladiščenje, pasivno hlajenje).

Bazen, v katerem se skladišči izrabljeno gorivo, je 16 m dolg, 8 m širok in 12 m globok, prostora pa je za 1.694 izrabljenih gorivnih elementov. Vodi v bazenu je dodana borova kislina za absorpcijo nevtronov, da verižna reakcija v gorivu ne poteka. Voda tudi hladi izrabljeno gorivo in ščiti pred sevanjem. Količina sevanja in toplote se s časom zmanjšuje, tako da po petih letih skladiščenja v bazenu izrabljeno gorivo prestavimo na suho skladiščenje (Nuklearna elektrarna Krško, 2023h).

Suho skladišče za izrabljeno jedrsko gorivo je pasivno, ker ne potrebujemo energije in dodatnih sistemov, kar predstavlja najboljšo tehnično rešitev. Prednost suhega skladišča predstavlja večjo varnost in manjše tveganje za okolje v primerjavi skladiščenja izrabljenega goriva v bazenu. Hlajenje poteka z dolgoročnim naravnim postopkom hlajenja z zrakom oziroma pasivnim hlajenjem, zato ne potrebujemo hladilnih sistemov. Vzdrževanje objekta in uskladiščenega izrabljenega goriva je minimalno. Zgradba je protipotresno odporna, ščiti pred ekstremnimi vremenskimi pojavi in celo možnim padcem letal. Radiološki vplivi na okolje so minimalni in daje možnost transporta izrabljenega goriva v prihodnosti (Nuklearna elektrarna Krško, 2023i).

3.1.5 Stikališče

Iz generatorja prihaja električna energija prek dveh transformatorjev v prenosni elektroenergetski sistem, od tu naprej pa potekajo daljnovidne povezave naprej proti Ljubljani in Zagrebu po dveh poteh in ena proti Mariboru. Na drugo stikališče pa je priključen daljnovod proti plinski elektrarni Brestanica z namenom alternativne prednostne dobave električne energije za lastno rabo elektrarne, in sicer v primeru, ko ta ne obratuje, lahko plinska elektrarna Brestanica napaja NEK (Nuklearna elektrarna Krško, 2023j).

3.1.6 Zgradba za rokovanje z radioaktivnimi tovari

Z izgradnjo zgradbe za rokovanje z radioaktivnimi tovari so vzpostavili visoke standarde in boljše delovne razmere pri rokovanju z NSRAO. S tem so sprostili preostali prostor v skladišču za NSRAO, s čimer bodo premostili obdobje do izgradnje odlagališča za NSRAO. V tej zgradbi se nahajajo visokotlačna stiskalnica, merilna oprema in dodaten zbiralnik odpadne hladilne vode. Sproščeni prostor v skladišču NSRAO pa se sedaj uporablja za novo nastale odpadke (Nuklearna elektrarna Krško, 2023k).

3.1.7 Utrjena varnostna zgradba

Obstajata dve utrjeni varnostni zgradbi in obe stojita ločeno od nuklearnega dela elektrarne. Prva utrjena varnostna zgradba omogoča nadzor nad ohlajanjem elektrarne. Vzpostavlja dodatne možnosti za dodatne vire električne energije za lastne potrebe za zagotavljanje funkcionalnosti sistemov in opreme. Druga utrjena varnostna zgradba vsebuje rezervoar borirane in navadne vode, črpalke za vbrizgavanje vode v rezervoar in dva uparjalnika. Namenjena je varnostnim sistemom za blažitev izven projektnih nesreč (Nuklearna elektrarna Krško, 2023l).

3.1.8 Dekontaminacijska zgradba

V tej zgradbi se nahajata stara uparjalnika in reaktorska glava, v ločenem delu pa tudi model spodnjega dela uparjalnika, ki ga uporabljajo za usposabljanje osebja. Namen te zgradbe je sprejemanje kontaminirane opreme, s katere se očistijo radionukleidi. Oprema se tudi nadzorovano skladišči (Nuklearna elektrarna Krško, 2023m).

3.2 Radioaktivni odpadki

V Sloveniji vsako leto nastane 4,5 milijona ton odpadkov, od tega je radioaktivnih 0,04 %. Pri nas je količina RAO obvladljiva. Radioaktivni odpadki so posebna vrsta odpadkov, ki jih ne moremo več uporabiti, njihova radioaktivnost pa je višja od meje, ki je dovoljena z zakonom. Nastajajo pri pridobivanju električne energije, v industriji, medicini in pri raziskavah. Radioaktivnost odpadkov se s časom znižuje, lahko že v nekaj dneh ali mesecih, in postane neznatna, lahko pa traja tudi več kot 10.000 let. Zato RAO spadajo med nevarne odpadke. 90 % vseh RAO nastane v NEK v obliki izrabljenega goriva. Ostalih 10 % RAO pa se razdeli med industrijo, medicino in raziskave. V industriji so to viri sevanja v napravah za merjenje ravni tekočin v zaprtih prostorih, merjenje gostote in debeline materialov, rudniki urana itd., v medicini z obsevanjem rakavih obolenj, RTG itd., v raziskavah pri raziskovanju lastnosti snovi, razvijanju novih tehnologij in materialov, v raziskavah atomskih jeder, zlivanju jeder itd. (ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke, 2023b).

3.2.1 Vrste radioaktivnih odpadkov

RAO se med seboj razlikujejo po (ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke, 2023b):

- vrsti in koncentraciji radioaktivnih elementov,
- stopnji aktivnosti in razpolovni dobi,
- agregatnem stanju,
- kemijskih in fizikalnih lastnostih in
- količini toplote, ki jo oddajajo.

RAO delimo na:

- Prehodno radioaktivni odpadki so tisti odpadki, pri katerih se v manj kot petih letih aktivnost radionuklidov zniža na tako raven, da se lahko nadzor opusti.
- Zelo nizko radioaktivni odpadki (ZNRAO) so odpadki, pri katerih ni nujno, da dosega merila RAO. Lahko se jih odlaga blizu površja in ne potrebujejo visoke stopnje izolacije, potreben pa je omejen redni nadzor. Večinoma gre za zemljo ali material iz onesnaženega območja.
- Nizko radioaktivni odpadki (NRAO) imajo kratko razpolovno dobo, vendar pa potrebujejo robustno izolacijo, lahko blizu površja, kjer jih je treba hraniti nekaj sto let.

- Srednje radioaktivni odpadki (SRAO) so tisti odpadki, ki vsebujejo dolgožive radionuklide, lahko pa vsebujejo tudi sevalce alfa, ni pa treba upoštevati toplotne moči. Te odpadke je treba odlagati na globini od nekaj deset do nekaj sto metrov.

Med NRAO in SRAO pa ločimo še kratko- in dolgožive radioaktivne odpadke:

- kratkoživi NSRAO vsebujejo sevalce alfa, ki imajo razpolovno dobo daljšo od 30 let;
- dolgoživi NSRAO pa so tisti, katerih aktivnost sevalcev alfa presega omejitve za kratkožive, kar pomeni, da so radioaktivni dlje časa.

VRAO so odpadki, pri katerih je koncentracija radioaktivnosti tako visoka, da se sprošča večja količina toplote. Te odpadke se odlaga več sto metrov pod površje (Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost, 2018).

RAO pa lahko ločimo tudi po agregatnem stanju, in sicer na (ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke, 2023b):

- plinaste, ki se jih do razpada shranjuje v posebnih vsebnikih;
- tekoče, ki jih pretvorimo v suho usedlino s pomočjo filtriranja, izparevanja in sušenja;
- trdne, ki so kontaminirane snovi, pri katerih se uporablja dekontaminacija za zmanjšanje prostornine odpadkov.

3.2.2 Skladiščenje in odlaganje RAO

Vsi radioaktivni materiali morajo biti v ustreznem pakiranju, preden se jih odpelje v skladišče ali odlagališče. Uporabljajo se kovinski sodi, ki zagotavljajo popolno zaščito. Skladišča morajo izpolnjevati vse predpisane varnostne standarde, sevanje pa ne sme presegati predpisanih omejitev za delavce ali javnost, dokler ni zagotovljena trajna rešitev na odlagališču.

Uporabljamo dva načina skladiščenja RAO:

- mokro skladiščenje in
- suho skladiščenje.

Mokro skladiščenje je potrebno pri RAO, ki oddajajo toploto zaradi hlajenja, poleg tega pa osem metrov vode nad izrabljenim gorivom ščiti pred sevanjem.

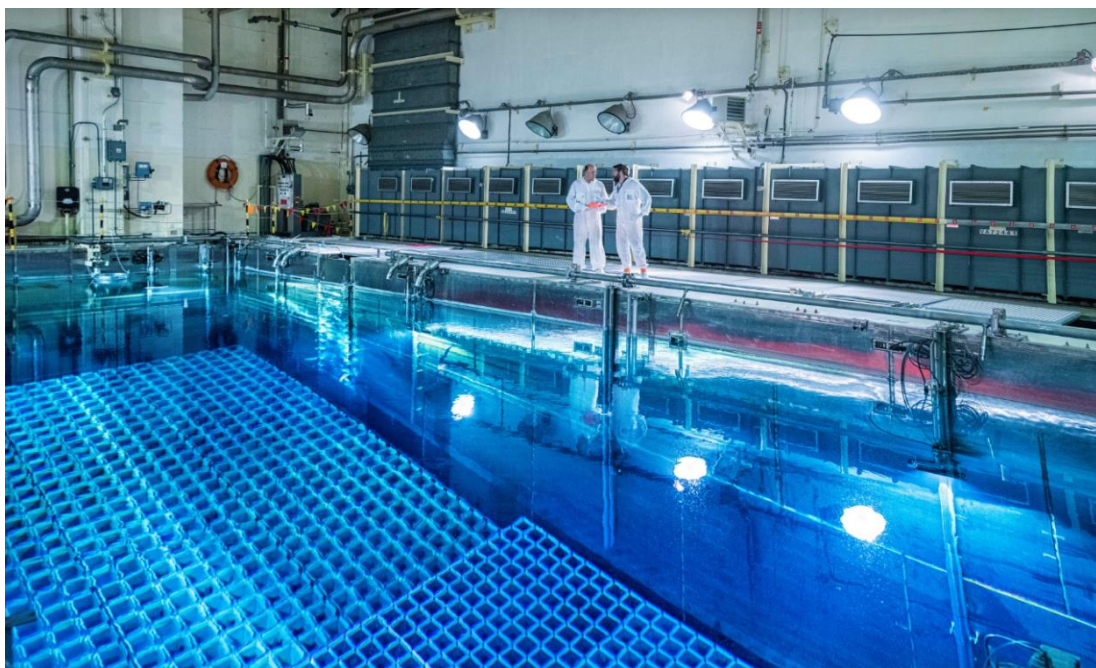
RAO morajo biti v skladiščih ustrezno pakirani tako, da ustrezajo predpisanim pogojem. Uporabljajo se kovinski sodi, ki morajo zagotavljati popolno izolacijo. Ti sodi pa se zlagajo v suhe betonske bazene, te pa se zalije z betonom, čez pa se nasuje nekaj metrov gline (Ojovan et al., 2019).

3.2.3 Skladišče radioaktivnih odpadkov v NEK

NEK leži približno tri kilometre od mesta Krško na levem bregu Save in je naš največji povzročitelj NSRAO in VRAO v obliki izrabljenega jedrskega goriva. Vse NSRAO skladiščijo na lokaciji NEK. Zgradba je grajena tako, da je odporna proti potresu.

RAO, ki nastanejo v NEK, so v vseh treh agregatnih stanjih. Zato je treba plinaste in tekoče NSRAO ustrezno predelati, da preidejo v trdno stanje, saj morajo biti vsi odpadki skladiščeni v trdi obliki. S predelavo v trdno obliko pa se tem odpadkom tudi zmanjša volumen. Skladišči se jih v suhih skladiščih v za to primernih sodih.

Izrabljeno jedrsko gorivo pa je VRAO. Ti odpadki so skladiščeni v za to primernem bazenu v sklopu NEK, ki ga prikazuje slika 12. Velikost bazena: dolžina 16 m, širina 8 m in globina 12 m. V tem bazenu je 1.694 razpoložljivih mest, kar je dovolj za čas do konca obratovalne dobe jedrskega reaktorja, ki bo leta 2023. Obratovalna doba reaktorja pa se lahko podaljša za maksimalno 20 let (Nuklearna elektrarna Krško, 2023i).



Slika 12: Bazen za izrabljeno gorivo
(Vir: Nuklearna elektrarna Krško, 2023h)

3.2.4 Centralno skladišče za RAO v Brinju pri Ljubljani

Centralno skladišče za RAO v Brinju pri Ljubljani leži v neposredni bližini raziskovalnega reaktorja TRIGA. Namenjeno je NSRAO, to so predvsem zaščitne

obleke, orodje, materiali, ki so bili kontaminirani z radioaktivnim sevanjem. Vse to se zapre v sode in morajo ostati zaščiteni v sodih vsaj dobrih 300 let, ko radioaktivnost pade tako nizko, da materiali v sodih niso več škodljivi. Del skladišča je vkopan v zemljo in za pol metra prekrit (Pivar, 2018).

3.2.5 Odlagališče Vrbina

Odlagališča za RAO v Sloveniji še nimamo, vendar je v načrtu, k čemur nas zavezuje tako domača kot tuja zakonodaja. Tako bo odlagališče za NSRAO zgrajeno na lokaciji Vrbina v občini Krško. Tip odlagališča bo površinski. Projekt pa je že potrjen z Državnim prostorskim načrtom. Odlagališče bo namenjeno NSRAO, ki nastajajo v NEK, medicini, raziskavah in industriji v Sloveniji. S tem skladiščem bodo zagotovljeni pogoji za dolgoročno in zanesljivo obratovanje NEK (ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke, 2023a).

3.3 Prednosti in slabosti jedrske energije

Tako kot pri vseh tehnologijah za pridobivanje električne energije najdemo tudi pri jedrski tehnologiji prednosti in slabosti, kot je naštetu v tabeli 1.

3.3.1 Prednosti jedrske tehnologije

Jedrska tehnologija ima kar nekaj prednosti na finančni, gospodarski, okoljski in varnostni ravni. Finančne in gospodarske prednosti so predvsem v tem, da nam zagotavlja veliko količino električne energije po konkurenčni ceni, poleg tega pa zmanjšuje odvisnost od uvoza. Okoljske prednosti so v tem, da ne povzroča izpustov toplogrednih plinov, emisij in drugih škodljivih snovi, ogljični odtis pa je majhen v primerjavi z drugimi tehnologijami. Kar se varnosti tiče, imamo v Sloveniji z NEK pozitivne izkušnje, poleg tega pa se je NEK odlično odrezal na varnostnih testih na evropski ravni. Povzročenih je bilo najmanj smrtnih žrtev na proizvedeno količino energije med vsemi viri. V povprečju obratuje 94 % časa, ne obratuje samo v času remonta in je neodvisna od vremenskih pojavov. Doba obratovanja je med 40 in 80 let, pri modernih elektrarnah pa tudi do 100 let (Esvet, 2023a).

3.3.2 Slabosti jedrske tehnologije

Tako kot ima prednosti, ima jedrska tehnologija tudi nekaj slabosti. V preteklosti se je v jedrskih elektrarnah zgodilo tudi nekaj nesreč, ki so se zgodile tudi zaradi človeških napak, kar pa je imelo negativen vpliv na javnost. Slabost predstavljajo tudi jedrski odpadki, saj je treba z njimi skrbno, pravilno in odgovorno rokovati, jih skladiščiti in odlagati. Cena investicije v jedrsko elektrarno je visoka, to pa je posledica visokih varnostnih zahtev in s tem povezanih strokovnih znanj in tehnologij. Za izgradnjo

jedrske elektrarne potrebujemo tudi veliko več časa v primerjavi z drugimi tehnologijami (Esvet, 2023a).

JEDRSKA ENERGIJA	
PREDNOSTI	SLABOSTI
* Zagotavlja veliko količino električne energije po konkurenčni ceni	* Jedrski odpadki
* Zmanjšuje odvisnost od uvoza	* Investicija v izgradnjo jedrske elektrarne je visoka
* Ne povzroča izpustov TGP, emisij in drugih škodljivih snovi, ogljični odtis je majhen	* Za izgradnjo je potrebno veliko časa
* Najmanj smrtnih žrtev na proizvedeno količino energije med vsemi viri	
* V povprečju obratuje 94 % časa v letu	
* Neodvisna od vremenskih pojavov	
* Življenjska doba je 40 do 80 let	

Tabela 1: Prednosti in slabosti jedrske elektrarne
(Vir: Esvet, 2023a)

3.4 Pravna podlaga

V Sloveniji jedrsko varnost, varstvo pred ionizirajočimi sevanji, ravnanje z radioaktivnimi odpadki urejajo zakoni, uredbe in pravilniki.

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti – ZVISJV-1 (2018) ureja varstvo pred ionizirajočimi sevanji, da se kar najbolje prepreči škoda za zdravje ljudi ter da se omogoči razvoj, proizvodnja in uporaba virov sevanja. Določa tudi organe in njihove pristojnosti. Razloži izraze, ki se uporabljajo v tem zakonu. Načela zakona so: načelo celovitosti, načelo upravičenosti, načelo optimizacije varstva pred sevanji, načelo mejnih doz, načelo preprečevanja nesreč, načelo miroljubne uporabe, načelo primarne odgovornosti, načelo povzročitelj plača, načelo pripravljenosti, načelo subsidiarnega ukrepanja, načelo javnosti, načelo subsidiarnega ukrepanja, načelo javnosti, načelo stopenjskega pristopa in načelo stalnega izboljševanja (ZVISJV-1, 2018).

Uredbe:

- Uredba o sevalnih dejavnostih,
- Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji,
- Uredba o nacionalnem radonskem programu.

Pravilniki:

- Pravilnik o pogojih za uporabo virov ionizirajočih sevanj v zdravstvene namene in pri namerni izpostavljenosti ljudi v nemedicinske namene
- Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz
- Pravilnik o izvajanju zdravstvenega nadzora izpostavljenih delavcev
- Pravilnik o pooblaščenju izvajalcev strokovnih nalog s področja ionizirajočih sevanj
- Pravilnik o pooblaščenju izvedencev varstva pred sevanji
- Pravilnik o obveznostih izvajalca sevalne dejavnosti in imetnika vira ionizirajočih sevanj
- Pravilnik o ukrepih varstva pred sevanji na nadzorovanih in opazovanih območjih
- Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi
- Pravilnik o uporabi virov sevanja in sevalni dejavnosti
- Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom

Pravilnik (Uradni list RS, št. 102/04) ureja razvrščanje, ravnanje, obseg poročanja in vodenja centralne evidence ter vodenje evidenc skladiščenih in odloženih ROA. Uporablja se za radioaktivne ali radioaktivno kontaminirane snovi v plinastem, tekočem ali trdnem stanju in izrabljeno gorivo, za katere ni predvidena nadaljnja uporaba. Določa razvrščanje RAO, zahteve za ravnanje z RAO in izrabljenim jedrskim gorivom, kot so gospodarjenje, sortiranje, predelava, pakiranje, označevanje, shranjevanje, skladiščenje, premeščanje, odlaganje, evidence imetnikov, centrala evidence (Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom, 2021).

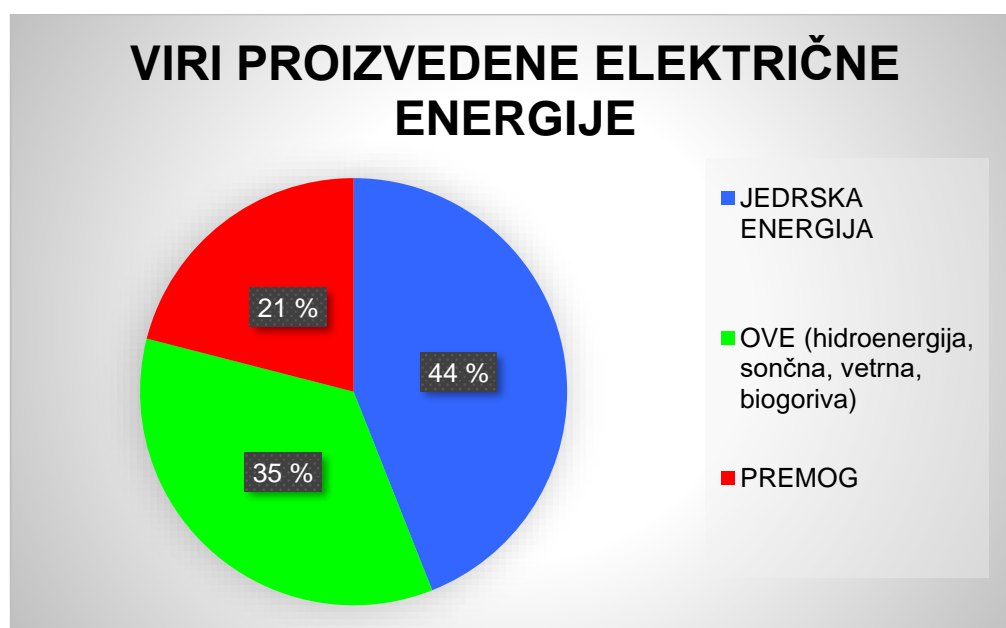
4 PREGLED PREDNOSTI IN SLABOSTI OSTALIH NAJPOGOSTEJŠIH TEHNOLOGIJ ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Vsaj do konca 17. stoletja, ponekod pa celo do konca 19. stoletja, so bili glavni viri energije človeške mišice vprege z živalmi, voda, veter in les (Žalar, 2016).

Od tistega časa do danes je človeštvo tehnološko zelo napredovalo. V nadaljevanju bomo raziskali nekaj najbolj pogostih tehnologij za pridobivanje električne energije. Osredotočili se bomo predvsem na prednosti in slabosti.

V letu 2021 smo v Sloveniji sami proizvedli 53 % vse električne energije, in sicer s pomočjo jedrske energije, obnovljivih virov energije in premoga (Božič et al., 2022).

Slika 13 prikazuje, iz katerih virov smo v letu 2021 proizvedli največ električne energije, s tem da gre polovica od 44 %, ki jo proizvedemo v NEK, na Hrvaško.



Slika 13: Viri električne energije
(Vir: Božič et al., 2022)

4.1 Elektrarne na fosilna goriva

Za delovanje elektrarn na fosilna goriva potrebujemo vire energije, kot so premog, lignit, kurilno olje ali plin, ki jih uvrščamo med neobnovljive vire. Tovrstne elektrarne imamo v Šoštanju (slika 14), Trbovljah, Velenju, Ljubljani in Brestanici.



Slika 14: Termoelektrarna Šoštanj
(Vir: Kolektor, 2023)

4.1.1 Elektrarne na trda fosilna goriva

S sežiganjem teh energentov segrejemo vodo, para, ki pri tem nastane, pa poganja turbino, ki je povezana z generatorjem. Primerne lokacije za postavitev termoelektrarn so tiste, kjer je dovolj vodnih virov za hlajenje, lahko pa se hladi tudi s pomočjo zraka, razen v primeru soproizvodnje električne energije in toplote. Najbolje je, če je v bližini nahajališče energetskega vira, kot je npr. premog, pomemben je tudi geostrateški položaj, kjer je možno priključiti elektrarno na elektroenergetsko omrežje, pomembno je tudi, kakšen bo vpliv na okolje, in možnosti odlaganja pepela in žlindre (Rožman, 2012).

Prednosti elektrarn na fosilna goriva: še posebej, če se v neposredni bližini nahajajo velike količine premoga, se pridobiva električna energija po sprejemljivi ceni, obratovanje in vzdrževanje je enostavno, motorji so razmeroma majhni, energijska gostota energenta pa je relativno velika. V primeru, da gre za soproizvodnjo električne energije in toplote, pa je lahko skupni izkoristek goriva do 80 % (Esvet, 2023b).

Slabosti elektrarn na fosilna goriva so v tem, da zavzamejo veliko prostora zaradi deponij za premog. Proizvajajo tudi odpadni pepel in žlindro, ki lahko predstavlja tudi do 25 % goriva, in pline, ki so škodljivi za okolje in ljudi. Toplota, ki je ne uspejo pretvoriti v električno energijo, pa lahko v rekah segreje vodo za nekaj stopinj. Odvisnost od uvoza, če nimamo zaloga premoga (Esvet, 2023b).

Eden zdravju najbolj škodljivih onesnaževal so delci PM, ki so prisotni v zraku. To so delci PM₁₀ in PM_{2,5}. Gre za majhne vodne kapljice, ki jih imenujemo aerosoli. V teh vodnih kapljicah so ujeti trdni in tekoči delci. V glavnem gre za ogljik, nanj pa se lahko vežejo kovine in organska topila (Okolje.info, 2023).

Kot prikazuje tabela 2, imajo elektrarne na fosilna goriva nekaj prednosti, vendar je slabosti veliko več.

ELEKTRARNE NA FOSILNA GORIVA – PREMOG	
PREDNOSTI	SLABOSTI
* Pridobivanje električne energije po sprejemljivi ceni, še posebej, če je v bližini nahajališče premoga.	* Zavzamejo veliko prostora zaradi deponij za premog.
* Obratovanje in vzdrževanje je enostavno.	* Proizvajajo pepel in žlindro.
* V primeru soproizvodnje (elektrika in toplota) je izkoristek goriva do 80 %.	* Toplota, ki je ne pretvorijo v električno energijo, lahko v rekah segreje vodo.
	* Odvisnost od uvoza, če ni zaloga premoga.
	* Pri nas ga skoraj ni več in bomo v prihodnosti odvisni od uvoza.
	* Največ smrtnih žrtev na enoto proizvedene energije (pljučne bolezni).

Tabela 2: Prednosti in slabosti elektrarne na premog
(Vir: Esvet, 2023b).

Delci, manjši od PM₁₀, povečujejo stopnjo umrljivosti zaradi bolezni ožilja, srca in dihal, poleg tega povečujejo tudi tveganje za nastanek pljučnega raka, motnje srčnega ritma in srčni infarkt. Pri otrocih pa se poveča možnost nastanka astme, upad pljučnih funkcij, vnetja ušes in grla (Moja občina Novo mesto, 2020).

Vir dušikovih oksidov (NO_x) so lahko tudi objekti, ki uporabljajo premog kot gorivo. Zdravi ljudje lahko prenašajo visoke koncentracije NO₂ brez škodljivih učinkov na zdravje. Škodljiv je predvsem za kronične bolnike, kot so bronhitiki in astmatiki. Povzroči lahko oslabitev imunskega sistema, zaradi česar se verjetnost okužb poveča, povečanje alergijskih reakcij, kašelj in bronhitis. Najbolj nevaren je za

astmatike, saj lahko reagirajo že po kratki izpostavljenosti. Na srečo, v zadnjih letih v okolici naših dveh največjih termoelektrarn ni bilo izmerjenih povečanih koncentracij (Okolje.info, 2023).

Žveplov dioksid (SO_2) je dražeč brezbarven plin, ki največ težav povzroči astmatikom, občutljivim ljudem in otrokom, ker jim povzroči kašelj, bronhitis in infekcije globlje v dihalih. Najbolj škodljiv postane, ko preide v žveplovo kislino. To se zgodi tako, da SO_2 reagira z atmosferskim kisikom in tako preide v žveplov trioksid (SO_3), ta potem reagira z vlago v zraku in tako nastane žveplova kislina (H_2SO_4), ki se nato pojavi kot kisel dež, sneg ali kot posušeni kisli delci. Telesna aktivnost v prisotnosti SO_2 ni priporočljiva, ker zaradi hitrejšega in globljega dihanja skozi usta vdihamo večje količine SO_2 . Koncentracije SO_2 se zmanjšujejo (Okolje.info, 2023).

Ogljikov monoksid (CO) je strupen plin brez vonja, ki se absorbira v kri, s tem pa prepreči prenos kisika v tkiva. Najbolj so izpostavljeni srce in možgani in plod pri nosečnicah. Najbolj izpostavljeni so ljudje s kroničnim bronhitisom, slabšim delovanjem pljuč in srca in starejši, ki imajo bolezen zoženih arterij (Okolje.info, 2023).

4.1.2 Elektrarne na tekoča fosilna goriva

Razvoj elektrarn na tekoča fosilna goriva ali plinskih elektrarn se je začel po letu 1960, ko so bili razviti ustrezni materiali za plinske turbine. Kot energetski vir uporabljajo zemeljski ali plavžni plin ali kurilno olje, odvisno od elektrarne. Plinske elektrarne so večinoma postavljene v bližini večjih porabnikov in s tem zagotovimo stabilnejše električno omrežje. Naša največja plinska elektrarna je v Brestanici (slika 15). Gre za plinsko elektrarno, kjer s toploto plinov pridobivajo paro v parnem kotlu – utilizatorju, to paro pa vodijo naprej na dve parni turbini, ki proizvedeta elektriko (Rožman, 2012).



Slika 15: Plinska elektrarna v Brestanici
(Vir: Esvet, 2018)

Prednosti: ne potrebuje velikega prostora za izgradnjo, investicijski stroški so majhni, ne potrebuje vodnih virov, ima kratek čas zagona in visok izkoristek. Emisije izpustov

SO₂ so nizke, CO₂ pa polovico manjše kot pri uporabi premoga. Za vzdrževanje in upravljanje so enostavne, zato ne potrebujejo veliko zaposlenih (Rožman, 2012).

Slabosti: plin je fosilno gorivo, cena goriv pa je visoka. Vroči deli postroja imajo zaradi visokih temperatur omejeno življenjsko dobo. Ustvarjajo hrup. Slabosti so sicer podobne kot pri premogu (Rožman, 2012).

Prihodnost vsekakor predstavlja vodik, ki bo imel v prihodnosti pomembno vlogo, saj že sedaj dodajajo plinu 20 % vodika pri ogrevanju in s tem občutno zmanjšajo izpuste CO₂. Proizvajalci pa še naprej razvijajo to tehnologijo (Zemeljski plin, 2021).

Tabela 3 prikazuje prednosti in slabosti plinskih elektrarn.

PLINSKE ELEKTRARNE	
PREDNOSTI	SLABOSTI
* Ne potrebujemo velikega prostora za izgradnjo.	* Plin je fosilno gorivo.
* Investicijski stroški so majhni.	* Cena goriv je visoka.
* Ne potrebuje vodnih virov.	* Vroči deli postroja imajo zaradi visokih temperatur omejeno življenjsko dobo.
* Ima kratek čas zagona.	* Izpusti CO ₂ so sicer nižji kot pri elektrarnah na premog, vendar še vedno visoki.
* Relativno visok izkoristek	* Odvisnost od uvoza, saj uvažamo ves plin.
* Vzdrževanje in upravljanje sta enostavna, zato se ne potrebuje veliko zaposlenih.	

Tabela 3: Prednosti in slabosti plinskih elektrarn
(Vir: Esvet, 2018)

4.2 Hidroelektrarne

Več kot petino električne energije na svetu proizvedemo z izkoriščanjem vodne energije. V Sloveniji pa z izkoriščanjem vodne energije pridobimo kar tretjino električne energije. Eden najpomembnejših dejavnikov pri vodnih elektrarnah je razporeditev padavin skozi vse leto. Za gradnjo hidroelektrarn so najprimernejše reke, ki imajo čim bolj enakomeren pretok vode skozi vse leto. Vodne elektrarne delimo na pretočne in akumulacijske, glede na način izkoriščanja vode.

Poznamo tudi male hidroelektrarne, ki proizvedejo manj električne energije, in sicer je v Sloveniji delež pridobljene elektrike na ta način samo 2 %, čeprav imamo za gradnjo teh elektrarn kar nekaj možnosti (Rožman, 2012).



*Slika 16: Hidroelektrarna Zlatoličje (kanalski tip)
(Vir: HSE Invest, 2014)*

4.2.1 Pretočne vodne elektrarne

Pretočne vodne elektrarne so najpogostejši tip vodnih elektrarn v Sloveniji. Te elektrarne izrabljajo vodo, ki priteče po strugi reke, saj nimajo možnosti zbiranja vode. Voda teče skozi turbine brez zadrževanja, presežki pa se zlivajo skozi jez. Zaradi močnega spreminjanja njihovega toka skozi vse leto imajo te elektrarne več turbin. Pretočne elektrarne pa delimo naprej na stebrski, kanalski in rečni tip.

Stebrski tipi so zgrajeni v strugi reke, ki imajo manjše pretoke in padce. Sestavljena je iz več stebrov, število stebrov pa je odvisno od širine reke. Vsak steber ima svojo strojnico, ki ga sestavljata turbina in generator. Med temi stebri pa so pretočna polja, ki predstavljajo jez vodne elektrarne.

Kanalski tipi so zgrajeni izven rečne struge. Z zajezitvijo na rečni strugi dosežemo večji padec vode in s tem dovolj vode s preusmeritvijo le-te v ustrezen kanal. Naša največja HE Zlatoličje, ki je na reki Dravi, spada med kanalski tip HE.

Rečni tip HE gradijo na širokih rekah, v tem primeru so pretočna polja ločena od strojnice. Kjer so reke ožje, pa se gradijo posebne HE, kjer preliv vode poteka prek strojnice (Rožman, 2012).

4.2.2 Akumulacijske vodne elektrarne

Akumulacijske vodne elektrarne imajo naravno ali umetno jezero. Voda teče v akumulacijsko jezero in naprej na turbine glede na potrebe električnega omrežja. Prek noči se jez lahko polni s prečrpavanjem z viškom električne energije. Velike akumulacijske jezove se gradi umetno ali pa zajezijo cele doline za potrebe ob mesečnih, letnih in sezonskih akumulacijah. Sem uvrščamo tudi elektrarne s pretočno akumulacijo. V verigi teh elektrarn imata prva in zadnja elektrarna možnost nekajurne akumulacije (Rožman, 2012).

Pri nas imamo verigo hidroelektrarn na spodnji Savi, vendar bo ta veriga zaključena s HE Mokrice. S to zadnjo hidroelektrarno bi več kot podvojili proizvodnjo pasovne in deloma trapezne energije na Savi. Skupaj bi proizvedle 21 % vse elektrike, ki je proizvedena s pomočjo hidroelektrarn, pokrivala pa bi 6 % skupne porabe električne energije (Gen skupina, 2023).

Akumulacijske vodne elektrarne delimo glede na način gradnje na: kaverniški tip, visokotlačne vodne elektrarne, črpalne, prečrpovalne vodne elektrarne in male HE. Pri kaverniškem tipu HE je vodna elektrarna nameščena v votlini (kaverna). Visokotlačne vodne elektrarne s površinsko zgradbo se gradi tam, kjer so majhni pretoki in večji padci. Cevovod je lahko na površini ali pod zemljo, na koncu pa je razdelilec, ki vodo usmeri na posamezne turbinske vtoke. Črpalne hidroelektrarne izkoriščajo padec vode iz višje ležečega akumulacijskega jezera v nižje ležeče, kadar so cene električne energije visoke. Kljub nizkemu izkoristku se zaradi razlik v cenah električne energije ta način shranjevanja električne energije izplača, torej gre za velike hranilnike oz. baterije. Pri nas imamo ta tip HE v Avčah, ki je edina te vrste v Sloveniji in dosegajo približno 77-odstotni izkoristek (Rožman, 2012).

Posebna izvedba vodnih elektrarn so prečrpovalne vodne elektrarne. V tem primeru ima turbina vlogo črpalke, s katerimi črpamo vodo v višje ležeče jezero po cevovodu prek noči, ko se pojavi višek električne energije. Prek dneva pa po istem cevovodu vodo spustijo na turbino in s tem pridobimo električno energijo (Rožman, 2012).

Kot prikazuje tabela 4, imajo hidroelektrarne kar nekaj prednosti in tudi slabosti.

Prednosti HE so predvsem v tem, da nimajo izpustov toplogrednih plinov, voda pa je obnovljivi vir energije. V obliki akumulirane vode pred jezovi shranjujemo energijo, s tem pa imamo možnost hitrega odziva na povečano povpraševanje po električni energiji na trgu. Poleg tega pa lahko z reguliranjem toka pridobimo pridelovalno zemljo in zaščito pred poplavami. Imajo dolgo življenjsko dobo, obratovalni stroški pa so majhni (Esvet, 2023č).

Slabosti pa so v tem, da imajo HE močan vpliv na okolje in prostor zaradi spreminjanja rečnega toka, zmanjševanja rečnega pretoka in poplavljanja območja nad jezo. Zaradi jeza je rečnim živalim onemogočeno gibanje naprej po reki, vendar

s postavitvijo ribjih stez ob jezovih lahko ta problem rešimo. Gradnja HE je res draga, vendar so obratovalni stroški majhni. Z gradnjo HE se lahko porušijo vodne strukture, predvsem jezovi in nasipi, ki zadržujejo akumulacijska jezera. Lahko se spremenijo talne vode okoli elektrarne. Lahko pa prihaja tudi do nesreč zaradi neprimerne projektiranja, slabe gradnje, neustreznega nadzora in nezadostnega obnavljanja vodnih struktur (Esvet, 2023č).

HIDROELEKTRARNE	
PREDNOSTI	SLABOSTI
* Nimajo izpustov toplogrednih plinov.	* Imajo močan vpliv na okolje in prostor zaradi spreminjanja rečnega toka, zmanjševanja rečnega pretoka in poplavljanja območja nad jezom.
* Voda je obnovljivi vir energije.	* Zaradi jeza je rečnim živalim onemogočeno gibanje naprej po reki, kar lahko rešimo s postavitvijo ribjih stez.
* V obliki akumulirane vode pred jezovi shranjujemo energijo, s tem imamo možnost hitrega odziva in povečano povpraševanje po električni energiji.	* Gradnja HE je draga na enoto proizvedene električne energije.
* Z reguliranjem toka lahko pridobimo pridelovalno zemljo in zaščito pred poplavami.	* Porušijo se lahko vodne strukture, predvsem jezovi in nasipi, ki zadržujejo akumulacijska jezera.
* Imajo dolgo življenjsko dobo.	* Sprememba talnih vod okoli elektrarne
* Obratovalni stroški so nizki.	* Nesreče zaradi neprimerne projektiranja, slabe gradnje, neustreznega nadzora in nezadostnega obnavljanja vodnih struktur

Tabela 4: Prednosti in slabosti hidroelektrarn
(Vir: Esvet, 2023č)

4.3 Sončne elektrarne

V notranjosti Sonca se vrši fuzija lahkih atomskih jeder v težja jedra, ki ustvarja veliko energijo Sonca in to energijo seva proti Zemlji v obliki elektromagnetnega valovanja. Sončno sevanje je sestavljeno iz neposrednega in difuznega (razpršenega) sevanja. Neposredno sevanje pomeni, da objekt obseva samo z ene strani in to sevanje doseže Zemljo samo ob sončnem vremenu. Difuzno ali razpršeno sevanje pa je sevanje v vseh smereh, to je sevanje, ki se odbije v ozračju in na objekt seva z vseh strani neba, tako da obseva vse strani objekta, najbolj pa stran, obrnjeno proti nebu, ki ji pravimo tudi svetloba neba. To sevanje pa doseže Zemljo tudi ob oblačnem vremenu (Žalar, 2016).

Ustvarjanje električne napetosti s pomočjo fotovoltaičnih sončnih elektrarn temelji na osnovi fotoefekta. Ustvarjanje električnega toka na tak način je neposredna pretvorba energije sevanja Sonca v električno energijo. Osnova delovanja fotonapetostnih celic je fotoefekt. Iz celic so sestavljeni fotonapetostni moduli, več modulov pa je osnova generatorjem sončnih elektrarn (Žalar, 2016).

Poznamo več vrst sončnih celic: monokristalna silicijeva, polikristalna silicijeva, amorfna silicijeva, tankoslojna, sončne celice iz galijevega arzenida in CIGS in koncentrirane. Na trgu je možno dobiti vse vrste sončnih celic, vendar so najbolj razširjene silicijeve mono- in polikristalne celice. Te so izdelane v obliki modulov, ki so povezani v fotonapetostne sisteme (Žalar, 2016).



Slika 17: Monokristalni sončni panel
(Vir: AMP-solar, 2023)



Slika 18: Polikristalni sončni panel
(Vir: AMP-solar, 2023)

4.3.1 Monokristalna silicijeva sončna celica

Monokristalni sončni panel prikazuje slika 17. Monokristal je urejena kristalna mreža silicijevih atomov. Struktura kristala je zelo podobna kristalu diamanta, ker je silicijev atom, vezan s štirimi silicijevimi atomi. Izkoristek celice je odvisen od čistosti silicija. Najvišji izkoristek teh celic je okoli 24 %, tistih v komercialne namene pa med 15 in 18 % (Rožman, 2012).

4.3.2 Polikristalna silicijeva sončna celica

Polikristalni sončni panel prikazuje slika 18. Zgrajena je iz več neurejenih kristalnih območij z isto orientiranostjo kristalne zgradbe, imajo pa strukturirane in površinske napake. Te sončne celice so nekoliko cenejše od monokristalnih celic, imajo pa manjši izkoristek nekje od 13 do 16 % (Rožman, 2012).

4.3.3 Amorfn silicijeva sončna celica

Amorfni silicij pridobivajo iz čistega silicija, ki vsebuje manj primesi vodika. Celice so neparjene neposredno na steklo ali plastično folijo, zato so zelo tanke in so temnejše rjave barve. Imenujemo jih tudi tankoplastne celice. Izkoristek je bistveno slabši kot pri monokristalnih in polikristalnih celicah, nekje med 6 in 8 %, poleg tega pa se tudi hitreje starajo (Rožman, 2012).

4.3.4 Tankoslojne sončne celice

Tankoslojne sončne celice so sestavljene iz enega ali več slojev in izkoristijo več fotonov z različnimi valovnimi dolžinami. Osnova za tankoslojne fotovoltaične celice je kadmijev telurid (v nadaljevanju CdTe) ali bakrov indij galijev diselenid (v nadaljevanju CIGS). CdTe je drugi najpogostejši material za silikonom. Te celice se lahko izdelata z nizkimi proizvodnimi stroški, vendar je učinkovitost slabša v primerjavi s silikonom. CIGS pa imajo optimalne lastnosti in visoko učinkovitost v laboratoriju, vendar zaradi združevanja štirih elementov je prehod iz laboratorija v proizvodnjo bolj zahteven (DS New Energy, 2021).

Izkoristki so do 8 %, v idealnih pogojih pa dosegajo tudi do 16 %. Problem so materiali ob razgradnji, ker so škodljivi okolju (Rožman, 2012).

4.3.5 Sončne celice iz galijevega arzenida

Od vseh sončnih celic so te najbolj učinkovite, saj je njihov izkoristek kar med 25 in 28 %. Te celice so zelo drage, lahko pa se uporabljajo z zgoščevalniki sončnega sevanja. Učinkovitost teh celic se z naraščanjem temperature ne zmanjša toliko kot pri silicijevih celicah (Rožman, 2012).

4.3.6 Koncentrirane sončne celice

Koncentrirane sončne celice so sestavljene iz več plasti polprevodnikov in lahko absorbirajo različne valovne dolžine svetlobe. Najpogostejša je trispojna sončna celica, ki je sestavljena iz treh plasti polprevodniških materialov, kot so galijev arzenid, indijev galijev osfid in germanij. Zgornji sloj absorbira vidno svetlobo, srednji in spodnji pa infrardečo oz. ultravijolično svetlobo. Te sončne celice imajo učinkovitost višjo od 45 % in so rezervirane predvsem za raziskovanje vesolja. Uporaba teh sončnih celic lahko poveča učinkovitost in zmanjša stroške sončne energije, zato je to obetavna tehnologija za prihodnost (DS New Energy, 2021).

Prednosti sončnih celic: ena največjih prednosti je v tem, da z uporabo električne energije, ki je pridobljena s pomočjo sončne energije, ne škodujemo okolju, ni nobenih izpustov. Obratovalni stroški so nizki, ne proizvajajo hrupa. Prednost je vsekakor tudi v primeru, da pride do izpada električnega toka iz omrežja, v tem primeru imamo še vedno elektriko iz svoje sončne elektrarne v primeru, da imamo hranilnik oz. baterijo. Montaža sončne elektrarne na streho je enostavna (Sončna elektrarna, 2023).

Slabosti sončnih celic: ena največjih slabosti je gotovo neenakomerna razpoložljivost sončne energije, saj je odvisna od vremena in letnih časov. Investicija v sončno elektrarno je povezana z visokimi stroški in ima vpliv na vizualno podobo

okolja, saj potrebuje veliko površino. Obstajajo pa tudi možnosti požarov na mestih, kjer so nameščeni paneli (Esvet, 2023c).

SONČNE ELEKTRARNE	
PREDNOSTI	SLABOSTI
* Električne energija, pridobljena s pomočjo sončne energije, ne škoduje okolju.	* Neenakomerna razpoložljivost sončne energije, ki je odvisna od vremena in letnih časov.
* Ni izpustov.	* Stroški montaže sončnih celic so visoki.
* Obratovalni stroški so nizki.	* Potrebuje veliko površino.
* Ne povzroča hrupa.	* Možnost požarov na mestih, kjer so nameščeni paneli.
* Montaža sončne elektrarne je enostavna.	* Kratka življenjska doba (20 let)
	* Potrebno shranjevanje električne energije
	* Poveča nestabilnost sistema.
	* Shranjevanje odpadnih sončnih panelov

Tabela 5: Prednosti in slabosti sončne elektrarne
(Vir: Esvet, 2023c)

4.4 Vetrne elektrarne

Posledica gibanja zračnih mas je veter, ta pa je nosilec kinetične energije, ki jo s pomočjo vetrnega kolesa, ki je nameščeno na pogonski osi, spremenimo v mehansko delo. Generator, ki je na pogonski osi, pretvarja vetrno energijo v električno energijo. Pridobivanje električne energije s pomočjo vetra spada med najprijaznejše oblike pridobivanja elektrike (Rožman, 2012).

Za delovanje vetrnic je potrebna hitrost vetra 3 m/s, takih lokacij s tako konstantno hitrostjo vetra pa imamo v Sloveniji malo. V primorski regiji veter dosega večje hitrosti, kar je za delovanje vetrnic neprimerno (Rožman, 2012).

Vetrnice delimo na vodoravne in navpične. Bolj uveljavljene so vetrnice z vodoravno osjo vrtenja. Z višanjem stolpov vetrnic pridobimo na moči vetrne elektrarne. Pri tej vrsti vetrnic dosežemo nazivno moč pri hitrosti vetra med 10 in 25 m/s, konstantno moč pa lahko dosežemo z različnimi načini krmiljenja elis (Rožman, 2012).

Slika 19 prikazuje vetrno elektrarno.



Slika 19: Vetrna elektrarna
(Vir: Petrič, 2023)

Vetrnice z navpično osjo lahko delujejo tudi pri nižjih hitrostih vetra, neodvisno od smeri vetra. Te vetrnice so lažje in manjše od vodoravnih, zato ustvarjajo manj energije. Poznamo različne vrste navpičnih vetrnic: Savoniusov, Darrieusov in Flettnerjev rotor (Rožman, 2012).

4.4.1 Savoniusov rotor

Savoniusov rotor sta dva pokončna polkrožna valja, nameščena eden proti drugemu. Vrtita se zaradi sile upora, ki jo povzroča veter, vrtenje pa je neodvisno od smeri vetra. Ta rotor je zelo hrupen (Rožman, 2012).

4.4.2 Darrieusov rotor

Darrieusov rotor ima ukrivljene lopatice in je najbolj razširjen med vetrnicami z navpičnim rotorjem. Običajno ima dve ali tri lopatice, potrebujemo pa dodatni zaganjač za zagon vetrnice, ker samodejni zagon ni možen. Pri manjših vetrnicah pa se namesti Savoniusov rotor (Rožman, 2012).

4.4.3 Flettnerjev rotor

Flettnerjev rotor je v obliki valja, ki se vrti okoli navpične osi, sila dinamičnega vzgona pa deluje prečno na vrteči valj (Rožman, 2012).

Prednosti so, da so vetrnice energetsko učinkovite in okolju prijazne, saj je veter obnovljiv in čist vir energije. Stroški energije pa so nižji od drugih elektrarn, če so vetrnice postavljene na pravem mestu (Jensys, 2018).

Slabosti: vetrnih elektrarn je kar nekaj. Če želimo proizvesti več energije, je treba postaviti več vetrnic, kar pomeni, da vetrne elektrarne zavzamejo veliko prostora. Zaradi svoje velikosti vizualno vplivajo na okolico. Teren mora biti širok z manj ovir ali teren na višini. Prostor mora biti primeren, ker vetrnice ustvarjajo hrup. Razpoložljivost vetra niha, zato je proizvodnja elektrike iz vetrnic nestabilna. Vetrnice vplivajo na ptice zaradi trkov ptic v stolpe ali rotorje. Lahko onesnažujejo okolje, če izteče olje iz multiplikatorja, rotor, ki se vrti, pa povzroča razpršitev elektromagnetnih valovanj. Izkoristek pretvorbe vetrne energije je nizek (Jensys, 2018).

VETRNE ELEKTRARNE	
PREDNOSTI	SLABOSTI
* Učinkovite in okolju prijazne, saj je veter obnovljiv in čist vir energije.	* V primeru, da želimo proizvesti več električne energije, je treba postaviti več vetrnic, kar pomeni, da vetrne elektrarne zavzamejo veliko prostora.
* Stroški energije so nižji od drugih elektrarn, če so postavljene na pravem mestu.	* Imajo vizualni vpliv na okolico.
	* Ustvarjajo hrup.
	* Potrebujejo širok teren ali teren na višini.
	* Proizvodnja električne energije je nestabilna, saj razpoložljivost vetra niha.
	* Vpliv na ptice zaradi trkov v stolpe ali rotorje
	* Lahko onesnažujejo okolje, če izteče olje iz multiplikatorja.

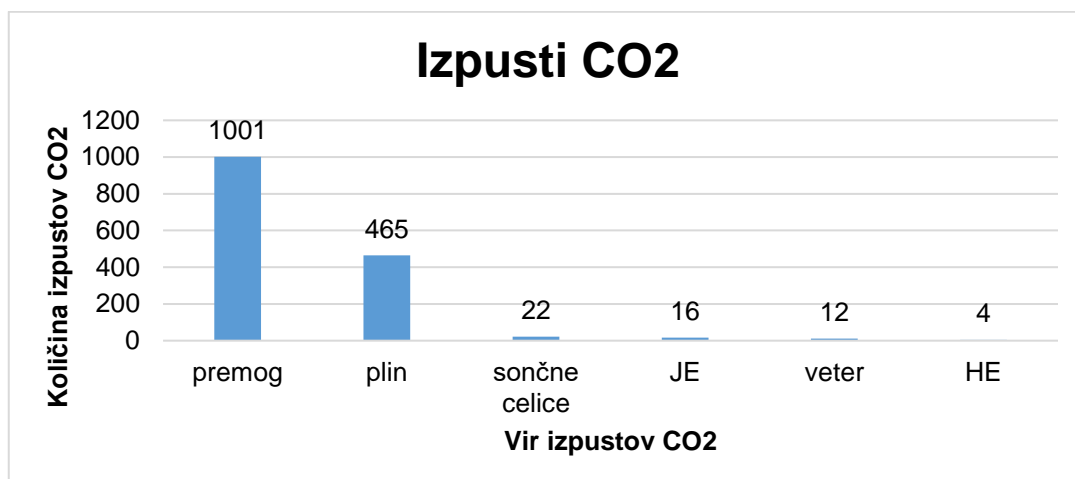
Tabela 6: Prednosti in slabosti vetrne elektrarne
(Vir: Jensys, 2018)

4.5 Primerjava tehnologij

Tehnologije za pridobivanje električne energije bomo primerjali med seboj po izpustih CO₂, po uporabi prostora, zanesljivosti in moči elektrarn.

4.5.1 Izpusti CO₂

Slika 20 prikazuje izpuste CO₂ po virih.

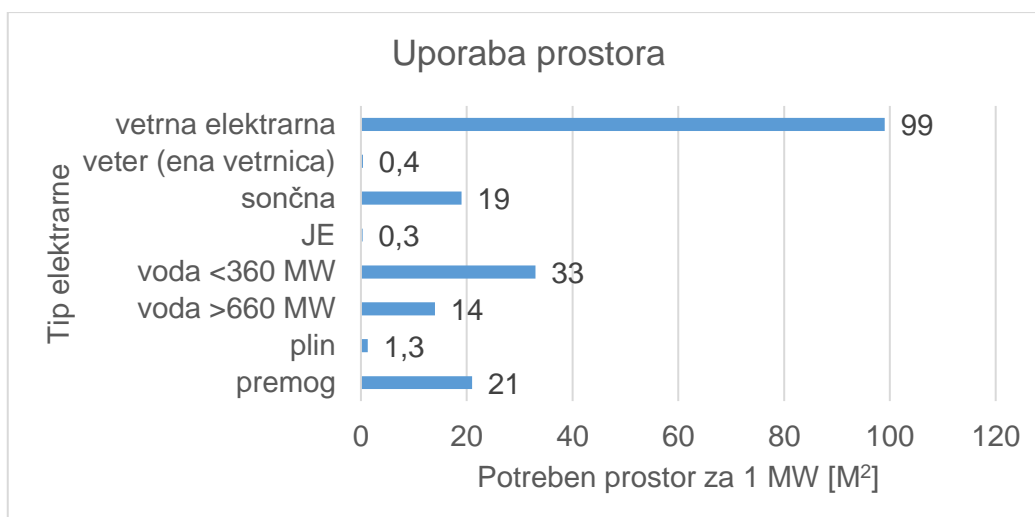


Slika 20: Izpusti CO₂
(Vir: Lauer, 2023)

S slike 20 je razvidno, da imajo največ izpustov CO₂ elektrarne na trda fosilna goriva, kot je premog ali lignit, in sicer 1001 g CO₂/kWh. Plinske elektrarne imajo za dobro polovico manj izpustov kot elektrarne na trda fosilna goriva. Sledijo sončne celice z 22 g CO₂/kWh, jedrske S 16 in vetrne elektrarne z 12 CO₂/kWh. Najmanj izpustov CO₂ pa imajo HE, in sicer 4 CO₂/kWh.

4.5.2 Uporaba prostora

Slika 21 prikazuje, koliko prostora potrebujejo različni viri za proizvodnjo ene megawatne ure (v nadaljevanju MWh) električne energije v m².



Slika 21: Uporaba prostora
(Vir: Good, 2023)

S slike 21 je razvidno, da so razlike v uporabi prostora velike. Velika razlika je možna pri enem samem energetskega viru, ki se kaže v razponu od najmanjšega do največjega zemljiškega odtisa, kot je to pri hidroelektrarnah. Raba prostora je odvisna od tega, kako je uporabljena tehnologija, in lokalnega konteksta. Hidroelektrarne imajo lahko velike zahteve po zemljišču zaradi infrastrukture, rezervoarjev, jezov. Tako lahko hidroelektrarna obsega samo 14 m² pa tudi več kot dvakrat večjo površino.

Elektrarne na premog zavzamejo 21 m² prostora, se pa potrebe po prostoru lahko razlikujejo, saj potrebujejo še prostor, ki ga zavzame rudnik, če je v bližini, skladišče za gorivo, deponijo za pepel in žlindro. Plinske elektrarne zavzamejo bistveno manj prostora, in sicer 1,3 m², saj za svoje delovanje ne potrebujejo deponije ali rudnikov.

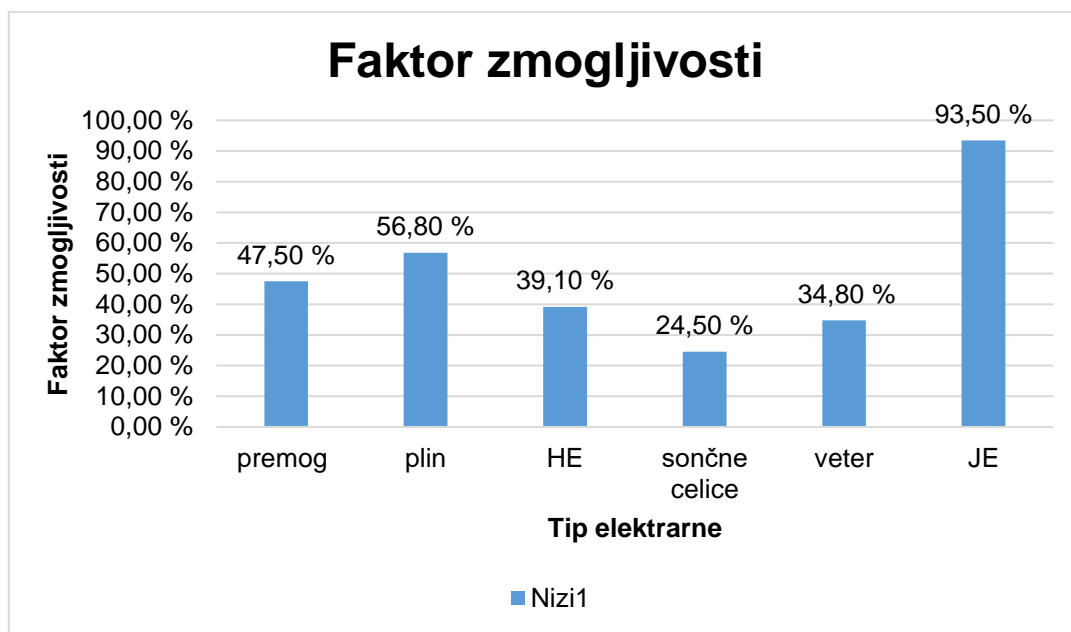
Ena sama vetrna turbina zavzame 0,4 m² prostora, kar ni veliko, toda vetrne elektrarne zavzamejo 99 m² prostora za proizvodnjo 1 MWh. Pri vetrnih elektrarnah je težje določiti uporabo prostora, saj so lahko nameščene na ravnini, hribih, morju. Vetrnice so lahko postavljene bolj skupaj, tako da nemoteno delujejo. Lahko pa so postavljene zelo narazen, da je med vetrnicami mogoče kmetovati. Tak primer je vetrna elektrarna Roscoe v Teksasu, ki porabi kar 184 m² na 1 MWh. Tako lahko pravzaprav smatramo, da gre v tem primeru pri vetrnih elektrarnah za sekundarno rabo zemljišča. Nasprotje pa sta recimo elektrarni Fantanele-Cogealac v Romuniji ali prelaz Tehachapi v Kaliforniji, kjer so vetrnice postavljene skupaj in zavzamejo za isto količino proizvedene elektrike samo 8 m². V tem primeru pa lahko govorimo o primarni rabi prostora za vetrne elektrarne. Pri sončni energiji je prav tako težje določiti uporabo prostora, saj so lahko montirane na strehi, stenah zgradb ali pa postavljene na tleh. Povprečno porabijo 19 m² prostora. Tiste, ki so montirane na zgradbah, ne potrebujejo dodatnega prostora, saj uporabijo prostor, ki je že bil zaseden z zgradbami. Pri tem sta pomembna tudi razmik plošč in gostota.

Glede na proizvedeno energijo ima jedrska najnižjo porabo prostora, in sicer 0,3 m², kljub površini, ki je potrebna za rudarjenje urana.

4.5.3 Faktor zmogljivosti

Faktor zmogljivosti je razmerje med količino vse proizvedene energije v določenem obdobju in količino energije, ki bi bila proizvedena, če bi elektrarna obratovala neprekinjeno pri najvišji moči. Izražena je v odstotkih in izračunana tako, da se proizvodnja električne energije deli z največjo možno proizvodnjo. To razmerje je pomembno, ker kaže, kako polno je uporabljena zmogljivost elektrarne, izračuna se ga po naslednji formuli (Circuit Globe, 2023):

$$\text{Faktor zmogljivosti} = \frac{\text{Vsa proizvedena energija v določenem času}}{\text{Maksimalna količina proizvedene energije}}$$



Slika 22: Faktor zmogljivosti
(Vir: Rising, 2020)

Kot prikazuje slika 22, ima jedrska energija daleč najvišji faktor zmogljivosti, kar pomeni, da proizvedejo največjo moč, več kot 93 % časa v letu. To je skoraj še enkrat več kot zemeljski plin ali premog, skoraj trikrat več kot veter in skoraj štirikrat več kot sončne celice. Jedrske elektrarne se uporabljajo pogosteje, ker zahtevajo manj vzdrževanja in delujejo daljše obdobje pred polnjenjem goriva, kar je običajno na leto in pol. Faktorji zmogljivosti premoga in zemeljskega plina so na splošno nižji zaradi vzdrževanja oz. polnjenja goriva. Elektrarne, ki uporabljajo obnovljive vire energije, kot so voda, sonce ali veter, imajo lahko zaradi vremena ali letnih časov omejen dostop do virov energije. Te elektrarne zato potrebujejo rezervni vir energije kot obsežno shranjevanje ali združevanje z zanesljivo osnovno močjo, kot je jedrska energija.

4.6 Nesreče, povezane s pridobivanjem električne energije

Za primerjavo smo poiskali še nekaj podatkov o nesrečah, ki so se zgodile v preteklosti, da si lažje predstavljamo, kakšne so posledice nesreč pri drugih virih električne energije v primerjavi z jedrsko tehnologijo. V zadnjih petdesetih letih se je zgodilo nekaj nesreč, povezanih z elektroenergetskimi sistemi. V veliko primerih je temu botrovala človeška napaka.

Leta 1963 je v Italiji prišlo do nesreče, ko se je velik kos skale gore Toc odlomil in padel v akumulacijsko jezero, voda je pljusnila čez jez in izbrisala mesto Longarone,

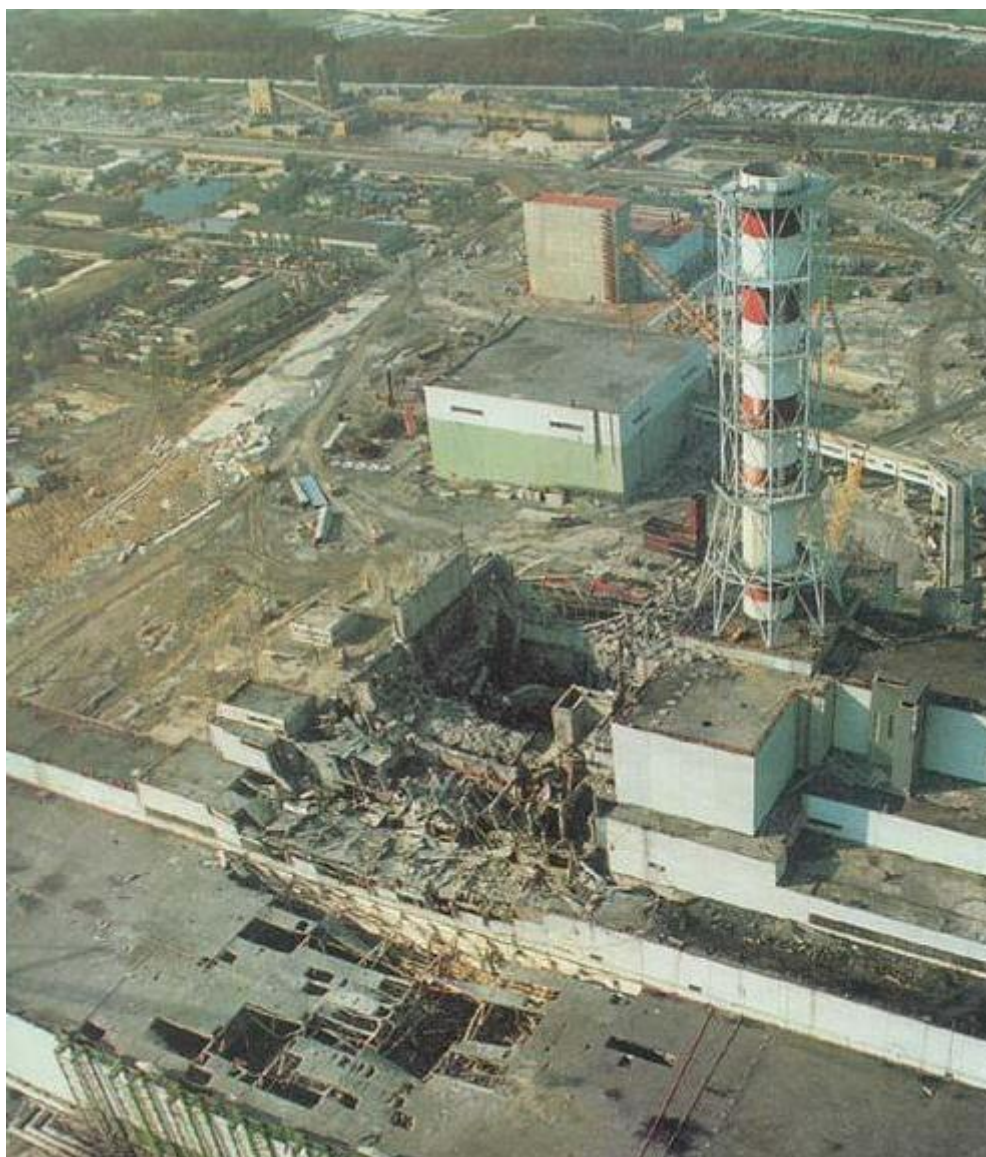
na poti je voda uničila še pet vasi. Geologi so svarili pred tako nesrečo, vendar so njihova svarila ignorirali. Umrlo je okrog 2000 prebivalcev (Tomšič, 2021).

Na Kitajskem se je leta 1975 zgodila nesreča. Tajfun je poškodoval jez na reki Ru. Nastal je velik val, ki se je razlil po rekah Ru in Huai. Poškodovanih je bilo še 62 jezov. Takrat je umrlo 100.000 ljudi zaradi poplav, številka umrlih pa se je še bistveno povečala zaradi epidemij, ki so sledile (Finance, 2020).

Ena večjih jedrskih nesreč se je zgodila v ZDA, v zvezni državi Pensilvanija, leta 1979. Reaktorska hladilna voda je začela puščati skozi zataknjen varnostni ventil. Operaterji so izklopili napačen varnostni sistem, ki je dobro deloval. Zaradi izgube hladila se je jedrska sredica začela topiti. Ostanke te sredice je zdržala nepoškodovana reaktorska posoda, v zadrževalni hram je tako ušel majhen del radioaktivnih snovi. Nesreča ni imela negativnih posledic na okolje in ljudi (ICJT, 2023).

Leta 1986 se je v Ukrajini zgodila najhujša jedrska nesreča v zgodovini človeštva, prikazano na sliki 23. Glavna vzroka sta bila človeška napaka in nevarna konstrukcija reaktorja. Neposreden razlog za to nesrečo je bilo zavestno kršenje predpisanih postopkov, ko so preizkušali turbogenerator. Moč se je naenkrat povečala, reaktor pa se ni sam ustavil. Tako je prišlo do eksplozije reaktorja. Ta JE tudi ni imela zadrževalnega hrama. Posledice te nesreče: takoj je umrlo 47 ljudi, približno 4000 otrok je zbolelo za rakom ščitnice, devet jih je umrlo zaradi posledic sevanja, ostale so pozdravili. Pričakovati je bilo, da bo od 600.000 prebivalcev in reševalcev umrlo še približno 4000 ljudi z rakom ali levkemijo zaradi sevanja. Torej skupno približno 8000 ljudi (ICJT, 2023).

Slovenska elektrarna NEK je zasnovana tako, da ne more priti do tako nestabilnega stanja. Poleg tega pa se ob povišani temperaturi reaktor v NEK samodejno zaustavi.



Slika 23: Černobil nekaj dni po nesreči
(Vir: Wikipedija, 2023)

Zadnja jedrska nesreča se je zgodila pred dobrimi 12 leti na Japonskem, ko je potres devete stopnje sprožil cunami, ki je bil osem metrov višji od projektno predvidenega. Onesposobil je varnostne sisteme JE. V reaktorski stavbi je prišlo do eksplozije zaradi vodika, ki je nastal zaradi pregrevanja vodika. Zaradi pregretega goriva so se začele sproščati radioaktivne snovi. Zaradi sevanja je po uradnih podatkih umrl en človek. Del področij, ki so jih evakuirali, pa je že možno normalno bivanje. Zaradi cunamija pa je umrlo 20.000 (ICJT, 2023).

5 ANKETA

Anketa je bila ustvarjena in objavljena na portalu 1ka, aktivna pa je bila od 10. 1. do 10. 4. 2022. Za izpolnitev ankete smo prosili sorodnike, prijatelje, sodelavce, ki so anketo delili naprej, pomagali smo si tudi s Facebookom in referatom Visoke šole za trajnostni razvoj B&B. Anketo je izpolnilo 237 oseb. Od zaključka ankete je minilo dobro leto. V tem času smo se znašli v energetske krizi, zato bomo rezultate naše ankete primerjali z rezultati podobnih anket.

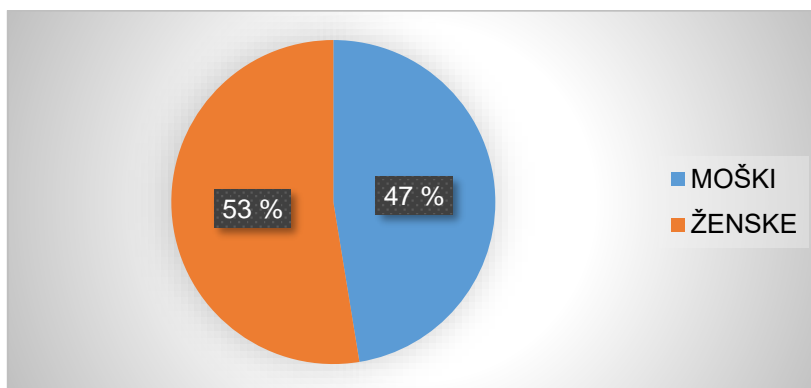
Anketni vprašalnik je razdeljen na dva dela. V prvem delu so štiri splošna vprašanja, v drugem delu pa je sedem tematskih vprašanj. Anketo je izpolnilo 237 oseb.

5.1 Splošna vprašanja

Splošna vprašanja se nanašajo na spol, starost, izobrazbo in območje bivanja. Iz teh vprašanj bomo razbrali, kakšen profil ljudi je izpolnjeval anketni vprašalnik, in dobili nekaj osnovnih podatkov o anketirancih.

Spol

Prvo vprašanje se je nanašalo na spol.

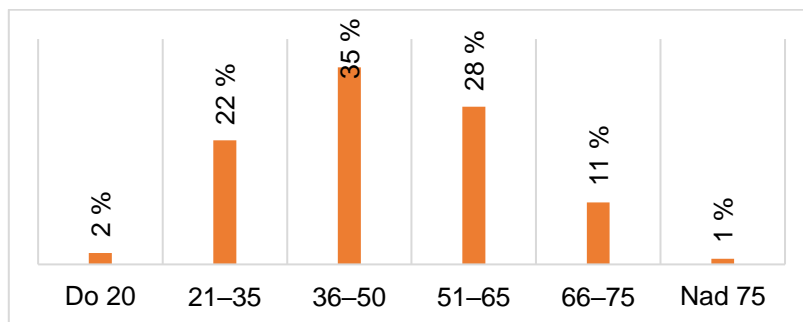


Slika 24: Spol
(Lastni vir)

Slika 24 prikazuje, koliko anketirancev je bilo moškega in koliko ženskega spola. Anketo je izpolnilo 51 % žensk in 46 % moških. 3 % anketirancev na to vprašanje niso odgovorili. Rezultat malo preseneča, saj smo pričakovali, da bo anketo glede na tematiko izpolnilo več moških kot žensk.

Starost

Drugo vprašanje se je nanašalo na starost. Kot prikazuje slika 25, so v anketi sodelovale osebe iz vseh starostnih skupin, vendar sta bili skupini do 20 let in nad 75 let slabo zastopani. Največ anketirancev je bilo iz starostne skupine med 21 in 50 let.

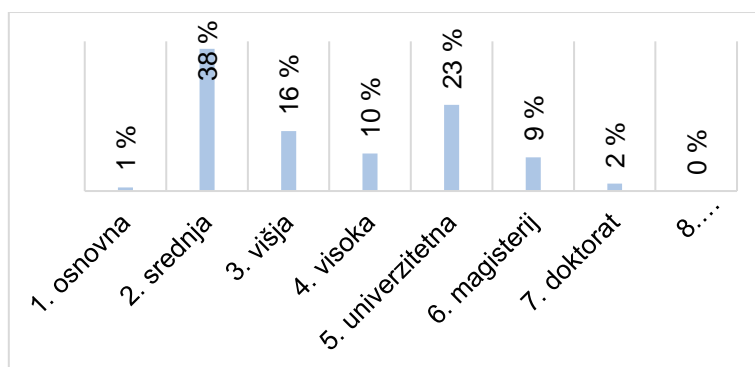


Slika 25: Starost
(Lastni vir)

Slika 25 prikazuje, iz katerih starostnih skupin so bili anketiranci. V starostni skupini do 20 let sta anketo izpolnila samo 2 % anketirancev, v starostni skupini 21–35 let je bilo 22 %, 36–50 let 35 %, 51–65 let 28 %, 66–75 let 11 % in nad 75 let 1 % anketirancev. Rezultat je pričakovan. Na to vprašanje so odgovorili vsi anketiranci.

Izobrazba

Tretje vprašanje se je nanašalo na izobrazbo.



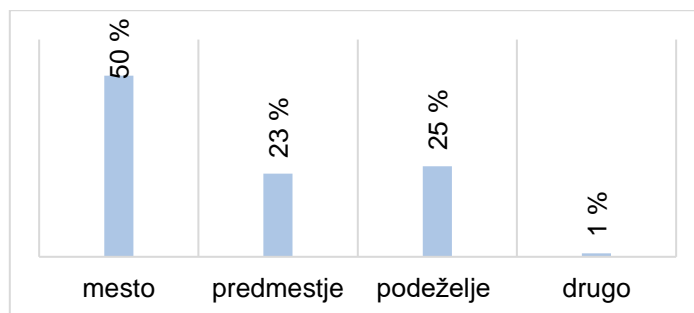
Slika 26: Izobrazba
(Lastni vir)

Slika 26 prikazuje izobrazbo anketirancev. Največ anketirancev je bilo s srednjo izobrazbo, in sicer 38 %, sledijo tisti z univerzitetno izobrazbo (23 %), z višjo izobrazbo

(16 %), z visoko (10 %), magisterijem (9 %) in doktoratom (2 %), najmanj pa jih je bilo z osnovno izobrazbo, in sicer samo 1 %. Na to vprašanje so odgovorili vsi anketiranci.

Območje bivanja

Četrto, zadnje splošno vprašanje se je nanašalo na območje bivanja.



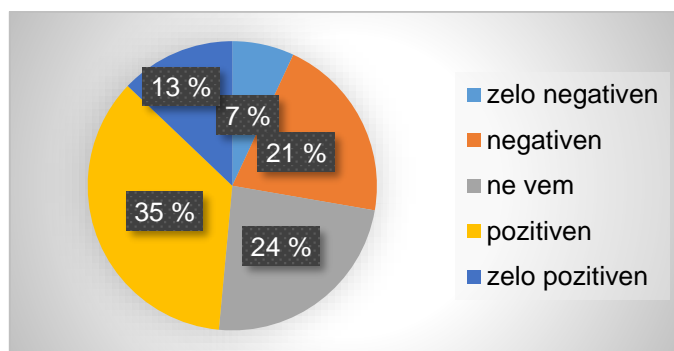
Slika 27: Območje bivanja
(Lastni vir)

Slika 27 prikazuje območje bivanja anketirancev. Polovica (50 %) jih živi v mestu, sledijo tisti s podeželja s 25 %, malo manj (23 %) jih živi v predmestju, 1 % ne živi na nobenem od teh območij, ena oseba pa na vprašanje ni odgovorila.

5.2 Tematska vprašanja

Naslednjih sedem vprašanj je tematskih. Odgovorila bodo na vprašanje, kakšen je odnos anketirancev do jedrske tehnologije.

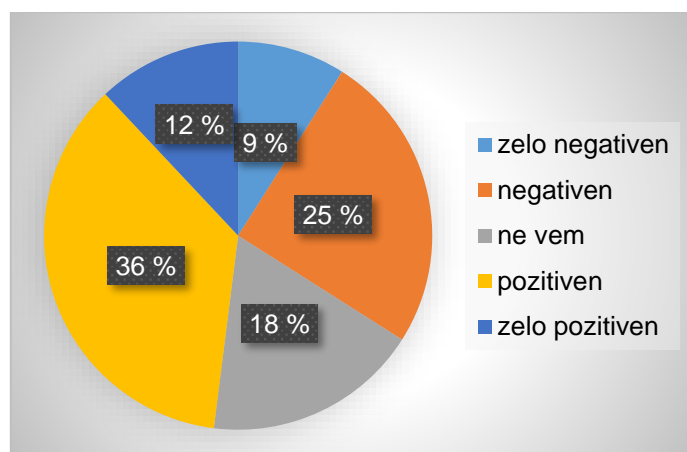
Kakšen je vaš odnos do Nuklearne elektrarne Krško (NEK)?



Slika 28: Odnos do jedrske tehnologije nasploh
(Lastni vir)

Slika 28 prikazuje odnos anketirancev do NEK. Na to vprašanje je 7 % anketirancev odgovorilo, da imajo zelo negativen odnos, negativen odnos ima 21 %, kar 36 % ima pozitiven odnos, zelo pozitiven odnos ima 13 % anketirancev, neopredeljenih pa je 24 %. Na to vprašanje so odgovorili vsi anketiranci.

Kakšen je vaš odnos do jedrske tehnologije nasploh?



Slika 29: Odnos do jedrske tehnologije nasploh
(Lastni vir)

Slika 29 prikazuje odnos anketirancev do jedrske tehnologije. 9 % anketirancev je odgovorilo, da imajo zelo negativen odnos do jedrske tehnologije, negativen odnos jih ima 25 %, 36 % jih je odgovorilo, da imajo pozitiven odnos, 12 % jih ima zelo pozitiven odnos, medtem ko jih je 18 % neopredeljenih. Ena oseba ni odgovorila na vprašanje.

Odgovore na to vprašanje bomo primerjali z odgovori na prejšnje vprašanje, in sicer kakšen je njihov odnos do Nuklearne elektrarne Krško.

Primerjava odgovorov na vprašanji o odnosu do NEK in JT nasploh

	Odnos do NEK	Odnos do jedrske tehnologije na sploh
zelo negativen	7%	9%
negativen	21%	25%
ne vem	24%	18%
pozitiven	36%	36%
zelo pozitiven	13%	12%

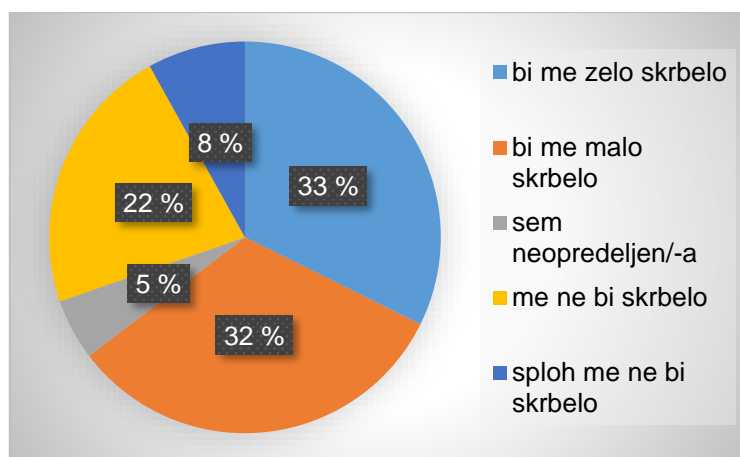
Tabela 7: Primerjava odgovorov na vprašanji o odnosu do NEK in JT nasploh
(Lastni vir)

Iz tabele 7 je razvidno, da se odgovori nekoliko razlikujejo. Zelo negativen odnos do NEK ima 7 % anketirancev, do JT nasploh pa 9 %. Prav tako ima negativen odnos do NEK 21 %, do jedrske tehnologije nasploh pa 25 %. Možno je, da je do razlike prišlo zato, ker so anketiranci pomislili na JT, ki jo uporabljamo za izdelavo jedrskega orožja.

Pozitiven odnos ima v obeh primerih 36 % ljudi. Pri zelo pozitivnem odnosu pa je razlika samo v enem odstotku.

Neopredeljenih pa je bilo v primeru odnosa do NEK 24 %, do jedrske tehnologije nasploh pa 6 % manj.

Ali bi vas skrbelo, če bi v bližini vašega bivališča zgradili jedrsko elektrarno?



Slika 30: Zaskrbljenost zaradi izgraditve JE v bližini bivališča
(Lastni vir)

Slika 30 prikazuje stopnjo zaskrbljenosti zaradi izgraditve JE v bližini bivališča. 32 % anketirancev bi bilo zelo zaskrbljenih, če bi v bližini njihovih bivališč zgradili JE, enak odstotek je odgovoril, da bi jih malo skrbelo. 22 % je takih, ki jih izgradnja JE v bližini njihovega bivališča ne bi skrbelo, 8 % pa zaradi tega sploh ne bi bilo zaskrbljenih. Neopredeljenih pri tem vprašanju je 5 % anketirancev. Na to vprašanje so odgovorili vsi anketiranci.

Primerjava odgovorov na vprašanji o odnosu do NEK in zaskrbljenosti zaradi izgraditve JE v bližini bivališča

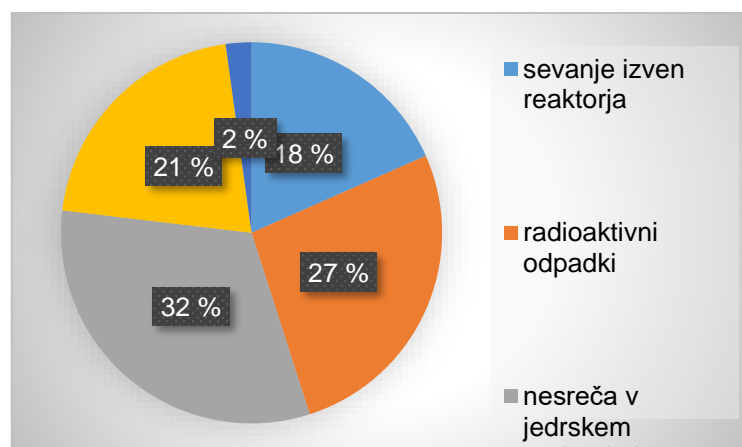
Odnos do NEK		Zaskrbljenost zaradi izgraditve JE v bližini bivališča	
zelo negativen	7%	bi me zelo skrbelo	32%
negativen	21%	bi me malo skrbelo	32%
ne vem	24%	sem neopredeljen/a	5%
pozitiven	36%	me nebi skrbelo	22%
zelo pozitiven	13%	sploh me nebi skrbelo	8%

Tabela 8: Primerjava odgovorov na vprašanji o odnosu do NEK in zaskrbljenosti zaradi izgraditve JE v bližini bivališča
(Lastni vir)

Tabela 8 prikazuje primerjavo odgovorov na vprašanji o odnosu do NEK in zaskrbljenosti zaradi izgraditve JE v bližini bivališča. Pri primerjavi teh dveh vprašanj ugotavljamo, da se odgovori zelo razlikujejo. Zelo negativen odnos do NEK ima 7 % anketirancev, medtem ko jih 32 % postavitvev JE v bližini bivališča zelo skrbi. Negativen odnos do NEK ima 21 % anketirancev, malo zaskrbljenih pa bi bilo 32 %, če bi JE zgradili v bližini njihovih bivališč. Pozitiven odnos do NEK ima 36 % anketirancev, če pa bi zgradili JE v bližini njihovih bivališč, jih ne bi bilo zaskrbljenih samo še 22 %. Zelo pozitiven odnos do NEK ima 13 % anketirancev, če pa bi v njihovi bližini zgradili JE, pa bi jih bilo čisto brez skrbi samo 8 %.

Verjetno gre tukaj za sindrom NIMBY (angl. not in my backyard) oz. ne na mojem dvorišču. Torej delež tistih, ki jih NEK ne skrbi, upade, če bi JE imeli postavljeno v bližini svojega bivališča.

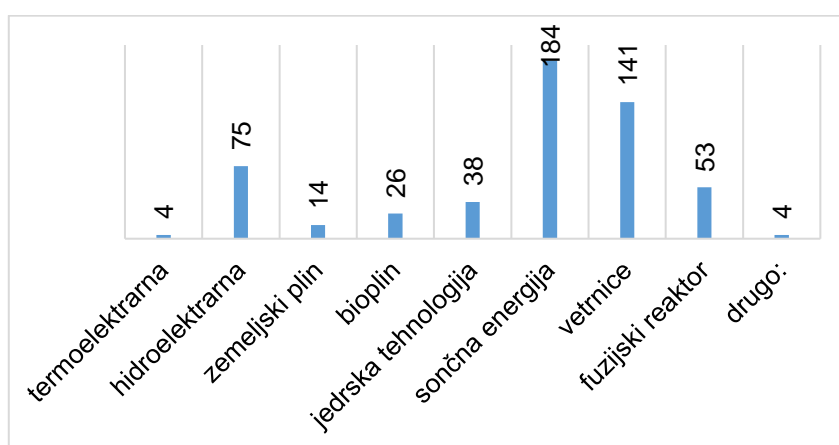
Kaj bi vas v primeru pridobivanja elektrike s pomočjo jedrske tehnologije v bližini vašega doma najbolj skrbelo?



Slika 31: Zaradi katerih dejavnikov pri JE obstaja največja zaskrbljenost
(Lastni vir)

Slika 31 prikazuje, zaradi katerih dejavnikov JE so anketiranci najbolj zaskrbljeni. Pri tem vprašanju je bilo možnih več odgovorov. Največ skrbi predstavlja možnost nesreče v jedrskem reaktorju in s tem povezane posledice, takih je bilo 161 odgovorov. Sledijo radioaktivni odpadki s 135 odgovori, kontaminacija vode in tal s 106 odgovori in sevanje izven reaktorja s 93 odgovori. Drugi dejavniki, ki vzbujajo skrb, pa so: zanesljivost in stopnja upoštevanja varnosti pri gradnji in delovanju JE, vpliv na živali in okolje in da bi JE postala vojaška tarča teroristov. Pet odgovorov pa je bilo, da jih ne skrbi nič.

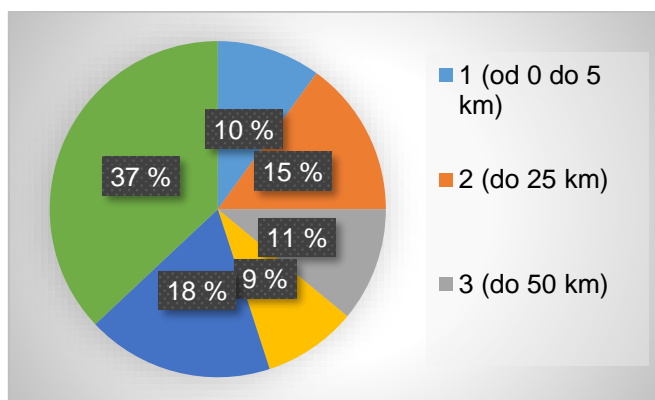
Katera od naslednjih možnosti pridobivanja električne energije se vam zdi najboljša (najmanj škodljiva za okolje in ljudi, najbolj zelena)?



*Slika 32: Najboljša možnost pridobivanja električne energije
(Lastni vir)*

Slika 32 prikazuje najboljše možnosti pridobivanja električne energije po mnenju anketirancev. Tudi pri tem vprašanju je bilo možnih več odgovorov. Največ odgovorov je bilo v prid sončni energiji, in sicer 184, sledijo vetrnice s 141 odgovori, hidroelektrarne s 75 odgovori, fuzijski reaktor s 54, jedrska tehnologija z 38, biopljin s 26, zemeljski plin s 14 in termoelektrarne s štirimi odgovori. Iz tega je razvidno, da so anketiranci najbolj naklonjeni sončni energiji, vetrni energiji in hidroelektrarnam, jedrska tehnologija pa je šele na petem mestu. Pod drugo pa sta bila navedena vodik in sežigalnica. Na to vprašanje so odgovorili vsi anketiranci.

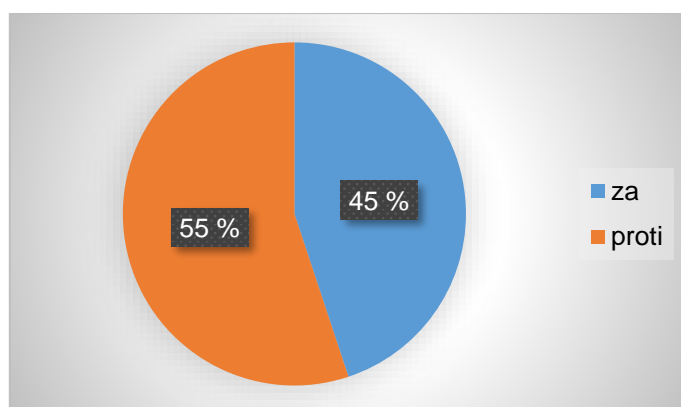
Kako daleč od svojega doma bi podprli graditev jedrske elektrarne?



*Slika 33: Pri kateri oddaljenosti od doma bi bila graditev jedrske elektrarne še sprejemljiva
(Lastni vir)*

Slika 33 prikazuje, katera oddaljenost od jedrske elektrarne bi bila za anketirance še sprejemljiva. Graditev jedrske elektrarne od 0 do 5 km od doma bi bila sprejemljiva za 10 % vprašanih, z gradnjo v oddaljenosti do 25 km od doma bi se strinjalo 15 %, z razdaljo do 50 km bi se strinjalo 11 %, do 100 km 9 %, nad 100 km pa bi se z gradnjo strinjalo 18 %. 37 % vprašanih pa se z gradnjo ne bi strinjalo v nobenem primeru. Na to vprašanje so odgovorili vsi anketiranci.

Če bi bil danes referendum o gradnji drugega jedrskega reaktorja v Krškem, kako bi se odločili?



*Slika 34: Odločitev o gradnji drugega jedrskega reaktorja v NEK
(Lastni vir)*

Slika 34 prikazuje, kakšna bi bila odločitev o gradnji drugega jedrskega reaktorja v NEK. Če bi bil referendum o gradnji drugega jedrskega reaktorja v NEK pred enim letom, ko smo izvajali anketo, bi se več kot polovica anketirancev odločila proti, in

sicer točneje 54 %, gradnjo drugega jedrskega reaktorja pa bi podprlo 44 %. Trije oz. 7 % anketiranih pa na vprašanje ni odgovorilo.

5.3 Zaključki analize rezultatov ankete

Anketiranci so bili obeh spolov, vseh starostnih skupin. Skupini do 20 let in nad 75 let sta bili slabše zastopani. Bili so vseh stopenj izobrazbe, s tem, da je bila zastopanost tistih z osnovno šolo in doktoratom minimalna, nikogar pa ni bilo s stopnjo specializacije. Polovica jih živi v mestu, nekaj manj kot polovica v predmestju ali na podeželju. Anketo so izpolnile osebe obeh spolov, različnih starosti in izobrazbe, ki živijo na različnih območjih.

Dobra četrtnina anketirancev ima zelo negativen ali negativen odnos do NEK. Nekaj manj kot polovica jih ima zelo pozitiven ali pozitiven odnos, slaba četrtnina pa jih je neopredeljenih. Na splošno o jedrski tehnologiji pa je razmerje drugačno kot pri prejšnjem vprašanju, in sicer negativen ali zelo negativen odnos jih ima dobra tretjina, medtem ko jih ima pozitiven ali zelo pozitiven odnos manj kot polovica, medtem ko je bilo v tem primeru za tri četrtine manj neopredeljenih. Do razlike bi lahko prišlo zato, ker so pri JT na splošno pomislili na to, da se jo uporablja tudi za izdelavo jedrskega orožja.

Več kot tretjino anketirancev bi zelo ali malo skrbelo v primeru, da bi v bližini njihovih domov gradili jedrsko elektrarno, slaba tretjina pa zaradi tega ne bi bila zaskrbljena. Tak rezultat pripisujemo temu, da sta bili predvsem nesreči v Černobilu in Fokušimi medijsko zelo izpostavljeni in v marsikom vzbujata strah. Anketirance najbolj skrbi nesreča v jedrskem reaktorju in s tem povezane posledice, sledi skrb pred kontaminacijo vode in tal, radioaktivni odpadki in sevanje izven reaktorja.

Največ anketirancev je naklonjenih sončni energiji, vetrnicam in hidroelektrarnam, kar kaže na to, da so ozaveščeni glede varstva okolja. Najmanj so naklonjeni elektrarnam na premog in plin ter bioplin.

Dobra tretjina anketirancev ne bi v nobenem primeru podprla gradnje JE v bližini svojih bivališč. V bližini bivališča bi gradnjo JE podprla samo desetina anketirancev, z večanjem razdalje pa ta delež nekoliko raste, saj bi skoraj ena petina podprla gradnjo JE, če bi to zgradili vsaj sto ali več kilometrov daleč.

V tem primeru bi se dobra polovica vprašanih odločila proti gradnji JE na morebitnem referendumu za graditev NEK2 ali proti njej.

5.4 Primerjava z drugimi anketami

Na spletni strani Jedrce so objavili rezultat raziskave javnega mnenja o uporabi jedrske energije za pridobivanje elektrike. Raziskavo je opravila agencija Argon za družbo GEN. Anketo so opravili maja 2022, torej en mesec po zaključku naše ankete. Njihovi rezultati nekoliko odstopajo od naših. Ugotovili so, da se podpora jedrski energiji državljanov povečuje. Podporo jedrski energiji je izrazilo kar 57 % državljanov na nacionalni ravni. V spodnjeposavski regiji pa je podpora kar 82-odstotna, kar ne preseneča, saj z NEK živijo že desetletja. Našo anketo so izpolnjevali večinoma tisti, ki živijo v Ljubljani, njeni bližnji ali daljni okolici. Anketirancev iz spodnjeposavske regije verjetno ni bilo, zato je naš rezultat slabši za 13 % (Jedrce, 2023).

Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo (v nadaljevanje ICJT) vsako leto za Inštitut Jožef Štefan naredi raziskavo javnega mnenja o JE. Tako bomo primerjali rezultate njihove raziskave iz let 2013 in 2022 z rezultati naše ankete (Istenič in Jenčič, 2013, 2022).

Glavna ciljna skupina ICJT so šolarji z učitelji, večinoma stari med 14 in 15 let. Vsako leto anketirajo okoli 1000 mladih ljudi. Anketirajo jih, preden poslušajo predavanje ali obiščejo razstavo, da bi dobili njihovo mnenje na podlagi informacij, ki so jih dobili predvsem od svojih družin in medijev (Istenič in Jenčič, 2013, 2022).

Na podlagi rezultatov raziskave tako iz leta 2013 kot iz leta 2022 so ugotovili, da je njihovo poznavanje o jedrski energiji, radioaktivnih odpadkih in sevanju precej slabo. Kljub temu je več mladih v obeh primerih naklonjenih graditvi NEK2. Natančneje, z gradnjo NEK2 se popolnoma strinja, strinja ali delno strinja več kot polovica učencev in učiteljev. Leto 2013 je bilo eno leto po nesreči v Fukušimi, vendar so bili rezultati podobni kot pred letom 2012. V letu 2022 se z gradnjo strinja prav tako več kot polovica anketiranih, s tem, da se z gradnjo strinja 5 % več učencev kot leta 2013. Pri naši anketi pa je bil rezultat obraten, dobra polovica gradnje NEK2 ne bi podprla (Istenič in Jenčič, 2013, 2022).

Nekateri rezultati raziskave ICJT kažejo na to, da mladi nimajo dovolj znanja o JE, saj jih skoraj polovica meni, da je sevanje iz odlagališča RAO mogoče zaznati en kilometer daleč in da JE povzročajo kisel dež. Pozitivne vplive JE na okolje poznajo slabo. To si razlagajo s tem, da učni načrti osnovnih šol ne zajemajo snovi o JE in radioaktivnosti. Kot glavni razlog proti NEK2 v anketi iz leta 2013 navajajo odlaganje izrabljenega jedrskega goriva. V letu 2022 pa kot glavni razlog proti NEK2 navajajo možnost nesreče. V naši anketi je prav tako glavni razlog strah pred nesrečo in posledicami (Istenič in Jenčič, 2013, 2022).

V letu 2022 je bilo eno od anketnih vprašanj ICJT, kakšno je njihovo mnenje o JE. Malo manj kot polovica jih je navedla odgovor, da ne vejo ali pa nimajo mnenja, ena

tretjina jih je odgovorila, da prednosti odtehtajo tveganje, malo manj kot četrtnina pa, da prednosti ne odtehtajo tveganja. V naši anketi je bilo eno od vprašanj, kakšen odnos imajo do JE. Negativen ali zelo negativen odnos do JE ima dobra tretjina anketirancev, slaba polovica pa jih ima pozitiven ali zelo pozitiven odnos, medtem ko jih je bila slaba petina neopredeljenih (Istenič in Jenčič, 2013, 2022).

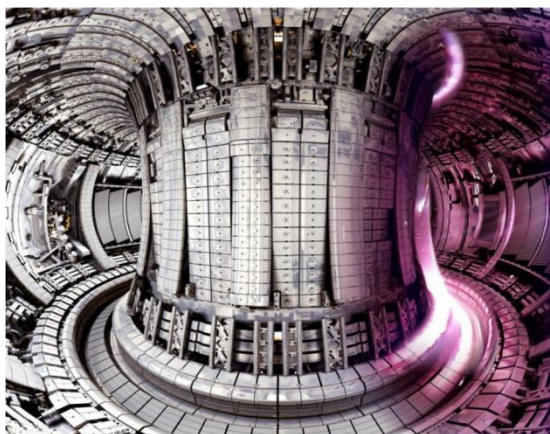
V tem primeru je 9 % anketirancev odgovorilo, da imajo zelo negativen odnos do jedrske tehnologije, negativen odnos jih ima 25 %, 36 % jih je odgovorilo, da imajo pozitiven odnos, 12 % jih ima zelo pozitiven odnos, medtem ko jih je 18 % neopredeljenih (Istenič in Jenčič, 2013, 2022).

6 PRIHODNOST PRIDOBIVANJA ELEKTRIČNE ENERGIJE S POMOČJO FUZIJE

V tem poglavju bomo raziskali, kakšne so možnosti za pridobivanje električne energije v prihodnosti. Ena od boljših možnosti je vsekakor fuzijski reaktor. Opisali bomo, kako se pridobi elektriko s pomočjo fuzijskega reaktorja, kdaj so se pojavili prvi fuzijski reaktorji in kdaj lahko pričakujemo prve elektrarne v komercialne namene. V Evropi imamo dva fuzijska reaktorja, JET (angl. Joint European tours), ki se nahaja v Veliki Britaniji, in ITER (pomeni pot v latinskem jeziku), ki se nahaja v južni Franciji.

6.1 JET

Fuzijski reaktor JET so začeli razvijati v petdesetih letih prejšnjega stoletja in je danes največji fuzijski reaktor za pridobivanje električne energije, nahaja se v Veliki Britaniji. Na sliki 35 je prikazana notranjost tokamaka v JET-u. To je fuzijski reaktor, ki velja za najperspektivnejši tip reaktorja za pridobivanje električne energije s pomočjo fuzije. Za gorivo se uporabljajo izotopi vodika, in sicer težki vodik devterij ali mešanica devterija in tritija, ki sta najbolj primerna za fuzijsko reakcijo na Zemlji. Za uporabo je tritij zahtevnejši, ker je radioaktiven. Najbolj pomembni sta temperatura okoli 100 milijonov °C in visoka gostota goriva, ki ju dosežemo z močnim magnetnim poljem, mikrovalovnim segrevanjem plazme in pospeševalnikom delcev. Injiciranje dela goriva pri visoki energiji v plazmo s pomočjo pospeševalnika in ionsko ciklotronsko resonančno gretje sta glavni vir segrevanja plazme. Leta 1979 je bil dosežen predhodni rekord v energiji, sproščeni v enem pulzu, pri približno enaki dolžini pulza je bila potrebna manjša moč. Med letoma 2010 in 2011 je bila karbonska stena tokamaka zamenjana s kovinsko steno iz berilija in volrama, kar je zmanjšalo zadrževanje goriva do 10-krat. S poznejšo nadgradnjo sistemov gretja in z naprednimi scenariji segrevanja in obvladovanja plazme pa so bili doseženi rekordno visoki energijski pulzi. Pri tem projektu sodeluje deset slovenskih raziskovalcev, ki so intenzivno sodelovali tudi pri pripravi zadnjega rekordnega dosežka. Trenutno pa sta na tem projektu zaposlena dva slovenska raziskovalca (Lengar, 2023).



Slika 35: Notranjost tokamaka v JET-u
(Vir: Jedrce, 2023)

6.2 ITER

ITER je velik mednarodni projekt, ki ga prikazuje slika 36, z največjim fuzijskim reaktorjem, volumen plazme bo 10-krat večji kot pri projektu JET. Komponente ITER-ja bodo iz enakih materialov kot JET. Pri 50 MW vložene moči naj bi ustvaril 500 MW fuzijske moči. Tokamak, ki ga prikazuje slika 35, in superprevodni magneti v ITER-ju bodo večjih dimenzij kot v JET-u, zato bo dolžina pulzov v reaktorju bistveno daljša in bo znašala nekaj minut. Leta 2025 naj bi bil ITER končan in sledile bodo raziskave z devterijevo plazmo. Po nadgradnji ITER-ja pa leta 2035 načrtujejo obratovanje z mešanico devterija in tritija. Takrat bo ITER dosegel 500 MW fuzijske moči. ITER bo eksperimentalni reaktor in bo še ena stopnička bližje reaktorju EU DEMO, ki bo zasnovan podobno, bo pa že proizvedel električno energijo. Načrti za njegovo gradnjo pa so še daleč in segajo v leto 2050 (Lengar, 2023).



Slika 36: ITER
(Vir: Jedrce, 2023)

6.3 Prednosti in slabosti fuzijskih reaktorjev

Tabela 9 prikazuje prednosti in slabosti fuzijskega reaktorja. Prednosti pridobivanja električne energije s pomočjo fuzije je kar nekaj, in sicer surovine devterij in tritij za gorivo dobimo iz vode oziroma iz litija, ki sta razporejena po celi zemeljski obli in sta poceni. Kljub temu da gre za jedrsko reakcijo, to ne predstavlja nevarnosti, saj je vsega skupaj v reaktorju le nekaj gramov devterija in tritija naenkrat. Izpusti toplogrednih plinov in posredni izpusti pa so majhni.

Obstaja pa tudi nekaj slabih lastnosti, in sicer zagotavljanje pogojev za gostoto jedrskega goriva in fuzijo je zelo zahtevno. Temperatura v reaktorju za 10-krat presega temperaturo sončevega jedra. Treba bo tudi še razviti materiale, ki bodo primerni za obsevanje z nevtroni pri taki visoki temperaturi. Zato ne moremo pričakovati, da bodo prve komercialne fuzijske elektrarne začele obratovati pred letom 2050 (Lengar, 2023).

FUZIJSKI REAKTOR	
PREDNOSTI	SLABOSTI
* Surovine so razporejene po celi zemeljski obli.	* Zagotavljanje pogojev za gostoto jedrskega goriva in fuzijo je zelo zahtevno.
* Poceni surovine	* Treba bo razviti materiale, ki bodo primerni za obsevanje z nevtroni pri zelo visoki temperaturi.
* Devterija in tritija je v reaktorju le nekaj gramov naenkrat, zato ne predstavlja nevarnosti.	* Prve fuzijske elektrarne v komercialne namene ne moremo pričakovati pred letom 2050.
* Izpustov TPG ni.	

Tabela 9: Prednosti in slabosti fuzijskega reaktorja
(Vir: Lengar, 2023)

7 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu je naslovljena aktualna tema pridobivanja električne energije v Sloveniji. Nahajamo se v času energetske krize, potrebe po električni energiji pa se povečujejo. V bližnji prihodnosti se načrtuje izgradnja drugega fisiskega reaktorja v NEK. Obstaja velika verjetnost, da se bomo morali državljani na referendumu odločiti za gradnjo drugega bloka jedrske elektrarne v Krškem (JEK2) ali proti njej.

Posledično smo v diplomskem delu obravnavali različne tehnologije za pridobivanje električne energije. Opisali smo tehnologije pridobivanja električne energije, ki jih v Sloveniji najpogosteje uporabljamo. To so: termoelektrarne, plinske elektrarne, hidroelektrarne, sončne in vetrne elektrarne. Preverili smo tudi, kakšne so njihove prednosti in slabosti.

Bolj podrobno so bile opisane teme, povezane z jedrsko tehnologijo, kamor spadajo delovanje elektrarn, radioaktivni odpadki, fuzija in eksperimentalni fuzijski reaktorji. S tem smo želeli dobiti boljši pregled nad različnimi tehnologijami za lažjo primerjavo med njimi, predvsem njihovih prednosti in slabosti. Namen je, da se bralcem prikaže strokovni pogled na jedrsko energijo in s tem olajša odločitev na morebitnem referendumu.

JE tako kot vse druge tehnologije za pridobivanje električne energije predstavljajo določeno tveganje, zato je pomembno, da o tem dobimo čim več informacij, podatkov in znanj. JE veliko ljudem predstavlja strah ali celo grožnjo, predvsem zaradi jedrskih bomb, ki so že bile uporabljene proti človeštvu, in nesreč, ki so se zgodile.

Osrednji del diplomskega dela predstavlja anketa, s katero smo želeli ugotoviti, kakšen je odnos ljudi do JE. Iz rezultatov ankete smo ugotovili, da je strah prisoten. Na vprašanje, če bi podprli izgradnjo novega jedrskega reaktorja v NEK, se je dobra polovica anketirancev izrekla proti gradnji.

Po statistiki spada jedrska tehnologija med najvarnejše vire, kljub temu pa je bila večina anketirancev proti gradnji. Podobne zaključke opažajo pri letalski industriji, ki spada med najvarnejša prevozna sredstva, kljub temu pa pri ljudeh povzroča največ strahu med prevoznimi sredstvi.

Meja med strahom in realnostjo se lahko zmanjša z ozaveščanjem prebivalstva in opozarjanjem na pozitivne lastnosti jedrske tehnologije. Pozitivne lastnosti so predvsem v tem, da zagotavlja veliko količino električne energije po konkurenčni ceni, zmanjšuje odvisnost od uvoza, ne povzroča izpustov TPG, emisij in drugih škodljivih snovi, ogljični odtis je majhen v primerjavi z elektrarnami na premog ali plin, NEK pa se je odlično odrezala na varnostnih testih na evropski ravni. V primerjavi s sončnimi in vetrnimi elektrarnami pa nam jedrska tehnologija zagotavlja konstantno proizvodnjo

električne energije in ni odvisna od vremena, zavzame manj prostora, ne ustvarja hrupa kot vetrne elektrarne in nima negativnega vpliva na ptice ter ne povzroča elektromagnetnega valovanja.

Reprezentativni vzorec ne more predstavljati volje vseh državljanov, saj so bili anketiranci večinoma iz Ljubljane, ožje ali širše okolice. Predvidevamo, če bi anketo izvedli v Krškem in njegovi okolici, bi bil rezultat drugačen, saj z NEK živijo že dobrih štirideset let.

Vsekakor je prihodnost pridobivanja električne energije v fuzijskem reaktorju, vendar nas do časa, ko bo prvi fuzijski reaktor začel delovati in proizvajati električno energijo za končne porabnike energije, loči 30–50 let. Zato je pomembno, da se trenutno osredotočimo na obdobje, ki ravno sovпада z obratovalnim obdobjem ene jedrske elektrarne, zato potrebujemo še eno elektrarno. Potrebovali pa bomo še drugo, ki bo nadomestila TEŠ, saj se bo ta zaprl leta 2033.

8 LITERATURA IN VIRI

AMP-solar. (b. l.). *Izbrati monokristalni ali polikristalni solarni panel*. Pridobljeno 9. 4. 2023 z naslova https://www.amp-solar.com/mono_ali_poli.

ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke. (b. l.a). *Odlagališče nizko- in srednjeradioaktivnih odpadkov (NSRAO)*. Pridobljeno 23. 6. 2023 z naslova <https://arao.si/nacrtovanje-odlagalisca-nsrao/>.

ARAO - Agencija za radioaktivne odpadke. (b. l.b). *Kje radioaktivni odpadki nastanejo in koliko jih je*. Pridobljeno 14. 6. 2023 z naslova <https://arao.si/kje-radioaktivni-odpadki-nastanejo-in-koliko-jih-je/>.

Božič, T. et al. (2022). *Domača proizvodnja manjša, končna raba energije pa večja*. Pridobljeno 7. 3. 2023 z naslova <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/10621>.

Circuit Globe. (2023). *Capacity factor*. Pridobljeno 20. 11. 2023 z naslova <https://circuitglobe.com/capacity-factor.html>.

DS New Energy. (2021). *Osnove sončnih fotonapetostnih celic*. Pridobljeno 25. 9. 2023 z naslova <https://si.dsnsolar.com/info/solar-photovoltaic-cell-basics-60112058.html>.

Esvet. (2018). *Nov plinski blok termoelektrarne Brestanica*. Pridobljeno 15. 3. 2023 z naslova <https://www.esvet.si/novice/nov-plinski-blok-termoelektrarne-brestanica>.

Esvet. (b. l.a). *Jedrska energija*. Pridobljeno 9. 3. 2023 z naslova <https://www.esvet.si/jedrska-energija>.

Esvet. (b. l.b). *Fosilna energija*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova <https://www.esvet.si/fosilna-energija>.

Esvet. (b. l.c). *Sončna energija*. Pridobljeno 9. 3. 2023 z naslova <https://www.esvet.si/drugi-viri-energije/soncna-energija>.

Esvet. (b. l.č). *Vodna energija*. Pridobljeno 9. 3. 2023 z naslova <https://www.esvet.si/vodna-energija>.

Finance. (2020). *Največje nesreče na elektroenergetskih sistemih – opis, zgodovina in zanimivosti*. Pridobljeno 22. 6. 2023 z naslova <https://sl.puntomariner.com/the-largest-accidents-on-electric/>.

Gen skupina. (b. l.) *Vlagamo v obnovljive vire*. Pridobljeno 25. 9. 2023 z naslova <https://www.gen-energija.si/investiramo-in-razvijamo/hidroelektrarne-na-reki-savi>.

Golli, B. (2015). *Atomi, molekule, jedra*. Pridobljeno 14. 6. 2023 z naslova [http://www.grega.si/pef/amj\(2020-2021\)/AMJ.pdf](http://www.grega.si/pef/amj(2020-2021)/AMJ.pdf).

Good, C. (2023). *How much land does electricity use?* Pridobljeno 19. 11. 2023 z naslova <https://energyminute.ca/infographics/how-much-land-does-electricity-use/>.

HSE Invest. (2014). *Zaključena prenova HE Zlatoličje, jezu Melje in izgradnje MHE Melje*. Pridobljeno 9. 4. 2023 z naslova <https://www.hse-invest.si/splosna-vsebina/139/zakljucena-prenova-he-zlatolicje-jezu-melje-in-izgradnje-mhe-melje>.

IAM študent. (b. l.). *Radioaktivnost in radioaktivne snovi*. Pridobljeno 14. 6. 2023 z naslova https://iamstudent.si/e-gradiva/nevarne_snovi/1_4_Radioaktivnost_in_radioaktivne_snovi/odkritje_radioaktiradioa.html.

ICJT. (b. l.). *Jedrske nesreče*. Pridobljeno 22. 6. 2023 z naslova <https://www.icjt.org/jedrska-tehnologija/jedrske-nesrece/>.

Instalater. (2019). *Jedrski reaktor Tokamaki, ITER*. Pridobljeno 7. 3. 2023 z naslova <https://www.instalater.si/prispevek/701/jedrski-reaktor-tokamaki-iter>.

International Agency for Research on Cancer. (2016). *Kaj je „sevanje“? Kakšne vrste sevanja obstajajo?* Pridobljeno 13. 6. 2023 z naslova <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/sl/12-nasvetov/sevanje/4103-kaj-je-sevanje-kaksne-vrste-sevanja-obstajajo>.

Istenič, R. in Jenčič, I. (2013). *Public opinion about nuclear energy – year 2013 Poll*. Pridobljeno 20. 11. 2023 z naslova https://arhiv.djs.si/proc/nene2013/pdf/NENE2013_1306.pdf.

Istenič, R. in Jenčič, I. (2022). *Public opinion about nuclear energy – year 2022 Poll*. Pridobljeno 20. 11. 2023 z naslova https://www.djs.si/nene2022/proceedings/html/pdf/NENE2022_808.pdf.

Jedrce. (2023). *Povečanje podpore jedrski energiji*. Pridobljeno 24. 4. 2023 z naslova <https://e-jedrce.djs.si/jedrce-st-38/novice/povecanje-podpore-jedrski-energiji>.

Jenčič, I. (2013). *Osnove jedrske fizike*. Pridobljeno 14. 6. 2023 z naslova <https://www.svet-energije.si/upload/files/Osnove%20jedrske%20fizike.pdf>.

Jensys. (2018). *Prednosti in slabosti vetrne energije*. Pridobljeno 10. 4. 2023 z naslova <http://si.jensyssolar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-wind-energy-29797174.html>.

Jevtič, V., Šurlan, M. in Matela, J. (2014). *Diagnostična in intervencijska radiologija*. Maribor: Založba Pivec.

Kojič, T. (2011). *Radiacijska bolezen, posledica radioaktivnega sevanja*. Pridobljeno 14. 6. 2023 z naslova <https://viva.bhc.si/8995544/Radiacijska-bolezen-posledica-radioaktivnega-sevanja>.

Kolektor. (2023). *Do zanesljive oskrbe s premogom*. Pridobljeno 15. 3. 2023 z naslova <https://www.kolektorsisteh.si/reference/referenca-sisteh/do-zanesljive-oskrbe-s-premogom>.

Kvarkadabra. (2000). *Sevanje*. Pridobljeno 30. 9. 2023 z naslova <https://kvarkadabra.net/2000/01/sevanje/>.

Kvarkadabra. (2008). *Tomaž Gyergyek: Fuzija – vir energije prihodnosti*. Pridobljeno 19. 6. 2023 z naslova <https://kvarkadabra.net/2008/03/gyergyek-fuzija/>.

Lauer, A. (2023). *Electricity emissions around the world – 2023*. Pridobljeno 30. 9. 2023 z naslova <https://shrinkthatfootprint.com/electricity-emissions-around-the-world-2/>.

Lengar, I. (2023). *Rekordni dosežek na področju pridobivanja energije iz fuzije*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova <https://e-jedrce.djs.si/jedrce-st-37/novice/rekordni-dosezek-na-podrocju-pridobivanja-energije-iz-fuzije>.

Marhl, M. et al. (2017). *Energija, sevanje, življenje*. Mozirje: En-lite.

McCracken, G. in Stott, P. (2005). *Fusion – The energy of the universe*. London: Elsevier Inc.

Moja občina Novo mesto. (2020). *Dr. Irma Rozman Sinur: O problematiki delcev PM10 se premalo govori*. Pridobljeno 14. 3. 2023 z naslova <https://www.mojaobcina.si/novo-mesto/novice/dr-irma-rozman-sinur-o-problematiki-delcev-pm10-se-premalo-govori.html#>.

Mrežna meteorologija. (b. l.) *Gama žarki*. Pridobljeno 14. 6. 2023 z naslova <https://www.meteorologiaenred.com/sl/gama-%C5%BEarki.html>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023a). *Zanesljiva oskrba z električno energijo*. Pridobljeno 18. 11. 2023 z naslova <https://www.nek.si/o-nas/o-nek>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023b). *Nuklearna elektrarna Krško ponovno odprta za obiskovalce*. Pridobljeno 20. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/o-nas/o-nek>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023c). *Kako deluje jedrska elektrarna*. Pridobljeno 20. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023č). *Primarni krog*. Pridobljeno 23. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/primarni-krog>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023d). *Sekundarni krog*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/sekundarni-krog>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023e). *Terciarni krog*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/terciarni-krog>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023f). *Komandna soba*. Pridobljeno 25. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/komandna-soba>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023g). *Zadrževalni hram*. Pridobljeno 25. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/zadrzevalni-hram>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023h). *Bazen za izrabljeno gorivo*. Pridobljeno 26. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/bazen-za-izrabljeno-gorivo>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023i). *Suho skladišče za izrabljeno jedrsko gorivo*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/suho-skladisce-za-izrabljeno-jedrsko-gorivo>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023j). *Stikališče*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/stikalisce>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023k). *Zgradba za rokovanje z radioaktivnimi tovari*. Pridobljeno 23. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/zgradba-za-rokovanje-z-radioaktivnimi-tovori>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023l). *Prva utrjena varnostna zgradba*. Pridobljeno 24. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/prva-utrjena-varnostna-zgradba>.

Nuklearna elektrarna Krško. (2023m). *Dekontaminacijska zgradba*. Pridobljeno 25. 6. 2023 z naslova <https://www.nek.si/kako-deluje-nek/dekontaminacijska-zgradba>.

Ojovan, M. I., Lee, W. E. in Kalmykov, S. N. (2019). *Transport and storage of radioactive waste*. London: Imperial College.

Okolje.info. (b. l.) *Uvod*. Pridobljeno 14. 3. 2023 z naslova <http://www.okolje.info/index.php/kakovost-zraka/uvod>.

Openprof. (2023). *Delci v atomu*. Pridobljeno 13. 6. 2023 z naslova https://si.openprof.com/wb/delci_v_atomu?ch=616.

Petrič, B. (2023). *Število vetrnih elektrarn v EU se je lani povečalo za tretjino*. Pridobljeno 25. 9. 2023 z naslova <https://7samurai.eu/okoljevarstvo/stevilo-vetrnih-elektrarn-v-eu-se-je-lani-povecalo-za-tretjino/>.

Pivar, M. (2018). *Pokukali smo v skladišče radioaktivnih odpadkov na Brinju*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova <https://domzalec.si/novice/pokukali-smo-v-skladisce-radioaktivnih-odpadkov-na-brinju/>.

Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom. (2021). Uradni list RS, št. 49/06, 76/17 – ZVISJV-1 in 125/21.

Rising, A. (2020). *The role of nuclear energy in the post-COVID recovery*. Pridobljeno 1. 10. 2023 z naslova https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/egrm/egrm11_apr2020/0._Agneta_Rising.pdf.

Rožman, R. (2012). *Proizvodnja električne energije*. Krško: Neviodunum.

Sončna elektrarna. (2023). *Katere so največje prednosti in slabosti sončnih elektrarn?* Pridobljeno 9. 4. 2023 z naslova <https://www.soncnaelektrarna.com/prednosti-in-slabosti-soncnih-elektrarn/>.

Stritar, A. in Istenič, R. (1997). *Najpogostejša vprašanja in odgovori o radioaktivnih odpadkih*. Ljubljana: Agencija za radioaktivne odpadke Slovenije.

Tomšič, M. (2021). *Sedem minut groze v Italiji: niso hoteli slišati, da se bo zgodila katastrofa*. Pridobljeno 22. 6. 2023 z naslova <https://siol.net/digisvet/novice/sedem-minut-groze-v-italiji-niso-hoteli-slisati-da-se-bo-zgodila-katastrofa-563204>.

U.S. Department of Energy. (b. l.). *DOE Explains...Stellarators*. Pridobljeno 19. 6. 2023 z naslova <https://www.energy.gov/science/doe-explainsstellarators>.

Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost. (2018). *Drugo slovensko poročilo o izvajanju Direktive Sveta 2011/70/Euratom o varnosti ravnanja z izrabljenim gorivom in varnosti ravnanja z radioaktivnimi odpadki*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova

<https://podatki.gov.si/dataset/54b3ef67-c120-418a-b668-d95025f5beb7/resource/47431995-abda-44fd-af39-3b573efac450/download/2.%20wdporociloslovensko.pdf>.

Vojvodič-Tuma, J. et al. (2005). Energija prihodnosti – jedrska fuzija. *Materials and technology*, 39(6), 229–233.

Wikipedija. (2023) *Černobilska nesreča*. Pridobljeno 21. 6. 2023 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cernobilska_nesre%C4%8Da.

Wingate, P. (1993). *Osnove fizike*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti. (2018). Uradni list RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-10.

Zdešar, U. (2011). Izpostavljenost ionizirajočim sevanjem v medicini in učinki na zdravje. V M. Primic Žakelj et al. (ur.), *Državni presejalni programi za raka / XIX. seminar In memoriam dr. Dušana Reje* (str. 59–67). Ljubljana: Zveza slovenskih društev za boj proti raku.

Zemeljski plin. (2021). *Ogrevanje z vodikom: Inovativna kondenzacijska tehnologija za podnebno nevtralnost*. Pridobljeno 21. 9. 2023 z naslova <https://www.zemeljski-plin.si/novice/ogrevanje-z-vodikom-inovativna-kondenzacijska-tehnologija-za-podnebno-nevtralnost>.

Žalar, Z. (2016). *Obnovljivi viri energije*. Ljubljana: BookStore.si.

PRILOGA

Priloga 1: Anketa – povzetek

Status > Povzetek

Posodobljeno: 22.11.2023, 17:07:58

Obdobje

INFO (?)

Ime ankete: Jedrska tehnologija

Tip ankete: Anketa

Vprašanj: 11 **Spremenljivk:** 26

Strani: 1

Enot: 452 **Ustreznih:** 237

Jezik: Slovenščina

Ustvaril: Nina Sonia Kovačič, 10.1.22, 17:57

Spremenil: Nina Sonia Kovačič, 13.1.22, 17:52

Status: Anketa je zaključena.

Aktivnost: 10.01.2022-10.04.2022

Trajanje: [1min 59s](#) (Mediana: [1min 47s](#)),
Predvideno: [2min 23s](#)

Prvi vnos: 10.1.22, 18:54

Zadnji vnos: 4.4.22, 9:05

KONČNI STATUS (?)

Skrij vrednosti 0 (?)

Metrika	Frekvenca
Končal anketo (6)	237
Skupaj ustrezno	237
Prazna v celoti (6l)	3
Klik na anketo (4)	40
Klik na nagovor (3)	172
Skupaj neustrezno	215
Skupaj anketirano	452
Skupaj enot v bazi	452

Uporabnost (50%/80%)	enot	Frekvenca	Stopnja
Uporabne enote		1	100%
Delno uporabne enote		0	0%
Neuporabne enote		0	0%

STOPNJE ODGOVOROV (?)

Osnova: Klik na nagovor | Klik na anketo | Začel izpolnjevati | Delno izpolnjena | Končal anketo

Kumulativni status	Frekvenca	Stopnja
Klik na nagovor	452	100%
Klik na anketo	280	62%
Začel izpolnjevati	240	53%
Delno izpolnjena	237	52%
Končal anketo	237	52%

Prekinitve	Frekvenca	Stopnja
Uvodne prekinitve	212	47%
Prekinitve vprašalnika	0	0% (neto 0%)
Skupne prekinitve	212	47%

KLIKI NA ANKETO (?)

Preusmeritve	Število klikov
1KA email – odgovor	0
com.google.android.gm	18
mail.google.com	2
posta.siol.net	1
l.instagram.com	1

m.facebook.com	63
l.facebook.com	20
lm.facebook.com	78
Neposreden klik	269
Skupaj enot	452

[Podrobnosti](#) [Seznam preusmeritev](#) [Seznam IP števil](#)

ČASOVNI POTEK (?)

Skrj vrednosti 0 (?)

Kumulativa

Osnova: Klik na nagovorKlik na anketoZačel izpolnjevatiDelno izpolnjenaKončal anketo

Oblika: Meseci Tedni Dnevi Ure Meseci v letu Tedni v letu Dnevi v letu
Dnevi v mesecu Dnevi v tednu Ure v dnev

2022-01-10	22
2022-01-11	68
2022-01-12	104
2022-01-13	20
2022-01-14	97
2022-01-15	58
2022-01-16	18
2022-01-17	9
2022-01-18	5
2022-01-19	

	8
2022-01-20	1
2022-01-21	2
2022-01-22	2
2022-01-24	2
2022-01-25	2
2022-01-26	3
2022-01-27	1
2022-01-29	2
2022-01-30	1
2022-02-04	2
2022-02-05	1
2022-02-06	1
2022-02-09	1
2022-02-13	1
2022-02-15	5
2022-02-18	1
2022-02-19	5

2022-02-26	1
2022-03-04	2
2022-03-09	1
2022-03-15	1
2022-03-20	2
2022-04-01	2
2022-04-04	1
Skupaj enot	452

[POTEK PO STRANEH \(?\)](#)

Osnova:Klik na nagovorKlik na anketoZačel izpolnjevatiDelno izpolnjenaKončal anketo

Kumulativni status	Število klikov
Klik na nagovor	452
Klik na anketo	280
Delno izpolnjena	237
Stran 1	240
Končal anketo	237
Prazna v celoti	3
Skupaj končal	240

[O 1KAPomočPogoji uporabeCenik](#)

Copyright (©) 2002-2023 UL FDV, CDI

[Individualno](#)

[svetovanje](#)

[Sporoči napako ali postavi vprašanje](#)