

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**VPLIV JEDRSKE ELEKTRARNE KRŠKO NA OKOLJE:
PRESOJA VPLIVOV OBSTOJEČEGA BLOKA JEK IN
OPREDELITEV DO POTENCIALNIH VPLIVOV PREDVIDENEGA
BLOKA JEK 2**

ELJA VENIGAR

VELENJE, 2025

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**VPLIV JEDRSKE ELEKTRARNE KRŠKO NA OKOLJE:
PRESOJA VPLIVOV OBSTOJEČEGA BLOKA JEK IN
OPREDELITEV DO POTENCIALNIH VPLIVOV PREDVIDENEGA
BLOKA JEK 2**

ELJA VENIGAR

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: viš. pred. Klemen Kotnik

VELENJE, 2025

Številka: 726-1/2025-2

Datum: 8. 4. 2025

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Fakultete za varstvo okolja **Elja Venigar** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Vpliv jedrske elektrarne Krško na okolje: presoja vplivov obstoječega bloka JEK in opredelitev do potencialnih vplivov predvidenega bloka JEK 2

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Environmental impact of NPP Krško: Assessment of the impacts of existing NPP Krško and evaluation of potential impacts of the proposed NPP 2

Mentor: **viš. pred. Klemen Kotnik**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom FVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat FVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Prof. dr. Boštjan Pokorný
dekan

Fakulteta za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si
www.fvo.si



Izjava o avtorstvu

Podpisana **Elja Venigar**, z vpisno številko **34220012** študentka študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije,

sem avtorica diplomskega dela z naslovom:

Vpliv jedrske elektrarne Krško na okolje: presoja vplivov obstoječega bloka JEK in opredelitev do potencialnih vplivov predvidenega bloka JEK 2,

ki sem ga izdelala pod mentorstvom **viš. pred. Klemna Kotnika**.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Nataša Praprotnik;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne:

podpis avtorice

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju, višjemu predavatelju Klemnu Kotniku, za vso strokovno pomoč, usmeritve in podporo pri pisanju diplomskega dela. Njegova razpoložljivost, natančni pregledi, spodbudne besede in strokovni nasveti so bili neprecenljivi pri oblikovanju in vsebinski izvedbi naloge.

Zahvaljujem se mu tudi za potrpežljivost in pripravljenost, da je vsakič znova namenil svoj čas ter mi pomagal najti pravo smer, ko sem jo potrebovala.

IZVLEČEK

Diplomsko delo raziskuje okoljski pomen Nuklearne elektrarne Krško z vidika obstoječega delovanja ter potencialnih posledic izgradnje drugega bloka. V ospredju je vprašanje, ali je nadaljnje širjenje jedrske infrastrukture združljivo s cilji varovanja okolja in trajnostnega razvoja. Analiza zajema vplive na vodo, zrak, tla in zdravje ljudi ter ravnanje z radioaktivnimi odpadki, pri čemer se upošteva vpliv na reko Savo in lokalni ekosistem.

Delo upošteva tako zakonodajni kot strokovni okvir presoje vplivov na okolje, vključuje stališča državnih organov in okoljskih nevladnih organizacij ter obravnava okoljske in varnostne razsežnosti dolgoročnega obratovanja jedrske elektrarne. Obstoječi blok povzroča okoljske vplive, ki so trenutno pod nadzorom, vendar bi sočasno obratovanje dveh blokov zahtevalo strožje okoljske ukrepe. Gradnja Jedrske elektrarne Krško 2 je s tehnološkega in energetske-političnega vidika smiselna, vendar okoljsko izvedljiva le ob doslednem upoštevanju previdnostnega načela dolgoročnih okoljskih tveganj.

ABSTRACT

The thesis explores the environmental significance of the Krško Nuclear Power Plant (JEK) from the perspective of its current operation and the potential consequences of constructing a second reactor unit. Central to the analysis is the question of whether the further expansion of nuclear infrastructure is compatible with environmental protection goals and the principles of sustainable development.

The study examines impacts on water, air, soil, human health, and the management of radioactive waste, with particular attention given to the Sava River and the surrounding ecosystem. It incorporates both legislative and expert frameworks for environmental impact assessment (EIA), includes the positions of governmental institutions and environmental NGOs, and addresses the environmental and safety implications of long-term nuclear operation.

While the existing unit exerts controlled but notable environmental impacts, the simultaneous operation of two units would require stricter environmental safeguards. From a technological and energy policy perspective, the construction of JEK 2 is justifiable; however, its environmental feasibility depends on the rigorous application of the precautionary principle and the consideration of long-term ecological risks.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev teme	1
1.2	Opredelitev problema	1
1.3	Namen in cilji	1
1.4	Hipoteze	1
1.5	Metode dela	1
2	JEDRSKA ENERGIJA	3
2.1	Osnove delovanja jedrske elektrarne	3
2.2	Sestava atoma	3
2.3	Jedrska cepitev in verižna reakcija	3
2.3.1	Jedrska zlitje (fuzija)	3
2.3.2	Jedrska cepitev (fizija)	3
2.3.3	Uran in cepljivi izotopi	4
2.4	Radioaktivnost in sevanje	4
2.4.1	Radioaktivni odpadki	5
2.5	Vpliv na okolje	6
2.5.1	Sistem ravnanja z okoljem in okoljska politika z okoljem	6
2.5.2	Radioaktivnost in varnost pred sevanjem	6
2.5.3	Toplotni vplivi na vodna telesa	6
2.6	Primerjava z drugimi viri pridobivanja energije	7
2.6.1	Izpusti toplogrednih plinov (CO ₂)	7
2.6.2	Zanesljivost oskrbe z električno energijo	7
2.6.3	Učinkovitost rabe prostora	7
2.6.4	Okoljski vplivi	7
2.6.5	Gospodarska učinkovitost	7
3	PREDSTAVITEV NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO	8
3.1	Zgodovina elektrarne	8
3.2	Elektrarna danes	8
3.3	Geografska umeščenost	9
3.4	Operativno delovanje in nadzor	9
3.5	Okoljska dokumentacija in poročila	10
3.5.1	Radiološka zaščita	10
4	OKOLJSKI VPLIVI OBSTOJEČEGA BLOKA JEK	11
4.1	Vplivi na vode – reka Sava	11

4.2	Emisije in vplivi na zrak.....	13
4.2.1	Primerjava jedrske energije in drugih tehnologij.....	13
4.3	Vplivi na tla in rabo prostora	14
4.4	Vpliv na zdravje ljudi	15
4.5	Ravnanje z radioaktivnimi odpadki	16
5	PRESOJA VPLIVOV NA OKOLJE	17
5.1	Presoja vplivov na okolje trenutnega bloka JEK.....	17
6	NAČRTOVANI PROJEKT JEK 2.....	19
6.1	Opis in predstavitev projekta	19
6.2	Tehnične značilnosti	20
6.2.1	Predvidene reaktorske tehnologije	20
6.2.2	Evropski tlačnovodni reaktor: European Pressurized Reactor (EPR)	21
6.2.3	Napredi pasivni reaktor: Advanced Passive 1000 (AP1000).....	21
6.2.4	Evropski napredni tlačnovodni reaktor: European Advanced Pressurized Water Reactor (EU-APWR)	21
6.2.5	Napredni tlačnovodni reaktor: Advanced Pressurized Water Reactor-1 (ATMEA-1).....	21
6.2.6	Skupne tehnične značilnosti	21
6.3	Varnostne značilnosti.....	22
6.4	Lokacija in časovnica gradnje.....	23
6.5	Primerjava z obstoječim blokom	24
7	POTENCIALNI OKOLJSKI VPLIVI JEK 2	26
7.1	Vplivi na vodne vire in ekosisteme	26
7.2	Vpliv na kakovost zraka in zdravje ljudi	27
7.3	Ravnovesje z odpadki in prostorski vplivi	28
7.4	Upoštevanje zakonodaje in naravovarstvenih območji	29
8	PRIMERJALNA ANALIZA: NEK IN JEK 2.....	30
8.1	Tehnološke razlike	30
8.2	Okoljske obremenitve	33
8.2.1	Okoljske obremenitve ob obratovanju obstoječega bloka JEK	33
8.2.2	Okoljske obremenitve ob obratovanju bodočega bloka JEK 2	33
8.3	Skupni vplivi ob hkratnem delovanju	34
9	ZAKONODANJI OKVIRI IN VKLJUČEVANJE JAVNOSTI	37
9.1	Upoštevanje zakonodaje pri obratovanju JEK in načrtovanju JEK 2	37
9.2	Nacionalna evropska zakonodaja	38
9.3	Slovenska zakonodaja in okoljska presoja	39
9.4	Vloga javnosti in občin v postopkih.....	40

10	SKLEP	41
11	POVZETEK.....	42
12	SUMARRY	43
13	VIRI IN LITERATURA	44

KAZALO SLIK

Slika 1: Gradnja JEK leta 1976	8
Slika 2: Izgled JEK danes	8
Slika 3: Geografska umeščenost objekta	9
Slika 4: Delovanje reaktorja	11
Slika 5: Izgled NSRAO	16
Slika 6: Načrtovan izgled drugega bloka JEK 2.....	20
Slika 7: Predvidena lokacija JEK 2.....	24
Slika 8: Poseg JEK 2 v prostor - zračni posnetek območja iz dveh zornih kotov (a.,b.)	36

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primerjalna analiza obeh jedrskih blokov	32
Preglednica 2: Statistična analiza obremenitve okolja	37

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Neto letna proizvodnja električne energije JEK (1983-2024)	31
--	----

1 UVOD

1.1 Predstavitev teme

Jedrska energija že desetletja predstavlja pomemben del svetovne in slovenske energetske bilance. Zaradi zanesljivosti, nizkih izpustov toplogrednih plinov in razpoložljivosti predstavlja strateški energetski vir, še posebej v času energetske krize in iskanja poti v nizkoogljično prihodnost. V Sloveniji je temeljni objekt na tem področju Nuklearna/Jedrska elektrarna Krško (NEK ali JEK), ki obratuje od leta 1983 in trenutno pokriva približno petino potreb po električni energiji.

Zaradi pričakovane rasti porabe elektrike ter razogljčenja energetike potekajo postopki za gradnjo novega bloka – JEK 2. Namen projekta je povečati energetsko neodvisnost in stabilnost sistema, vendar ob tem ostaja ključno vprašanje: kakšni bodo vplivi te investicije na okolje, in ali so ti vplivi sprejemljivi z vidika trajnostnega razvoja.

1.2 Opredelitev problema

Obstoječi blok JEK ima znane vplive na okolje, kot so toplotno obremenjevanje reke Save, proizvodnja radioaktivnih odpadkov ter možna tveganja v primeru nesreč, čeprav deluje v skladu z zakonodajo in pod nadzorom. Z načrtovano izgradnjo novega bloka JEK 2 se ti vplivi lahko povečajo ali spremenijo. Zato je nujna presoja, ali je vpliv drugega bloka okoljsko vzdržen, ter ali so načrtovani omilitveni ukrepi zadostni.

1.3 Namen in cilji

Namen naloge je presoditi vplive obstoječega bloka na okolje ter na tej podlagi oceniti in utemeljiti potencialne vplive predvidenega JEK 2. Cilj je analizirati ključna okoljska področja (voda, zrak, tla, zdravje, odpadki) in jih primerjati med obema objektoma ter preveriti, ali obstaja okoljsko upravičena podlaga za gradnjo JEK 2.

1.4 Hipoteze

Hipoteza 1: Obstoječi blok JEK 1 povzroča vplive na okolje, ki so pod nadzorom, a pomembni, zlasti na področju vodnega telesa reke Save in rabe prostora.

Hipoteza 2: Gradnja in obratovanje JEK 2 ne bosta bistveno povečala vplivov na okolje, a bosta skupaj z JEK 1 pomenila večjo skupno obremenitev, ki jo bo treba dodatno nadzorovati.

1.5 Metode dela

Diplomsko delo je sestavljeno iz teoretičnega in raziskovalno-analitičnega dela. V teoretičnem delu sem pred začetkom pisanja pregledala domačo in evropsko literaturo, ki obravnava presojo vplivov na okolje (PVO) jedrskih objektov, zlasti v povezavi z JEK. Preučila sem zakonodajne okvirje, mednarodne smernice, strateške dokumente Republike Slovenije ter strokovna poročila in analize, ki se nanašajo na podaljšanje življenjske dobe JEK.

Posebno pozornost sem namenila uradnemu poročilu o vplivih na okolje za podaljšanje obratovalne dobe NEK ter študiji priključitve JEK 2 na elektroenergetski sistem Slovenije, saj predstavljata zadnja izdana dokumenta z najnovejšimi razpoložljivimi informacijami. Poleg tega sem upoštevala tudi letna poročila JEK, dokumente Uprave RS za jedrsko varnost (URSJV), pripombe okoljskih organizacij, zlasti Zveze ekoloških gibanj Slovenije (ZEG), ter poročila in strategije Ministrstva za okolje, podnebje in energijo, vključno s Strategijo za opuščanje premoga.

V praktičnem delu naloge sem izvedla primerjalno analizo presoje vplivov na okolje JEK v primerjavi z mednarodnimi smernicami in primeri dobre globalne prakse. S tem sem želela ugotoviti, ali trenutni postopek presoje dovolj celovito upošteva dolgoročna tveganja, kot so potresna nevarnost, vplivi podnebnih sprememb, čezmejni vplivi ter upravljanje z

Venigar E.: Vpliv jedrske elektrarne Krško na okolje: presoja vplivov obstoječega bloka JEK in opredelitev do potencialnih vplivov predvidenega bloka JEK 2, FVO, Velenje 2025

radioaktivnimi odpadki. Dodatno sem v analizo vključila tudi sinergijske vplive, ki lahko nastanejo pri hkratnem obratovanju obeh blokov jedrske elektrarne.

Ker se raziskava opira izključno na javno dostopne podatke in dokumente, nisem izvajala terenskega raziskovanja ali zbirala empiričnih podatkov. Moja analiza temelji na interpretaciji sekundarnih virov ter strokovni in normativni presoji njihove vsebine z vidika varnosti, trajnosti in okoljskega tveganja.

2 JEDRSKA ENERGIJA

2.1 Osnove delovanja jedrske elektrarne

V jedrskih elektrarnah pridobivamo toploto s cepitvijo jeder atomov urana. Proizvodnja energije temelji na verižni reakciji cepitve jeder, katera se sprošča v obliki toplote. S pomočjo toplote proizvedemo vodno paro, ki preko turbine poganja generator. V tem delu je jedrska elektrarna podobna klasični termoelektrarni. Razlikujeta se le po viru, iz katerega se pridobiva toplota (GEN energija: O jedrski energiji, 2025).

2.2 Sestava atoma

Atom je osnovni gradnik vseh snovi v naravi. Je najmanjši delec, ki še ohranja lastnosti določenega kemijskega elementa. V okviru kemijskih procesov ga ni več mogoče razcepiti. Sestavljen je iz pozitivno nabitega jedra in negativno nabitega elektronskega oblaka, ki jedro obdaja.

Jedro atoma sestavljajo protoni in nevtroni, ki skupaj tvorijo tako imenovane nukleone. Protoni nosijo pozitiven električni naboj, medtem ko so nevtroni električno nevtralni – torej nimajo naboja. Okrog jedra so razporejeni elektroni, ki imajo negativen naboj. Elektroni niso vezani v jedro, temveč se gibljejo v prostoru okoli njega, kjer tvorijo elektronski oblak.

Med temi osnovnimi delci delujeta dve temeljni sili. Elektromagnetna sila veže elektrone na pozitivno jedro, saj se nasprotno nabiti delci privlačijo. Jedrska sila pa deluje med protoni in nevtroni v jedru in je odgovorna za stabilnost jedra. Ta sila je izjemno močna, a deluje le na zelo majhni razdalji. Premaga celo elektromagnetno odbojno silo med pozitivno nabitimi protoni in omogoča, da ostanejo skupaj v jedru.

Zaradi teh sil in razporeditve delcev je atom stabilna, a hkrati kompleksna struktura, ki je temelj vseh kemičnih procesov in reakcij (GEN energija: O jedrski energiji 2025).

2.3 Jedrska cepitev in verižna reakcija

Ko pride do sprememb v jedru atoma, govorimo o jedrskih reakcijah, kjer se atom ne razdeli samo na elektrone in jedro, temveč pride do spremembe ali razpada samega jedra. V teh procesih se sprosti izjemna količina energije – več milijonkrat več kot pri običajnih kemijskih reakcijah (Kač, 2001).

Obstajata dve temeljni vrsti jedrskih reakcij, ki imata izjemen pomen v energetiki: jedrsko cepitev (fizija) in jedrsko zlitje (fuzija).

2.3.1 Jedrska zlitje (fuzija)

Jedrska zlitje je proces, pri katerem se dve lahki atomski jedri zlijeta v eno težje jedro. Ta reakcija poteka pod izjemno visokimi temperaturami in tlaki, kot denimo v jedru Sonca. Pri teh pogojih imajo delci dovolj veliko kinetično energijo, da premagajo elektrostatične odbojne sile med pozitivno nabitimi jedri, kar omogoči zlitje. Pri tem se sprosti ogromna količina energije – bistveno več kot pri cepitvi – kar ustvarja upanje, da bi v prihodnosti lahko fuzijo uporabili kot stabilen vir čiste energije (Kač, 2001).

Kljub tehnološkim izzivom pri nadzoru teh ekstremnih pogojev, znanstveniki aktivno razvijajo fuzijske reaktorje, kot je mednarodni termonuklearni eksperimentalni reaktor (International Thermonuclear Experimental Reactor – ITER), ki temeljijo na varnem in trajnostnem izkoriščanju energije zlitja.

2.3.2 Jedrska cepitev (fizija)

Jedrska cepitev je proces, pri katerem se težko atomsko jedro – najpogosteje uran-235 – ob obstreljevanju z nevtronom razcepi na dve srednje teži jedri, imenovani razcepki, ter odda dva do tri nevtrone. Cepitev povzroči tudi sproščanje približno 200 MeV energije, večinoma v

obliki kinetične energije, ki se nato pretvori v toploto. Ta toplota se v jedrskih elektrarnah, kot je JEK, uporablja za proizvodnjo električne energije (Dimic, 1995).

Cepitev urana-235 je osnovni princip delovanja sodobnih jedrskih reaktorjev. Gre za verižno reakcijo, pri kateri nevtroni, nastali ob cepitvi, povzročajo nadaljnje cepitve. Če vsak nevtron povzroči novo cepitev, se reakcija hitro razširi. V energetskih reaktorjih, kot je JEK, se proces nadzoruje, tako da v povprečju samo eden od 2,5 nevtronov sproži novo cepitev. To omogočajo materiali, ki absorbirajo odvečne nevtrone, ter kontrolne palice in moderatorji (NEK: O jedrski energiji, 2025).

Pri cepitvi nastaneta dve vrsti nevtronov:

1. Takojšnji nevtroni, ki se sprostijo neposredno ob cepitvi.
2. Zakasneni nevtroni, ki nastanejo pri radioaktivnem razpadu razcepkov ali njihovih produktov. Čeprav predstavljajo le okoli 0,65 % vseh nevtronov, so ključni za stabilno in nadzorovano obratovanje reaktorjev, saj omogočajo varno krmiljenje jedrske verižne reakcije (NEK: O jedrski energiji, 2025).

Razcepki in njihovi produkti so radioaktivni in razpadajo predvsem z beta in gama sevanjem, dokler ne postanejo stabilni. Običajno so za stabilizacijo potrebni trije do štirje radioaktivni razpadi. Energija, ki se sprošča med temi procesi, se imenuje zakasnela toplota, ki jo je treba upoštevati tudi po zaustavitvi reaktorja, saj še vedno predstavlja vir toplote in zahteva učinkovito hlajenje (NEK: O jedrski energiji, 2025).

2.3.3 Uran in cepljivi izotopi

Uran je kovinski element z atomsko številko 92 in relativno atomsko maso 238,029. Naravni uran vsebuje predvsem uran-238, vendar je izotop uran-235 tisti, ki je cepljiv in uporaben v jedrski energetiki. Ob absorpciji nevtrona se razcepi, pri čemer nastaneta običajno barij in kripton ter več prostih nevtronov (Štuhec, 2002).

Drugi pomembni cepljivi izotopi so uran-233 in plutonij-239, ki nastaneta v reaktorjih iz drugih materialov s pomočjo jedrskih reakcij. Vse te reakcije vodijo do sproščanja velike količine energije za njihovo izkoriščanje v jedrski industriji.

2.4 Radioaktivnost in sevanje

Radioaktivnost je naravna lastnost nekaterih atomskih jeder, da se samodejno – brez zunanjega vpliva – spreminjajo v stabilnejša jedra, pri čemer oddajajo sevanje. To sevanje je lahko v obliki delcev (alfa in beta) ali elektromagnetnega valovanja (gama žarki). V naravi obstaja več vrst radioaktivnega sevanja, ki imajo različne lastnosti, prodornost in učinke na živa bitja (Dimic, 1995; Štuhec, 2002).

Alfa sevanje predstavljajo delci, ki so jedra helija z dvema protonoma in dvema nevtronoma. Imajo veliko maso in električni naboj, zato hitro izgubijo energijo in jih že list papirja lahko ustavi. Kljub temu so zaradi visoke energije ob neposrednem stiku s tkivom lahko zelo škodljivi (Dimic, 1995).

Beta sevanje so elektroni ali pozitroni, ki so lažji in prodornejši od alfa delcev. Ustavimo jih s tanko plastjo aluminija, njihovi biološki učinki pa so srednje izraziti, saj prepotujejo več tkiva, a z manjšo energijo kot alfa delci (Dimic, 1995).

Gama sevanje je najprodornejša oblika sevanja, saj gre za fotone visoke energije. Gre za elektromagnetno valovanje s kratko valovno dolžino, ki ga je mogoče ustaviti le z debelo plastjo svinca ali betona (Dimic, 1995).

Pri jedrskih reakcijah, zlasti pri cepitvi, poleg energije nastajajo tudi radioaktivni izotopi, kar predstavlja potencialno tveganje za zdravje. Radioaktivno sevanje lahko poškoduje deoksiribonukleinska kislina (DNK) celice, še posebej če gre za dolgotrajno ali intenzivno

izpostavljenost. Poškodbe DNK so lahko popravljive, v hujših primerih pa lahko vodijo v mutacije, bolezenska stanja in rakava obolenja (Dimic, 1995).

Izpostavljenost radioaktivnosti merimo v milisievertih (mSv) letno. Mednarodno priporočilo za javnost znaša največ 1 mSv/leto, pri čemer so medicinske preiskave izvzete. V primeru hujših nesreč pa se lahko doze izpostavljenosti povzpnejo na večje vrednosti. Smrtna doza za človeka je okoli 4 Sv (Dimic, 1995).

V okolici Jedrske elektrarne Krško je izpostavljenost prebivalstva povečana za manj kot 1 %, kar pomeni, da skupna letna obremenitev prebivalcev ne presega 2,5 mSv/leto. Od tega znaša kozmično in zemeljsko sevanje približno 0,66 mSv, medtem ko medicinska diagnostika prispeva okoli 1,5 mSv. Pomemben notranji vir sevanja je radon, ki znaša 1,3 mSv/leto (Dimic, 1995; GEN energija: Radioaktivnost in sevanje, 2025).

Zgodovinsko so nesreče, kot sta tista v Černobilu (1986) in na otoku Treh milj (1979), zaznamovale javno percepcijo jedrske energije. V Černobilu je bilo sproščeno več kot 100-krat več sevanja kot ob eksploziji atomske bombe v Hirošimi, kar je povzročilo dolgoročne posledice za zdravje ljudi in okolje. Nesreča na otoku Treh milj pa je imela minimalne okoljske posledice, a je pomembno vplivala na zaupanje javnosti v jedrsko industrijo (Dimic, 1995).

Pomembno je razumeti tudi pozitivne vidike. Jedrske elektrarne, kot je JEK, med delovanjem ne proizvajajo emisij CO₂, zato imajo pomembno vlogo pri boju proti podnebnim spremembam. Po podatkih spletne platforme eSvet znaša delež jedrske energije v Sloveniji približno 36 % vse proizvedene električne energije, s čimer pomembno prispeva k zmanjšanju ogljičnega odtisa in razogljičenju elektroenergetskega sistema (GEN energija: Jedrska energija, 2025).

Uporaba jedrske energije je prisotna tudi v medicini (diagnostika in zdravljenje raka), industriji (npr. sterilizacija materialov) in kmetijstvu (npr. izboljšave rastlinskih sort). Zato je ključnega pomena, da se jedrske tehnologije obravnava objektivno in strokovno – ob ustrezni varnosti, radiološki zaščiti in nadzoru.

2.4.1 Radioaktivni odpadki

Pri izrabi jedrske energije v reaktorjih, kot je primer JEK, nastajajo različne vrste radioaktivnih odpadkov (RAO). Ti odpadki so materiali, ki vsebujejo radionuklide v koncentracijah, višjih od zakonsko določenih mej, in zanje ni več predvidene uporabe. Razvrščamo jih glede na razpolovni čas in stopnjo radioaktivnosti:

a) Glede na razpolovni čas:

Kratkoživi odpadki vsebujejo radionuklide, katerih razpolovni čas je krajši od 30 let. Aktivnost teh odpadkov sčasoma hitro upade in sevanje postopoma izgine. Tipični predstavniki so npr. izotopi joda (I-131) in cezij (Cs-134), ki se pogosto pojavljajo v medicini in obratovanju reaktorjev.

Dolgoživi odpadki vključujejo radionuklide z razpolovnimi časi, daljšimi od 30 let – nekateri tudi več tisočletij. V to skupino sodijo izotopi, kot so plutonij (Pu-239), uran (U-235) in americij (Am-241), ki ostanejo nevarni še dolgo po koncu uporabe.

b) Glede na aktivnost:

Nizko aktivni odpadki (NAO) imajo nizko koncentracijo radioaktivnosti. V večini primerov ne zahtevajo posebne zaščite pri rokovanju. Mednje sodijo kontaminirani delovni materiali (rokavice, obleke, papir), filtri, smeti iz laboratorijev in pomožnih prostorov jedrskih objektov.

Srednje aktivni odpadki (SAO) vsebujejo več radionuklidov, vendar ne proizvajajo pomembnih količin toplote. Zahtevajo zaščitno ravnanje in pogosto imobilizacijo (npr. v cement, bitumen). Primeri vključujejo ionske izmenjevalne smole in filtre iz sistemov za čiščenje vode v reaktorjih.

Visoko aktivni odpadki (VAO) vključujejo izrabljeno jedrsko gorivo in aktivirane dele reaktorskih sistemov. Ti odpadki so izredno nevarni zaradi visoke aktivnosti in toplotnega učinka (oddajanje več kilovatov toplote tudi več let po odstranitvi iz reaktorja). Mednje sodijo razcepní produkti, kot sta Sr-90 in Cs-137, ter transuranijski elementi (Pu, Am).

Radioaktivni odpadki zahtevajo skrbno načrtovano upravljanje, saj lahko kontaminirajo okolje in ogrozijo zdravje ljudi, če niso pravilno skladiščeni ali odstranjeni. Ravnanje z njimi se razlikuje glede na njihovo kategorijo, kar vključuje vse od kratkotrajnega skladiščenja, imobilizacije in transporta do trajnega odlaganja v specializiranih odlagališčih.

2.5 Vpliv na okolje

Jedrske elektrarne spadajo med nizko ogljične vire energije, saj med svojim rednim obratovanjem ne povzročajo neposrednih emisij toplogrednih plinov. V primerjavi s termoelektrarnami, ki uporabljajo fosilna goriva, imajo bistveno manjši ogljični odtis. Ocenjuje se, da uporaba jedrske energije na ravni Evrope vsako leto prepreči emisijo približno 800 milijonov ton ogljikovega dioksida (CO₂), kar ustreza količini emisij, ki bi jih povzročilo več sto milijonov avtomobilov (NEK: Obratovanje, 2025). Zaradi teh lastnosti je jedrska energija pogosto obravnavana kot ključni dejavnik pri doseganju podnebnih ciljev in razogljičenju energetskega sektorja.

2.5.1 Sistem ravnanja z okoljem in okoljska politika z okoljem

V številnih jedrskih elektrarnah je vzpostavljen celovit sistem ravnanja z okoljem, ki temelji na mednarodnem standardu ISO 14001:2015. Tak sistem omogoča nadzor in zmanjševanje vplivov na okolje v vseh fazah delovanja elektrarne. Vključuje ciljno usmerjeno okoljsko politiko, redno spremljanje emisij, nadzor nad odpadki, varno ravnanje z materiali ter usposabljanje osebja pri upravljanju z okoljem.

Poseben poudarek je na ravnanju z radioaktivnimi in neradioaktivnimi odpadki. Ti se zbirajo ločeno in obdelujejo v skladu z zakonskimi predpisi ter predajo pooblaščenim izvajalcem. Radioaktivni odpadki se shranjujejo v posebej zgrajenih in nadzorovanih objektih, kot so bazeni za izrabljeno gorivo in suha skladišča. S tem se preprečuje vsakršno nenadzorovano širjenje radioaktivnih snovi v okolje.

Pomemben vidik okoljske politike je tudi transparentno komuniciranje z javnostjo. Meritve okoljskih vplivov so javno dostopne, pogosto jih izvajajo neodvisne ustanove, rezultati pa služijo kot osnova za redna poročila o stanju okolja (NEK: Obratovanje, 2025).

2.5.2 Radioaktivnost in varnost pred sevanjem

Vse jedrske elektrarne so zasnovane z večslojnimi fizičnimi in tehničnimi pregradami, ki preprečujejo uhajanje radioaktivnih snovi v okolje. Redne meritve sevanja v okolici elektrarn kažejo, da so dejanski vplivi izredno nizki – pogosto več kot tisočkrat nižji od naravnega ozadja radioaktivnosti v okolju (EIMV, 2024).

Za spremljanje izpostavljenosti prebivalstva se uporabljajo koncepti »referenčne osebe« in efektivnih doz. Ocene za okolico elektrarn kažejo, da so letne doze zaradi obratovanja elektrarn praviloma pod 0,00005 mSv, kar predstavlja manj kot 0,1 % zakonsko dovoljene mejne letne doze (0,05 mSv) (EIMV, 2024).

2.5.3 Toplotni vplivi na vodna telesa

Eden izmed neposrednih vplivov jedrskih elektrarn na okolje je segrevanje vodnih teles, ker elektrarne uporabljajo velike količine vode za hlajenje. Voda iz rek ali morja prevzame toploto iz sekundarnega oziroma terciarnega sistema in se nato rahlo segreti vrača nazaj v okolje. Hlajenje poteka v zaprtem sistemu brez stika z radioaktivnimi snovmi, zato hlajena voda ostaja čista in ne kontaminirana (NEK: Obratovanje, 2025; Novak, 2022).

Temperaturni vplivi so strogo regulirani. V Sloveniji na primer največji dovoljeni dvig temperature reke zaradi toplotnih izpustov ne sme preseči 3 °C. Meritve kažejo, da se v praksi voda segreje bistveno manj – povprečno za približno 1,2 °C (NEK, 2024). Tak vpliv se nadzoruje z obsežnimi monitoring programi, vključno z meritvami na več točkah in v različnih časovnih obdobjih (EIMV, 2024)

2.6 Primerjava z drugimi viri pridobivanja energije

2.6.1 Izpusti toplogrednih plinov (CO₂)

Po podatkih Medvladnega odbora za podnebne spremembe (IPCC) so izpusti toplogrednih plinov jedrske energije v celotnem življenjskem ciklu med najnižjimi med vsemi energetske viri. Povprečne ocenjene vrednosti znašajo približno 12 g CO₂-ekv/kWh, kar je primerljivo z vetrno energijo (11 g CO₂-ekv/kWh) in bistveno manj kot pri sončni energiji (41–48 g CO₂-ekv/kWh). Nasprotno pa imajo fosilna goriva precej višje izpuste – za premog okoli 820 g CO₂-ekv/kWh in za zemeljski plin približno 490 g CO₂-ekv/kWh (Clarke et al., 2022).

2.6.2 Zanesljivost oskrbe z električno energijo

Med vsemi viri električne energije izstopajo jedrske elektrarne kot ena izmed najbolj zanesljivih možnosti za stabilno oskrbo. JEK pri tem igra ključno vlogo – njena razpoložljivost presega 92 %, poleg tega pa njeno delovanje ni odvisno od vremenskih pogojev, kar jo postavlja v posebno kategorijo zanesljivih virov. Leta 2022 je JEK zagotovila približno 48 % vse v Sloveniji proizvedene električne energije, kar predstavlja okoli 20 % celotne porabe. Če bi obratovanje JEK prenehalo, bi uvozna odvisnost narasla na več kot tretjino celotne porabe, kar bi predstavljalo resno grožnjo energetske varnosti države (GEN energija: Analiza učinkov izgradnje in obratovanja JEK2 na slovensko gospodarstvo, 2025).

2.6.3 Učinkovitost rabe prostora

Ena izmed pomembnih prednosti jedrske energije je izjemno majhen prostorski odtis. Za enako količino proizvedene električne energije zavzema jedrska elektrarna kar 27-krat manj površine kot premogovna in 34-krat manj kot sončna elektrarna, kažejo podatki Svetovnega gospodarskega foruma. Ta razlika je še posebej relevantna za države z omejenim razpoložljivim prostorom, kot je Slovenija (World Economic Forum, 2022).

2.6.4 Okoljski vplivi

Čeprav je treba pri jedrski energiji upoštevati okoljske vplive, povezane z rudarjenjem urana, predelavo goriva in ravnanjem z radioaktivnimi odpadki, je skupna količina teh odpadkov majhna v primerjavi z proizvedeno energijo. Poleg tega se uporabljajo sodobne metode varnega shranjevanja in ravnanja z odpadki, ki omogočajo učinkovito obvladovanje okoljskega tveganja (GEN energija: Analiza učinkov izgradnje in obratovanja JEK2 na slovensko gospodarstvo, 2025).

2.6.5 Gospodarska učinkovitost

Po podatkih iz analize podjetja Gradnje Elektrarn na Nuklearni pogon ali GEN energija (2023) znaša povprečna proizvodna cena električne energije iz JEK približno 30 EUR/MWh, kar vključuje tudi dajatve za razgradnjo in ravnanje z izrabljenim gorivom. Za primerjavo, proizvodnja iz elektrarne na zemeljski plin bi dosegla dolgoročno ceno okoli 150 EUR/MWh. JEK tako pomembno prispeva k cenovni stabilnosti elektrike v Sloveniji, ob tem pa letno ustvari okrog 200 milijonov EUR neposrednih gospodarskih učinkov (GEN energija: Analiza učinkov izgradnje in obratovanja JEK2 na slovensko gospodarstvo, 2025).

3 PREDSTAVITEV NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

3.1 Zgodovina elektrarne

Kot skupni projekt elektrogospodarstev Slovenije in Hrvaške je bila JEK načrtovana kot prvi in še danes edini jedrski objekt v Sloveniji. Pobuda za njeno izgradnjo je izhajala iz potrebe po zanesljivi in dolgoročni oskrbi z električno energijo. Dela so se začela leta 1975 (slika 1), medtem ko je elektrarna začela s komercialnim obratovanjem leta 1983. Proizvedena električna energija se zaradi skupnega vlaganja obeh republik nekdanje skupne države še vedno deli v razmerju 50:50 med Slovenijo in Hrvaško (NEK, 2024).



Slika 1: Gradnja JEK leta 1976 [<https://www.nek.si/onas/nek-skozi-cas>]

Elektrarna je bila zgrajena ob spoštovanju veljavne zvezne in republiške zakonodaje, hkrati pa tudi v skladu z ameriškimi varnostnimi predpisi in standardi, saj temelji na ameriški tlačnovodni tehnologiji - Pressurized Water Reactor (PWR). V celotnem obdobju načrtovanja in gradnje sta bila vzpostavljena ključna programa – zagotavljanje kakovosti (Quality Assurance – Q/A) in nadzor kakovosti (Quality Control – Q/C), ki sta omogočala nadzor nad opremo in izvedbo del (Dimic, 1995).

Pred začetkom gradnje je bilo pripravljeno predhodno varnostno poročilo, na podlagi katerega je bilo pridobljeno gradbeno dovoljenje. Po koncu gradnje je bilo izdelano končno varnostno poročilo, ki je vključevalo analizo varnostnih sistemov in potrdilo skladnost elektrarne z vsemi tehničnimi in varnostnimi zahtevami za obratovanje (Dimic, 1995).

Z neto električno močjo 632 MW JEK vsako leto proizvede približno 4 milijarde kilovatnih ur (kWh) električne energije. Ta količina predstavlja približno 20 % slovenskih potreb, s čimer ima JEK pomembno vlogo v elektroenergetskem sistemu države (NEK, 2024).

Ob zagonu je elektrarna veljala za eno tehnološko najnaprednejših v regiji. Tudi danes ohranja svojo strateško vlogo z rednimi tehnološkimi nadgradnjami, mednarodnimi varnostnimi pregledi ter s stalnim izvajanjem Programov nadgradnje varnosti (SNS), kar ji omogoča delovanje skladno z najvišjimi varnostnimi standardi.

3.2 Elektrarna danes

Danes JEK ostaja ključni steber slovenske elektroenergetske oskrbe. Z več kot štiridesetletno tradicijo obratovanja uspešno zagotavlja stabilno proizvodnjo električne energije in visoke varnostne standarde. Leta 2023 je JEK zaključila upravne postopke za podaljšanje obratovalne dobe do leta 2043. Pridobila je okoljevarstveno soglasje in izvedla Program nadgradnje varnosti, vključno z uvedbo suhega skladiščenja izrabljenega goriva.



Slika 2: Izgled JEK danes [<https://www.nek.si/hr/onama/osnovni-podaci>]

Decembra 2023 je URSJV izdala odločbo o uspešno zaključenem tretjem občasnem varnostnem pregledu. JEK s tem izpolnjuje vse predpisane zahteve, dokončna izvedba akcijskega načrta pa je predvidena do leta 2028.

JEK je danes sodobna in visokotehnološka infrastruktura (slika 2), ki se stalno posodablja in digitalizira. Poleg varne in zanesljive oskrbe z električno energijo pomembno prispeva k gospodarskemu razvoju, saj letno ustvarja približno 200 milijonov evrov neposrednih učinkov za slovensko gospodarstvo (NEK: O nas, 2025).

3.3 Geografska umeščenost

Na levem bregu reke Save, v vzhodnem delu Slovenije, se nahaja JEK, umeščena v industrijsko cono mesta Krško, v naselju Vrbina. Natančen naslov elektrarne je Vrbina 12, 8270 Krško. Leži v Krški kotlini – ravninskem območju, obdanem z gričevjem in hribi – s hidrološko ugodno lego neposredno ob reki Savi (slika3).

Izbira lokacije je bila po uradnih podatkih JEK utemeljena z več ključnimi dejavniki. Med najpomembnejšimi je prisotnost reke Save, ki zagotavlja učinkovito hlajenje reaktorja z rečno vodo. Poleg tega elektrarna razpolaga z dobro prometno infrastrukturo – dostopna je preko industrijske ceste, ki se navezuje na regionalno povezavo Krško–Brežice, ter ima tudi železniško povezavo z bližnjo postajo.

Stabilna geološka podlaga Krške kotline je bila še en pomemben dejavnik pri določanju lokacije, saj predstavlja temelj za dolgoročno varno obratovanje jedrskih objektov. Sama okolica je redkeje poseljena, pretežno obdana z industrijskimi in kmetijskimi površinami, kar dodatno zmanjšuje tveganje za okoliško prebivalstvo.

Takšna umestitev zagotavlja varno in trajnostno delovanje elektrarne ter pomembno prispeva k energetske zanesljivosti in neodvisnosti Slovenije (Jerele, 2024).



Slika 3: Geografska umeščenost objekta [<https://www.nek.si/o-nas/o-nek>]

3.4 Operativno delovanje in nadzor

Tudi v letu 2023 je JEK zagotavljala stabilno in varno proizvodnjo električne energije. V tem obdobju je dosegla skupno proizvodnjo 5.603.006,20 MWh bruto električne energije, od česar je bilo v elektroenergetski sistem oddanih 5.332.491,35 MWh neto. Kljub zahtevnim tehničnim razmeram je elektrarna ohranjala visoko obratovalno učinkovitost.

Pri tem je znašal kazalec razpoložljivosti 88,29 %, kazalec zmogljivosti pa 87,83 %. Obe vrednosti sta bili nekoliko nižji v primerjavi s preteklimi leti, predvsem zaradi izrednega remonta, ki je bil nujen zaradi puščanja na cevovodu varnostnega vbrizgavanja. Vsa predvidena dela so bila kljub temu izvedena uspešno in brez vpliva na jedrsko varnost ali okolje.

Operativno delovanje elektrarne poteka skladno z najvišjimi mednarodnimi varnostnimi standardi, ob spoštovanju vseh zakonodajnih in okoljskih zahtev. V letu 2023 je JEK uspešno prestala recertifikacijsko presojo po standardu ISO 14001:2015, s čimer je potrdila svoj trajen in odgovoren odnos do okolja ter sistematično upravljanje okoljskih vplivov.

Za zagotavljanje varnega delovanja elektrarna redno izvaja notranje in zunanje nadzore, tehnične preglede ter varnostne in funkcionalne preizkuse. Poleg lastnega nadzora je JEK pod stalnim nadzorom URSJV in redno prestaja mednarodne presoje v okviru Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA) ter Združenja operaterjev jedrskih elektrarn (WANO) (NEK, 2024).

3.5 Okoljska dokumentacija in poročila

Z doslednim in sistematičnim pristopom JEK že vrsto let izvaja nadzor nad vplivi svojega delovanja na okolje. V letu 2023 so v okviru okoljskega upravljanja izvedli številne meritve in analize, namenjene spremljanju radioaktivnih izpustov, kakovosti površinskih in podzemnih voda ter stanja reke Save, ki služi kot vir hladilne vode.

Radioaktivnost se spremlja tako pri tekočinskih kot tudi zračnih izpustih, poleg tega pa elektrarna redno analizira parametre reke Save in podzemnih vod. Takšen pristop omogoča pravočasno zaznavanje morebitnih sprememb. Ugotovitve za leto 2023 kažejo, da so bili vsi izpusti globoko pod zakonsko določenimi mejami in niso predstavljali tveganja za okolje.

Posebno pozornost elektrarna namenja tudi ravnanju z odpadki – redno pripravlja okoljska poročila in vodi evidenco o radioaktivnih ter komunalnih odpadkih. Sistem vključuje ločeno zbiranje, nadzor nad količinami in oddajo odpadkov izključno pooblaščenim izvajalcem.

V letu 2023 je JEK nadaljevala izvajanje okoljskega upravljanja v skladu s standardom ISO 14001:2015 in uspešno prestala recertifikacijsko presojo. Del dolgoročne strategije vključuje tudi pridobitev okoljevarstvenega soglasja (OVS) za podaljšanje obratovalne dobe do leta 2043, kar je rezultat sodelovanja s pristojnimi organi in neodvisnimi strokovnjaki.

Z vztrajnim nadzorom, rednim poročanjem in preglednim komuniciranjem JEK krepi zaupanje javnosti in potrjuje svojo zavezanost trajnostnemu, okolju prijaznemu delovanju (NEK, 2024).

3.5.1 Radiološka zaščita

Radiološka zaščita je eno ključnih področij varnostnega sistema JEK, ki se izvaja z namenom zaščite zaposlenih, prebivalstva in okolja pred škodljivimi učinki ionizirajočega sevanja. Sistem zaščite vključuje stalni nadzor nad dozami sevanja, uporabo zaščitne opreme ter stalno usposabljanje osebja.

JEK uporablja sodoben nadzorni sistem za spremljanje radioaktivnosti, ki vključuje več kot sto merilnih točk znotraj in zunaj objekta. Vključeni so tako stacionarni kot prenosni detektorji, ki omogočajo natančno spremljanje doz in morebitnih sprememb v realnem času. Posebna pozornost je namenjena spremljanju doz, ki jih prejmejo zaposleni; vse meritve so v letu 2023 ostale krepko pod predpisanimi letnimi mejami.

V primeru večjih posegov ali vzdrževalnih del se izvajajo posebni varnostni protokoli, ki vključujejo radiološko zaščito območij in osebja za hitro ukrepanje ob morebitnih odstopanjih.

JEK sodeluje z URSJV in Agencijo Republike Slovenija za okolje (ARSO), ki izvajata neodvisne kontrole in spremljanje radioaktivnosti v okolju. Podatki so javno dostopni, kar dodatno povečuje preglednost in krepi zaupanje javnosti.

Radiološka zaščita tako predstavlja eno najpomembnejših in najsistematičneje izvajanih praks znotraj elektrarne, skladno z mednarodnimi priporočili in zakonodajo Evropske unije (NEK, 2024).

4 OKOLJSKI VPLIVI OBSTOJEČEGA BLOKA JEK

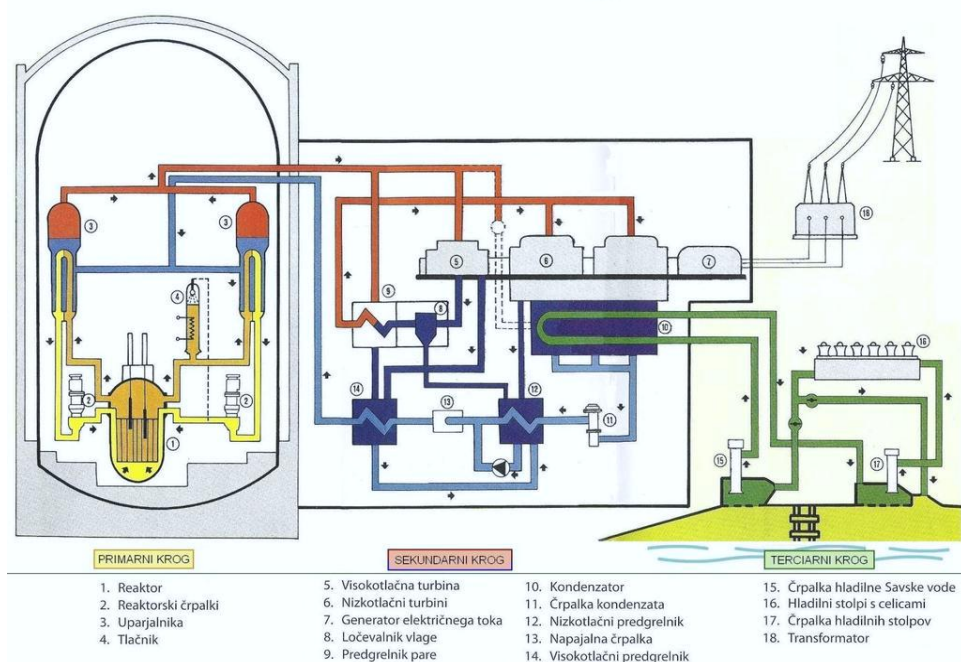
4.1 Vplivi na vode – reka Sava

Elektrarna ima neposreden in trajen vpliv na reko Savo, ki služi kot primarni vir hladilne vode v tehnološkem procesu elektrarne. V okviru PVO so bile obravnavane ključne obremenitve rečnega sistema, predvsem toplotne in radioaktivne, ki jih povzroča obratovanje JEK. Čeprav rezultati presoje kažejo, da obremenitve ne presegajo zakonsko določenih mej, je zaradi občutljivosti vodnega ekosistema potrebna celostna, strokovno podprta in dolgoročno usmerjena presoja učinkov.

JEK uporablja reko Savo za hlajenje v t. i. terciarnem sistemu. Voda se iz Save odvzema prek dveh sistemov – velikega hladilnega sistema - Circulating Water (CW) in malega hladilnega sistema - Essential Service Water (ESW) (slika 4). Skupni dovoljen odvzem vode znaša do 26,6 m³/s. Po prehodu skozi kondenzatorje in varnostne sisteme se segreta voda vrača nazaj v reko na izpustnih mestih V1 (glavni izpust iz kondenzatorjev) in V7 (pomožni izpust, ki se uporablja pri posebnih obratovalnih režimih) (Novak, 2022). Okoljevarstveno dovoljenje določa, da temperatura izpustne vode ne sme dvigniti temperature reke za več kot 3 °C v točki mešanja. Meritve na iztoku V1 so leta 2020 pokazale povprečno temperaturo 22,16 °C, kar je v okviru dovoljenih vrednosti (Novak, 2022).

Kljub temu pa toplotno onesnaženje ostaja okoljsko pomembno vprašanje. Povišane temperature vode zmanjšujejo koncentracijo raztopljenega kisika, kar negativno vpliva na razmnoževanje rib in splošno zdravje vodnih organizmov (Novak, 2022). V ekstremnih hidroloških razmerah, zlasti ob nizkem pretoku ali visokih temperaturah Save, je JEK dolžna zmanjšati moč reaktorja ali vključiti hladilne stolpe za recirkulacijo hladilne vode, da zmanjša obremenitev rečnega sistema.

Poleg toplotnih obremenitev JEK v reko Savo odvaja tudi določene količine radioaktivnih snovi, predvsem tritij. Leta 2020 je povprečna letna doza za prebivalstvo, povzročena z izpusti v vodo, znašala le 0,15 % zakonsko dovoljene letne omejitve (Novak, 2022). Aktivnost tritija, ki je glavni radionuklid v izpustih, je bila ocenjena pri približno 10 % dovoljene letne meje (Novak, 2022). Čeprav tritij velja za nizko radiotoksičnega, je pomembno njegovo natančno dolgoročno spremljanje, saj se lahko kopiči v vodnih organizmih.



Slika 4: Delovanje reaktorja [https://gmfeurope.org/wp-content/uploads/2022/06/Krsko-NPP_Rozman.pdf#page=4.00]

Stanje reke Save se redno spremlja na treh točkah: v JEK pri odvzemu vode, pred JEK na desnem bregu in v Brežicah pri mostu. Kazalniki kakovosti vode, kot sta KPK (kemijska potreba po kisiku) in BPK₅ (biokemijska potreba po kisiku v 5 dneh), so v letu 2019 kazali izboljšanje glede na dolgoročne trende – najvišja izmerjena vrednost KPK je bila 10,63 mg/l, BPK₅ pa 1,60 mg/l, kar ustreza kriterijem za dobro ekološko stanje (Novak, 2022). Poleg tega je bilo ekološko stanje Save dolvodno od JEK v letih 2016 in 2018 ocenjeno kot "zelo dobro", kar vključuje trofične in saprobne parametre fitobentosa, makrofita in bentoških nevretenčarjev (Novak, 2022).

Poročilo navaja tudi pojav pene dolvodno od iztoka iz JEK, ki je posledica sproščanja CO₂ iz ogrete vode in povečane bioproduktivnosti mikroorganizmov. Prisotne so bile alge iz skupine zelenih in diatomej, medtem ko cianobakterij ni bilo zaznanih v škodljivih koncentracijah (Novak, 2022).

Zanimiv podatek predstavlja študija Inštituta za vode Republike Slovenije, pogosto naveden kot IBE, d.d. iz leta 2019, ki je pokazala, da se je temperatura reke Save med JEK in iztokom iz Hidroelektrarne (HE) Brežice znižala za -0,54 °C. S tem je bil zavržen domnevni kumulativni vpliv JEK in hidroelektrarn na segrevanje Save (Novak, 2022).

Vendar pa ostaja vprašanje dolgoročnih učinkov toplotnega onesnaževanja v luči podnebnih sprememb. Upočasnen pretok v akumulacijah hidroelektrarn lahko vodi do zadrževanja toplote in sprememb v ekosistemi. Takšni vplivi bi morali postati predmet rednih, poglobljenih ekoloških presoj (Novak, 2022).

Čeprav uradna okoljska poročila (Novak, 2022) kažejo, da JEK s svojimi izpusti v reko Savo trenutno ne presega zakonskih mejnih vrednosti, ZEG opozarja, da presoje vplivov pogosto zanemarjajo dolgoročna tveganja in kumulativne učinke. Posebej kritični so do vprašanj radioaktivnega onesnaževanja vodnih teles, ki izhajajo tako iz tekočih izpustov (npr. tritij) kot tudi iz morebitnih nesreč, kjer bi lahko prišlo do nenadnih večjih sprostitvev radioaktivnih snovi (ZEG, 2023).

ZEG posebej izpostavlja zgodovinske izkušnje Slovenije z onesnaženjem vodnih virov zaradi rudarjenja urana na Žirovskem vrhu, kjer je radioaktivna kontaminacija vodotokov in tal pustila trajne posledice za okolje in zdravje ljudi. Na podlagi teh izkušenj opozarjajo, da bi morali biti vplivi radioaktivnih izpustov iz jedrskih objektov, vključno z JEK, obravnavani še bolj previdno, s poudarkom na previdnostnem načelu (ZEG, 2023).

Prav tako v svojih pripombah opozarjajo na problematiko dolgotrajnega shranjevanja radioaktivnih odpadkov, saj ti predstavljajo trajno tveganje za onesnaženje voda, vključno z vplivom na podtalnico in rečne sisteme. Opozarjajo, da trenutni postopki shranjevanja odpadkov v JEK, vključno s skladiščenjem v improviziranih objektih, povečujejo možnost kontaminacije, še posebej v primeru naravnih nesreč, kot so poplave ali potresi (ZEG, 2023).

Po mnenju ZEG zato ni dovolj zgolj sprotno spremljanje kakovosti Save, temveč je nujno potrebno dolgoročno načrtovanje in izvedba trajnostnih ukrepov za zaščito vodnih virov, ki vključujejo tudi:

- vzpostavitev neodvisnega ekološkega monitoringa,
- vključitev nevladnih organizacij v presoje vplivov,
- krepitev meril za oceno tveganj v primeru večjih nesreč,
- zahtevo po zmanjšanju tekočih in potencialnih izpustov.

ZEG poudarja, da bi morali biti okoljski standardi, povezani z vplivi na vodo, strožji in prilagojeni tudi v luči prihajajočih klimatskih sprememb, ki povečujejo tveganje za spremembe rečnih tokov, poplave in ekstremne suše (ZEG, 2023).

4.2 Emisije in vplivi na zrak

Med obratovanjem nima neposrednih emisij toplogrednih plinov iz samega tehnološkega procesa proizvodnje električne energije. To pomeni, da kot vir energije bistveno prispeva k zmanjševanju ogljičnega odtisa in uresničevanju ciljev razogljičenja slovenskega elektroenergetskega sistema. Vendar pa obstajajo posredni viri emisij, povezani s pomožnimi napravami, ki uporabljajo fosilna goriva, ter emisije radioaktivnih snovi v zrak, ki jih je prav tako treba obravnavati.

JEK izvaja nadzor nad emisijami radioaktivnih snovi na glavnem ventilacijskem kanalu elektrarne, kjer se zbirajo vzorci za meritve joda (I-131), tritija (H-3), ogljika (C-14), aerosolov in žlahtnih plinov. V letu 2020 so bile emisije radioaktivnih plinov daleč pod zakonsko določenimi mejami. Izpuščena aktivnost žlahtnih plinov je znašala 0,945 TBq, kar predstavlja le 0,076 % letne omejitve (50 μ Sv). Jod (I-131) ni bil zaznan, kar kaže na dobro integriteto jedrskega goriva (Novak, 2022).

Med izmerjenimi radionuklidi so se v ozračju pojavili tudi Co-60, Te-125, Te-127m, Cs-137 in Sr-90. Vendar pa ti elementi niso bili zaznani na merilnih mestih v okolici JEK in Ljubljani. Koncentracije Cs-137 in Sr-90 so bile najmanj tri rede velikosti nižje od vrednosti detekcije, kar pomeni, da vpliv JEK na radioaktivno obremenitev zraka ostaja zanemarljiv (Novak, 2022).

Monitoring radioaktivnosti se izvaja na osmih lokacijah v okolici JEK in na eni kontrolni lokaciji v Ljubljani. Vzorčenje aerosolov poteka na podlagi kontinuiranega prečrpavanja zraka skozi filtre, ki se menjajo na 15 dni. Vzorčenje joda in specifične meritve Sr-90/Sr-89 potekajo z ločenimi črpalkami. Dodatno se izvaja kontinuirano zbiranje vzorcev C-14 na ograji JEK (Novak, 2022).

Neradioaktivne emisije v zrak izvirajo predvsem iz delovanja pomožnih naprav, kot so dizelski generatorji in pomožna kotlovnica. Povprečna letna poraba dizelskega goriva v obdobju 2014–2019 je znašala približno 72,8 ton za generatorje in 125,6 ton za kotlovnico. Izpusti, povezani z zgorevanjem goriv, vključujejo SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5} in NMVOC. Letne emisije za leto 2020 so bile: SO₂: 396,7 kg, NO_x: 539,9 kg, CO: 134,6 kg, PM₁₀: 26,6 kg, PM_{2.5}: 6,6 kg, NMVOC: 6,6 kg (Novak, 2022).

Glede na te podatke se JEK šteje kot zelo majhen vir teh emisij, še posebej v primerjavi z drugimi industrijskimi objekti v občini Krško. Poleg tega JEK med obratovanjem ne sprošča ogljikovega dioksida (CO₂), kar pomeni pomembno prednost v primerjavi s termoelektrarnami.

4.2.1 Primerjava jedrske energije in drugih tehnologij

Primerjalna analiza različnih energetskih sistemov, predstavljena v raziskavi S.M. Rashada in Hammada, dodatno potrjuje ekološko prednost jedrske energije. V celotnem življenjskem ciklu (vključno z rudarjenjem urana, gradnjo in razgradnjo) znašajo izpusti CO₂ pri jedrski energiji približno 15 g CO₂/kWh, medtem ko termoelektrarne na premog ustvarijo do 900–1000 g CO₂/kWh. Tudi izpusti NO_x in SO₂ pri jedrskih elektrarnah so zanemarljivi, kar pomembno zmanjšuje vpliv na kisli dež, smog in bolezni dihal (Rashad; Hammad, 2000).

Radioaktivne emisije iz jedrskih elektrarn predstavljajo manj kot 0,01 mSv letne izpostavljenosti prebivalstva, kar je bistveno manj od naravnega sevalnega ozadja, ki znaša približno 2,4 mSv/leto. To pomeni, da so sevalni vplivi jedrske energije na ljudi v povprečju manjši kot izpostavljenost naravnim virom sevanja, kot je radon (Novak, 2022).

Še več, raziskava opozarja, da je vpliv izpustov iz termoelektrarn na zdravje ljudi (npr. zaradi trdih delcev in živega srebra) veliko večji, saj povzročajo več tisoč prezgodnjih smrti letno v Evropi, medtem ko se pri jedrski energiji takšni učinki praktično ne pojavljajo (Rashad; Hammad, 2000).

JEK je energetski vir z izjemno nizkim vplivom na kakovost zraka, tako z vidika toplogrednih plinov kot radioaktivnih in klasičnih emisij. Medtem ko so izpusti toplogrednih plinov pri fosilnih

virih glavni povzročitelj podnebnih sprememb, jedrska energija omogoča stabilno proizvodnjo elektrike z minimalnimi vplivi na okolje. Primerjalne študije jasno kažejo, da jedrske elektrarne, kot je JEK, predstavljajo trajnostno alternativo za nizkoogljico prihodnost.

Čeprav uradna poročila, kot je Poročilo o vplivih na okolje (Novak, 2022), kažejo, da so emisije JEK v zakonsko dovoljenih mejah in da ima elektrarna minimalen vpliv na kakovost zraka, pa civilnodružbene organizacije opozarjajo na pomembna odprta vprašanja. ZEG v svojih pripombah na Resolucijo o jedrski in sevalni varnosti (ZEG, 2023) opozarja, da:

- Trenutne ocene vplivov pogosto temeljijo na povprečnih vrednostih, medtem ko bi morali analizirati tudi maksimalne in kumulativne učinke emisij, zlasti v povezavi s spremembami vremenskih razmer in povečanimi frekvencami ekstremnih dogodkov.
- Monitoring emisij izvaja predvsem JEK sama oz. pogodbeni izvajalci, zato ZEG poziva k neodvisnemu in transparentnemu spremljanju emisij v ozračje ter k večji vključenosti javnosti v postopek ocenjevanja.
- Organizacija izpostavlja tudi potrebo po bolj konservativnem pristopu pri določanju mejnih vrednosti za radioaktivne in neradioaktivne emisije, saj trenutne norme, čeprav zakonsko veljavne, morda ne zajemajo dolgoročnih učinkov akumulacije radioaktivnih snovi v okolju.
- Poleg tega ZEG poudarja, da primerjave z drugimi viri energije ne smejo zanemariti možnosti nezaznanih vplivov mikrodelcev na zdravje, predvsem na ranljive skupine prebivalstva, kot so otroci in starejši.

Glede na ta opozorila je ključno, da se pri vrednotenju vplivov JEK na kakovost zraka ne upošteva zgolj trenutne skladnosti z zakonodajo, ampak tudi dolgoročna trajnost vplivov v povezavi z rastočimi tveganji, ki jih prinašajo podnebne spremembe in spremembe v lokalnem okolju.

4.3 Vplivi na tla in rabo prostora

Elektrarna je umeščena v obvodno območje reke Save, v bližini mesta Krško, in predstavlja pomembno energetska in infrastrukturno točko. Njena umestitev v prostor je bila v preteklosti upravičena predvsem z vidika tehničnih, logističnih in hidroloških pogojev.

Kljub temu pa ima gradnja in obratovanje elektrarne trajen vpliv na tla in rabo prostora, kar zahteva podrobno in kritično presojo, zlasti v luči dolgoročne rabe prostora in potencialnega razvoja drugega bloka JEK.

Zaradi izgradnje JEK in pripadajoče infrastrukture (vključno s hladilnimi sistemi, suhim skladiščem izrabljenega goriva in varnostnimi pasovi) je bilo trajno odvzetih več hektarjev visoko bonitetne kmetijske zemlje. Območje spodnje Save velja za eno najrodovitnejših kmetijskih regij v Sloveniji, v neposredni bližini elektrarne pa se nahaja tudi podjetje Evrosad, eno največjih pridelovalcev sadja v državi. Trajna sprememba rabe zemljišč iz kmetijskih v energetske površine pomeni izgubo dragocenih naravnih virov, kar odpira vprašanja prehranske varnosti, še posebej v kontekstu podnebnih sprememb in povečane potrebe po lokalno pridelani hrani.

Na to vprašanje opozarja tudi ZEG, ki izpostavlja, da dolgoročna zasedba kmetijskih zemljišč z industrijskimi in energetskimi objekti pomeni trajno izgubo kmetijskega potenciala in s tem tveganje za samooskrbo Slovenije s hrano. Poleg tega ZEG opozarja, da presoja vplivov na okolje premalo celovito obravnava kumulativne vplive več desetletnega obratovanja JEK na tla in talno mikrobioto, kar lahko vodi v težko popravljive posledice na lokalne ekosisteme (ZEG, 2023).

Čeprav JEK deluje v skladu z visokimi standardi varnosti in ravnanja z odpadki, obstaja potencialno tveganje za onesnaženje tal, zlasti v primeru nesreče ali dolgotrajne akumulacije

mikrodelcev v tleh. V okviru rednega okoljskega monitoringa se izvaja merjenje radioaktivnosti v tleh v okolici elektrarne, ki trenutno ne kaže na povišane vrednosti. Vendar pa strokovnjaki in okoljske organizacije opozarjajo na nujnost dolgoročnih raziskav kumulativnih učinkov, saj določene izotopske oblike vstopajo v tla in se preko rastlin lahko prenesejo v prehransko verigo.

V skladu s Poročilom o vplivih na okolje se JEK nahaja v območju, kjer je prisotna pretežno ilovnata zemlja, ki ima visoko sposobnost zadrževanja vode in radioaktivnih delcev. To zmanjšuje možnost širjenja onesnaženja preko podzemnih vodonosnikov, hkrati pa povečuje pomen površinskega nadzora in pravilnega vzdrževanja infrastrukture (Novak, 2022).

Lokacija JEK pomeni tudi omejitev za nadaljnji razvoj urbanih in rekreacijskih območij v širši okolici. Varnostni pasovi in območja posebnega režima rabe prostora (npr. pasovi nadzora, varnostne cone) onemogočajo širitev naselij in umeščanje novih objektov na tem območju. ZEG opozarja, da presoja vplivov na okolje ni dovolj podrobno ocenila dolgoročnega prostorskega izključevanja drugih dejavnosti, kar bi lahko v prihodnosti negativno vplivalo na demografski razvoj občine Krško (ZEG, 2023).

Poleg tega se v strategijah prostorskega razvoja občine Krško lokacija JEK obravnava kot območje s posebnim režimom, ki zahteva usklajevanje med državnimi, lokalnimi in varnostnimi interesnimi skupinami (Novak, 2022).

Čeprav so vplivi JEK na tla trenutno obvladovani in pod mejnimi vrednostmi, dolgotrajna prisotnost jedrskega objekta v prostoru zahteva nenehen nadzor, posebno pozornost pa mora biti namenjena zaščiti rodovitnih zemljišč in ohranjanju naravnih virov. Potrebno je redno posodabljanje prostorskih strategij, vključevanje lokalne skupnosti in neodvisnih institucij ter dolgoročno načrtovanje, ki bo upoštevalo trajnostne cilje in načela celostnega okoljskega upravljanja.

4.4 Vpliv na zdravje ljudi

Med obratovanjem JEK ne proizvaja neposrednih emisij toplogrednih plinov iz samega tehnološkega procesa proizvodnje električne energije. To pomeni, da kot vir energije bistveno prispeva k zmanjševanju ogljičnega odtisa in uresničevanju ciljev razogljičenja slovenskega elektroenergetskega sistema.

Kljub temu pa obstajajo posredni viri emisij, povezani s pomožnimi napravami, ki uporabljajo fosilna goriva, ter emisije radioaktivnih snovi v zrak, ki jih je treba dosledno spremljati in nadzorovati (Novak, 2022).

Elektrarna izvaja nadzor nad emisijami radioaktivnih snovi na glavnem ventilacijskem kanalu elektrarne, kjer se zbirajo vzorci za meritve radionuklidov, kot so jod-131, tritij, ogljik-14, aerosoli in žlahtni plini. Leta 2020 je izpuščena aktivnost žlahtnih plinov znašala 0,945 TBq, kar predstavlja le 0,076 % letne omejitve (50 μ Sv). Jod-131 ni bil zaznan, kar kaže na dobro integriteto jedrskega goriva (Novak, 2022). V ozračju so bili zaznani tudi radionuklidi Co-60, Te-125, Te-127m, Cs-137 in Sr-90, vendar so bile njihove koncentracije na merilnih mestih v okolici JEK in Ljubljani tako nizke, da niso bile detektabilne oziroma so bile več velikostnih redov pod mejo detekcije (Novak, 2022).

Poleg radioaktivnih emisij JEK ustvarja tudi neradioaktivne emisije, ki izvirajo iz pomožnih naprav, kot so dizelski generatorji in pomožna kotlovnica. V obdobju 2014–2019 je bila povprečna letna poraba dizelskega goriva približno 72,8 ton za generatorje in 125,6 ton za kotlovnico. Te naprave so leta 2020 prispevale naslednje količine emisij: SO₂ (396,7 kg), NO_x (539,9 kg), CO (134,6 kg), PM₁₀ (26,6 kg), PM_{2.5} (6,6 kg) in NMVOC (6,6 kg) (Novak, 2022). Te količine so v primerjavi z emisijami iz drugih industrijskih objektov v občini Krško zelo nizke, kar potrjuje, da je JEK majhen onesnaževalec zraka.

Primerjalna analiza različnih energetskih sistemov potrjuje okoljsko prednost jedrske energije. V raziskavi Rashada in Hammada (2000) je navedeno, da v celotnem življenjskem ciklu jedrska energija povzroči približno 15 g CO₂/kWh, medtem ko termoelektrarne na premog ustvarijo do 1000 g CO₂/kWh. Prav tako so emisije NO_x in SO₂ pri jedrskih elektrarnah zanemarljive, kar pomembno zmanjšuje tveganja za nastanek kislega dežja in bolezni dihal (Rashad; Hammad, 2000).

Kar zadeva vpliv na zdravje ljudi, podatki kažejo, da je ta zaradi delovanja JEK izredno nizek. Povprečna naravna efektivna doza sevanja za posameznika v Sloveniji znaša približno 2,5 mSv/leto. Največji delež naravne izpostavljenosti predstavlja radon s svojimi kratkoživimi razpadnimi produkti v zraku (okoli 1,3 mSv/leto), sledijo kozmično in zemeljsko sevanje (0,66 mSv/leto) ter prehranski viri sevanja, kot je kalij-40 (0,18 mSv/leto). Dodatno obremenitev predstavlja medicinska diagnostika (povprečno 1,5 mSv/leto) (Bohte, 2009).

Prispevek JEK k tej skupni izpostavljenosti je ocenjen na le 0,00007 mSv/leto, kar pomeni, da JEK prispeva manj kot 0,003 % celotne naravne izpostavljenosti (Novak, 2022). Glavni delež doze izhaja iz prehranske poti, predvsem zaradi tritija, ki se pojavi v vodi in prehranskih produktih, medtem ko je vpliv inhalacije ali zunanega obsevanja zanemarljiv (Novak, 2022).

Radioaktivne emisije iz jedrskih elektrarn prispevajo manj kot 0,01 mSv letne izpostavljenosti prebivalstva, kar je bistveno manj od izpostavljenosti naravnim virom, kot je radon (Rashad; Hammad, 2000). V raziskavi je prav tako poudarjeno, da so vplivi izpustov iz termoelektrarn na zdravje ljudi – predvsem zaradi trdih delcev in živega srebra – znatno višji in predstavljajo več tisoč prezgodnjih smrti letno v Evropi, medtem ko se pri jedrski energiji takšni učinki praktično ne pojavljajo (Rashad; Hammad, 2000).

Kljub nizkim izpustom ZEG opozarja, da presoja vplivov JEK na kakovost zraka ni zadostno obravnavala morebitnih kumulativnih vplivov ob dolgotrajnem obratovanju in spremembah v okolju zaradi podnebnih sprememb. Opozarjajo tudi na dejstvo, da v primeru morebitnih izrednih dogodkov lahko pride do hitrega povečanja lokalnega sevalnega bremena, zato bi moral biti sistem odzivanja in nadzora dodatno okrepljen (ZEG, 2023).

JEK se torej v sedanjih razmerah izkazuje kot energetski vir z nizkim vplivom na kakovost zraka in zdravje ljudi. Vendar pa trajnostno upravljanje tega vpliva zahteva neprekinjeno spremljanje, vključevanje neodvisnih strokovnjakov ter ažuriranje varnostnih in okoljskih standardov v skladu z najsodobnejšimi znanstvenimi dognanji.

4.5 Ravnanje z radioaktivnimi odpadki

V Sloveniji se trenutno vsi radioaktivni odpadki, ki nastajajo pri obratovanju JEK, skladiščijo začasno, saj končna rešitev za njihovo dolgoročno odlaganje še ni vzpostavljena. Pri tem gre zlasti za nizko in srednje radioaktivne odpadke (NSRAO), ki jih JEK sproti obdeluje in skladišči v lastni skladiščni zgradbi, ter za VAO, ki jih predstavlja izrabljeno jedrsko gorivo. Kljub ustreznim operativnim ureditvi obdelave in skladiščenja pa dolgoročna varnost z okoljskega vidika ostaja neodgovorjeno vprašanje.

NSRAO v JEK obsegajo predvsem kontaminirane delovne materiale, filtrske vložke, ionske smole, tesnila, izolacijske materiale in odpadke iz dekontaminacijskih procesov (slika 5). Po podatkih iz okoljskega poročila se ti odpadki predhodno obdelajo s stiskanjem, cementiranjem ali bituminizacijo, nato pa se shranijo v kovinskih sodih v skladišču znotraj elektrarne (Novak, 2022). Prostorske zmogljivosti skladišča so omejene, zato je optimizacija prostornine ključna, a dolgoročna akumulacija odpadkov brez končnega odlagališča predstavlja potencialno tveganje za okolje.



Slika 5: Izgled NSRAO
[<https://jek2.si/jedrski-odpadki/>]

Za izrabljeno gorivo, ki predstavlja visoko aktivne odpadke, je bilo leta 2008 zgrajeno suho skladišče. Po večletnem hlajenju v bazenu se gorivni elementi prenesejo v hermetično zaprte zabojnike tipa CASTOR, ki zagotavljajo pasivno hlajenje in zaščito pred sevanjem brez zunanjih virov energije. Trenutno skladišče omogoča varno hrambo izrabljenega goriva do predvidenega zaključka obratovanja JEK, torej do leta 2043 (Novak, 2022). Po tem obdobju bo potrebna trajna rešitev za visoko aktivne odpadke, saj suho skladišče ni namenjeno večstoletni ali tisočletni hrambi.

V obzorniku za matematiko in fiziko je izpostavljeno, da visoko aktivni odpadki vsebujejo številne dolgožive radionuklide, kot so razcepni produkti Sr-90 in Cs-137 ter aktinidi Pu-239, U-235 in Am-241, katerih razpolovni časi segajo od nekaj deset do več milijonov let. Toplotni izpusti iz teh snovi lahko znašajo več kilovatov na gorivni element še deset let po odstranitvi iz reaktorja, kar zahteva aktivne ali pasivne sisteme za odvajanje toplote (Ravnik, 1994). Aktivnost nekaterih radionuklidov bo ostala nad naravnim ozadjem še tisočletja, zato jih ni mogoče preprosto prepustiti naravni razgradnji ali deponiranju brez zaščitnih pregrad. Pomemben okoljski izziv je tudi možnost kontaminacije podtalnice v primeru mehanske poškodbe zabojnikov v suhem skladišču, zlasti v primeru potresa, poplav ali degradacije materialov zaradi staranja.

Čeprav letna poročila in monitoring radioaktivnosti v okolici JEK kažejo, da meritve sevanja ne presegajo dovoljenih mej in da so vplivi na okolje trenutno zanemarljivi (Novak, 2022), ostajajo odprta vprašanja glede dolgoročne varnosti skladiščenja na istem mestu, kjer je nastal vir sevanja. Izračuni v okoljskem poročilu potrjujejo, da učinki izpustov iz JEK na prebivalstvo znašajo manj kot 0,001 % naravnega ionizirajočega ozadja (Galvič; Fajfar; Zorko, 2024), kar pa ne odpravlja potrebe po trajni in sistemski rešitvi.

Na pomanjkanje dolgoročne strategije opozarja tudi ZEG, ki navaja, da "zbiranje odpadkov na lokaciji JEK ni enakovredno trajnemu odlaganju" (ZEG, 2023). ZEG poziva k pripravi jasnega in časovno določenega načrta za gradnjo nacionalnega odlagališča za NSRAO in k iskanju rešitve za VAO. Poleg tega opozarjajo na dejstvo, da trenutne presoje vplivov na okolje ne vključujejo dolgoročnih in kumulativnih dejavnikov tveganja, kot so potresna nevarnost, poplave, vplivi podnebnih sprememb ter staranje materialov, iz katerih so zgrajeni zabojniki za izrabljeno gorivo (ZEG, 2023). Po njihovem mnenju mora biti ocena varnosti za celoten življenjski cikel radioaktivnih odpadkov celovita in vključevati tudi obdobje po koncu obratovanja JEK.

Odprta ostaja tudi deljena odgovornost med Slovenijo in Hrvaško glede trajne rešitve za odlaganje visoko aktivnih odpadkov, saj sta državi enakovredni solastnici JEK. Do danes ni bil dosežen dogovor o skupnem končnem odlagališču, prav tako ni jasno, ali bosta državi ubrali skupno ali ločeno strategijo. Trenutno predvideno odlagališče NSRAO v Vrbini pri Krškem se zaradi administrativnih postopkov in pomanjkanja soglasij še ni realiziralo.

Čeprav je treba poudariti, da JEK upravlja z odpadki v skladu z vsemi zakonskimi zahtevami in da rezultati meritev potrjujejo ustrezno zaščito ljudi in okolja, dolgoročna okoljska varnost ostaja negotova brez končne ureditve odlaganja. V prihodnjih letih bo zato nujno, da država in odgovorni akterji sprejmejo odločitve, ki bodo presegle okvir zgolj operativnega obvladovanja, in vzpostavijo transparenten, strokovno utemeljen in družbeno sprejemljiv model trajnega ravnanja z radioaktivnimi odpadki.

5 PRESOJA VPLIVOV NA OKOLJE

5.1 Presoja vplivov na okolje trenutnega bloka JEK

PVO v primeru JEK je ključni mehanizem za ugotavljanje skladnosti njenega obratovanja z zakonodajnimi, okoljskimi in varnostnimi zahtevami. Elektrarna, ki je z obratovanjem pričela leta 1983, danes deluje že več kot štiri desetletja, kar pomeni, da se približuje ali celo presega načrtovano življenjsko dobo prvotnega reaktorskega bloka. V tem kontekstu postaja PVO še

posebej pomemben instrument za oceno upravičenosti nadaljnjega obratovanja glede na trenutno stanje infrastrukture, okoljsko ranljivost območja in razvojne usmeritve države.

Kljub temu da so rezultati zadnjih presoj pokazali skladnost izpustov s predpisanimi mejnimi vrednostmi, številni strokovnjaki in okoljske organizacije opozarjajo, da je pristop k presoji preozek, premalo poglobljen in pogosto formalističen. Okoljska poročila se osredotočajo predvsem na trenutno stanje in redkeje na dolgoročne trende, kumulativne učinke in vplive izrednih dogodkov, kot so potresi, ekstremne suše ali potencialne okvare hladilnih sistemov. Zaradi staranja infrastrukture se povečuje tveganje za obrabne napake, zmanjšuje se robustnost konstrukcije, hkrati pa se podaljševanje življenjske dobe objekta vse bolj oddaljuje od sodobnih varnostnih standardov.

Poseben poudarek v okviru PVO zahteva vpliv JEK na reko Savo, ki predstavlja osnovni vir hladilne vode. Čeprav izpusti toplote in tritija po navedbah JEK ostajajo pod zakonskimi mejami, dolgotrajno segrevanje vode in kopičenje radionuklidov, predvsem v sušnih obdobjih, lahko ogrozita občutljiv vodni ekosistem. Redne meritve kažejo, da v večini primerov temperatura ne presega zakonskih pragov, vendar obstajajo primeri, ko so bile temperature Save v točki izpusta že blizu kritičnih vrednosti. Takšna opažanja kažejo, da so vplivi obratovanja JEK podcenjeni, saj se ne upošteva akumuliranih učinkov na biotsko raznovrstnost in na razmere v ekstremnih hidroloških scenarijih, ki postajajo vse pogostejši zaradi podnebnih sprememb.

JEK se nahaja v seizmično aktivni regiji, v neposredni bližini pomembnih prelomnic, kar predstavlja objektivno tveganje. Nedavni potresi v Zagrebu (2020) in Petrinji (2021) so opozorili na realno možnost močnejših potresov v širši regiji. Kritično je tudi dejstvo, da je bila elektrarna zasnovana na podlagi standardov iz 70. let prejšnjega stoletja, ki ne vključujejo vseh sodobnih seizmoloških spoznanj. Organizacija Focus opozarja, da bi bilo zato potrebno varnostne modele revidirati in jih prilagoditi aktualnim znanstvenim ocenam tveganja (Focus, 2020).

V luči zapiranja termoelektrarne Šoštanj (TEŠ), ki naj bi se v prihodnjih letih preoblikovala v toplarno z omejenim lokalnim dosegom, se povečujejo sistemska tveganja za zanesljivost oskrbe z električno energijo. Slovenija izgublja pomemben fosilni vir elektrike, pri čemer JEK zaradi starosti ni dolgoročno zanesljiva rešitev. Tako se krepi potreba po sprejemu odločitve glede gradnje drugega bloka – JEK 2. Odlašanje pomeni izgubo časa, kadrovskih virov in strateških investicijskih priložnosti, medtem ko se obratovanje obstoječega bloka vse bolj zanaša na časovno omejene podaljške in proaktivno vzdrževanje.

V presoji vplivov na okolje za podaljšanje življenjske dobe JEK niso bile vključene ustrezne simulacije za sočasno delovanje dveh blokov, kar bo – v primeru gradnje JEK 2 – ključno. Trenutna analiza ne zajema vplivov na rabo prostora, segrevanje reke, povečanje logističnih obremenitev, upravljanje radioaktivnih odpadkov ter vplive na lokalno in čezmejno prebivalstvo. Tudi hrvaška stran, ki je 50-odstotna lastnica JEK, bi morala imeti večji vpliv na oblikovanje dolgoročnih okoljskih in varnostnih politik ter načrtovanje sinergij, ki bi zmanjšale skupno okoljsko tveganje (ZEG, 2023).

Nevladne organizacije, kot je ZEG, poudarjajo, da PVO pogosto zanemara princip previdnosti, dolgoročna tveganja ter vplive preteklih okoljskih bremen, kot je primer Žirovskega vrha. Kritični so tudi do trenutnega načina shranjevanja izrabljenega goriva in radioaktivnih odpadkov v JEK, saj ocenjujejo, da prostorsko omejene in tehnološko zastarele rešitve povečujejo tveganje za onesnaženje podtalnice v primeru poplav ali potresov.

Ne glede na pomisleke velja poudariti, da JEK obratuje z reaktorjem tipa PWR, ki ima pomembne varnostne prednosti pred reaktorjem Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalni – kanalni reaktor velike moči, 1000 MW (RBMK-1000), uporabljenim v černobilski jedrski elektrarni. Reaktor RBMK ni imel zadrževalnega hrana in je omogočal zamenjavo goriva med obratovanjem, kar je povečalo tveganje za nestabilnost. V nasprotju s tem ima JEK

večstopenjski varnostni sistem z zadrževalnim hramom in notranjo tlačno jekleno lupino, ki bistveno zmanjšujeta možnost izpusta radioaktivnih snovi ob morebitni okvari.

Dodaten varnostni vidik je visoka usposobljenost kadra. Operativno osebje JEK mora opraviti 30-mesečni program usposabljanja, vključno s štirimi meseci vaj na simulatorju reaktorja. Zaključek izobraževanja je pogojen s pridobitvijo licence, ki jo izda pristojna državna komisija. Tak pristop pomembno zmanjšuje tveganje za človeške napake in povečuje pripravljenost ob morebitnih izrednih dogodkih.

V primeru nesreče se aktivira Strokovna skupina za obvladovanje izrednih dogodkov, katere naloge in sestavo opredeljuje Načrt zaščite in reševanja JEK. V načrtu so določeni postopki obveščanja, zaščitni ukrepi, usposabljanja ter sodelovanje s pristojnimi organi in institucijami na lokalni in državni ravni. JEK ima vzpostavljene centre za obvladovanje izrednega dogodka, pomožno komandno sobo in posebne ukrepe za nadzor nad sistemom tudi v primeru hujših izrednih razmer, vključno z uporabo dodatne mobilne opreme (črpalk, generatorjev, transformatorjev) in filtracijskih sistemov za razbremenitev zadrževalnega hrama.

Dodatno vlogo pri varstvu pred jedrskimi in radiološkimi dogodki ima Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, ki je v letu 2017 sprejela novo oceno ogroženosti za primer jedrske nesreče (verzija 2.1), na podlagi katere so se okrepili sistemski odzivi in pripravljenost vseh sodelujočih organov (Novak, 2022).

Čeprav JEK v letu 2023 deluje v skladu z mednarodnimi standardi, ostajajo številni odprti izzivi, ki jih PVO ne naslavlja v zadostni meri. Mednje sodijo: zmanjševanje hlajenja Save v poletnih mesecih, vpliv na biotsko raznovrstnost, dolgoročna varnostna kultura, neodvisnost nadzora ter vključevanje civilne družbe. Ker gre za vprašanja z visokim okoljskim, družbenim in strateškim pomenom, bi morala presoja vplivov na okolje temeljiti na znanstveno poglobljeni, med disciplinarni in transparentni podlagi.

Glede na vse navedeno je nadaljnje obratovanje JEK v obstoječi obliki vse težje utemeljivo. Namesto podaljševanja obratovalne dobe zastarelega objekta bi morala Slovenija prioriteto usmeriti vire v gradnjo novega, sodobno zasnovanega jedrskega objekta, ki bi omogočal večjo varnost, fleksibilnost, energetske učinkovitost in podporo zelenemu prehodu. Presoja vplivov na okolje mora v prihodnje postati osrednji mehanizem za načrtovanje energetske prihodnosti in ne le orodje za upravljanje nadaljnjega obratovanja pretečenih energetske kapacitete.

6 NAČRTOVANI PROJEKT JEK 2

6.1 Opis in predstavitev projekta

Jedrska elektrarna Krško 2 (JEK 2) predstavlja ključno strateško usmeritev Republike Slovenije na področju energetike. Dolgoročni namen je zagotoviti stabilno, zanesljivo in nizko ogljično oskrbo z električno energijo ter postopoma zmanjševati energetske odvisnosti države od uvoza. Drugi jedrski blok bo umeščen v neposredni bližini obstoječe Nuklearne elektrarne Krško, s čimer se bo omogočila izraba obstoječe infrastrukture (slika 6) (Pavlin, 2013).

Projekt predvideva izgradnjo sodobne jedrske elektrarne z nazivno močjo do 2.400 MW, kar pomeni več kot podvojitev obstoječih zmogljivosti JEK-a. Gre za odgovor na vse večje povpraševanje po električni energiji, zlasti v kontekstu razogljičenja proizvodnje energije in opuščanja fosilnih goriv, skladno z evropskimi zavezami iz evropskega zelenega dogovora in nacionalnim energetske in podnebne načrta (EIMV, 2024).

Za tehnološko osnovo so bile predstavljene napredne tlačnovodne reaktorske tehnologije, med njimi AP1000 (Westinghouse), EPR (Areva), EU-APWR (Mitsubishi) in ATMEA-1 (Areva & Mitsubishi). Vse omenjene zasnove izpolnjujejo aktualne evropske standarde (EUR) in vključujejo napredne varnostne sisteme, zlasti pasivne varnostne funkcije, kar bistveno povečuje zanesljivost delovanja (Češnjevar, 2011; Pavlin, 2013).

Priključitev JEK 2 na slovenski elektroenergetski sistem je tehnično izvedljiva. V študiji priključitve na elektroenergetski sistem (EES), ki jo je pripravil Elektroinštitut Milan Vidmar, je bilo ugotovljeno, da bo za vključitev enote te velikosti potrebna nadgradnja 400-kilovoltnega prenosnega omrežja. Analizirani so bili različni scenariji obratovanja v letu 2040, pri čemer so bili vključeni tudi primeri vzporednega obratovanja JEK in JEK 2 (EIMV, 2024).

Projekt je trenutno v fazi priprave za izvedbo razpisa. Zaključene so bile ključne podlage, kot so študije in poročilo o vplivih na okolje, priključitvi na omrežje in tehnične zahteve. Z njegovo izvedbo bo Slovenija naredila pomemben korak k energetske samozadostnosti in trajnostni oskrbi z električno energijo v obdobju po letu 2035.



Slika 6: Načrtovan izgled drugega bloka JEK 2 [<https://www.zelenaslovenija.si/novice/koliko-bi-stal-jek2/>]

6.2 Tehnične značilnosti

Zasnovana bo kot napreden objekt generacije III+, ki temelji na preverjeni tehnologiji tlačnovodnega reaktorja. Gre za tehnologijo, ki je trenutno najbolj razširjena in mednarodno priznana za proizvodnjo jedrske električne energije, saj omogoča varen in zanesljiv prenos toplote iz jedrske sredice v sistem proizvodnje pare ter posledično učinkovito pretvorbo toplotne energije v električno energijo. Z zasnovo PWR se dosega visoka stopnja energetske učinkovitosti, dolgoročna operativna stabilnost in visoka varnost obratovanja. Projekt predvideva izgradnjo enega bloka z nazivno električno močjo med 1.000 in 2.400 MW, kar je odvisno od izbire reaktorske tehnologije, konfiguracije in povezave na elektroenergetski sistem Republike Slovenije (EIMV, 2024).

Ena ključnih prednosti zasnove PWR je uporaba dveh ločenih tokokrogov omogoča varen in učinkovit prenos toplote. V primarnem tokokrogu kroži voda pod visokim tlakom (približno 155 barov), ki se v reaktorski sredici segreje na okoli 320°C. Zaradi visokega tlaka voda kljub visoki temperaturi ne vre, tako se stabilno prenese toplota na sekundarni tokokrog prek uparjalnikov. V sekundarnem tokokrogu pride do uparjanja vode, ki s svojo paro poganja turbinske agregate za proizvodnjo električne energije, pri čemer se radioaktivnost ne prenaša v sekundarni tokokrog (Češnjear, 2011).

6.2.1 Predvidene reaktorske tehnologije

GEN energija je v okviru razvojnih študij projekta JEK 2 analizirala štiri napredne reaktorske zasnove tretje generacije: EPR, AP1000, EU-APWR in ATMEA-1. Vse analizirane zasnove sodijo med sodobne PWR tehnologije generacije III ali 3+, ki so zasnovane za najmanj 60 let

delovanja z možnostjo podaljšanja do 80 let, ter vključujejo napredne varnostne funkcije, izboljšano učinkovitost in robustnost obratovanja v skladu z evropskimi in mednarodnimi varnostnimi standardi.

6.2.2 Evropski tlačnovodni reaktor: European Pressurized Reactor (EPR)

EPR je evropska različica naprednega tlačnovodnega reaktorja, ki sta jo razvili družbi Areva (danes Framatome) in EDF v sodelovanju s Siemensom. Zasnovan je za doseganje električne moči med 1.600 in 1.750 MW, pri čemer toplotna moč presega 4.300 MWt. Reaktor vključuje štiri hladilne zanke, vsako z lastno obtočno črpalko in uparjalnikom, to zagotavlja visoko redundanco in operativno zanesljivost. Ključna značilnost zasnove je lovilce staljene sredice (core catcher), ki omogoča varno zadržanje in hlajenje staljene sredice v primeru izjemne nesreče, s čimer se preprečuje uhajanje radioaktivnih snovi v okolje. Zadrževalni hram je sestavljen iz notranje jeklene kupole in zunanje armiranobetonske kupole, s tem je objekt odporen proti zunanjim dogodkom (npr. potresi), ter predstavlja enega izmed najvarnejših reaktorskih objektov v mednarodnem prostoru (Pavlin, 2013).

6.2.3 Napredi pasivni reaktor: Advanced Passive 1000 (AP1000)

Reaktorsko zasnovo AP1000 je razvila ameriška družba Westinghouse z namenom zmanjšanja kompleksnosti in časa izgradnje s pomočjo modularne gradnje. Njegova nazivna električna moč znaša okoli 1.150 MW, kar ustreza približno 3.400 MW toplotne moči. Prednost reaktorja AP1000 so pasivni varnostni sistemi, kateri omogočajo hlajenje sredice in varnostno zaustavitev reaktorja brez potrebe po zunanjih virih energije in aktivnih črpalkah. Hlajenje v izrednih razmerah poteka preko naravne konvekcije in gravitacije, kar pomeni, da lahko reaktor v primeru izpada napajanja ostane varen brez aktivnega posega do 72 ur. AP1000 ima dve hladilni zanki, kar zmanjša število mehanskih komponent in potencialne točke okvar, zadrževalni hram pa omogoča naravno odvajanje toplote skozi stene objekta s pomočjo pasivnih sistemov hlajenja (Češnjevar, 2011).

6.2.4 Evropski napredni tlačnovodni reaktor: European Advanced Pressurized Water Reactor (EU-APWR)

EU-APWR je evropsko prilagojena različica reaktorja APWR, ki ga je razvila družba Mitsubishi Heavy Industries. Reaktor dosega moč med 1.600 in 1.700 MW in uporablja štiri hladilne zanke z izboljšanimi uparjalniki, to povečana toplotno učinkovitost in zmanjša izgubo pri prenosu toplote. Zasnovo sestavljajo napredni sistemi za nadzor gorivnega cikla in natančno uravnavanje pretoka vode skozi sredico, ki stabilizira delovanje tudi pri višjih obremenitvah sistema. EU-APWR je zasnovan z visoko odpornostjo proti toplotnim šokom in izboljšanimi sistemi za hlajenje sredice v sili (Pavlin, 2013).

6.2.5 Napredni tlačnovodni reaktor: Advanced Pressurized Water Reactor-1 (ATMEA-1)

ATMEA-1 spada pod srednje močan reaktor z nazivno močjo približno 1.150 MW, ki je rezultat skupnega razvoja podjetij Areva in Mitsubishi. Zasnovan na modularni arhitekturi, tri redundantnega varnostnega sistema in lovilce staljene sredice, ki omogoča visoko stopnjo pasivne varnosti. ATMEA-1 je zasnovan za dolgotrajno delovanje brez menjave goriva, pri stabilnem obratovanju ob nizkih obratovalnih stroških. Zaradi svoje prilagodljivosti je primeren za uporabo tudi v državah z manjšimi elektroenergetskimi sistemi in omejenimi prenosnimi zmogljivostmi (Češnjevar, 2011).

6.2.6 Skupne tehnične značilnosti

Kljub razlikam med posameznimi reaktorskimi zasnovami so značilnosti, ki so skupne vsem kandidatom za JEK 2, ključnega pomena za varno, učinkovito in stabilno delovanje elektrarne. Vsi reaktorji uporabljajo gorivne elemente iz uranovega dioksida (UO_2), obogatenega do 5 % U-235, ki so nameščeni v cevkah iz zlitine cirkonija, zloženi v gorivne svežnje. Toplotna moč

reaktorjev je v območju med 3.000 in 4.300 MWt, omogoča visoko gostoto moči in ekonomsko učinkovitost proizvodnje električne energije. Glede na zasnovo imajo reaktorji dve do štiri hladilne zanke, pri čemer ima vsaka obtočno črpalko, cevovode in uparjalnik.

Zadrževalna struktura vseh reaktorjev je zasnovana kot dvojna ali ojačana kupola iz armiranega betona in jekla, ki služi kot zaščita pred zunanjimi vplivi in zagotavlja varno zadrževanje radioaktivnih snovi v primeru nesreč. Vsi reaktorji vključujejo napredne digitalne sisteme za upravljanje in nadzor (Instrumentation and Control - I&C), kar pomeni avtomatsko vodenje procesov in hitro zaznavo ter odziv ob morebitnih odstopanjih. Ti sistemi so zasnovani z ločenimi varnostnimi in operativnimi podsistemi ter vključujejo zaščito pred kibernetскими grožnjami v skladu z mednarodnimi smernicami International Atomic Energy Agency (IAEA) (EIMV, 2024).

Za ravnanje z izrabljenim gorivom je predvideno mokro skladiščenje v bazenih znotraj objekta, po ohladitvi pa se bo gorivo prestavilo v suho skladišče, kjer je shranjeno v hermetično zaprtih zabojnikih z zračnim hlajenjem. Takšen sistem ohranja gorivo varno in omogoča dolgoročno ravnanje z izrabljenim gorivom do vzpostavitve nacionalnega ali mednarodnega odlagališča za končno odlaganje (Novak, 2022).

6.3 Varnostne značilnosti

Drugi blok bo zasnovan skladno z zahtevami IAEA, evropskimi standardi EUR in priporočili združenja WENRA, ki določajo visoke varnostne standarde za jedrske objekte generacije III+. Namen varnostne zasnove JEK 2 je zagotoviti, da elektrarna ob normalnem delovanju in v primeru izrednih razmer zagotavlja zaščito ljudi in okolja pred ionizirajočim sevanjem ter da je tveganje za resne nesreče zmanjšano na najmanjšo možno raven (EIMV, 2024).

Ključna značilnost varnostne zasnove objekta je uporaba koncepta več nivojske varnosti (defence-in-depth) za zaporedne neodvisne in redundantne varnostne ukrepe, s katerimi se preprečuje sprostitvev radioaktivnih snovi v okolje tudi v primeru notranjih ali zunanjih izrednih dogodkov. Varnostne pregrade, ki jih predvideva JEK 2, vključujejo štiri zaporedne bariere: gorivne tabletko, srajčko gorivnih elementov, mejo primarnega sistema in zadrževalni hram, ki skupaj tvorijo robustno zaščito pred sproščanjem radioaktivnosti (Novak, 2022).

Pomemben del varnostne zasnove predstavljajo pasivni in aktivni varnostni sistemi. Med pasivne varnostne sisteme sodijo sistemi za zasilno hlajenje reaktorske sredice, ki delujejo na podlagi naravne konvekcije in gravitacije, ter za svoje delovanje ne potrebujejo zunanje napajanja ali aktivnih črpalk. Tak sistem je uporabljen pri zasnovi AP1000, kjer pasivno hlajenje omogoča varno zaustavitev in hlajenje sredice do 72 ur brez zunanje posega, zmanjša odvisnost od zunanjih virov napajanja in zagotavlja visoko stopnjo varnosti tudi v primeru popolne izgube napajanja (Češnjear, 2011).

Pri zasnovah EPR in ATMEA-1 je predviden lovilec staljene sredice (core catcher), kjer se zajame in hladi staljena sredica v primeru izjemno redke nesreče, to preprečuje poškodbo zadrževalnega hrama in sproščanje radioaktivnih snovi v okolje (Pavlin, 2013). Pri zasnovi EU-APWR se uporabljajo napredni tlačni akumulatorji s posebnimi omejevalniki pretoka. Ta združuje funkcijo tlačnih akumulatorjev in nizkotlačnega sistema vbrizgavanja, ter hitrejšo in učinkovitejšo reakcijo v primeru izgube hladiva in s tem povečuje varnost delovanja (Češnjear, 2011).

Zadrževalni hram pri JEK 2 bo zasnovan kot dvojna armiranobetonska kupola z notranjo jekleno oblogo, z visoko stopnjo zaščite pred zunanjimi dogodki, kot so potresi ali poplave. Sistem je zasnovan za odpornost na seizmične dogodke s pospeški tal do 0,6 g, kar pomeni, da bo elektrarna odporna tudi na najmočnejše predvidene potresne obremenitve na območju lokacije (Novak, 2022).

Vključitev pasivnih filtrskih tlačnih razbremenitvenih sistemov za zadrževalni hram, bo zmanjšalo pritiska v notranjosti kupole ob ohranjanju celovitosti pregrade in hkratnem filtriranju

radioaktivnih snovi. Takšni sistemi zadržijo več kot 99,99 % fisijskih produktov in več kot 90 % radioaktivnega joda ob morebitnem sproščanju tlaka iz zadrževalnega hrama (Novak, 2022).

V varnostno zasnovo bodo vključeni tudi sistemi za obvladovanje vodika, ki se lahko sprošča pri visokih temperaturah in bi ob morebitnem uhajanju lahko predstavljal nevarnost eksplozije. V ta namen so predvideni pasivni avto katalitični rekombinatorji za odstranjevanje vodika brez zunanjega napajanja, s tem se poveča odpornost objekta tudi pri težjih nesrečah in zmanjšuje verjetnost eksplozij znotraj zadrževalnega hrama (Novak, 2022).

Poseben poudarek varnostne zasnove predstavlja poplavna zaščita, saj se lokacija nahaja v bližini reke Save. Predvideno je izvedba dvignjene postavitve ključnih objektov, vodotesnih sten in vrat ter dodatnih drenažnih in črpalnih sistemov, ki bodo omogočali varno obratovanje tudi v primeru izrednih hidroloških dogodkov, s čimer se zmanjša tveganje za poplavno ogroženost objekta (Novak, 2022).

Za upravljanje ob izrednih dogodkih je predvidena pomožna komandna soba in uporaba mobilne opreme za obvladovanje nesreč za vzdrževanje nadzora in izvajanje varnostnih ukrepov tudi v primeru poškodbe glavne komandne sobe. Vsi varnostni sistemi bodo opremljeni z digitalnimi nadzornimi in krmilnimi sistemi (I&C), ki zagotavljajo redundanco in neodvisnost varnostnih funkcij ter zaščito pred kibernetскими grožnjami, skladno z zahtevami Mednarodne agencije za atomsko energijo (EIMV, 2024).

Z načrtovano varnostno zasnovo bo JEK 2 zagotavljal najvišjo raven varnosti obratovanja in zaščite ljudi ter okolja, skladno z najnovejšimi zahtevami in standardi na področju jedrske varnosti. S tem bo omogočeno dolgoročno, varno in trajnostno vključevanje drugega bloka v slovenski elektroenergetski sistem ter doseganje energetske samozadostnosti Slovenije.

6.4 Lokacija in časovnica gradnje

Blok bo umeščen v območju obstoječe nuklearne elektrarne, natančneje na severnem delu lokacije JEK, kjer je predvidena ustrezna infrastrukturna povezljivost, zadostna površina in možnost integracije nove enote z obstoječimi objekti elektroenergetskega sistema.

Umeščanje nove jedrske elektrarne v neposredno bližino obstoječega objekta je skladno z načelom racionalne rabe prostora, izrabo že vzpostavljene infrastrukture, vključno z dostopom do reke Save za potrebe hlajenja in priključitve na prenosno elektroenergetsko omrežje (slika 7) (EIMV, 2024).

Dodatno je prednost izbrane lokacije v tem, da bo učinkovitejše izvajanje nadzora in varovanja ter izkoriščanje obstoječih strokovnih in operativnih zmogljivosti kadrov, ki že delujejo na lokaciji, to bo zmanjšalo potrebe po vzpostavitvi novih operativnih struktur in logističnih podpornih zmogljivosti. V študiji priključitve JEK 2 je bilo ugotovljeno, da obstoječa lokacija omogoča stabilno in varno vključitev nove enote v slovenski elektroenergetski sistem, pri čemer bo potrebno nadgraditi del prenosnega omrežja, predvsem na 400 kV nivoju, da se zagotovi zanesljivost prenosa proizvedene električne energije v omrežje (EIMV, 2024).

Postopek umeščanja drugega bloka v prostor poteka skladno z veljavno slovensko zakonodajo in postopki priprave državnega prostorskega načrta (DPN), ki so pomembni za izvedbo obsežnega infrastrukturnega posega. Dne 26. marca 2024 je bila objavljena pobuda priprave DPN za JEK 2, s čimer se je začelo tri mesečno obdobje za obveščanje javnosti in zbiranje pripomb v zvezi s prostorsko ureditvijo projekta. V tem obdobju so lahko občine, prebivalci in zainteresirana javnost podajale predloge in pripombe glede vsebinskih in prostorskih vidikov umeščanja objekta v prostor, pri čemer je omogočeno tudi posredovanje dodatnih strokovnih argumentov za optimizacijo lokacije in zasnove objekta (JEK2: Z javno objavo Pobude za pripravo DPN začetek trimesečnega obdobja za informiranje javnosti in podajanje pripomb glede prostorske ureditve JEK2, 2025).

Časovnica projekta predvideva, da se bo v obdobju do leta 2027 zaključil postopek umeščanja v prostor in pridobivanja ključnih dovoljenj, vključno z okoljevarstvenim soglasjem in gradbenim dovoljenjem. Začetek gradnje je predviden po zaključku pripravljalne faze, okviren začetek gradbenih del v drugi polovici desetletja, z namenom, da bi lahko nova jedrska enota začela poskusno obratovati do leta 2038. Pri tem je pomembno poudariti, da bo končna časovnica odvisna tudi od poteka postopkov pridobivanja dovoljenj, zakonodajnih postopkov in pogojev na trgu jedrske opreme ter gradnje (JEK2: Z javno objavo Pobude za pripravo DPN začetek trimesečnega obdobja za informiranje javnosti in podajanje pripomb glede prostorske ureditve JEK2, 2025).

Projekt vključuje tudi pripravo celovite presoje vplivov na okolje (CPVO), ki poteka vzporedno s pripravo DPN, to prinaša celovito obravnavo vplivov objekta na okolje, prostor in družbo, ob zagotavljanju transparentnosti in sodelovanja javnosti. Umeščanje JEK 2 tako ne pomeni le tehničnega vprašanja lokacije, temveč predstavlja kompleksen proces, ki vključuje okoljske, družbene, tehnične in varnostne vidike, ki jih je potrebno celovito obravnavati, da se zagotovi dolgoročno sprejemljivost in trajnostna izvedba projekta.



Slika 7: Predvidena lokacija JEK 2 [<https://www.eposavje.com/gospodarstvo/jek2-vloga-za-energetsko-dovoljenje>]

6.5 Primerjava z obstoječim blokom

Obstoječi blok Nuklearne elektrarne Krško in načrtovani blok sta, kot omenjeno ključna elementa slovenske energetske strategije, njuna primerjava pa je bistvena za razumevanje tehnoloških razlik, vplivov na okolje ter energetske in varnostne učinkovitosti obeh projektov. JEK, ki že deluje od leta 1983, uporablja tlačnovodni reaktor druge generacije ameriške zasnove Westinghouse, z neto električno močjo 632 MW in toplotno močjo reaktorja približno 1.994 MWt, kar letno proizvede med 4 in 5,5 TWh električne energije in pokriva približno petino slovenske porabe (NEK, 2024; Novak, 2022). V nasprotju z obstoječim blokom bo JEK 2 temeljil na naprednih tlačnovodnih reaktorjih generacije III ali III+, kot so EPR, AP1000, EU-APWR ali ATMEA-1, z neto močjo med 1.000 in 2.400 MW in toplotno močjo med 3.000 in 4.300 MWt, kar pomeni več kot podvojitev proizvodne zmogljivosti ob enaki ali manjši prostorski zasedbi ter z višjim energijskim izkoristkom goriva (EIMV, 2024; Pavlin, 2013).

JEK uporablja gorivo iz uranovega dioksida (UO_2) z obogatitvijo do 4,5 % izotopa U-235, pri čemer menjava gorivnih svežnjev poteka v 18-mesečnih ciklih, ob zamenjavi tretjine svežnjev v posameznem ciklu za stabilno obratovanje in optimalno porabo goriva (NEK, 2024). Pri JEK 2 bo uporabljena enaka vrsta goriva, vendar z višjo obogatitvijo do 5 % U-235 za daljše gorivne

cikle do približno 24 mesecev, zmanjšanje količine izrabljenega goriva na proizvedeno enoto električne energije in izboljšano ekonomiko gorivnega cikla, posredno se zmanjšajo operativni stroški ter logistične zahteve (Češnjevar, 2011; Pavlin, 2013).

Hlajenje pri obstoječem bloku JEK poteka prek dveh hladilnih zank primarnega kroga, kjer voda prenaša toploto iz sredice reaktorja na sekundarni krog, kjer nastala para poganja turbino, toplota pa se odvaja preko kondenzatorja s pomočjo reke Save, katera se po segrevanju vrača v rečno strugo, skladno z okoljevarstvenimi omejitvami in stalnim monitoringom (Novak, 2022). Pri JEK 2 bo število hladilnih zank odvisno od izbranega reaktorja, kjer bi AP1000 uporabljal dve zanki, EPR in EU-APWR štiri, ter ATMEA-1 tri. Vse zasnove vključujejo optimizirane uparjalnike in napredne sisteme hlajenja za najvišji toplotni izkoristek ter stabilno obratovanje v različnih pogojih (Pavlin, 2013; EIMV, 2024).

Zadrževalna zgradba trenutnega bloka je sestavljena iz armiranobetonske kupole z notranjo jekleno oblogo, kot varnostna pregrada pred izpusti radioaktivnih snovi ob izrednih dogodkih, vendar temelji na standardih sedemdesetih let prejšnjega stoletja (NEK, 2024). Zadrževalna zgradba pri JEK 2 bo nadgrajena kot dvojna armiranobetonska kupola z notranjo jekleno oblogo, z dodatno zaščito pred zunanji vplivi, hkrati pa vključuje možnosti pasivnega zmanjšanja tlaka ob izrednih dogodkih (Pavlin, 2013; EIMV, 2024).

Pri varnostnih sistemih JEK uporablja aktivne redundantne sisteme za vbrizgavanje hladila in odvajanje toplote, ki za delovanje potrebujejo električno energijo in delovanje črpalk, kar lahko ob popolni izgubi zunanjega napajanja predstavlja tveganje (NEK, 2024). JEK 2 bo vključeval napredne pasivne varnostne sisteme, ki delujejo na osnovi naravne konvekcije in gravitacije za odvajanje toplote in hlajenje sredice do 72 ur brez potrebe po zunanjih virih napajanja. Pri reaktorjih, kot je EPR, bo vključen tudi lovilec staljene sredice (core catcher), kateri bi omogočal zadržanje in nadzor nad staljeno sredico ob najhujših primerih (Češnjevar, 2011; Pavlin, 2013).

Življenjska doba prvega bloka je bila prvotno načrtovana za 40 let obratovanja, vendar pa je bila ob tehničnih nadgradnjah in stalnih varnostnih pregledih podaljšana do leta 2043, pri čemer bo nadaljnje obratovanje odvisno od nadaljnjih investicij v vzdrževanje in posodobitve (NEK, 2024). JEK 2 bo projektiran za minimalno obratovanje vsaj 60 let, z možnostjo podaljšanja do 80 let, kar pomeni dolgoročno stabilno in zanesljivo proizvodnjo električne energije ter ekonomsko učinkovitost zaradi uporabe sodobnih tehnologij, materialov in optimiziranih vzdrževalnih strategij (EIMV, 2024).

Obstoječi blok je priključen na prenosno elektroenergetsko omrežje preko 400 kV in 220 kV povezav z RTP Krško, katera omogoča stabilen odvod električne energije v nacionalno in mednarodno omrežje, a bo v prihodnosti ob hkratnem obratovanju JEKa z JEK 2 nujno prilagoditi in nadgraditi z sistemi za zagotavljanje stabilnosti ob večjih obremenitvah in povečani količini prenešene električne energije. Tako bo drugi blok priključen na 400 kV prenosno omrežje, pri čemer bodo potrebne nadgradnje sistema za stabilno obratovanje in prilagajanje omrežja novim kapacitetam, kot predvideva študija priključitve JEK 2 na elektroenergetski sistem Slovenije (EIMV, 2024).

Kar se zadeva na potresno in poplavno varnost, je JEK zasnovan v skladu s seizmološkimi standardi 70. let, ki so bili kasneje dopolnjeni, tako da je elektrarna postala odporna na potrese srednje jakosti (Društvo za sonaraven razvoj: Potresna (ne)varnost jedrskega reaktorja v Krškem, 2020). JEK 2 bo projektiran skladno z najnovejšimi zahtevami IAEA in EUR ter bo odporen na seizmične obremenitve do pospeškov tal 0,6 g, kar ustreza najmočnejšim predvidenim potresom za to območje Krškega. Pri tem objektu so načrtovane tudi dvignjene postavitve objektov, vodotesne pregrade in drenažni sistemi za zagotavljanje varnega obratovanja tudi ob ekstremnih hidroloških razmerah, medtem ko bodo pri JEK v prihodnosti nujno potrebne nadgradnje za varno delovanje ob povečanju hidroloških tveganj zaradi podnebnih sprememb (Novak, 2022).

7 POTENCIALNI OKOLJSKI VPLIVI JEK 2

7.1 Vplivi na vodne vire in ekosisteme

Ob načrtovani izgradnji in obratovanju JEK 2 bo eden ključnih vidikov njegovega delovanja vpliv na vodne vire in ekosisteme, saj bo reka Sava uporabljena kot primarni vir hladilne vode. Pri presoji teh vplivov je smiselno upoštevati dolgoletne meritve in podatke, pridobljene z obratovanjem JEK, ter prednosti tehnologije generacije III/III+, ki bo uporabljena za JEK 2 za realno oceno pričakovanih vplivov, možnih tveganj in ukrepov za njihovo obvladovanje.

JEK za hlajenje kondenzatorjev odvzema iz Save povprečno 20–25 m³/s vode, ki jo vrača segreto za 7–10°C nad temperaturo zajete vode, kar povzroči povprečno povišanje temperature Save ob izpustu za 1–2°C, občasno do 2,5°C v obdobjih nizkih poletnih pretokov. Meritve v uradnih dokumentih doslej niso pokazale preseganja mejne dovoljene vrednosti, ki znaša 3°C nad naravno temperaturo reke, vendar je bilo v sušnih obdobjih potrebno prilagajanje moči obratovanja zaradi ohranjanja ekološke funkcije rečnega ekosistema (NEK, 2024; Novak, 2022).

JEK 2 bo zaradi večje proizvodne zmogljivosti posledično potreboval več hladilne vode, kar bi ob uporabi odprtega sistema pomenilo dodatnih 20–30 m³/s odvzema iz Save. Takšna povečana raba bi potencialno povzročila skupno povečanje temperature reke za dodatnih 0,5–1 °C, kar bi pomenilo doseganje zgornje meje dovoljenega povišanja, zlasti v obdobjih nizkih poletnih pretokov. Vendar je projekt zasnovan z uporabo hladilnih stolpov in hibridnih sistemov, tako da bo večina toplote odvedena v zrak, neposredno segrevanje Save pa bo ostalo minimalno tudi ob polni obremenitvi (EIMV, 2024). Ocenjuje naj se, da skupno povečanje temperature Save ob hkratnem obratovanju JEK in JEK 2 ne bo preseglo 2,5–3 °C v kritičnih pogojih, kar pomeni, da bodo vplivi obvladljivi ob sprotne prilagajanju obratovalnih režimov in stalnem monitoringu hidroloških ter temperaturnih razmer.

Temperatura vode prav tako vpliva na koncentracijo raztopljenega kisika v vodi, ki je za biotsko raznovrstnost rečnega ekosistema zelo pomembna. Trenutne meritve dol vodno od JEK kažejo stabilno koncentracijo kisika med 7 in 10 mg/L, kar ustreza za tam nahajajoče se ribje vrste, kot so lipan, šarenka in druge. Povišanje trenutne temperature za 0,5–1°C zmanjša topnost kisika za približno 0,4–0,7 mg/L, kar ob drugih obremenitvah, kot so povečani pretoki hranil ali zmanjšan pretok Save, bo privedlo do začasnega padca kisika pod 6 mg/L, kar povzroča stres pri občutljivejših vrstah rib.

Pričakovati je, da ob uporabi hladilnih stolpov in prilagajanju obratovalnih režimov kritičnih pogojev (kisik < 4 mg/L) ne bo, stalno spremljanje biocenoze in kisika pa bo omogočilo pravočasno ukrepanje v primeru nepredvidenih situacij (Novak, 2022).

Jedrske elektrarne med obratovanjem sproščajo v okolje tudi majhne količine radioaktivnih snovi, predvsem tritija, ki nastane kot stranski produkt v reaktorski sredici. Monitoring Save dol vodno od JEK kaže koncentracije tritija v območju 2,4–4 kBq/m³, kar predstavlja le 2,4–4 % mejne vrednosti za pitno vodo (100 Bq/L) in je bistveno pod ravno, ki bi predstavljala zdravstveno tveganje. Pri JEK 2 je pričakovati podobno specifično obremenitev, vendar zaradi večje moči reaktorja lahko pride do 10–20 % povečanja skupne količine tritija. To pomeni, da bi povprečne koncentracije lahko dosegle 3–5 kBq/m³, kar še ostaja varno in bistveno pod zdravstveno tveganimi vrednostmi (Novak, 2022).

Poleg termalnih in radioaktivnih vplivov obstajajo tudi možnosti vplivov na območja Nature 2000 in samo ekološko stanje reke Save. Podatki monitoringov doslej kažejo, da delovanje JEK ni povzročilo bistvenega poslabšanja ekološkega stanja Save, ki ostaja ocenjeno kot dobro, saj prilagajanje režima obratovanja in stabilizacija pretokov zaradi ne toliko stare HE Brežice omogočata ustrežnejše pogoje za ohranjanje biotske raznovrstnosti (Novak, 2022). Pri JEK 2 je pričakovati ohranitev tega stanja, saj bodo uporabljene napredne tehnologije za

zmanjšanje vplivov na temperaturo Save, stalno spremljanje ribjih populacij in parametrov vode ter prilagajanje obratovanja glede na razmere zagotavljali trajnostno upravljanje vplivov.

Čeprav bodo vplivi JEK 2 na vodne vire in ekosisteme merljivi, podatki in izkušnje obratovanja JEK ter tehnologije, predvidene za JEK 2, kažejo, da bodo ti vplivi obvladljivi in znotraj zakonsko dovoljenih meja. Največje tveganje predstavlja možnost podaljšanih obdobj nizkih pretokov Save, ko bi lahko dolgotrajno povišane temperature povzročale stres za vodne organizme, ter povečana količina tritija v vodi, ki pa ostaja varna za zdravje ljudi in okolje. Ob upoštevanju teh dejstev in ustreznem upravljanju obratovanja lahko ocenimo, da bodo vplivi JEK 2 na vodne vire in ekosisteme okoljsko sprejemljivi in skladni s trajnostnim razvojem.

7.2 Vpliv na kakovost zraka in zdravje ljudi

Z vidika kakovosti zraka in zdravja ljudi bo JEK 2 pomenil pomemben energetske projekt, saj bo obratovanje temeljilo na tehnologijah generacije III/III+, ki bo predstavljalo stabilno proizvodnjo električne energije ob minimalnih emisijah v okolje. V nasprotju s termoelektrarnami na premog in plin, ki so največji vir onesnaževanja zraka z emisijami toplogrednih plinov (CO_2), dušikovih oksidov (NO_x), žveplovega dioksida (SO_2) in trdnih delcev (PM), jedrske elektrarne med obratovanjem ne proizvajajo teh onesnaževal, zato je njihov vpliv na kakovost zraka pozitiven v kontekstu razogljčenja in zmanjšanja onesnaženosti zraka v Sloveniji.

Vplivi na kakovost zraka pri obratovanju jedrske elektrarne so povezani predvsem z nadzorovanimi emisijami radioaktivnih snovi v zrak, med katerimi so najpomembnejši plemeniti plini (ksenon, kripton), tritij ter ogljik-14, ki nastajajo kot stranski produkti jedrskih reakcij in razpada v reaktorski sredici. V primeru JEK znašajo povprečne letne emisije plemenitih plinov 4,5–7,2 TBq, kar približno predstavlja 0,5–0,8 % dovoljene letne mejne vrednosti, medtem ko emisije tritija znašajo 1–1,5 TBq/leto, kar je 0,4–0,6 % dovoljene letne količine (NEK, 2024; Novak, 2022). Dolgoročni monitoring v okolici JEK tako potrjuje, da te emisije povzročajo minimalno dodatno letno sevalno obremenitev prebivalstva (0,01 mSv/leto), kar je manj kot 0,5 % povprečne naravne letne doze v Sloveniji, ki znaša 2–2,5 mSv/leto.

Pri JEK 2 bo zaradi večje proizvodne zmogljivosti pričakovati povečanje količin emisij radioaktivnih snovi, vendar bodo zaradi izboljšanih sistemov tesnjenja in naprednih filtrov specifične emisije na proizvedeno enoto električne energije nižje kot pri JEK. Ocenjuje se, da bo JEK 2 prispeval dodatnih 5,7–6 TBq plemenitih plinov letno in 0,8–1,2 TBq tritija, tako da bo skupna letna emisija ob hkratnem obratovanju JEK in JEK 2 znašala 10–13 TBq plemenitih plinov in 2–2,7 TBq tritija, kar je še vedno približno 1,5 % dovoljene letne mejne vrednosti (Elektroinštitut Milan Vidmar, 2024). S tem bo pričakovana dodatna sevalna obremenitev prebivalcev ostala pod 0,02 mSv/leto, kar je pod priporočeno mejo 0,1 mSv/leto za dodatne obremenitve iz jedrskih objektov, ki jo določa Mednarodna komisija za radiološko zaščito (International Commission on Radiological Protection - ICRP).

Pomembno je poudariti, da bo JEK 2 z vsakim proizvedenim MWh električne energije nadomestil proizvodnjo iz virov, ki prispevajo največ k onesnaževanju zraka, saj termoelektrarne na premog povprečno proizvedejo med 0,9 in 1,2 ton CO_2 na MWh proizvedene električne energije, medtem ko je ta vrednost pri jedrskih elektrarnah praktično ničelna. Ob predvideni letni proizvodnji JEK 2 med 8 in 16 TWh bi to pomenilo izogib emisijam med 7 in 15 milijonov ton CO_2 letno, s čimer bi jedrska energija neposredno prispevala k zmanjšanju onesnaženosti zraka in zmanjšanju negativnih vplivov na zdravje prebivalcev, povezanih z izpostavljenostjo trdnim delcem in dušikovim oksidom iz fosilnih virov.

Na področju hrupa se pričakuje, da bodo hladilni sistemi in pomožne naprave JEK 2 povzročale minimalno povečanje hrupa v območju ograje objekta, kjer bo hrup ostal pod 55 dB(A) podnevi in 45 dB(A) ponoči, kar je skladno s slovenskimi predpisi in ne bo vplivalo na kakovost bivanja prebivalcev v bližnjih naseljih (Novak, 2022).

Pri oceni vpliva JEK 2 na zdravje ljudi jedrska elektrarna ob povečanih absolutnih emisijah radioaktivnih snovi ne predstavlja zdravstvenega tveganja za prebivalstvo ob normalnem obratovanju, saj bodo emisije izjemno nizke v primerjavi z naravnimi viri sevanja in niso povezane z zaznavnimi vplivi na pojavnost rakavih obolenj ali drugih zdravstvenih tveganj v lokalni populaciji. Potencialna nevarnost za zdravje ljudi bi lahko nastala le v primeru izrednega dogodka, ob nenadzorovanem izpustu radioaktivnih snovi (EIMV, 2024).

7.3 Ravnovesje z odpadki in prostorski vplivi

Z obratovanjem, enako kot obstoječi blok, bo JEK 2 prispevala k nastajanju radioaktivnih odpadkov, ki zahtevajo natančno načrtovano ravnanje, skladiščenje in dolgoročno upravljanje. Količine, vrsta odpadkov ter pristopi k njihovemu obvladovanju so tesno povezani z značilnostmi jedrske tehnologije, upravljanjem gorivnih ciklov ter prostorskimi rešitvami, ki bodo zagotovile okoljsko in varnostno sprejemljivo obratovanje JEK 2 tudi v prihodnjih desetletjih.

Pri JEK trenutno nastane približno 8–9 m³ nizko- in srednje radioaktivnih odpadkov letno, kar ustreza 40–45 sodom z volumnom 200 litrov, ki vključujejo materiale, kot so filtri, zaščitna oblačila, kontaminirani delovni materiali in ostale snovi, ki pridejo v stik z radioaktivnimi delci med rednim obratovanjem. Ti odpadki se varno skladiščijo v začasnih skladiščih na lokaciji elektrarne pod strogim nadzorom in evidentiranjem, kar zagotavlja njihovo sledljivost in preprečevanje vplivov na okolje. Do danes je JEK ustvaril več kot 1.500 sodov NSRAO, kar potrjuje potrebo po sodelovanju obeh držav za pripravo rešitve o dolgoročni rešitvi končnega odlagališča za tovrstne odpadke (NEK, 2024).

Pri JEK 2 se pričakuje povečana skupna količina NSRAO zaradi večje moči reaktorja in daljšega predvidenega obratovanja, vendar bo zaradi uporabe tehnologij generacije III/III+ ter optimiziranih postopkov ravnanja s kontaminiranimi materiali količina odpadkov na proizvedeno enoto električne energije nižja. Ocenjuje se, da bo JEK 2 letno proizvedel približno 6–7 m³ NSRAO, kar bo ob hkratnem obratovanju z JEK pomenilo skupno letno količino približno 14–16 m³, kar predstavlja povečanje za 70 % glede na trenutno stanje, a ob ohranjanju obvladljivosti z ustrežno infrastrukturo in operativnim nadzorom (EIMV, 2024).

Najzahtevnejši del ravnanja z radioaktivnimi odpadki v jedrskih elektrarnah predstavlja izrabljeno jedrsko gorivo, ki ostaja visoko radioaktivno in toplotno aktivno še desetletja po uporabi v reaktorju. JEK letno zamenja okoli 48 gorivnih svežnjev, kar pomeni 20–22 ton izrabljenega goriva letno, ki se skladišči v bazenih za izrabljeno gorivo znotraj varnostno nadzorovanega območja elektrarne. Do konca podaljšane obratovalne dobe objekta, predvidoma do leta 2043, bo skupna količina izrabljenega goriva dosegla okoli 1.300 svežnjev, kar predstavlja problematično količino za dolgoročno skladiščenje in upravljanje (NEK, 2024).

Pri JEK 2 bo zaradi višje proizvodne zmogljivosti in dolgoročnega obratovanja letno nastalo med 25 in 40 ton izrabljenega goriva, odvisno od izbranega gorivnega cikla in zmogljivosti reaktorja. Ob hkratnem obratovanju obeh blokov, bo skupna letna količina izrabljenega goriva znašala 45–60 ton. Kljub povečanju bo zaradi sodobnih postopkov in daljših gorivnih ciklov količina izrabljenega goriva na proizvedeno MWh električne energije 15–20 % manjša kot pri JEK, kar bo pozitivno vplivalo na dolgoročno ravnovesje pri nastajanju visoko radioaktivnih odpadkov na enoto proizvedene energije (EIMV, 2024).

Izrabljeno gorivo se po uporabi skladišči v bazenih, kjer poteka pasivno hlajenje in zmanjševanje aktivnosti, nato pa je predviden prehod v suho skladiščenje v posebnih zabojnikih za dolgoročno varnost skladiščenja in zmanjšujejo odvisnost od aktivnih hladilnih sistemov. Ker Slovenija še nima dokončne rešitve za trajno odlaganje visoko radioaktivnih odpadkov, bo izgradnja JEK 2 zahtevala celostno strateško odločitev o dolgoročni rešitvi, pri čemer je vzpostavitev suhega skladišča ključni prvi korak k zmanjšanju tveganj in obvladovanju odpadkov.

Prostorski vpliv elektrarne, kjer bo nova enota umeščena na območje ob obstoječi energetski lokaciji Krško, kjer že več kot štiri desetletja deluje JEK. Čeprav bo JEK 2 deloma zahteval zasedbo dodatnih površin v okolici in poseg v obstoječe zelene površine, bo umeščanje potekalo ob upoštevanju obstoječe energetske infrastrukture, prometnih poti ter varnostnih in zaščitnih pasov, to bo vpliv na širše naravno okolje omejilo na minimum. S tem se bo poskusila zagotoviti najbolj racionalna raba prostora in zmanjšanje širjenja industrijskih con. Jedrska elektrarna zaradi visoke energijske gostote zahteva manjšo površino glede na proizvedeno količino električne energije. Za primerjavo, proizvodnja 1 TWh električne energije iz sončnih elektrarn zahteva približno 80–100 km² površine, medtem ko lahko JEK 2 enako količino proizvede na nekaj hektarih dodatno zasedenega prostora znotraj ograjenega območja.

7.4 Upoštevanje zakonodaje in naravovarstvenih območij

Načrtovanje, umeščanje in obratovanje jedrske elektrarne poteka v okviru strogih zakonodajnih, varnostnih in okoljskih zahtev, ki jih določa slovenska zakonodaja, evropski predpisi in mednarodni standardi IAEA. Projekt JEK 2 mora izpolnjevati pogoje na področju varstva okolja, radioaktivne varnosti, upravljanja z radioaktivnimi odpadki ter upoštevati naravovarstvene omejitve območij Nature 2000 in drugih varovanih območij v neposredni in širši okolici Krškega, kjer že deluje obstoječa Nuklearna elektrarna Krško.

V Sloveniji ureja področje jedrske varnosti in obratovanja jedrskih objektov Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1), ki določa pogoje za gradnjo in obratovanje jedrskih objektov, obveznosti glede monitoringa emisij, varstva delavcev in prebivalstva ter ravnanja z radioaktivnimi odpadki. Projekt mora biti skladen s tem zakonom, pridobiti dovoljenje za gradnjo jedrskega objekta, dovoljenje za obratovanje ter na zadnje izvesti presojo varnosti in oceno vplivov na okolje, ki vključuje tudi presojo vplivov na zdravje ljudi in naravne vire.

Pri umeščanju takega objekta v prostor se upošteva Zakon o urejanju prostora (ZUreP-3) in Zakon o varstvu okolja (ZVO-2), ki zahtevata pripravo DPN, CPVO ter sodelovanje javnosti, tujih držav v EU in prizadetih občin v postopku sprejemanja. Pobuda za pripravo DPN za JEK 2 je bila objavljena marca 2024, s čimer se je pričel trimesečni rok za obveščanje javnosti in zbiranje pripomb, kar je pomemben del vključevanja javnosti v postopek odločanja, zagotavljanja transparentnosti ter pridobivanja družbene sprejemljivosti projekta (EIMV, 2024).

Na ravni EU je Direktiva 2011/92/EU o presoji vplivov nekaterih javnih in zasebnih projektov na okolje (EIA direktiva), ki je v slovenski pravni red prenesena preko ZVO-2 in določa obveznosti za izvedbo presoje vplivov na okolje za jedrske objekte.

JEK 2 mora izkazati, da bodo vplivi projekta na okolje obvladljivi in v okviru dovoljenih standardov, kar vključuje upravljanje emisij, učinkovito rabo vode, varstvo zraka, ravnanje z odpadki in zaščito tal.

Pri načrtovanju projekta je potrebno upoštevati tudi Zakon o ohranjanju narave (ZON) in varstvo območij Nature 2000, saj se dol vodno od lokacije nahajajo območja, vključena v evropsko ekološko omrežje. Monitoring kakovosti Save in spremljanje ribjih populacij, vodnih habitatov ter ekološkega stanja reke kažejo, da obratovanje JEK doslej ni negativno vplivalo na stanje naravovarstvenih območij (Novak, 2022). JEK 2 predvideva uporabo hladilnih stolpov in prilagajanje odvoda toplote v reko Savo, kar bo zmanjšalo potencialne vplive na temperaturo vode in vodni ekosistem, s čimer se bodo vplivi na Natura 2000 območja obdržali na sprejemljivi ravni.

Poleg okoljskih in naravovarstvenih zakonodajnih zahtev mora projekt spoštovati tudi predpise o ravnanju z radioaktivnimi odpadki, določene v Pravilniku o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom, ki zahtevajo varno začasno skladiščenje, načrtovanje prehoda na suho skladiščenje in pripravo na dolgoročno odlaganje visoko radioaktivnih odpadkov, skladno z nacionalnimi strategijami in mednarodnimi zavezami Slovenije.

Varnostno je zavezan projekt tako, da upošteva standarde IAEA, priporočila Evropske skupine regulatorjev jedrske varnosti (ENSREG) ter smernice za projektiranje novih jedrskih objektov (WENRA Reference Levels). Te zahteve vključujejo večplastno varnost, uporabo pasivnih varnostnih sistemov, odpornost na ekstremne vremenske razmere, potrese in druge naravne nesreče ter zagotavljanje visoke odpornosti objektov na zunanje vplive.

8 PRIMERJALNA ANALIZA: NEK IN JEK 2

8.1 Tehnološke razlike

Z obstoječim blokom 1 elektrarna predstavlja tlačnovodni reaktor druge generacije (PWR), ki deluje na tehnologiji ameriškega proizvajalca Westinghouse. Zgradili so ga v 70. letih prejšnjega stoletja, v komercialno obratovanje pa je stopil leta 1983. Blok 1 ima neto električno moč 632 MW in toplotno moč reaktorja 1.994 MWt in stabilno proizvaja med 4 in 5,5 TWh električne energije na leto, s čimer pokriva približno petino potreb Slovenije po električni energiji ter približno polovico domače proizvodnje (graf 1) (NEK, 2024; Novak, 2022).

Načrtovani blok 2 bo zasnovan na naprednih tlačnovodnih reaktorjih generacije III ali III+, ki bodo v slovenski prostor prinesli najnovejše varnostne standarde, višjo energetske učinkovitost in robustnost delovanja. Predvidena neto električna moč JEK 2 bo znašala med 1.000 MW in 2.400 MW, odvisno od izbire reaktorske tehnologije in konfiguracije, kar pomeni več kot podvojitev zmogljivosti v primerjavi z obstoječim blokom, ob enaki ali celo manjši prostorski zasedbi (EIMV, 2024). Toplotna moč načrtovanih reaktorjev bo med 3.000 MWt in 4.300 MWt za večjo gostoto moči in nižje stroške proizvodnje na proizvedeno enoto energije (preglednica 1) (Pavlin, 2013; Češnjevar, 2011).

Pri gorivu obstoječi blok JEK uporablja uranov dioksid (UO_2) z obogatitvijo do 4,5 % izotopa U-235. Menjava gorivnih svežnjev poteka v ciklih približno vsakih 18 mesecev, pri čemer se običajno zamenja tretjina svežnjev, medtem ko ostali ostajajo v sredici do zaključka življenjskega cikla (NEK, 2024). Gorivo za JEK 2 bo podobne sestave, vendar bo obogatitev lahko višja, do 5 % U-235, kar bo pomenilo daljše gorivne cikle do 24 mesecev in višji energijski izkoristek na kilogram goriva. S tem bo zmanjšana količina radioaktivnih odpadkov na enoto proizvedene energije, zmanjšali se bodo logistični izzivi pri dobavi goriva, hkrati pa bo dosežena boljša ekonomika gorivnega cikla (preglednica 1) (Češnjevar, 2011; Pavlin, 2013).

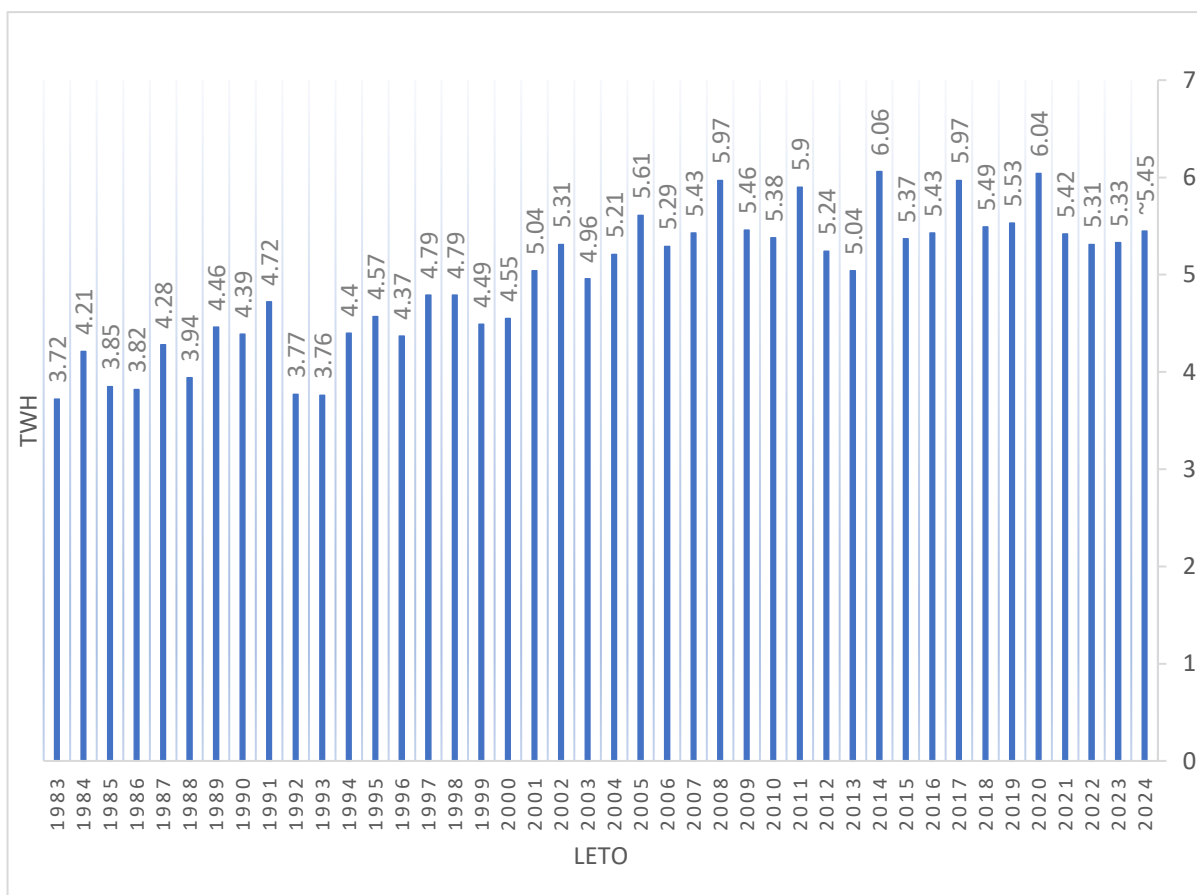
Trenutni sistem hlajenja uporablja dve hladilni zanki primarnega kroga, vsako z lastno obtočno črpalko in uparjalnikom, pri čemer voda kot hladilno sredstvo prenaša toploto iz reaktorske sredice na sekundarni krog, kjer nastala para poganja turbinski agregat za proizvodnjo električne energije. Hlajenje kondenzatorjev poteka s prečrpavanjem vode iz reke Save, ki po vračanju v reko ostaja znotraj dovoljenih temperaturnih mej (Novak, 2022). Pri JEK 2 bo število hladilnih zank odvisno od izbrane reaktorske zasnove, saj AP1000 uporablja dve hladilni zanki, EPR in EU-APWR štiri, ATMEA-1 pa tri, pri čemer so vse zasnove optimizirane za učinkovitejši prenos toplote, manjše toplotne izgube in višji izkoristek v različnih pogojih obremenitev sistema (preglednica 1) (Pavlin, 2013; EIMV, 2024).

Kar zadeva zadrževalno zgradbo, ima JEK armiranobetonski hram z notranjo jekleno oblogo, ki zagotavlja fizično pregrado za zadrževanje radioaktivnih snovi v primeru nesreč. Zgradba je bila zasnovana v skladu s standardi 70. let in nadgrajevana skozi desetletja obratovanja, vendar ne vključuje vseh sodobnih varnostnih funkcij, ki jih danes predvidevajo mednarodni standardi (NEK, 2024). JEK 2 ima načrtovan dvojno armiranobetonsko kupolo z notranjo jekleno oblogo, ki bo zagotavljala višjo stopnjo zaščite pred zunanjimi vplivi, hkrati pa se bodo uporabljali pasivni filtrski sistemi za zmanjševanje tlaka ob morebitnih nesrečah (preglednica 1) (Pavlin, 2013; EIMV, 2024).

Pri varnostnih sistemih JEK se uporablja aktivne redundantne sisteme, visokotlačni in nizkotlačni sistemi za vbrizgavanje hladila, hladilni sistemi in varnostni napajalni sistemi, ki so odvisni od delovanja črpalk in zunanega napajanja, kar lahko predstavlja tveganje ob popolni izgubi napajanja (NEK, 2024). JEK 2 bo uporabljal napredne pasivne varnostne sisteme, ki delujejo na osnovi naravne konvekcije, gravitacije in toplotne prevodnosti za hlajenje sredice in odvajanje toplote brez zunanega napajanja ali delovanja črpalk do 72 ur (preglednica 1) (Češnjevar, 2011; Pavlin, 2013).

Življenjska doba prvega bloka je bila projektirana za 40 let in je bila z nadgradnjami podaljšana do leta 2043, vendar bo nadaljnje obratovanje zahtevalo redne varnostne preglede in nadgradnje ob upoštevanju staranja infrastrukture (NEK, 2024). JEK 2 bo zasnovan za 60 let obratovanja z možnostjo podaljšanja do 80 let, pri čemer bodo uporabljeni sodobni materiali in sistemi nadzora, ki bodo prispevali k visoki razpoložljivosti in znižanju stroškov vzdrževanja (preglednica 1) (EIMV, 2024).

Pri priključitvi na elektroenergetski sistem je JEK povezan na 400 kV in 220 kV prenosno omrežje preko RTP Krško. Tako se stabilno distribuira električna energija, vendar bodo ob morebitnem podaljšanju obratovanja in povečanih obremenitvah potrebne nadgradnje sistema (NEK, 2024). JEK 2 bo priključen na 400 kV prenosno omrežje, kjer bodo potrebne nadgradnje za zagotavljanje stabilnosti ob večjih močeh in obratovanju z večjo fleksibilnostjo, kar je predvideno v študijah priključitve do leta 2040 (preglednica 1) (EIMV, 2024).



Graf 1: Neto letna proizvodnja električne energije JEK (1983-2024)

Preglednica 1: Primerjalna analiza obeh jedrskih blokov

Kriterij	JEK (obstoječi blok)	JEK 2 (načrtovani blok)
Zasnova in generacija	Tlačnovodni reaktor (PWR), 2. generacija, Westinghouse	Napredni PWR (generacija III/III+): EPR, AP1000, EU-APWR, ATMEA-1
Neto električna moč	632 MW	1.000–2.400 MW
Toplotna moč reaktorja	~1.994 MWt	3.000–4.300 MWt
Letna proizvodnja elektrike	4–5,5 TWh	>8 TWh (ocenjeno)
Vrsta goriva	UO ₂ , obogatitev do 4,5 % U-235	UO ₂ , obogatitev do 5 % U-235
Gorivni cikel	18 mesecev, zamenjava ~1/3 svežnjev	Do 24 mesecev, daljši cikel, manj odpadkov na MWh
Sistem hlajenja	Dve hladilni zanki, hlajenje z rečno vodo (Sava), sekundarni krog	2–4 hladilne zanke, optimizirani uparjalniki, možnost uporabe hladilnih stolpov
Zadrževalna zgradba	Armiranobetonska kupola z jekleno oblogo, zasnova 70. let	Dvojna kupola z jekleno oblogo, povečana zaščita pred zunanji vplivi, pasivno znižanje tlaka
Varnostni sistemi	Aktivni redundantni sistemi, odvisni od elektrike in črpalk	Pasivni sistemi (naravna konvekcija, gravitacija), hlajenje do 72 ur brez napajanja; lovilec sredice (EPR)
Življenjska doba	40 let (+ podaljšanje do 2043)	60 let (z možnostjo podaljšanja na 80 let)
Priključitev na omrežje	400 kV in 220 kV, RTP Krško	400 kV z omrežnimi nadgradnjami (SOGL skladnost)
Poplavna varnost	Odvisna od Save, delno izboljšana	Dvignjena postavitev, vodotesne pregrade, drenažni sistemi
Okoljski nadzor	Redni monitoring zraka, vode, tal, emisij	CPVO, monitoring ob gradnji in obratovanju, vplivi prilagojeni z omilitvenimi ukrepi
Raba prostora	Ograjeno območje JEK, brez novih površin	Dodatna zasedba prostora, a v okviru obstoječe lokacije; bistveno manjša površina na proizvedeno TWh

8.2 Okoljske obremenitve

8.2.1 Okoljske obremenitve ob obratovanju obstoječega bloka JEK

Jedrska elektrarna je v svojem skoraj štiridesetletnem delovanju vzpostavila učinkovit sistem okoljskega monitoringa, ki obsega nadzor nad emisijami v zrak, vodo, tla, monitoring radioaktivnosti, vplive na ekosisteme ter kontrolo nastajanja odpadkov. Statistični podatki monitoringov kažejo, da so izpusti radioaktivnih snovi v okolje zanemarljivi v primerjavi z dovoljenimi mejnimi vrednostmi. Povprečne letne emisije plemenitih plinov so bile na ravni 0,5–0,8 % dovoljenih vrednosti, emisije tritija pa približno 0,4–0,6 % dovoljenih količin (NEK, 2024). Monitoring sevalne obremenitve okolice JEK potrjuje, da so izmerjene vrednosti v okolici JEK v okviru naravnega ozadja in da dodatne obremenitve zaradi obratovanja elektrarne ne presegajo 0,01 mSv letno, kar je zanemarljivo v primerjavi z naravno letno sevalno obremenitvijo, ki znaša v Sloveniji povprečno med 2 in 2,5 mSv (Novak, 2022).

Na področju toplote se je v obdobju polne moči odvedlo v Savo povprečno okoli 20–25 m³/s vode, segrete za 7–10 °C nad temperaturo zajete vode. Monitoring kaže, da obremenitev reke Save ne presega okoljskih omejitev in da ni zaznati negativnih vplivov na ekosisteme (Novak, 2022). V izjemnih hidroloških razmerah, kot so nizke poletne vode, se izvajajo prilagoditve moči za zagotavljanje upoštevanja dovoljenih mej temperature vode.

Na področju odpadkov je v povprečju letno proizvede približno 40–45 sodov (200-litrskih) nizko- in srednje radioaktivnih odpadkov, ki jih začasno skladišči v nadzorovanem skladišču na lokaciji, medtem ko izrabljeno gorivo skladišči v bazenu za izrabljeno gorivo, ki je zasnovan za pasivno hlajenje in zaščito pred sevanjem. Količina izrabljenega goriva do konca podaljšane obratovalne dobe leta 2043 bo dosegla okoli 1.300 gorivnih svežnjev (NEK, 2024).

Kar zadeva vpliv na tla, monitoring ne kaže nobenih sprememb radioaktivnosti tal v okolici, meritve pa ostajajo na ravni naravnega ozadja. Prav tako ni pomembnih vplivov na kakovost zraka, saj so emisije v zrak zanemarljive glede na druge industrijske vire v Sloveniji (NEK, 2024).

8.2.2 Okoljske obremenitve ob obratovanju bodočega bloka JEK 2

Pri bodočem bloku JEK 2 bodo okoljske obremenitve enake narave kot pri JEK, a bo zaradi uporabe tehnologij specifična obremenitev na proizvedeno enoto električne energije nižja. Ob pričakovani neto električni moči med 1.000 in 2.400 MW bo JEK 2 letno proizvedel med 8 in 18 TWh električne energije, kar bo zadostovalo za pokrivanje do 70 % potreb Slovenije po električni energiji ob enaki ali nižji obremenitvi okolja na enoto proizvedene energije (EIMV, 2024).

Emisije radioaktivnih snovi bodo ob uporabi sodobnih filtrirnih sistemov in tesnih primarnih zank ostale pod 1 % dovoljenih vrednosti, podobno kot pri JEK. Napredni monitoring in sistemi zaznavanja bodo omogočili še boljšo kontrolo nad emisijami plemenitih plinov in tritija, pri čemer bo pričakovana letna dodatna sevalna obremenitev prebivalstva v okolici manjša od 0,01 mSv, kar ostaja bistveno pod mejo 0,1 mSv, ki jo za jedrske objekte priporoča ICRP (Novak, 2022; EIMV, 2024).

Toplotni vpliv pri JEK 2 bo hlajenje, predvidoma izvedeno preko kombinacije odprtega sistema z odvzemom iz Save in uporabe hladilnih stolpov ali zaprtega kroga, prilagajanje odvoda toplote v reko Savo glede na hidrološke razmere in zmanjšanje toplotnega vpliva v kritičnih poletnih mesecih. Specifični vpliv na temperaturo Save pri JEK 2 na enoto proizvedene energije nižji od trenutnega vpliva JEK, kar pomeni izboljšanje toplotne učinkovitosti hlajenja (EIMV, 2024).

Na področju odpadkov bo drugi blok proizvedel več nizko- in srednje radioaktivnih odpadkov, vendar bo zaradi višjega izkoristka goriva in daljših gorivnih ciklov količina odpadkov na proizvedeno enoto energije manjša.

Izrabljeno gorivo bo po ciklu shranjeno v bazenih za izrabljeno gorivo znotraj elektrarne, kasneje pa v suhem skladišču, za dolgoročno varnost in zmanjšanje odvisnost od pasivnih hladilnih sistemov (Novak, 2022). Ocenjuje se, da bo količina nastalega izrabljenega goriva na proizvedeno TWh električne energije manjša za 15–20 % v primerjavi z JEK, kar bo pomembno prispevalo k dolgoročni vzdržnosti upravljanja z radioaktivnimi odpadki (EIMV, 2024).

Ob obratovanju JEK 2 se pričakujejo določeni vplivi na tla, predvsem kot posledica dodatne pozidave, utrjevanja zemljišča, izgradnje infrastrukture ter sprememb vodnega režima v neposredni okolici lokacije. Čeprav bo elektrarna umeščena ob že obstoječe industrijsko območje, bo za gradnjo reaktorskih objektov, hladilnih sistemov, transportnih povezav in začasnih skladišč potrebna zasedba novih površin, kar bo pomenilo nepovratno izgubo tal in poseg v obstoječe rastišče. Med obratovanjem bodo vplivi na tla omejeni, vendar ne zanemarljivi, saj obstaja potencial za akumulacijo tritija, radionuklidov v prahu ter morebitne točkovne emisije zaradi izrednih dogodkov ali odtekanja z utrjenih površin.

8.3 Skupni vplivi ob hkratnem delovanju

Načrtovano hkratno obratovanje obeh jedrskih blokov predstavlja izjemen tehnični in okoljski izziv. Postalo bo edino območje z dvema delujočima jedrskima enotama v regiji, kar bo imelo vplive na kakovost okolja, rabo naravnih virov in stopnjo sevalne obremenitve prebivalstva. Pomembno je poudariti, da jedrska energija kljub svojim vplivom ostaja ena izmed najbolj nadzorovanih oblik proizvodnje energije, kjer je vsak vpliv strogo nadzorovan z monitoringi, okoljevarstvenimi dovoljenji in neodvisnim nadzorom, da zmanjšuje tveganja na prebivalstvo in okolje.

8.3.1 Skupne emisije radioaktivnih snovi in potencialne nevarnosti

Jedrske elektrarne med obratovanjem oddajajo v okolje določene količine radioaktivnih snovi, predvsem plemenitih plinov (ksenon, kripton), tritija in ogljika-14, pri čemer so te emisije rezultat normalnega delovanja in kontroliranih procesov. Trenutno se prispeva približno 4,5–7,2 TBq plemenitih plinov letno, kar predstavlja 0,5–0,8 % dovoljene letne mejne vrednosti, medtem ko so emisije tritija okoli 1–1,5 TBq letno, kar predstavlja 0,4–0,6 % dovoljene vrednosti (NEK, 2024; Novak, 2022).

Pričakovano je, da bo JEK 2 pri enaki ali večji proizvodnji električne energije zaradi sodobnih sistemov tesnjenja in optimiziranega delovanja oddajal približno 20 % manj emisij na proizvedeno enoto energije, vendar bo zaradi večje zmogljivosti absolutna količina emisij znašala dodatnih 5,7–6 TBq plemenitih plinov in 0,8–1,2 TBq tritija letno (EIMV, 2024).

Skupne emisije ob hkratnem obratovanju obeh blokov bodo tako znašale približno 10–13 TBq plemenitih plinov in 2–2,7 TBq tritija letno, kar bo skupno približno 1,2–1,5 % dovoljene letne mejne vrednosti. Te vrednosti ostajajo rahlo pod pragom, ki bi predstavljal zdravstveno tveganje, saj letna dodatna doza sevanja prebivalcev ne bo presegla 0,02 mSv/leto, kar je manj kot 1 % naravnega letnega sevalnega ozadja v Sloveniji, ki znaša med 2 in 2,5 mSv/leto (Novak, 2022).

Kljub temu pa hkratno obratovanje pomeni lokalno povečanje emisij, ki zahteva okrepljen monitoring in pripravljenost na obvladovanje morebitnih nepričakovanih izrednih dogodkov, kjer bi večja zmogljivost pomenila tudi več potencialne zaloge radioaktivnosti na mestu obratovanja. Vendar pa robustnost sistemov, redundantnost varnostnih funkcij in mednarodni varnostni standardi zagotavljajo, da tveganja ostajajo na izjemno nizki ravni.

8.3.2 Toplotne obremenitve reke Save in vpliv na vodni ekosistem

Obe elektrarni bosta uporabljali reko Savo kot vir hladilne vode, kar pomeni vračanje segrete vode nazaj v vodotok. Trenutno se vrača povprečno 20–25 m³/s vode, segrete za 7–10 °C nad temperaturo reke, kar ob največjih obremenitvah dvigne temperaturo Save ob izpustu za 1–2 °C (Novak, 2022).

Monitoring Save ob izpustnih točkah kaže, da so te temperature znotraj dovoljenih okoljskih mej in da večinoma ne povzročajo ekološko pomembnih sprememb, čeprav se v sušnih obdobjih izvaja prilagajanje obremenitve.

Pri JEK 2 bo zaradi višje moči in zmogljivosti potrebna dodatna količina hladilne vode, ocenjena na 20–30 m³/s, kar bi lahko podvojilo količino odvzete in vračene vode ob polni odprti hladilni shemi. Vendar je v projekt vključena uporaba hladilnih stolpov ali hibridnega sistema, kjer se toplota odvaja delno v zrak, s čimer se neposredna obremenitev reke bistveno zmanjša, tudi v kritičnih hidroloških razmerah (EIMV, 2024).

Kljub hkratnemu obratovanju se predvideva, da skupno povišanje temperature reke Save ne bo preseglo 2°C v najbolj občutljivejših obdobjih, kar ostaja znotraj dovoljenih mej, vendar bo zahtevalo natančno sprotno spremljanje pretokov, temperature vode in ekoloških parametrov ribjih populacij ter vodnih rastlin za preprečevanje negativnih vplivov na biotsko raznovrstnost vodotoka.

Nevarnost za vodni ekosistem je tako obvladljiva, a je pomembno poudariti, da bo hkratno obratovanje predstavljalo stalni pritisk na ekosistem reke Save, ki bo ob podnebnih spremembah in potencialnih daljših sušnih obdobjih zahteval prilagajanje obratovalnih režimov in vključevanje ekoloških kriterijev v operativne odločitve elektrarn.

8.3.3 Nastajanje radioaktivnih odpadkov in izrabljenega goriva

JEK letno proizvede približno 8–9 m³ nizko- in srednje radioaktivnih odpadkov, kar ustreza 40–45 sodom letno, poleg tega zamenja okoli 48 gorivnih svežnjev letno, kar pomeni okoli 20–22 ton izrabljenega goriva letno (NEK, 2024). Pri JEK 2 bo pričakovana količina NSRAO približno 6–7 m³ letno, kar bo skupaj prineslo 14–16 m³ odpadkov letno ob hkratnem obratovanju. Občutno večji vpliv bo pri izrabljenem gorivu, kjer bo drugi blok zaradi večje moči prispeval 25–40 ton izrabljenega goriva letno, kar pomeni skupno letno količino 45–60 ton izrabljenega goriva (Novak, 2022).

Čeprav so ti odpadki strogo nadzorovani, zaščiteni in skladiščeni v varovanih objektih, predstavlja večja količina izrabljenega goriva potrebo po širitvi mokrih bazenov in vzpostavitvi suhega skladišča na lokaciji JEK/JEK 2. Povečana količina radioaktivnih odpadkov ter prisotnost večje količine izrabljenega goriva povečujeta tveganje v primeru izrednih dogodkov, zato bo ključna nadaljnja krepitev varnostnih sistemov, implementacija pasivnih zaščitnih ukrepov in zagotavljanje ustrezne varnosti prevoza in morebitnega odlaganja odpadkov v prihodnosti.

8.3.4 Vplivi na tla in zrak

Po trenutnih ocenah ne bosta povzročila dodatnih radioaktivnih obremenitev tal, saj sistem zaprtih zank in redni monitoring že sedaj zagotavljata, da izmerjene vrednosti ostajajo v območju naravnega ozadja. Po podatkih letnega monitoringa JEK iz leta 2023 znaša povprečna skupna sevalna doza na tleh v okolici elektrarne manj kot 0,14 µSv/h, kar je skladno z naravnim sevalnim ozadjem regije (NEK, 2024).

Vendar pa bo gradnja JEK 2 vplivala na rabo tal, saj bo za potrebe novega reaktorskega bloka, hladilnih sistemov, spremljajoče infrastrukture in varnostnih pasov zasedenih skupno približno 47 ha zemljišč (EIMV, 2024). Od tega bo več kot 20 ha predstavljala visoko rodovitna kmetijska zemljišča prvega in drugega bonitetnega razreda, kar vključuje tudi parcele v lasti podjetja Evrosad, znanega slovenskega pridelovalca sadja. Ta zemljišča imajo veliko agronomsko vrednost za regijo, saj predstavljajo del produktivne ravnice ob reki Savi, kjer so tla pretežno aluvialna, globoka in bogata s humusom (slika 8).

Zasedba teh površin pomeni trajen odvzem zemljišč iz kmetijske rabe, kar se v okoljskih dokumentih označuje kot nepovraten vpliv, saj gre za eno najbolj kakovostnih kmetijskih zemljišč v državi, ki so obenem pomembna za lokalno prehransko varnost.

Po podatkih Ministrstva za kmetijstvo (2022) predstavlja tovrstna zemlja manj kot 2 % vseh obdelovalnih površin v regiji, zato je vsak poseg v ta prostor kritičnega pomena (Novak, 2022).

Poleg sprememb v rabi tal ZEG opozarja tudi na kumulativne vplive dolgoletnega obratovanja JEK na mikrobiotsko sestavo tal, kar predstavlja možnost za dolgotrajne akumulacije izotopov, tritija (^3H) in ogljik-14 (^{14}C), ki se lahko vežejo v površinske plasti tal znotraj vplivnega območja elektrarne. Čeprav monitoring doslej ni pokazal odstopanj od dopustnih vrednosti, ZEG izpostavlja, da bi moral biti akumulativni vpliv dodatnega jedrskega bloka bolj celovito ovrednoten, zlasti z vidika dolgoročne degradacije talnih habitatov (ZEG, 2023).

V dokumentaciji, vezani na pripravo DPN, je kot potencialna posledica gradnje JEK 2 navedeno tudi povečanje prometne obremenitve na območju Krškega, zlasti na lokalnih in regionalnih povezavah, kot je obvoznica, ki že danes služi kot glavni dostop do JEK. V fazi gradnje naj bi prometne obremenitve začasno narasle za do 30 % v času največjih delovnih obremenitev, prevoz gradbenih materialov, opreme in delavcev. Čeprav natančna prometna študija še ni bila javno objavljena, dokumenti opozarjajo na potrebo po logističnih prilagoditvah, kot so razširitve križišč in prometne ureditve za težka tovorna vozila v času gradnje (EIMV, 2024).

Na kakovost zraka bo vpliv celo pozitiven, saj hkratio obratovanje omogoča zmanjšanje potreb po uvozu elektrike iz fosilnih virov, kar zmanjšanje emisij CO_2 in NO_x na ravni države, ter prispeva k razogljičenju slovenskega elektroenergetskega sistema, saj bo vsaka proizvedena MWh iz jedrske energije nadomestila emisijsko intenzivnejšo energijo iz premoga ali plina (EIMV, 2024).



Slika 8: Poseg JEK 2 v prostor - zračni posnetek območja iz dveh zornih kotov (a., b.) [<https://jek2.si/en/multimedia-materials/>]

8.3.5 Ocena skupne obremenitve okolja in pomen za energetski sistem

Hkratno obratovanje bo omogočilo, da Slovenija pokrije do 70–80 % lastnih potreb po električni energiji z nizko ogljičnim virom, kar bo pomenilo veliko zmanjšanje uvozne odvisnosti in povečalo energetske varnosti države (preglednica 2). Obremenitev okolja bo statistično povečana, a ostala v okviru dovoljenih mej:

Preglednica 2: Statistična analiza obremenitve okolja

Vrsta obremenitve	Podatek	Opomba / pomen
Emisija plemenitih plinov	10–13 TBq/leto	~1,5 % dovoljene letne meje; globoko pod tveganjem
Emisija tritija	2–2,7 TBq/leto	~1,5 % dovoljene letne meje; zanemarljiva doza za javnost
Povišanje temperature Save	do 2 °C	Ob kritičnih pretokih; ostaja znotraj dovoljenih mej
Nastanek NSRAO	14–16 m³/leto	Zahteva razširitev skladiščenja ali gradnjo odlagališča
Izrabljeno gorivo	45–60 ton/leto	Terja širitev bazenov in prehod v suho skladiščenje
Dodatna doza za prebivalce	0,02 mSv/leto	~1 % naravnega ozadja (2–2,5 mSv/leto)
Delež potreb po EE v Sloveniji	70–80 % pokritost iz JEK in JEK 2	Zmanjšanje uvozne odvisnosti in ogljičnega odtisa države

Ti podatki kažejo, da je vpliv realen, a obvladljiv, ob upoštevanju strogih nadzorov, tehnologij nove generacije pri JEK 2 in zahtev EU ter slovenskih okoljskih zakonodaj. Hkratno obratovanje bo predstavljalo pomemben korak pri stabilizaciji elektroenergetskega sistema Slovenije ob ohranjanju visokih okoljskih standardov in varnosti prebivalstva.

9 ZAKONODANJI OKVIRI IN VKLJUČEVANJE JAVNOSTI

9.1 Upoštevanje zakonodaje pri obratovanju JEK in načrtovanju JEK 2

Obratovanje JEK, načrtovanje ter umeščanje projekta JEK 2 potekata znotraj strogih zakonodajnih in regulativnih okvirov, ki jih določata slovenska in evropska zakonodaja ter mednarodni standardi IAEA. Skladnost s temi predpisi zagotavlja varnost delovanja, zaščito zdravja ljudi, varstvo okolja in trajnostno upravljanje z radioaktivnimi odpadki.

JEK deluje na podlagi obratovalnega dovoljenja, ki je vezano na varnostno poročilo in obsega vse pogoje za varno in okolju sprejemljivo obratovanje. Obratovanje je časovno neomejeno, pod pogojem izvajanja rednih občasnih varnostnih pregledov (PSR) vsakih deset let, ki jih potrjuje URSJV, skladno z določbami ZVISJV-1. Poleg tega deluje v skladu z okoljevarstvenim dovoljenjem za emisije v vode in vodnimi dovoljenji za odvzem hladilne vode iz Save, ki določajo pogoje za varno rabo vodnih virov in nadzor nad toplotnimi obremenitvami reke (NEK, 2024; Novak, 2022).

Pravne zahteve za obratovanje vključujejo tudi spoštovanje določb meddržavne pogodbe med Republiko Slovenijo in Republiko Hrvaško, ki ureja lastništvo, upravljanje in odgovornosti obeh držav pri obratovanju in razgradnji elektrarne. Poleg slovenske zakonodaje mora spoštovati tudi varnostne standarde ameriške agencije NRC, mednarodne standarde IAEA ter priporočila evropskih varnostnih pregledov (ENSREG stresni testi), kar potrjuje njeno vključitev v mednarodni nadzor varnosti in jedrske odgovornosti (Novak, 2022).

Pri JEK 2 bodo veljali enaki temeljni zakonski okvirji glede varnosti in varstva okolja, dopolnjeni s specifičnimi obveznostmi za nove jedrske objekte. Gradnja in umeščanje objekta v prostor potekata skladno z ZUreP-3 in ZVO-2, ki določata pripravo DPN in izvedbo CPVO ter PVO, ob

aktivnem vključevanju javnosti in prizadetih občin. Pobuda za pripravo DPN je bila objavljena marca 2024, s čimer se je začel proces obveščanja javnosti in zbiranja pripomb (EIMV, 2024).

Projekt mora izpolnjevati tudi evropske zahteve, kot so Direktiva 2011/92/EU o presoji vplivov na okolje (EIA direktiva), Direktiva 2014/87/EURATOM o jedrski varnosti ter uredbe o delovanju notranjega trga električne energije, ki določajo pogoje za obratovanje jedrskih objektov kot pomembnih modulov znotraj elektroenergetskega sistema EU. Moral bo ob priključitvi na elektroenergetski sistem izpolnjevati tehnične pogoje kodeksov omrežja (SOGL) glede stabilnosti, sinhronizacije in obratovanja v izrednih razmerah (EIMV, 2024).

Upoštevati mora tudi ZON, saj so območja dol vodno od lokacije vključena v omrežje Nature 2000, kar zahteva izvedbo prilagoditev za zmanjšanje vplivov na rečni ekosistem, kot so uporaba hladilnih stolpov za zmanjšanje toplotnih obremenitev in prilagajanje odvzema vode iz Save glede na hidrološke razmere. Prav tako bo moral zagotavljati monitoring vplivov na naravo in sprejemati omilitvene ukrepe za zaščito ribjih populacij in vodnih habitatov.

Poseben zakonodajni okvir je namenjen ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom, kjer morata JEK in JEK 2 spoštovati Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki, nacionalno strategijo ravnanja z radioaktivnimi odpadki ter postopke za zagotavljanje začasnega in dolgoročnega skladiščenja odpadkov na varen in okoljsko sprejemljiv način, skladno z zahtevami slovenskih in evropskih predpisov ter priporočili IAEA.

Obe enoti, sta in bosta vključeni v sistem mednarodnega nadzora in izmenjave informacij o varnosti, ki zagotavlja, da Slovenija sledi najvišjim standardom jedrske varnosti in varstva okolja. S tem se potrjuje, da projekt JEK 2 že v fazi načrtovanja in umeščanja ter kasneje pri obratovanju upošteva vse zakonodajne in naravovarstvene zahteve, ki so ključne za dolgoročno varnost prebivalstva in varstvo okolja ob trajnostni proizvodnji električne energije v Sloveniji.

9.2 Nacionalna evropska zakonodaja

Poseben zakonodajni okvir predstavlja nacionalna strategija ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom, ki določa obveznosti za obratovalce glede začasnega in dolgoročnega skladiščenja odpadkov ter pripravo na vzpostavitev končnega odlagališča, kar je relevantno tako za JEK kot za prihodnji JEK 2.

Na ravni Evropske unije veljajo za jedrske objekte naslednji predpisi:

- Direktiva Sveta 2011/70/EURATOM o vzpostavitvi okvira Skupnosti za odgovorno ravnanje z izrabljenim gorivom in radioaktivnimi odpadki,
- Direktiva Sveta 2009/71/EURATOM, spremenjena z Direktivo 2014/87/EURATOM, o vzpostavitvi okvira Skupnosti za jedrsko varnost jedrskih objektov,
- Direktiva 2011/92/EU (EIA direktiva) o presoji vplivov nekaterih javnih in zasebnih projektov na okolje,
- Direktiva 2003/4/ES o dostopu javnosti do informacij o okolju.

Te direktive so bile prenesene v slovenski pravni red preko ZVO-2 in ZVISJV-1 ter določajo obveznosti Slovenije glede zagotavljanja visoke ravni jedrske varnosti, upravljanja z odpadki, vključevanja javnosti v postopke in izvajanja okoljskih presoj pred izdajo dovoljenj za gradnjo in obratovanje jedrskih objektov.

Poseben vidik evropske zakonodaje, pomemben za JEK 2, je ureditev priključitve na elektroenergetski sistem, kjer morajo jedrski objekti kot pomembni moduli tipa D izpolnjevati tehnične zahteve kodeksov omrežja, kot je Uredba Komisije (EU) 2017/1485 (SOGL), ki določa tehnične pogoje za obratovanje sistema za prenos električne energije, stabilnost in sinhronizacijo sistema ob vključevanju novih proizvodnih kapacitet (EIMV, 2024).

9.3 Slovenska zakonodaja in okoljska presoja

Obe elektrarni sta umeščeni v slovenski zakonodajni okvir, ki zagotavlja varno, nadzorovano in okolju sprejemljivo obratovanje ter gradnjo jedrskih objektov. Ključni del tega okvira je tudi obveznost izvedbe okoljske presoje in PVO, ki zagotavljata, da so vsi vplivi na okolje identificirani, ocenjeni in obvladovani, še preden se začne gradnja ali obratovanje nove enote.

Glavni zakon, ki ureja varnost in delovanje jedrskih objektov v Sloveniji, je ZVISJV-1. Ta določa pogoje za gradnjo, obratovanje in razgradnjo jedrskih objektov, upravljanje z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom ter redno izvajanje PSR. JEK obratovanje izvaja v skladu z dovoljenjem URSJV, ki ga pridobi na podlagi varnostnih analiz in dokazil o skladnosti z vsemi zahtevami zakonodaje. Vse spremembe v obratovanju, ki bi lahko vplivale na varnost ali okolje, zahtevajo predhodno presojo in odobritev s strani pristojnih organov (NEK, 2024).

Pomembno vlogo ima ZVO-2, ki ureja varovanje vseh naravnih elementov okolja ter določa obveznost izvajanja PVO za jedrske objekte. Za vsako dejavnost ali poseg, ki bi lahko pomembno vplival na okolje, je treba izdelati poročilo o vplivih na okolje, na podlagi katerega ARSO presodi, ali je vplive mogoče sprejeti in pod kakšnimi pogoji. JEK ima pridobljeno okoljevarstveno dovoljenje (OVD) za emisije v vode in zrak ter za ravnanje z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom, kar omogoča stalno spremljanje vplivov na okolje med obratovanjem in prilagajanje ukrepov ob zaznanih odstopanjih (Novak, 2022).

Pri JEK 2 bodo okoljske presoje in slovenska zakonodaja osrednji del postopka umeščanja in dovoljevanja gradnje. Moral bo pridobiti DPN, ki je urejen s ZUreP-3, in je povezan z izvedbo CPVO, ki se izvaja hkrati s pripravo DPN. V postopku CPVO se ocenjuje vpliv projekta na kakovost zraka, vode, tal, naravne vire, biotsko raznovrstnost, podnebje, zdravje ljudi in kulturno dediščino, ob tem pa se izvajajo javne razgrnitve in zbiranje pripomb javnosti, kar zagotavlja transparentnost (Novak, 2022).

Zakonodaja zahteva tudi izvedbo Presoje sprejemljivosti vplivov na naravo (PSV) v skladu z ZON, saj se območja dovodno od Krškega uvrščajo med območja Natura 2000. Pri JEK 2 bodo vplivi na reko Savo, ribje populacije in habitatne tipe predmet posebnih analiz in priprave omilitvenih ukrepov, kot so uporaba hladilnih stolpov za zmanjševanje toplotnih obremenitev in prilagajanje odvzema vode iz Save glede na pretoke in sezonske razmere (EIMV, 2024).

Pomembno je, da projekt JEK 2 izpolni tudi obveznosti iz Uredbe o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom, ki določa, da mora investitor zagotoviti ustrezno začasno skladiščenje odpadkov in načrt za dolgoročno odlaganje visoko radioaktivnih odpadkov. To zahteva povezovanje okoljskih in varnostnih vidikov z ekonomskimi in prostorskimi rešitvami, kar je ključni del priprave projektne dokumentacije in presoje vplivov na okolje.

Pri obeh projektih slovenska zakonodaja zagotavlja celovit nadzor nad vplivi na okolje s stalnimi monitoringi, poročanjem pristojnim institucijam ter z obveznostjo rednega prilagajanja ukrepov glede na nove ugotovitve in rezultate monitoringov. JEK že sedaj izvaja obsežen monitoring emisij v zrak, vodo in tla, ter spremlja radioaktivnost v okolici, kar zagotavlja transparentnost in sledljivost vplivov (NEK, 2024; Novak, 2022). Podobne obveznosti bodo veljale za JEK 2 takoj ob začetku gradnje in obratovanja, kar pomeni, da bo projekt deloval v okvirih najstrožjih okoljskih zahtev.

Na podlagi teh določil slovenska zakonodaja s področja varstva okolja in jedrske varnosti omogoča, da se projekt JEK 2 razvija na način, ki bo zagotavljal varno, stabilno in trajnostno rabo jedrske energije ob hkratnem spoštovanju najvišjih standardov varovanja okolja in zdravja ljudi v Sloveniji.

9.4 Vloga javnosti in občin v postopkih

Pri tako velikih projektih je vloga javnosti in občin pomemben element demokratičnega procesa odločanja, ki zagotavlja transparentnost, družbeno sprejemljivost ter upoštevanje interesov prebivalcev in lokalnih skupnosti. Slovenska zakonodaja, zlasti ZVO-2 in ZUreP-3, določa obveznost vključevanja javnosti v postopke sprejemanja odločitev, ki imajo lahko vpliv na okolje in prostor. Pri pripravi DPN za JEK 2 in v postopkih celo CPVO je obvezno izvajanje javnih razgrnitev dokumentacije, organizacija javnih obravnav in zbiranje pripomb občin ter posameznikov.

Praktično to pomeni, da so občine in javnost obveščene o začetku postopka priprave DPN in presoje vplivov na okolje, imajo možnost vpogleda v študije in dokumentacijo, ki prikazuje vplive na okolje, zdravje ljudi, varnost ter prostorsko umeščanje objekta, ter lahko v določenem roku posredujejo pisne pripombe, predloge in mnenja. Organizirane so tudi javne predstavitve in posvetovanja, kjer strokovnjaki in predstavniki investitorja pojasnijo načrte in odgovorijo na vprašanja javnosti.

V postopku priprave DPN in CPVO za drugi blok ima občina Krško pomembno vlogo, saj se projekt umešča na njeno območje, kar pomeni, da ima občina pravico in dolžnost sodelovanja pri usklajevanju prostorskih rešitev, predlaganja pogojev in usmeritev ter zastopanja interesov lokalne skupnosti pri zaščiti okolja in kakovosti življenja prebivalcev. Na ravni Evropske unije Direktiva 2003/4/ES o dostopu javnosti do informacij o okolju ter Direktiva 2011/92/EU (EIA direktiva) zahtevata, da države članice zagotovijo učinkovito sodelovanje javnosti pri projektih, ki imajo lahko pomembne vplive na okolje, kar je v slovenski pravni red preneseno z določbami ZVO-2.

V praksi je bilo pri postopkih, povezanih z JEK, vključevanje javnosti najintenzivnejše v primerih sprememb okoljskih dovoljenj ali pri presojah vplivov na okolje ob podaljšanju obratovalne dobe, kjer so bili javnosti na voljo podatki o vplivih na okolje, podatki o meritvah radioaktivnosti, kakovosti zraka in vode ter vplivih na zdravje ljudi (NEK, 2024; Novak, 2022).

Pri JEK 2 je bila marca 2024 objavljena pobuda za pripravo DPN, s čimer se je začel trimesečni postopek za zbiranje mnenj, pripomb in predlogov javnosti in občin, kar je prvi korak k transparentnemu in vključujočemu načrtovanju projekta (EIMV, 2024). V tem postopku imajo prebivalci in občine možnost sodelovati z argumentiranimi strokovnimi in civilnimi predlogi, kar omogoča, da projekt upošteva lokalne značilnosti, naravovarstvene omejitve ter pričakovanja prebivalcev.

Poleg formalne vloge ima sodelovanje javnosti ključno vlogo pri oblikovanju odzivov in organizaciji prihajajočega projekta. Mnenja javnosti, strokovnih združenj, občin ter nevladnih organizacij lahko vplivajo na lokacijo posameznih infrastrukturnih elementov (kot so hladilni stolpi ali prometni dovozi), na določitev zaščitnih pasov ter na oblikovanje omilitvenih ukrepov za zmanjšanje vplivov na okolje. Prav tako lahko mnenja prebivalcev prispevajo k prilagoditvam časovnici gradnje in obratovanja projekta ter organizaciji gradbišča in logistike, z namenom zmanjšanja vplivov na lokalno prebivalstvo med gradnjo in kasnejšim obratovanjem. Sodelovanje javnosti tako ni zgolj formalnost, ampak lahko vpliva na končne odločitve investitorja glede organizacije projekta, izvedbe okoljskih monitoringov in obveščanja prebivalcev med gradnjo in obratovanjem JEK 2.

Poleg formalne vloge ima sodelovanje javnosti pomembno vlogo pri pridobivanju zaupanja prebivalcev v varnost in okoljsko sprejemljivost projekta ter pri zmanjševanju morebitnih nasprotovanj in konfliktov, ki so pri projektih takšnega obsega vedno možni. Aktivno sodelovanje občin in javnosti povečuje kakovost odločanja ter prispeva k boljši izvedbi projektov, na način, ki bo dolgoročno sprejemljiv za prebivalce, okolje in državo.

10 SKLEP

V diplomskem delu je bila predstavljena celovita analiza obstoječega jedrskega bloka JEK ter načrtovanega drugega bloka JEK 2, pri čemer so bile obravnavane njihove tehnološke značilnosti, okoljski vplivi, zakonska ureditev in vloga javnosti pri umeščanju takšnega projekta v prostor. Ugotovljeno je bilo, da JEK kot tlačnovodni reaktor druge generacije z več kot 40-letno tradicijo predstavlja tehnično stabilno in varno rešitev za proizvodnjo električne energije v Sloveniji, a se sooča s staranjem infrastrukture, zaradi česar se ob koncu njegove življenjske dobe nujno postavlja vprašanje dolgoročne zamenjave ali nadgradnje kapacitet.

Podaljšanje obratovalne dobe prvega bloka do leta 2043 je sicer izvedeno na podlagi pozitivnih rezultatov varnostnih analiz in monitoringov, ki kažejo, da elektrarna še vedno deluje v dopustnih okoljskih in varnostnih mejah. Kljub temu pa ostajajo določeni pomisleki, ki jih izpostavljajo okoljske organizacije in posamezni strokovnjaki. Ti opozarjajo, da podaljševanje življenjske dobe objektov, zgrajenih po standardih 70. let prejšnjega stoletja, zahteva izjemno visoko raven nadzora in stalnih nadgradenj, saj lahko materiali, sistemi in varnostne rezerve sčasoma izgubijo robustnost, zlasti v primeru potresov ali drugih zunanjih obremenitev. Poleg tega se povečuje tudi količina izrabljenega goriva in odpadkov, ki še nimajo dokončne rešitve dolgoročnega odlaganja, kar ostaja odprto strateško vprašanje jedrske prihodnosti Slovenije.

Projekt JEK 2 je odgovor na te energetske in okoljske izzive, ker predstavlja pomemben tehnološki napredek na področju jedrske varnosti, učinkovitosti in trajnosti. Izbrani koncepti reaktorjev tretje generacije ali generacije III+ bodo omogočali višji energijski izkoristek, uporabo naprednih varnostnih sistemov, zanesljivo delovanje tudi v izrednih razmerah ter zmanjšanje količine radioaktivnih odpadkov na enoto proizvedene energije. Obenem bo projekt pomembno prispeval k razogljičenju elektroenergetskega sistema, saj ne proizvaja toplogrednih plinov med obratovanjem, s čimer podpira doseganje nacionalnih in evropskih podnebnih ciljev do leta 2050.

Kljub številnim prednostim projekt prinaša tudi okoljske izzive, zlasti v fazi gradnje in umeščanja, kjer lahko pride do zasedbe rodovitnih kmetijskih zemljišč, sprememb v rabi tal ter povečanega vpliva na lokalni promet in okolje. Poleg tega je treba ob skupnem delovanju JEK in JEK 2 posebno pozornost nameniti kumulativnim vplivom na vodne vire, ekosisteme in lokalno prebivalstvo. Z ustreznimi omilitvenimi ukrepi, tehnološkimi rešitvami in stalnim okoljskim monitoringom je te vplive mogoče nadzorovati in omejiti v dopustne okvirje.

Zakonodajna analiza je pokazala, da oba objekta delujeta znotraj strogih slovenskih in evropskih predpisov, ki zagotavljajo visoko raven jedrske varnosti, okoljske zaščite in vključevanja javnosti v ključne odločitve. Aktivna vloga občin, nevladnih organizacij in prebivalcev v postopkih državnega prostorskega načrtovanja in presoje vplivov na okolje ima pomembno demokratično funkcijo in prispeva k dolgoročni legitimnosti projekta.

Sklepno je ugotovljeno, da bo JEK 2 ob upoštevanju zakonodajnih zahtev, strokovnih standardov in družbene odgovornosti, predstavljal temelj energetske prihodnosti Slovenije ter omogočil stabilno, varno in trajnostno oskrbo z električno energijo v naslednjih desetletjih. Vendar bo prihodnost jedrske energije v Sloveniji dolgoročno odvisna od sposobnosti države, da pravočasno vzpostavi sistemsko rešitev za dolgoročno ravnanje z odpadki, zagotovi generacijsko odgovornost, in prepreči pretirano zanašanje na podaljševanje življenjskih dob zastarelih objektov.

11 POVZETEK

Obravnavani so bili vplivi obstoječe jedrske elektrarne in potencialni vplivi načrtovanega drugega bloka na okolje. V teoretičnem delu so predstavljeni osnovni pojmi s področja jedrske energije, radioaktivnosti ter vplivov jedrske tehnologije na okoljske elemente, kot so voda, zrak, tla, zdravje ljudi in ravnanje z radioaktivnimi odpadki. Analiza se osredotoča na vplive obstoječega bloka na reko Savo, emisije v okolje ter veljavne okoljske in varnostne standarde.

V raziskovalnem delu je podrobneje predstavljen projekt JEK 2, vključno z reaktorskimi tehnologijami, varnostnimi značilnostmi in predvideno lokacijo. Ocenjeni so okoljski vplivi načrtovanega bloka ter njegova skladnost z zakonodajnimi zahtevami. Izvedena je primerjalna analiza obeh blokov, s poudarkom na tehnoloških razlikah in skupnih okoljskih obremenitvah v primeru hkratnega delovanja.

Ugotovljeno je, da obstoječi blok deluje v skladu s predpisi in pod nadzorom, vendar bi delovanje dveh blokov hkrati zahtevalo dodatne ukrepe za varovanje okolja. Projekt JEK 2 je lahko z vidika energetske neodvisnosti in nizkoogljične prihodnosti upravičen, a njegova okoljska sprejemljivost je mogoča le ob doslednem spoštovanju previdnostnega načela, učinkovitem ravnanju z odpadki ter dolgoročni odgovornosti za varovanje okolja in zdravja ljudi.

12 SUMARRY

The impacts of the existing nuclear power plant and the potential effects of the planned second unit on the environment were examined. The theoretical part presents fundamental concepts in the field of nuclear energy, radioactivity, and the effects of nuclear technology on environmental elements such as water, air, soil, human health, and the management of radioactive waste. The analysis focuses on the impacts of the existing unit on the Sava River, emissions into the environment, and the applicable environmental and safety standards

The research part provides a detailed presentation of the second nuclear unit project, including reactor technologies, safety characteristics, and the proposed location. The environmental impacts of the planned unit are assessed, along with its compliance with legislative requirements. A comparative analysis of both units is carried out, with an emphasis on technological differences and combined environmental loads in the case of simultaneous operation.

It is concluded that the existing unit operates in compliance with regulations and under supervision, but the concurrent operation of two units would require additional measures for environmental protection. From the perspective of energy independence and a low-carbon future, the second nuclear unit project may be justified, but its environmental acceptability is conditional on the strict adherence to the precautionary principle, effective waste management, and long-term responsibility for protecting the environment and human health.

13 VIRI IN LITERATURA

LITERATURA

- Kač, M. (2001). Leksikon kemije. Ljubljana: Založba Mladinske knjige.
- Dimic, V., (1995). Električna iz jedrskih elektrarn. Radovljica: Didakta.
- Štuhec, M. (2002). Leksikon fizika. Tržič: Učila internacional, založba d.o.o.
- World Economic Forum (2022). Energy Transition: Energy: Which electricity source uses the most land?. Medmrežje: <https://www.weforum.org/stories/2022/06/energy-electricity-sources-land/>
- Clarke, L., Wei, Y.-M. in ostali. (2023). IPCC Sixth Assessment Report: Working Group III: Mitigation of Climate Change. Poglavje 6. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter06.pdf
- Jerele, N., I., Pribožič, M. (2024). Nuklearna elektrarna Krško: Brošura. <https://www.nek.si/publikacije>
- Nuklearna elektrarna Krško (2024). Letno poročilo NEK 2023. Medmrežje: <https://www.nek.si/upload/publications/nek-slo-2023-net.pdf>
- Novak, D. (2022). Poročilo o vplivih na okolje za podaljšanje obratovane dobe NEK s 40 na 60 let. Medmrežje: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/CPVO/Javne-razgrnitve/NEK/Porocilo_o_vplivih_na_okolje_jan2022.pdf
- Rashad, S., M. in Hammad. F., H. (2000). Applied Energy: Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. Vol. 65, št. 1–4, str. 211–229. doi: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00069-0](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00069-0)
- Bohte, M. in Zupančič I. (2009). Diplomsko delo: Zaščita oseb pred radioaktivnim sevanjem in strupi. Medmrežje: <https://core.ac.uk/download/pdf/67535173.pdf#page=7.08>
- Zveza ekoloških gibanj Slovenije. (2023). Pripombe in predlogi za spremembe RESOLUCIJE o jedrski in sevalni varnosti v Republiki Sloveniji za obdobje 2024–2033 (ReJSV – 2). Medmrežje: https://zeg.si/uploads/zeg1/public/document/188-pripombe_zeg-resolucija_o_jedrski_in_sevalni_varnosti_2023dkdoc_1_1_sl.pdf
- Ravnik, M. (1994). Odlaganje radioaktivnih odpadkov: Obzornik za matematiko in fiziko. vol. 41, št. 4., str. 117–121. Medmrežje: http://git.lkrv.fri.uni-lj.si/~ajurisc/omf_1_54/ocr/omf41_4ocr.pdf#page=1.00
- Galvič, D., Fajfar, H. in Zorko, B. (2024). Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško: Poročilo za leto 2023. Medmrežje: https://www.nek.si/upload/publications/nek_porocilo_monitoring_okolice_2023.pdf
- Pavlin, T. (2013). Diplomsko delo: Modeli razširitve 100kV in 400kV stikališča RTP Krško za potrebe JEK 2. Medmrežje: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=41196&lang=slv>
- Elektroinštitut Milan Vidmar (EIMV). (2024). Študija priključitve JEK 2 z močjo do 2.400 MWe na elektroenergetski sistem Slovenije. Medmrežje: <https://jek2.si/studija-prikljucitve-jek2/>
- Češnjegar, D. (2011). Diplomsko delo: Primerjava proizvodnje električne energije v TEŠ 6 in JEK 2. Medmrežje: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=20300>
- 23rd International Conference Nuclear Energy for New Europe (NENE). (2014). Bid Technical Evaluation Process for JEK 2 Project. Medmrežje: https://arhiv.djs.si/proc/nene2014/pdf/NENE2014_215.pdf

SPLETNI VIRI

- GEN energija. O jedrski energiji: PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE V JEDRSKI ELEKTRARNI TEMELJI NA VERIŽNI CEPITVI JEDER ATOMOV. PRI TEM SE SPROŠČA VELIKO TOPLOTE. Medmrežje 1: <https://www.esvet.si/jedrska-energija/o-jedrski-energiji> (15.04.2025)
- NEK. O jedrski energiji: Jedrski reaktor. Medmrežje 2: <https://www.nek.si/o-jedrski-energiji/jedrski-reaktor> (15.4.2025)
- GEN energija. Radioaktivnost in sevanje. Medmrežje 3: <https://www.esvet.si/jedrska-energija> (22.4.2025)
- GEN energija. Jedrska energija. Medmrežje 4: <https://www.esvet.si/jedrska-energija>
- NEK, Obratovanje: Okolje. Medmrežje 5: <https://www.nek.si/obratovanje/okolje#skrb-za-odpadke> (15.4.2025)
- GEN energija. Analiza učinkov izgradnje in obratovanja JEK2 na slovensko gospodarstvo. Medmrežje 6: <https://jek2.si/analiza-ucinkov-izgradnje-in-obratovanja-jek2-na-slovensko-gospodarstvo/> (15.4.2025)
- NEK. O nas: NEK skozi čas. Medmrežje 7: <https://www.nek.si/o-nas/nek-skozi-cas> (19.4.2025)
- Društvo za sonaraven razvoj. (2020). Potresna (ne)varnost jedrskega reaktorja v Krškem. Medmrežje 8: <https://focus.si/potresna-nevarnost-jedrskega-reaktorja-v-krskem/> (19.4.2025)
- JEK2. (2025). Z javno objavo Pobude za pripravo DPN začetek trimesečnega obdobja za informiranje javnosti in podajanje pripomb glede prostorske ureditve JEK2. Medmrežje 9: <https://jek2.si/novice/z-javno-objavo-pobude-za-pripravo-dpn-zacetek-trimesecnega-obdobja-za-informiranje-javnosti-in-podajanje-pripomb-glede-prostorske-ureditve-jek2/> (24.6.2025)