

# Uticaj proširenja nuklearne elektrane “Pakš” (Mađarska) na resurse podzemnih voda u Vojvodini

Bojan Hajdin, Dušan Polomčić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Uticaj proširenja nuklearne elektrane “Pakš” (Mađarska) na resurse podzemnih voda u Vojvodini | Bojan Hajdin, Dušan Polomčić | Tehnika | 2016 | 66 | 5

10.5937/tehnika1604545H

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0003008>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

## Uticaj proširenja Nuklearne elektrane “Pakš” (Mađarska) na resurse podzemnih voda u Vojvodini

BOJAN B. HAJDIN, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd  
DUŠAN M. POLOMČIĆ, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Stručni rad  
UDC:621.311.25:621.039(439)  
556.388:621.039(497.11)  
DOI: 10.5937/tehnika1604545H

*Aktuelna odluka susedne Republike Mađarske da kapacitete postojeće nuklearne elektrane “Pakš”, na Dunavu, proširi sa dva nova reaktora, zbog blizine teritoriji Srbije, za našu državu predstavlja važno pitanje koje zahteva da se detaljno sagledaju svi aspekti uticaja ovakvog rešenja na životnu sredinu u našem regionu. Na osnovu iskustava u oblasti formiranja rezervi podzemnih voda u ovom delu Pannonskog basena, njihovog iskorišćavanja i zaštite, u radu se sagledava uticaj rada budućeg nuklearnog kompleksa na resurse podzemnih voda na području Vojvodine. Posebno je data ocena uticaja na strateško rešenje za buduće vodospobnavanje područja severne i severozapadne Bačke, kojim se predviđa izgradnja regionalnog izvorišta podzemnih voda u aluvijonu Dunava, kod Apatina, na području na kojem su proteklih godina već izvedena detaljna hidrogeološka istraživanja i hidrodinamička ispitivanja.*

**Ključne reči:** podzemne vode, nuklearna elektrana “Pakš”, radioaktivnost

### 1. UVOD

Republika Mađarska je 1982. godine u pogon uključila svoju jedinu nuklearnu elektranu, kod mesta Pakš, na desnoj obali Dunava. Do danas, ova elektrana sa četiri nuklearna reaktora ukupne snage 2000 MW predstavlja glavni energetska izvor koji obezbeđuje 40% električne energije u državi. Pred kraj isteka roka za rad ove nuklearke, Vlada Republike Mađarske je u decembru, 2014. godine sa ruskom kompanijom “Rosatom” potpisala ugovor za njeno proširenje izgradnjom dodatna dva nuklearna bloka ukupnog kapaciteta 2400 MW uz planirano postepeno gašenje starih reaktora do 2037. godine.

Odluka o povećanom iskorišćavanju nuklearne energije u susednim zemljama izazvala je različita reagovanja pri čemu su negativni stavovi argumentovani poslednjim akcidentom u japanskoj nuklearnoj elektrani “Fukušima-Daiči”. Nakon havarije u toj elektrani, 2011. godine, mnoge zemlje u svetu započele su sa gašenjem svojih nuklearnih postrojenja i donele odluku o trajnom prestanku korišćenja ovog vida energije za proizvodnju električne struje.

Rasprava o pitanjima uticaja proširenja ove nuklearne elektrane na životnu sredinu, u Srbiji nije dobila potreban značaj iako su države u okruženju i stručna javnost pozvani da iznesu svoje stavove čime bi se mogla bitno izmeniti predložena rešenja. Tako su, pored ostalih, izostali i stavovi stručnjaka iz oblasti vodoprivrede, iskorišćavanja i zaštite podzemnih voda o uticaju koje nuklearno postrojenje, udaljeno 63 km od državne granice, ima na ovaj važan resurs u regularnim uslovima rada elektrane, ali i posledicama koje može imati i u uslovima havarije imajući u vidu da je Dunav tranzitna reka, vrlo dobro hidraulički povezana sa podzemnim vodama.



Slika 1 – Položaj nuklearne elektrane “Pakš”

Adresa autora: Bojan Hajdin, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7

Rad primljen: 22.03.2016.

Rad prihvaćen: 15.04.2016.

Pored poznavanja geološke građe, hidrogeoloških uslova, i hidrodinamičkih karakteristika ovog dela Pannonkog basena, analizirane su geomorfološke osobine i klimatske karakteristike oblasti. Za davanje ocene o uticaju detaljnije su analizirane i prikazane tehničke karakteristike, tehnološki procesi i organizacija rada ove nuklearne elektrane.

Rad na ovoj temi obuhvatio je i detaljno proučavanje studije uticaja nuklearne elektrane na životnu sredinu, koja je izrađena u sklopu projekta. Ova studija dostavljena je u 30 država u regionu, među kojima i našoj, ali do sada kod nas nisu održane stručne rasprave na ovu temu. U radu je dat kritički osvrt na rezultate studije koji se odnose na uticaj rada nuklearne elektrane na podzemne vode.

Posebno je proučen uticaj nuklearnog postrojenja na buduće potencijalno rešenje za vodosnabdevanje gradova i naselja u severnom delu Vojvodine, kojim se predviđa izgradnja regionalnog izvorišta u aluvijonu Dunava kod Apatina.

Zaključci ovih proučavanja navode na zabrinutost u pogledu uticaja kako na resurse podzemnih voda, tako i životnu sredinu ovog regiona i potrebu uspostavljanja čvrste bilateralne saradnje među susednim državama.

## 2. UPOTREBA NUKLEARNE ENERGIJE U EVROPI I NAŠEM OKRUŽENJU

Industrijski razvoj, sve veće potrebe i potrošnja električne energije, tokom XX veka, u svetu su uslovile povećano iskorišćavanje fosilnih goriva čime se njihove rezerve ubrzano smanjuju, a korišćenje je uzrokovalo zagađivanje sredine i globalne klimatske promene. U rešavanju nastalog problema i traganju za novim izvorima energije, izdvojila su se dva oštro suprotstavljena mišljenja, pri čemu su na jednoj strani zagovornici iskorišćavanja nuklearne energije, prema kojima će buduće (velike) potrebe u električnoj energiji moći da se obezbede samo upotrebom nuklearne energije. Na drugoj strani, sve više je pristalica ideje o neophodnosti iskorišćavanja obnovljivih izvora energije.

Električna energija koja se u reaktorima dobija kontrolisanim procesom nuklearne fisije ima velike prednosti u odnosu na fosilna goriva, od znatno manje potrošnje goriva koje se koristi (1 g urana zamenjuje 2.5 tone visokokvalitetnog uglja), minimalne emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu, manje cene 1 kWh proizvedene električne energije. Najveći nedostaci odnose se na nuklearnu bezbednost koja se povezuje za katastrofalne i dugotrajne posledice u slučajevima havarije, zatim problemi skladištenja istrošenog nuklearnog goriva koje ostaje i hiljadama godina radioaktivno, potom sve manje zalihe urana u svetu, kao i veoma skupa i duga

izgradnja nuklearne elektrane (NE). Ugrožavanje prirodne sredine upotrebom fosilnih goriva poslednjih godina jačalo je poziciju pristalica upotrebe nuklearne energije, ali je bilo dovoljno da se jednim akcidentom, kakav je bio poslednji u NE „Fukušima-Daiči“, u Japanu, sve njene prednosti ospore, a u mnogim zemljama čak i zabrani upotreba ovog vida energije. Od havarije u Černobilju, 1986. godine, u evropskim državama, još uvek je na snazi moratorijum na izgradnju nuklearnih elektrana.

Trenutno u Evropi postoje 202 nuklearna reaktora, od kojih je operativno 85. Tokom 2014. godine u zemljama Evropske unije, 27% električne energije proizvedeno je iskorišćavanjem nuklearne energije, 40.5% fosilnim gorivima, 18.5% iskorišćavanjem hidro-potencijala i 14.4% iz obnovljivih izvora.

Odnos prema upotrebi nuklearne energije u Evropi danas je različit. U zapadnoj Evropi raste antinuklearno raspoloženje, naročito nakon akcidenta 2011. godine u Fukušimi. Četiri države (Nemačka, Švajcarska, Španija, Belgija) donele su odluku o potpunom prestaku korišćenja nuklearne energije, faznim zatvaranjem postojećih nuklearki, Velika Britanija od 16 reaktora, predviđa da do 2025. godine zatvori 13. Danska, Italija i Austrija odustale su od upotrebe nuklearne energije, a u državi sa najvećim brojem nuklearnih reaktora, Francuskoj (58 reaktora) koja na ovaj način zadovoljava 75% električne energije, do 2025. godine predviđa smanjenje udela nuklearne energije za 25%.

Nasuprot njima, države u istočnoj Evropi, zemlje koje nisu imale NE kao što su Poljska i Litvanija, planiraju izgradnju nuklearki, Češka, Slovačka, Mađarska, Slovenija, Rumunija i Bugarska, planiraju proširenje ili izgradnju novih NE.

Srbija, koja nema nijednu NE, okružena je sa 16 nuklearnih reaktora od čega se na Dunavu, tranzitnoj reci, nalazi 10 blokova. Obzirom na ovako različite stavove evropskih zemalja i spremnost susednih država da ubuduće koriste nuklearnu energiju, naša država mora biti uključena u aktivnosti korišćenja nuklearne energije u okruženju, dobro informisana o radu, uticaju i posledicama na životnu sredinu i prirodne resurse ovolikog broja nuklearnih elektrana u našoj najbližoj okolini.

U ovom trenutku, najveće interesovanje zaslužuje odluka Republike Mađarske da kapacitet svoje jedine NE „Pakš“ na Dunavu, proširi izgradnjom dva nova nuklearna bloka, neposredno uz postojeću elektranu. Nuklearna elektrana „Pakš“, nalazi se kod istoimenog naselja na levoj obali Dunava, udaljena je oko 95 km, idući tokom reke, od državne granice sa Srbijom (slika 1). U rad je puštena 1982. godine. Izgrađena je prema sovjetskoj tehnologiji, instalirana su četiri reaktora tipa VVER-440, ukupne snage 1830 MW, za gorivo se

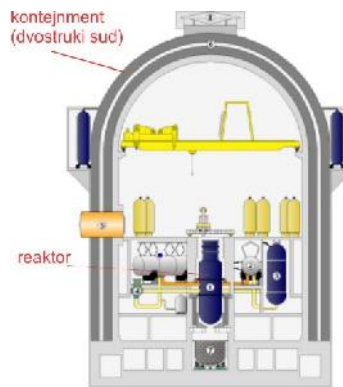
koristi oksid uranijuma ( $UO_2$ ), koji se dobija obogaćivanjem rude uranijuma. Ključna pitanja nuklearne sigurnosti vezana su za sistem hlađenja, a u ovoj elektrani za hlađenje se koristi voda pod pritiskom (eng. Pressurized Water Reactor). To je sistem reaktora koji se danas najviše koristi u svetu (zastupljeni u 60% nuklearki) i pripadaju, sada već nešto starijoj, drugoj generacija reaktora. Hlađenje se vrši zahvatanjem vode iz Dunava. Trenutno se iz reke koristi između 90-132  $m^3/s$  vode, a izgradnjom dva nova reaktora, pri radu svih šest reaktora potrošnja će iznositi 232  $m^3/s$  vode. Sistem se sastoji od primarnog (hlađenje reaktora) i sekundarnog kruga u kojem se voda pretvara u vodenu paru za pogon turbina koje proizvode električnu energiju. Sistem je cirkulacionog tipa u primarnom krugu, a u sekundarnom krugu je protočnog tipa tako da se rashladna voda sa povišenom temperaturom vraća u Dunav.

Istrošeni gorivi elementi, zbog visokog nivoa radioaktivnosti i temperature prvo se smeštaju u bazen za hlađenje, a zatim u "privremeno skladište" u kojem mogu biti uskladišteni i više decenija. Važno je istaći da se oba ova skladišta nalaze se u okviru pogona NE "Pakš". Mesto trajnog skladištenja još nije određeno, ali se pretpostavlja da će ono biti izgrađeno u Mađarskoj, prema poslednjim podacima navodi se područje oko grada Pečuja. Predviđeno je da tokom 60 godina rada NE, nastane preko 3000 tona radioaktivnog otpada.

Iako, prema podacima Evropske agencije za atomsku energiju ima stabilan rad, ova nuklearna elektrana svrstava se u rizične, zbog toga što model reaktora u NE "Pakš" nema dupli sud (tzv. spoljni kontejnment), koji obezbeđuje drugi nivo zaštite pri havariji reaktora i sprečava curenje nuklearnog materijala u okolinu. Zahvaljujući postojanju drugog suda izbegnuta je veća katastrofa 2011. godine u japanskoj NE "Fukušima-Daiči", dok je sa druge strane, do katastrofalne situacije u Černobilju, 1986. godine došlo zbog toga što reaktor nije imao dupli kontejnment, čime nije postojala prepreka radioaktivnom materijalu da ističe u okolinu. Vek rada postojeće NE "Pakš" projektovan je na 30 godina, ali je dozvola za rad produžena za još 20 godina.

Proširenje i izgradnja novih blokova reaktora (službeni naziv „Pakš 2“) treba da započne do 2020. godine sa izgradnjom dva reaktora tipa VVER-1200, snage po 1200 MW (slika 2). Novi blokovi, biće uključivani u rad fazno, od 2025. godine do konačnog gašenja starih, do 2037. godine.

Uticaj na životnu sredinu biće najveći u periodu od 2030-2032. godine, kada budu uključena oba nova reaktora, a u pogonu budu i četiri stara. Rad elektrane sa dva nova bloka predviđen je do 2085. godine.



Slika 2 – Nuklearni reaktor tipa VVER-1200 [1]

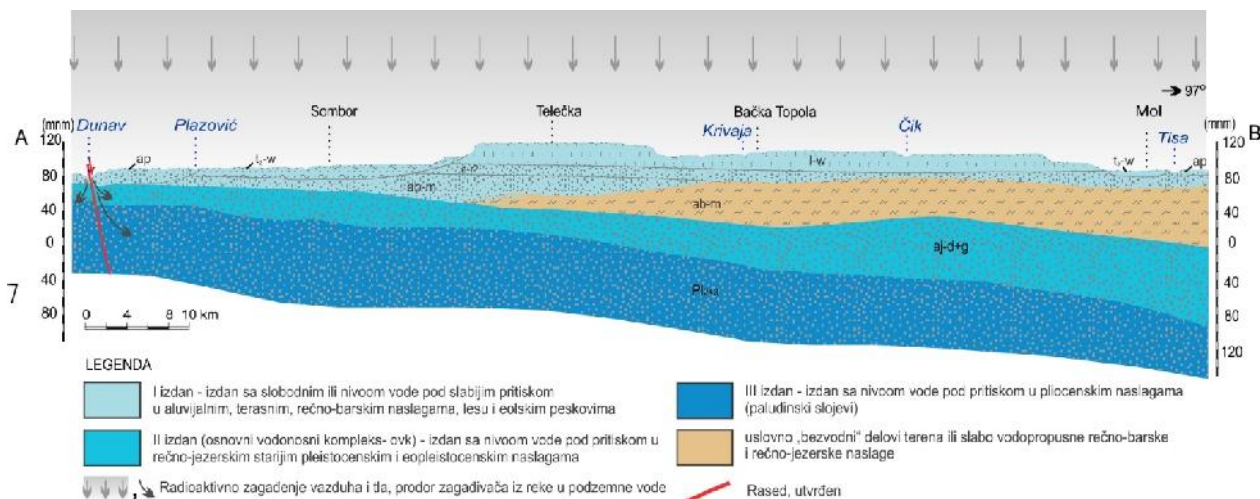
Može se zaključiti da izgradnjom NE „Pakš 2“, u našoj neposrednoj okolini nastaje tehnološki nuklearni gigant, savremeno postrojenje, sa proizvodnim procesima vrlo visokog rizika. Postojanje jednog ovakog objekta u aluvijonu Dunava, a naročito njegova delatnost, nesumljivo predstavljaju potencijalni izvor opasnosti za prirodnu sredinu, zbog čega je izvršena analiza uticaja na podzemne vodne resurse i potencijalne rizike za perspektivno rešenje budućeg vodosnabdevanja gradova i naselja u severnom delu Vojvodine, koje je već konkretizovano hidrogeološkim i hidrodinamičkim istraživanjima na levoj obali Dunava, uzvodno i nizvodno od Apatina.

### 3. GEOLOŠKA GRAĐA I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA

Panonski basen predstavlja jedinstvenu geotektonsku jedinicu, nastalu intenzivnom tektonskom aktivnošću na prostoru između Alpa i Karpata, koja se odvijala tokom tercijara. U nastaloj potolini nadiranjem voda Tetisa, tokom periodičnih tektonskih pokreta praćenih vulkanizmom i u kasnijim fazama razvoja Panonskog mora, na ovom prostoru nataložene su debele naslage glinovito-peskovitih sedimenata. Njihova debljina u pojedinim delovima basena prelazi 4000 metara. Sedimentacijom i tokom kvartara, u ovom, jugoistočnom delu Panonskog basena, kojem pripadaju područja Mađarske, Srbije i Rumunije formirani su slojevi gline i peskova koji se kontinuirano prostiru na teritorijama ovih država.

Zahvaljujući tome i značajan deo od ukupnih rezervi podzemnih voda u dubljim delovima basena na području Vojvodine formira se na teritorijama susednih država u Mađarskoj i Rumuniji. Reljef Panonskog basena i male hipsometrijske razlike i uslovi sedimentacije formiraju subhorizontalne slojeve zbog čega se u vodonosnim slojevima odvija veoma spora cirkulacija podzemnih voda. Kontinuirano prostiranje naslaga na prostoru Mađarske i Srbije i formiranje rezervi podzemnih voda koje su praktično zajedničke za obe države, vrlo su značajne činjenice za temu koja se ovde razmatra.

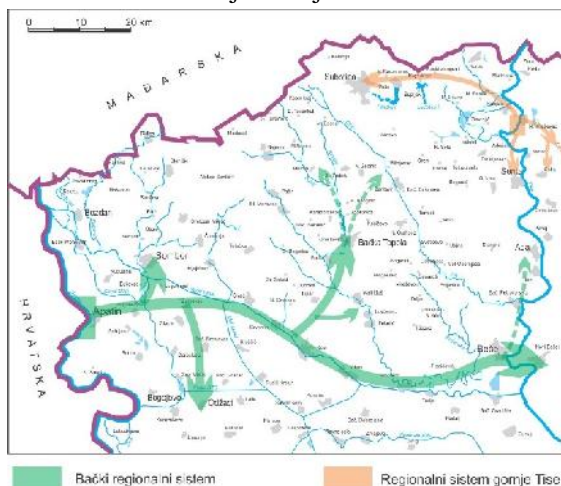




Slika 3 – Hidrogeološki profil (zapad-istok), od Dunava do Tise [2]

U ovom delu Panonskog basena, gradovi u Mađarskoj i Vojvodini za vodosnabdevanje koriste podzemne vode iz, praktično, jedinstvene vodonosne sredine, zbog čega je eksploatacijom u proteklom periodu već narušen prirodni režim obnavljanja podzemnih voda, tako da su osamdesetih godina prošlog veka zabeležena značajna opadanja nivoa podzemnih voda na izvorištima u Vojvodini [2]. Pored toga, geohemijski uslovi sredine uslovljavaju loš kvalitet podzemne vode sa aspekta upotrebe za piće, pri čemu najveći problem predstavljaju povišene koncentracije arsena.

Ovo su razlozi zbog kojih se već više godina traže rešenja budućeg obezbeđenja kvalitetnije vode za piće stanovništva i industrije u Vojvodini.

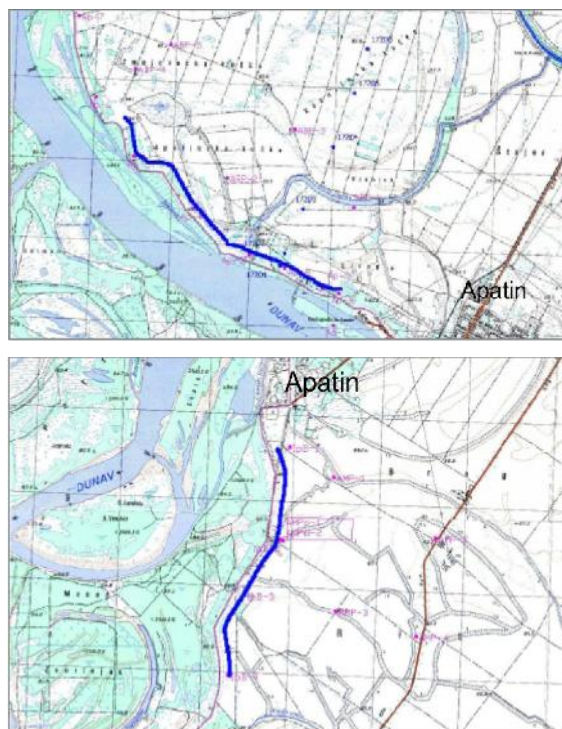


Slika 4 - Regionalni sistemi vodosnabdevanja gradova i naselja u Bačkoj [3]

Jedno od mogućih rešenja vodosnabdevanja na području severne i severozapadne Bačke predstavlja izgradnja regionalnog izvorišta na levoj obali Dunava, kod Apatina (sl. 4), na kojem bi se nizom bunara zahvatale podzemne vode iz aluvijalnih naslaga [3]. Izvorište čini osnov tzv. Bačkog regionalnog sistema iz kojeg je predviđeno da se vodom snabdevaju naselja u

opštinama Apatin, Sombor, Kula, Mali Idoš, Bačka Topola, Vrbas, Srbobran, Bečej, Odžaci, Bač i Novi Bečej i jedan broj naselja opštine Subotica.

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ je 2004. godine na dve lokacije, uzvodno i nizvodno od grada izveo hidrogeološka istraživanja i izradio hidrodinamički model [3]. U zavisnosti od dužine bunarskog niza, prema rezultatima istraživanja, na obe lokacije moguće je dobiti ukupno do 2 m<sup>3</sup>/s vode (slika 5).



Slika 5 - Bunarski niz na lokacijama Budžak (gore) i Mesarske livade (dole), kod Apatina [3]

Prema modelskim ispitivanjima, prihranjivanje izdani, primarno se vrši infiltracijom rečnih voda kroz korito Dunava u aluvijalne šljunkovito-peskovite naslage, zbog čega je kvalitet rečne vode od presudnog

značaja za funkcionisanje ovog izvorišta. Doticaj podzemnih voda iz zaleđa je osam puta manji u odnosu na doticaj iz reke.

#### 4. OSVRT NA REZULTATE STUDIJE UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Proširenje postojeće NE u regionu sa pažnjom se prati u zemljama regiona, a prema zakonima EU, pokrenuta je rasprava o uticaju ovakvog postrojenja na životnu sredinu, na kojoj mogu učestvovati sve zainteresovane države. Osnov za raspravu predstavlja studija uticaja na životnu sredinu (studija uticaja) koju je izradila Mađarska [1], u kojoj su izneti rezultati istraživanja sprovedenih u užoj i široj zoni NE. Studija je prosleđena u 30 zemalja u okruženju i izazvala veliko interesovanje, ali u našoj državi, ova tema, nije dobila potrebni publicitet, u stručnoj javnosti.

Studijom uticaja na životnu sredinu, mađarski stručnjaci izvršili su veći broj različitih vrsta istraživanja koja se odnose na proučavanje uticaja rada NE, među kojima i na klimu, zagađenje tla, površinske vode, geološku sredinu, podzemne vode, biljni i životinjski svet. Istraživanjima je obuhvaćeno područje u prečniku 10 km i 30 km od NE, pri čemu je uticaj na reku Dunava analiziran i šire.

Generalno, prema studiji uticaja, rezultati istraživanja svih segmenata životne sredine u zoni buduće NE „Pakš“, ukazuju da u normalnim uslovima rada ove elektrane, tokom njenog rada i do njenog gašenja, 2085. godine, neće doći do narušavanja prirodnih uslova u životnoj sredini i da će se nivo radioaktivnosti kretati u granicama koji ostaje u okvirima bezbednosti za postojeći živi svet na ovom području.

Iako se čini da nakon egzaktnih rezultata istraživanja koji su predstavljeni u studiji uticaja, nema mesta za drugačija mišljenja, detaljnija analiza obaveza je i naših istraživača, nakon čega, ipak, u mnogim razmatranim oblastima, postoje argumenti kojima se neki zaključci u studiji mogu osporavati.

Sa aspekta uslova formiranja, iskorišćavanja i zaštite podzemnih voda, koje predstavljaju jedan od najvažnijih prirodnih resursa svake države, imajući u vidu sva saznanja o radu postojeće NE „Pakš“ i njenom budućem proširenju, može se izraziti zabrinutost zbog realizacije projekta proširenja NE. Ovakav stav proizilazi iz poznavanja geološke građe i hidrogeoloških karakteristika ovog dela Panonskog basena sa jedne strane i činjenice da je reka Dunav vitalni tok koji povezuje Mađarsku i Srbiju. I od strane autora studije uticaja, Dunav je označen kao najznačajniji put kojim neki zagađivač sa područja na kojem se nalazi NE može dospeti na našu teritoriju.

Nuklearna elektrana tokom svog normalnog rada emituje određene količine radioaktivnih efluenata u

atmosferu, površinske, a zatim i podzemne vode. Ovdje treba dodati i toplotno opterećenje Dunava uzrokovano ispuštanjem zagrejane vode koja se koristi za hlađenje reaktora i proizvodnju električne energije (rashladna voda). Pored toga, zbog tehnoloških procesa u okviru ovakvog postrojenja skladišti se i veliki broj raznovrsnih materija koje zbog vrlo velike toksičnosti i količina predstavljaju potencijalne zagađivače podzemnih voda.

U reci Dunav uzvodno i nizvodno od NE konstatovani su  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$ , a u uzorcima tla i mulja na lokaciji Pakš i okruženju konstatovani su radionuklidi  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  i nedvojbeno ukazuju na poreklo iz NE „Pakš“.

Prenos radioaktivnog materijala Dunavom odvija se složenim procesom pod uticajem interakcije rashladne vode (koja nakon procesa hlađenja ima povišenu temperaturu i ispušta se u Dunav), emisije radionuklida i stanja vodostaja reke. Razlika u temperaturi ispuštene (rashladne) vode i vode Dunava (koji je recipijent), na mestu ispuštanja, prema mađarskom zakonu može biti do 11 °C, a na nizvodnom profilu udaljenom 500 m, temperatura rečne vode ne sme prelaziti 30 °C.

Na taj način voda Dunava se u nizvodnom delu toka povećava za oko 3 °C u odnosu na tok iznad mesta crpenja vode za hlađenje NE. Fizičko-hemijski proces u akvatičnoj sredini odvija se kada se zbog povišene temperature vode, koja se iz NE ispušta u reku, povećava koncentracija organskih materija čime se povećava potrošnja kiseonika i usled čega se u rečnoj vodi javlja deficit kiseonika.

Organske materije sposobne su da vezuju radionuklide i metale, a zbog reakcije sa suspendovanim materijalom i sedimentacije, dolazi do akumulacije radioaktivnosti u sedimentu. Oscilacijama vodostaja, odnosno, usled različitih brzina toka i količina vode, zagađenje se povećava i pomera se nizvodnije. Na delovima toka gde je ostvarena dobra hidraulička povezanost rečnih i podzemnih voda, iz sedimenta (mulja) na dnu korita, zagađenje se nesmetano prenosi u podzemnu vodonosnu sredinu. Propagacija zagađenja posebno je intenzivna u izvorišnim zonama, gde se usled eksploatacije ostvaruju veće brzine infiltracije površinskih voda kroz korito reke.

Opisani procesi imali bi negativan uticaj za regionalno izvorište kod Apatina, na kojem je planirana izrada bunara na obali Dunava, u nizu od više stotina metara, kao što je u radu prikazano.

Iako se u studiji uticaja navodi da bi na granici sa našom državom, temperatura vode Dunava bila povišena do maksimalno 1.86 °C, teško je pouzdano prihvatiti ovaku procenu, naročito kada se zbog globalnih klimatskih promena predviđa dalje povećanje temperature tla i vode u rekama.

Povećanje radioaktivnosti nije jedina negativan posledica rada NE “Pakš”. Ovde postoji čitav niz tehnoloških aktivnosti u kojima se koriste različite hemikalije, ulja, dizel-goriva i druge tečne i čvrste toksične materije. Po vrsti i količinama koje se skladište u postrojenju NE, neposredno uz Dunav, one predstavljaju veoma opasne potencijalne zagađivače površinskih, a potom i podzemnih voda (tabela 1). U tabeli 1 prikazane su količine opasnih materija koje moraju biti uskladištene i na raspolaganju za bezbedan rad elektrane.

Tabela 1. Količine opasnih materija koje se skladište u NE “Pakš” [1]

Naziv	Količina
Amonijum hidroksid	1 m <sup>3</sup>
Hidrazin	3 t
Vodonik	13 m <sup>3</sup>
Azotna kiselina	4 m <sup>3</sup>
Sumporna kiselina	7 m <sup>3</sup>
Hlorovodonična kiselina	53 m <sup>3</sup>
Natrijum hidroksid	40 m <sup>3</sup>
Bor	6 t
Dizel-gorivo	2600 t
Transformatorsko ulje	370 t po bloku

Kao što se može videti iz tabele, tokom rada NE koriste se enormne količine hemikalija i toksičnih materija. Predviđa se da će tokom rada NE tokom jedne godine nastajati 800 t neopasnog i 100 t opasnog otpada [1], pri čemu se u periodu 2030-2032. godine, kada u radu bude svih 6 reaktora, planira 2240 t neopasnog i 380 t opasnog otpada. Po završetku rada i rušenju elektrane (2085. godine) nastaću 400-500 hiljada tona betonskog otpada [1].

Sa aspekta zaštite, najvažnije pitanje je odlaganje i čuvanje istrošenog goriva i radioaktivnog otpada. Istrošeni gorivi elementi, nakon vađenja iz reaktora imaju vrlo visok nivo radioaktivnosti i visoku temperaturu zbog čega se prvo smeštaju u bazen za hlađenje, gde ostaju 3-5 godina, a najviše 10. Nakon toga se premeštaju u “privremeno skladište”, gde prema projektu ostaju do završetka rada NE, 2085. godine.

Oba skladišta nalaze se u okviru pogona NE i predviđeno je da se tokom njenog radnog veka proizvede 3378 tona radioaktivnog otpada visokog aktivnosti [1]. Skladišta ovako rizičnog otpada, tokom dugog perioda, u aluvijalnoj dolini Dunava, predstavljaju potencijalnu ekološku opasnost za deo ovog regiona nizvodno, a pre svega za Srbiju.

Na kraju, nesumljivo je da ključno pitanje predstavlja nuklearna bezbednost i u tom smislu, treba računati i na mogućnost pojave akcidentnih situacija. Prema svetskim iskustvima koja se odnose na havarije

u nuklearkama, najveći broj akcidenata događa se tokom vađenja istrošenih gorivih šipki, tokom zamene nuklearnog goriva. Ovakih situacija bilo je u sve tri NE u našoj najbližoj okolini, a u NE “Pakš” je 2003. godine došlo do curenja radioaktivnog materijala i povećane radioaktivnosti. U NE “Krško” zabeležena su 3 akcidenta, dok se NE “Kozloduj” (Bugarska) danas svrstava u deset najopasnijih nuklearnih elektrana u svetu i zabeleženo je 5 vrlo ozbiljnih incidenata uz curenje radioaktivnosti iz NE.

Prilikom havarijskih oštećenja, radioaktivni materijal može biti ispušten u atmosferu, u reku ili tlo. U svim slučajevima dovoljnih koncentracija i trajanja dolazi i do zagađenja podzemnih voda. Ukoliko je ispušten u atmosferu, formira se radioaktivni oblak koji se, zatim širi, a tokom vremena taloži na tlu, nakon čega prodire u podzemnu sredinu i kontaminira se i podzemna voda. Prostor ovog dela Mađarske i Vojvodine karakteriše se severozapadnim vetrom koji tokom godine najčešće ima brzine 1-3 m/s i ravničarskim reljefom terena, tako da radioaktivnost od NE “Pakš”, bez (hipsometrijskih) prepreka, na područje naše države stiže za oko 6 sati. Rečnim tokom, u zavisnosti od vrste zagađivača i vodostaja (brzine toka), zagađenje na granicu sa Srbijom dotiče Dunavom za oko 13 sati.

Za buduće regionalno izvorište kod Apatina mogućnost bilo kojeg vida i vrste zagađenja je značajno, posebno ukoliko se zagađivač nađe u Dunavu. Kod ovakvih sistema vodosnabdevanja [4], zaštita izvorišta od zagađenja je vrlo važna jer se prodorom zagađivača u vodonosnu sredinu, mora obustaviti eksploatacija, čime bez vode ostaje veliki broj gradova i naselja koji se iz sistema snabdeva. Centralizovanje sistema vodosnabdevanja i ranije je isticano kao nedostatak rešenja otvaranja ovog izvorišta pored Dunava, jer je u pitanju međunarodna reka zbog čega ne možemo imati kontrolu u pogledu kvaliteta vode na delu toka uzvodno, izvan teritorije naše države. Koncentracijom nuklearnih reaktora uz Dunav, kao što je to slučaj sa NE “Pakš”, u zavisnosti od vrste zagađivača, raste i opasnost od dugotrajnog, a možda i trajnog isključenja izvorišta dimenzionisanog za vodosnabdevanje više od pola miliona stanovnika u ovom delu Vojvodine, ne uzimajući u obzir industrijske potrošače.

Odluka o proširenju postojeće NE, je unutrašnje državno pitanje Republike Mađarske, na koje naša država ne može da utiče, ukoliko ne postoje objektivni i realni razlozi. Stoga u cilju bezbednosti, rešenje treba tražiti u čvrstoj saradnji između dve države [5, 6]. Obaveza Mađarske treba da bude sprovođenje monitoringa svih značajnijih faktora životne sredine, strogih mera zaštite i da u rizičnim situacijama preduzima odgovarajuće aktivnosti, uz neophodnost naših službi da vrše kontrolu, pre svega, aero-zagađenja, kvaliteta površinskih i podzemnih voda i zagađenja tla.

## 5. ZAKLJUČAK

Nakon najave Republike Mađarske da poveća kapacitet NE "Pakš" u Mađarskoj, u susjednim zemljama pokrenute se brojne rasprave o uticaju rada novih nuklearnih reaktora na životnu sredinu, ali su u Republici Srbiji važna pitanja o ovom projektu ostala bez jasnih odgovora.

U radu su izneti stavovi o uticaju povećanja korišćenja nuklearne energije u našoj neposrednoj blizini, na podzemne vode, strateški važnog resursa koji se koristi za vodosnabdevanje stanovništva i industrije u severnom delu Vojvodine. Zbog geoloških i hidrogeoloških uslova u ovom delu Panonskog basena, podzemne vode po svom rasprostranjenju predstavljaju praktično jedinstven vodni resurs na celom prostoru južne Mađarske i Vojvodine, zbog čega je ranjivost podzemnih voda još izraženija. Pored toga, to je i jedini resurs koji se koristi za vodosnabdevanje stanovništva i industrije.

Istraživanja ukazuju da upotreba nuklearne energije i prateći tehnološki procesi, zatim nuklearni otpad, ali i skladišta raznih veoma opasnih zagađujućih materija, čine buduće postrojenje NE "Pakš" izuzetno opasanim potencijalnim zagađivačem podzemnih voda. I u uslovima normalnog rada nuklearne elektrane, reka Dunav, kao recipijent rashladnih i otpadnih voda elektrane ima najveći značaj u transportu radionuklida i drugih zagađujućih materija u podzemnu vodonosnu sredinu.

Zbog položaja postrojenja, na obali Dunava, u uslovima havarijskih oštećenja, radioaktivni materijal, ali i svaki drugi zagađivač vrlo brzo propagacijom zagađenja rekam i infiltracijom kroz rečno korito, može dugotrajno da ugrozi resurse podzemnih voda u nizvodnom delu toka Dunava. Na taj način dovodi se u pitanje i opravdanost realizacije postojećeg perspektivnog rešenja za vodosnabdevanje gradova severne Bačke kojim se predviđa otvaranje izvorišta na levoj obali Dunava kod Apatina.

Neophodno je da naša država što pre započne aktivno da prati realizaciju projekta proširenja kapaciteta ove nuklearne elektrane, prema programu koji bi nadležne institucije trebale prethodno izraditi. Već u ovoj fazi realizacije projekta potrebno je ostvarivati čvršću bilateralnu saradnju sa Mađarskom, kroz različite aktivnosti, što treba da predstavlja jedan od pouzdanih vidova preventivne zaštite životne sredine u svim uslovima rada nuklearne elektrane "Pakš".

## LITERATURA

- [1] Preduzeće "MVM ERBE Zrt.", *Izgradnja novih blokova nuklearne elektrane u Paksu – studija utjecaja okoliša*, Budapest, Hungary, 2014.
- [2] Hajdin B, *Upravljanje resursima podzemnih voda severne Bačke*, doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2014.
- [3] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, *Alternativna rešenja snabdevanja vodom Vojvodine – Potencijalna izvorišta na sektoru Mesarske livade – Apatin – Budžak*. Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd, 2006.
- [4] Polomčić D, *Hidrodinamička istraživanja, otvaranje i upravljanje izvorištima izdanskih voda u intergranularnoj poroznoj sredini*. monografija. Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu. 2001.
- [5] Polomčić D, Stevanović Z, Sorajić S, Milanović S, Hajdin B, Kljajić Ž, *Održivo korišćenje srpsko-mađarskih međugraničnih vodnih tela*, *Vodoprivreda*, br. 246-248, p.p. 223-235. Beograd, 2010.
- [6] Stevanović Z, Lazić M, Polomčić D, Milanović S, Hajdin B, Papić P, Sorajić S, Kljajić Ž, *Sustainable development of Hungarian-Serbian transboundary aquifer (SUDEHSTRA)*, Final Report of the Project. Međunarodni projekat finansiran sredstvima EU. Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2008.



## SUMMARY

### THE IMPACT OF THE ENLARGEMENT OF THE NUCLEAR POWER PLANT „PAKS“ (HUNGARY) ON GROUNDWATER RESOURCES IN VOJVODINA

*The current decision of the neighbouring Republic of Hungary to enlarge the capacities of the existing nuclear power plant „Paks“, located on the Danube river, by two new reactors, poses a significant issue which requires extensive assessment of all aspects of the impact of such a decision on the environment in the given region due to the proximity to the territory of the Republic of Serbia. The paper is concerned with the impact of the future nuclear complex's functioning on groundwater resources in Vojvodina, based on experience in the area of groundwater reserve formation in the region of the Pannonian Basin, its utilization and protection. Furthermore, an impact assessment has been given, relative to the strategic solution for future water supply system of the northern and north-western Bačka region, according to which the construction of a groundwater regional source in the Danube alluvion near the city of Apatin is planned, an area which was subjected to detailed hydrogeological explorations and hydrodynamic investigation in recent years.*

**Key words:** groundwater, nuclear power plant “Paks”, radioactivity