

## HIDROGEOLOŠKI I INŽENJERSKOGEOLOŠKI KRITERIJI ZA IZBOR LOKACIJA NUKLEARNIH ELEKTRANA Primjer sliva Save u Hrvatskoj

Darko MAYER, Josipa VELIĆ i Srećko LENARTIĆ

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU-41000 Zagreb*

**Ključne riječi:** Nuklearne elektrane, Utjecaj na okolicu, Kriteriji za izbor lokacija, Hidrogeologija, Inženjerska geologija

Razmatraju se mogući utjecaji inženjerskogeoloških značajki terena na sigurnost nuklearnih elektrana i mogući utjecaji nuklearnih elektrana na podzemne vode. S obzirom na te kriterije ocjenjuju se potencijalne lokacije.

**Key-words:** Nuclear Power Plants, Environmental impact, Location selection criteria, Hydrogeology, Engineering geology

Possible impacts of geological characteristics on safety of nuclear power plants and impacts of nuclear power plants on groundwaters are discussed. Potential locations in view of these criteria are evaluated.

### Uvod

Energetska situacija Republike Hrvatske je nezadovoljavajuća naročito u odnosu na dostignuti stupanj razvoja. Primarni energetske izvori u Hrvatskoj su ograničeni i neravnomjerno raspoređeni pa se ni njihovim optimalnim korištenjem neće moći podmiriti buduće potrebe za električnom energijom.

Zbog toga Republika Hrvatska, uz mjere za racionalno trošenje energije, mora tražiti rješenje za izgradnju novih elektroenergetskih postrojenja, a među njima su i nuklearne elektrane. Lokacije takvih objekata treba definirati prostornim planovima, što je izuzetno složen posao (Mayer & Velić, 1987). U skladu s tim već desetak godina (od godine 1978.) brojne znanstvene i stručne institucije rade na studijama nužnim za utvrđivanje i izbor podobnih lokacija za izgradnju nuklearnih elektrana na teritoriju Republike Hrvatske. Provedene rasprave o dosadašnjim istraživanjima i njihovim rezultatima pokazale su da nisu dovoljno istraženi svi relevantni prostorno planerski i ekološki pokazatelji. Također ja ocijenjeno da dobiveni rezultati nisu dovoljna podloga za uvrštavanje predloženih lokacija u Prostorni plan Republike Hrvatske.

Iz tih razloga Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske povjerala je 1988. godine Urbanističkom institutu Hrvatske da sa suradničkim organizacijama izradi osnove i prijedlog programa projektnog zadatka »Prostorno planerske podloge, istraživanja i ocjena podobnosti lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte na prostoru Hrvatske«. Jedna od suradničkih organizacija je i Institut za geologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu gdje su izrađene podloge i definirani kriteriji s geološkog i hidrogeološkog aspekta.

U ovom radu izneseni su principi definiranja ovih kriterija, te je prikazana njihova primjena na pri-

mjeru područja dijela sliva Save u Hrvatskoj. S obzirom da je studijom pokriveno cijelo područje Republike, te da su pri ukupnom vrednovanju korišteni i brojni drugi kriteriji, ovdje izneseni rezultati ne znače da su najbolje ocijenjene lokacije i stvarno najbolje i da će biti Prostornim planom Republike Hrvatske predložene za buduću izgradnju nuklearne elektrane.

### Sigurnost nuklearnih elektrana

Proizvodnja energije općenito, sa svim fazama pripreme goriva, izgradnje objekta i pogona elektrane nužno utječe na ljudski okoliš. Ti utjecaji specifični su za pojedina energetska postrojenja, a uglavnom su proporcionalni količini proizvedene energije.

Specifičnost fisiskih nuklearnih elektrana jest vrlo velika radioaktivnost nuklearnog goriva, te opasnost koju bi prouzrokovalo širenje tog radioaktivnog materijala na okoliš. Stoga je osnovni zahtjev, s gledišta sigurnosti nuklearnih elektrana, da svi radioaktivni produkti u svim radnim i incidentnim situacijama ostanu izolirani unutar objekta. Taj zahtjev ostvaruje se primjenom pasivnih i aktivnih mjera zaštite (IAEA, 1978).

Pouzdana pasivna zaštita postiže se primjenom višestrukih građevinskih barijera koje sprječavaju ispuštanje radioaktivnih tvari iz reaktorskog sustava u okoliš i izborom povoljne lokacije. Pri projektiranju potrebno je predvidjeti da nijedna barijera ne izgubi svoju funkciju i u »nenormalnim« situacijama, kao što su kvarovi, ljudske pogreške ili prirodni fenomeni. Kod toga važnu ulogu igraju prirodne karakteristike lokacije. Lokacija mora biti sigurna od prirodnih katastrofa, kao što su potresi, tektonski pokreti i poplave (U. S. NRC, 1981). Osim sigurnosnih zahtjeva, koji moraju biti ispunjeni, lokacija nuklearne elektrane mora imati i dovoljan prihvatni

kapacitet za utjecaje koje nuklearna elektrana ima na okoliš pri normalnom radu. Ti se utjecaji načelno svode na vodu i zrak, a sastoje se u ispuštanju velikih količina otpadne topline i malih količina radioaktivnih tvari (IAEA, 1968). Zbog svega toga jasno je da se izboru lokacije mora pristupiti s izuzetno velikom pažnjom.

### Kriteriji za izbor lokacije

Kriteriji za izbor lokacije nuklearne elektrane predstavljaju skup pravila za selekciju između alternativnih rješenja, a obično se prikazuju u obliku zahtjeva za postizanje nekog cilja ili ciljnog stanja (IAEA, 1978).

Ciljevi se mogu definirati kao idealna, odnosno željena stanja, a u koliko se željeno stanje ne može postići, kriterij mora definirati stupnjeve prihvatljivosti. Zbog toga se primjenjuju dvije kategorije kriterija:

- *eliminacijski kriteriji* su oni kriteriji prema kojima željeno stanje je ili nije postignuto, odnosno lokacija zadovoljava ili ne zadovoljava;
- *poredbeni kriteriji* su oni kriteriji prema kojima se ocjenjuje prihvatljivost pojedine lokacije u usporedbi s drugim lokacijama, koje su eliminacijskim kriterijima pozitivno ocijenjene.

Kada se odrede relevantni kriteriji postavlja se problem stupnja značaja koji će pojedini kriterij imati pri konačnoj ocjeni prihvatljivosti lokacije. Taj problem nije prisutan kod eliminacijskih kriterija, jer se kod te kategorije uzima da su sve karakteristike lokacija ili prostora jednako značajne i uvažava se princip idealnog stanja. To znači da u koliko lokacija ne zadovoljava željeno stanje po promatranom kriteriju, postaje definitivno neprihvatljiva bez obzira na druge kriterije.

Kod poredbenih kriterija ovaj problem se rješava definiranjem težinskih faktora koji odražavaju značaj promatranog kriterija u odnosu na ostale kriterije.

Pri ocjeni potencijalnih lokacija nuklearnih elektrana na području Republike Hrvatske korišteno je trinaest eliminacijskih i dvadeset dva poredbena kriterija (Villi & al. 1991).

Svi kriteriji podijeljeni su u četiri skupine s obzirom na aspekte na koje se odnose. To su tehničko-tehnološki aspekti, aspekti sigurnosti objekta, aspekti sigurnosti i prihvatljivosti šire lokacije i aspekti sigurnosti i prihvatljivosti uže lokacije. U nastavku su detaljno opisana dva geološka kriterija.

### Hidrogeologija i inženjerska geologija – kriteriji i parametri za ocjenu

Hidrogeološki i inženjersko-geološki kriteriji korišteni su u svim fazama rada pronalazanja najpovoljnijih lokacija za nuklearne elektrane na području Hrvatske. Uvršteni su i u kategoriju eliminacijskih kriterija i u kategoriju poredbenih kriterija.

U kategoriji eliminacijskih kriterija prema hidrogeološkim karakteristikama prostora izdvojene su zone u kojima se nuklearne elektrane *ne mogu* locirati. To su područja sa zalihama podzemnih voda strateškog značaja, zatim zone u kojima je kretanje podzemnih voda pod utjecajem crpljenja na značaj-

nim crpilištima koja služe za javnu vodoopskrbu, slivna područja važnijih izvora koji su kaptirani (ilito mogu biti) za potrebe vodoopskrbe, područja gdje se prostiru značajni vodonosnici otvorenog tipa izgrađeni od raspucalih i okršanih čvrstih stijena bez površinskog pokrivača (Mayer, 1990).

Hidrogeološki kriterij korišten je i u kategoriji poredbenih kriterija. Pri tome su kao povoljnije ocijenjivane one lokacije gdje nema značajnih zalih podzemnih voda, zatim one gdje su podzemne vode zbog dubine i sastava površinskog dijela terena bolje zaštićene od prodora zagađenja s površine i one kod kojih uvjeti infiltracije i podzemnog tečenja omogućuju visoki stupanj autopurifikacije.

Kao poredbeni kriterij korištene su i inženjersko-geološke karakteristike terena. Prema tom kriteriju kao povoljnije ocijenjene su one lokacije koje se nalaze u područjima uniformnog litološkog sastava, lokacije na terenima izgrađenim od čvrstih stijena koje su stabilne kako u prirodnim uvjetima, tako i za vrijeme izgradnje i eksploatacije objekta, te lokacije na kojima se ne očekuje likvefakcija (Velić, 1990).

Svi navedeni parametri u ovoj su fazi rada procjenjivani na temelju postojećih geoloških karata i osobnog iskustva autora. Analizom rezultata primjene svih korištenih kriterija na području Hrvatske ostalo je 36 lokacija na kojima je moguće izgraditi nuklearnu elektranu. Da bi se taj broj smanjio i izdvojile one lokacije na kojima će se programirati detaljna istraživanja, pristupilo se novoj fazi valorizacije, pri čemu su korišteni isti kriteriji, ali sa različitim, po mogućnosti numerički izraženim parametrima. Ova faza rada ilustrirana je na primjeru lokacija u slivu Save.

### Vrednovanje i usporedba lokacija u slivu Save

Od 36 lokacija koje su ocijenjene kao relativno podobne za izgradnju nuklearne elektrane u slivu Save nalazi se 15 (Slika 1). Njihovo vrednovanje provedeno je s obzirom na hidrogeološke i inženjersko-geološke karakteristike. Za svaku od karakteristika korišteno je više elemenata vrednovanja, a stupanj važnosti pojedinog parametra u konačnoj ocjeni prihvatljivosti lokacije definiran je odgovarajućim težinskim faktorom. Težinski faktori pojedinih parametara određeni su dogovorom eksperata različitih struka.

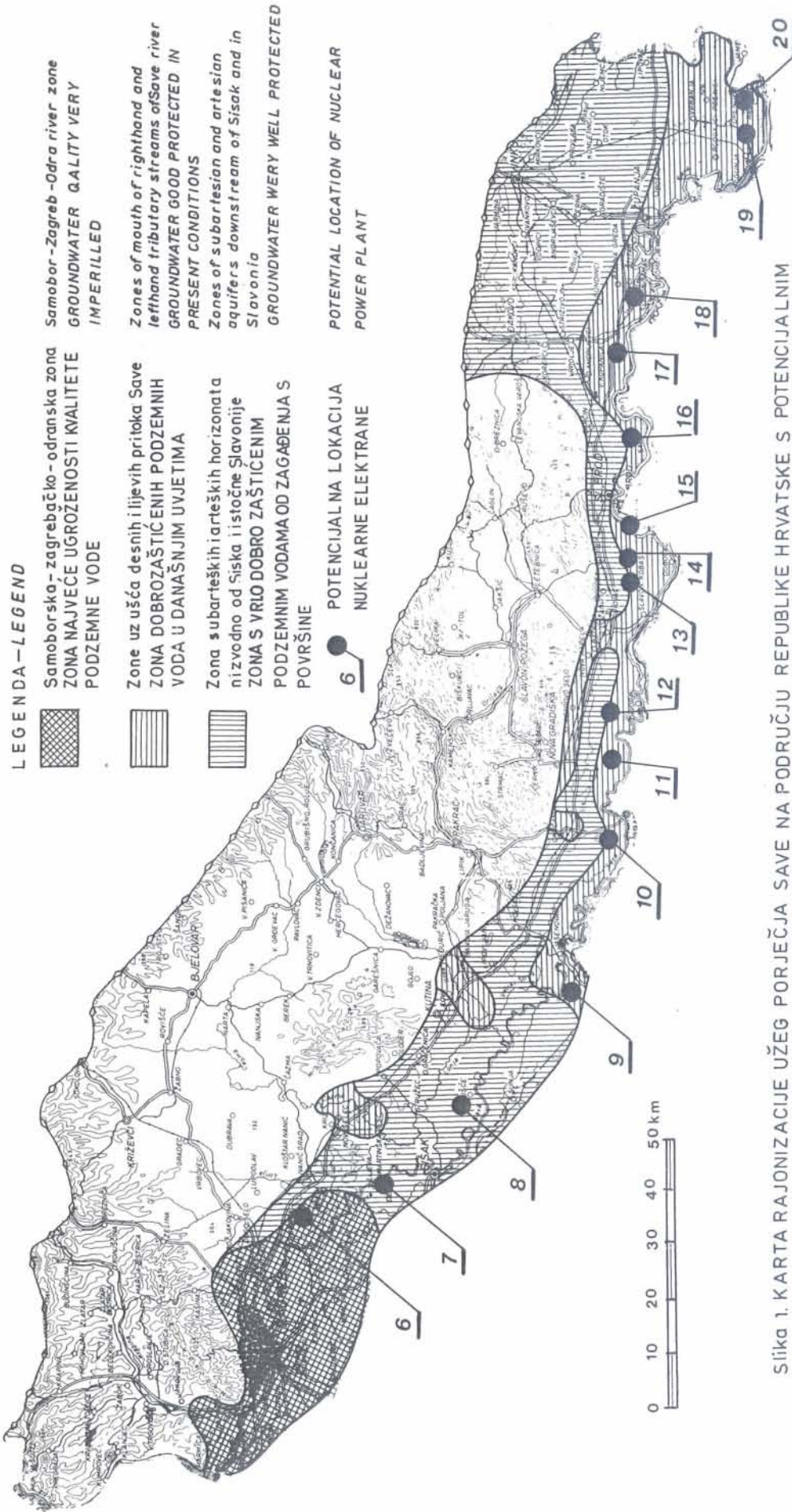
Korišteni podaci prikupljeni su tokom istraživanja mogućnosti zagađivanja podzemnih voda na području sliva rijeke Save u Hrvatskoj (Mayer, 1980), i nadopunjeni iz Hidrogeološkog katastra sjeverne Hrvatske.

### Hidrogeološki kriterij

U okviru hidrogeološkog kriterija korišteni su slijedeći elementi vrednovanja (tablica 1):

#### 1. Debljina krovinskog pokrivača

Krovinski pokrivač osnovna je prirodna barijera prodiranju kontaminacije u vodonosnik. Parametri koji karakteriziraju krovinu sa stajališta sigurnosti su propusnost i debljina. U ovoj fazi rada dostupni



Slika 1. KARTA RAJONIZACIJE UŽEG PORJEČJA SAVE NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE S POTENCIJALNIM LOKACIJAMA NUKLEARNIH ELEKTRANA  
 Figure 1. MAP OF ZONES OF THE SAVA REGION IN REPUBLIC OF CROATIA IN CONSIDERATION OF IMPERILLING OF GROUNDWATER QUALITY WITH THE LAYOUT OF POTENTIAL LOCATIONS OF NUCLEAR POWER PLANTS.

Tablica 1  
Table 1

BROJ MIKROLOKACIJE NUMBER OF MICROLOCALIZATION	P R I B L I Ž N A L O K A C I J A A P P R O X I M A T E L O C A T I O N	H Y D R O G E O L O G I J A H Y D R O G E O L O G Y					O C J E N A P A R A M E T R A E V A L U A T I O N O F P A R A M E T E R						
		P A R A M E T E R 1		P A R A M E T E R 2		P A R A M E T E R 3			T E Ź F A K T O R - L O A D F A C T O R 6,3%				
		DEBLJINA KROVINSKOG POKRIVAČA THICKNESS OF COVERING LAYER (m)	DUBINA DO PODZEMNE VODE DEPTH TO GROUNDWATER TABLE (m)	HIDRAULIČKA PROVODLJIVOST VODONOSNIKA HYDRAULIC CONDUCTIVITY K (cm/s)	POSTOJANJE CRPILIŠTA U KRUGU 10 km, WELL-FIELD IN 10 km CIRCLE RADIUS			IZDAŠNOST CRPILIŠTA WELL-FIELD CAPACITY (l/s)					
		1	2	3	4			5					
6	Oborovo	8.2	4.2	$3.6 \times 10^{-4}$			x	3.0	2	3	6	1	5
7	Trebarjevo	7.2	2.5	$3.4 \times 10^{-6}$	x				2	1	6	6	6
8	5.5 km I od Blinjskog Kuta 5.5 km E from Blinjski Kut	10.4	4.5	$1.8 \times 10^{-6}$	x				3	3	6	6	6
9	5.5 km SI od Dubice 5.5 km NE from Dubica	5.5	3.5	$1.02 \times 10^{-1}$			x	39.2	2	3	1	1	1
10	7 km I od Okučana 7 km E from Okučani	16.0	5.0	$2.6 \times 10^{-2}$			x	5.5	5	3	3	1	5
11	12 km J od N. Gradiške 12 km S from N. Gradiška	22.5	10.5	$1.26 \times 10^{-2}$			x	4.1	5	6	3	1	5
12	10.5 km JI od N. Gradiške 10.5 km SE from N. Gradiška	22.5	10.5	$1.26 \times 10^{-2}$			x	4.1	5	6	3	1	5
13	Slavonski Kobaš	63.5	6.0	oko $10^{-3}$			x	5.9	6	3	5	1	5
14	10 km I od Sl. Kobaša 10 km E from Sl. Kobaš	14.0	3.3	oko $10^{-3}$			x	6.7	3	3	5	1	5
15	13.5 km I od Sl. Kobaša 13.5 km E from Sl. Kobaš	14.0	3.3	oko $10^{-3}$			x	6.7	3	3	5	1	5
16	Trnjanski Kuti	32.0	2.5	oko $10^{-4}$			x	3.9	6	1	6	1	5
17	9 km JI od D. Andrijevac 9 km SE from D. Andrijevi	8.3	0.5	oko $10^{-3}$			x	11.5	2	1	5	3	3
18	Sikirevci	9.0	2.8	$4.07 \times 10^{-1}$			x	36.7	2	1	1	1	1
19	5 km I od Soljana 5 km E from Soljana	6.5	3.8	oko $10^{-1}$			x	2.0	2	3	1	1	5
20	8.5 km JI od Soljana 8.5 km SE from Soljana	6.5	3.8	oko $10^{-1}$			x	1.0	2	3	1	3	5

N - ne postoji no exist; UZ - uzvodno upstream; NIZ - nizvodno downstream

su bili podaci o debljini, pa je svaka lokacija ocijenjena ocjenom 1 do 6 (debljina veća od 30 m - 6; 15 do 30 m - 5; 10 do 15 m - 3; 3 do 10 m - 2 i manje od 3 m - 1).

## 2. Dubina do podzemne vode

Što je dubina do podzemne vode veća, manja je mogućnost zagađenja. Lokacije su bodovane ocjenom 1 do 6, s time da veća dubina zaslužuje višu ocjenu (dubina veća od 10 m - 6; dubina 3 do 10 m - 3 i dubina manja od 3 m - 1).

## 3. Koeficijent hidrauličke provodljivosti vodonosnika

Koeficijent hidrauličke provodljivosti predstavlja filtracijske značajke toka, a ovisi o karakteristikama stijene i fluida. Što je koeficijent hidrauličke provodljivosti veći, veća je i brzina i daljina širenja eventualnog zagađenja. Obzirom na ovaj parametar lokacije su ocjenjivane ocjenama od 1 do 6 (K reda veličine 0,0001 cm/s i manje - 6; K reda veličine 0,001 cm/s - 5; K reda veličine 0,01 cm/s - 3; K reda veličine 0,1 cm/s i više - 1).

## 4. Postojanje crpilišta u krugu polumjera 10 km oko lokacije

Evidentno je da postojanje crpilišta javnog vodovoda u zoni utjecaja radijusa 10 km opisanog oko potencijalne lokacije degradira karakteristike lokacije sa sigurnosnog ali i psihološkog aspekta. Pri tome je važno da li se crpilište nalazi »nizvodno« ili »uzvodno« od nuklearne elektrane. S obzirom na položaj crpilišta lokacije su ocjenjivane ocjenama 1 do 6 (crpilišta nema (n) - ocjena 6; crpilište se

nalazi uzvodno od lokacije (UZ) - ocjena 3 i crpilište se nalazi nizvodno od lokacije (NIZ) - ocjena 1).

## 5. Izdašnost crpilišta

Pod izdašnosti crpilišta misli se na sadašnju količinu eksploatacije ili na projektirani eksploatacijski kapacitet. U svakom slučaju ovaj parametar definira važnost crpilišta što je obrnuto proporcionalno s podobnošću lokacije za izgradnju nuklearne elektrane. S obzirom na to lokacije su ocjenjivane ocjenama 1 do 6 (izdašnost 0, tj. nema crpilišta u krugu od 10 km - ocjena 6; izdašnost manja od 10 l/s - ocjena 5; izdašnost 10 do 30 l/s - ocjena 3 i izdašnost veća od 30 l/s - ocjena 1). Ukupni težinski faktor hidrogeološkog kriterija u odnosu na sve druge kriterije iznosio je 6,3 % i raspoređen je po pojedinim parametrima (tablica 1.).

## Inženjerskogeološki kriterij

U okviru inženjerskogeološkog kriterija korištena su tri elementa vrednovanja (parametra) (tablica 2.).

### 1. Tip stijene dominantan u građi terena

Kao povoljnije ocijenjene su lokacije izgrađene od samo jedne vrste stijena. Pošto su u ranijim fazama rada eliminirane lokacije izrazito heterogenog litološkog sastava, preostale lokacije u slivu Save nalaze se na terenu pretežno izgrađenom samo od pijesaka, šljunaka, prašina ili glina, a ocijenjene su ocjenama 3 i 4.

### 2. Inženjerskogeološka klasifikacija stijena

Prema osnovnoj inženjerskogeološkoj klasifikaciji stijene koje prevladavaju na lokacijama podijeljene

Tablica 2  
Table 2

INŽENJERSKA GEOLOGIJA - ENGINEERING GEOLOGY

BROJ MIKROLOKACIJA NUMBER OF MICROLOCATION	PRIBLIŽNA LOKACIJA APPROXIMATE LOCATION	PARAMETAR - PARAMETER									OCJENA PARAMETRA EVALUATION OF PARAMETER			
		1			2			3			4.4%			
		DOMINANTAN TIP STIJENE DOMINANT TYPE OF ROCK			INŽENJERSKO-GEOLOŠKA KLASIFIKACIJA STIJENA ENGINEERING GEOLOGICAL CLASSIFICATION OF ROCKS			LIKVEFAKCIJA LIQUEFACTION						
		LAPOR MARL	PUESAK I ŠLJUNAK SAND AND GRAVEL	PRAH I GLINA SILT AND CLAY	VEZANE STIJENE ROCK SOIL	POLUVEZANE STIJENE COHESIVE SOIL	NEVEZANE STIJENE NONCOHESIVE SOIL	NEIZRAŽENA PODLOŽNOST UNFAVOURABLE	MANJE IZRAŽENA PODLOŽNOST RESTRICTED FAVOURABLE	IZRAŽENA PODLOŽNOST FAVOURABLE	0.7%	0.7%	3.0%	
									1	2	3			
6	Oborovo		+	+								3	3	4
7	Trebarjevo		+	+								3	3	3
8	5,5 km I od Blinjskog Kuta 5,5 km E from Blinjski Kut		+	+								3	3	4
9	5,5 km SI od Dubice 5,5 km NE from Dubica		+	+								3	3	4
10	7 km I od Okučana 7 km E from Okučani		+	+								3	3	3
11	12 km J od N.Gradiška 12 km S from N.Gradiška		+	+								3	3	2
12	10,5 km JI od N.Gradiška 10,5 km SE from N.Gradiška		+	+								3	3	3
13	Slavonski Kobaš		+	+								3	3	4
14	10 km I od Sl. Kobaš 10 km E from Sl. Kobaš		+	+								3	3	3
15	13,5 km I od Sl. Kobaš 13,5 km E from Sl. Kobas		+	+								3	3	2
16	Trnjanski Kut		+	+								4	4	3
17	9 km JI od D. Andrijevac 9 km SE from D. Andrijevi		+	+								4	3	3
18	Sikirevci		+	+								3	3	3
19	5 km I od Soljana 5 km E from Soljani		+	+								3	3	2
20	8,5 km JI od Soljana 8,5 km SE from Soljani		+	+								3	3	2

Tablica 3  
Table 3

TABELA VREDNOVANJA - TABLE OF VALUATION

BROJ MIKROLOKACIJE NUMBER OF MICROLOCATION	PRIBLIŽNA LOKACIJA APPROXIMATE LOCATION	HIDROGEOLOGIJA TEŽ. FAKTOR HYDROGEOLOGY LOAD FACTOR 6.3%					INŽENJERSKA GEOLO. TEŽ. FAKTOR ENGINEERING GEOLOGY LOAD FACTOR 4.4%			UKUPNI TEŽINSKI FAKTOR TOTAL LOAD FACTOR 6.3% x 4.4% = 10.7%			IZABRANE LOKACIJE CHOSEN LOCATIONS		
		VRIJEDNOST PARAMETRA VALUE OF PARAMETER					VRIJEDNOST PARA- METRA-VALUE OF PARAMETER			SREDNJA OCJENA AVERAGE GRADE				UKUPNA SREDNJA OCJENA LOKACIJE TOTAL AVERAGE GRADE OF LOCATION	
		1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3			
		2%	1.5%	1%	1%	0.8%	0.7%	0.7%	3%	HIGROGEOLOGIJA HYDROGEOLOGY SREDNJA OCJENA X 6.3 AV. GRADE X 6.3	INŽENJERSKA GEOLOGIJA SREDNJA OCJENA X 4.4 AV. GRADE X 4.4	H + IG 10.7			
6	Oborovo	4	4,5	6	1	4	3,1	2,1	2,1	12	3,7	19,5	16,3	3,3	
7	Trebarjevo	4	1,5	6	6	4,8	3,5	2,1	2,1	9	3,0	22,1	13,2	3,3	
8	5,5 km I od Blinjskog Kuta 5,5 km E from Blinjski Kut	6	4,5	6	6	4,8	4,3	2,1	2,1	12	3,7	27,1	16,3	4,1	+
9	5,5 km SI od Dubice 5,5 km NE from Dubica	4	4,5	1	1	0,8	1,8	2,1	2,1	12	3,7	11,3	16,3	2,6	
10	7 km I od Okučana 7 km E from Okučani	10	4,5	3	1	4	3,6	2,1	2,1	9	3,0	22,7	13,2	3,4	
11	12 km J od N.Gradiška 12 km S from N. Gradiška	10	9	3	1	4	4,3	2,1	2,1	6	2,3	27,1	10,1	3,5	
12	10,5 km JI od N.Gradiška 10,5 km SE from N. Gradiška	10	9	3	1	4	4,3	2,1	2,1	9	3,0	27,1	13,2	3,8	+
13	Slavonski Kobaš	12	4,5	5	1	4	4,2	2,1	2,1	12	3,7	26,5	16,3	4,0	
14	10 km I od Sl. Kobaš 10 km E from Sl. Kobaš	6	4,5	5	1	4	3,3	2,1	2,1	9	3,0	20,8	13,2	3,2	
15	13,5 km I od Sl. Kobaš 13,5 km E from Sl. Kobaš	6	4,5	5	1	4	3,3	2,1	2,1	6	2,3	20,8	10,1	2,9	
16	Trnjanski Kut	12	1,5	6	1	4	3,9	2,8	2,8	9	3,3	24,6	14,5	3,7	+
17	9 km JI od D. Andrijevac 9 km SE from D. Andrijevac	4	1,5	5	3	2,4	2,5	2,8	2,1	9	3,2	15,8	14,1	2,8	
18	Sikirevci	4	1,5	1	1	0,8	1,3	2,1	2,1	9	3,0	8,2	13,2	2,0	
19	5 km I od Soljana 5 km E from Soljani	4	4,5	1	1	4	2,3	2,1	2,1	6	2,3	14,5	10,1	2,3	
20	8,5 km JI od Soljana 8,5 km SE from Soljani	4	4,5	1	3	4	2,6	2,1	2,1	6	2,3	16,4	10,1	2,5	

NAPOMENA: VRIJEDNOST PARAMETRA = OCJENA PARAMETRA X TEŽ. FAKTOR  
 SREDNJA OCJENA - SUMA VRIJED. PARAMETRA / TEŽ. FAKTOR  
 REMARK: VALUE OF PARAMETER = GRADE OF PARAMETER x LOAD FACTOR  
 AVERAGE GRADE - TOTAL VALUE OF PARAMETER / TOTAL LOAD FACTOR

su u tri skupine. To su vezane (čvrste) stijene, poluvezane (koherentne) stijene i nevezane (inkoherentne) stijene. Vezane stijene, ovisno o njihovom stanju ocijenjene su ocjenama 5 ili 6, poluvezane ocjenama 1 ili 2 i nevezane ocjenama 3 ili 4.

### 3. Procjena mogućnosti pojave likvefakcije

Likvefakcija je posebno obrađena kao parametar koji utječe na sigurnost objekta. To je pojava kod koje nevezane taložine određenog granulometrijskog sastava zasićene vodom djelomice ili potpuno izgube čvrstoću. Stijene nesklone likvefakciji ocijenjene su ocjenama 5 ili 6, stijene kod kojih je ta sklonost relativno slabo izražena ocijenjene su ocjenom 3 ili 4, a stijene koje su podložne likvefakciji ocijenjene su ocjenom 1 ili 2.

Težinski faktor inženjerskogeološkog kriterija u odnosu na sve druge kriterije iznosi 4,4 %, a raspoređen je na pojedini parametar ovisno o njegovoj važnosti (tablica 2.).

Vrednovanje lokacija s obzirom na hidrogeološki i inženjerskogeološki kriterij, te odgovarajuće težinske faktore prikazano je u tablici 3.

### Zaključak

Pri izradi prostorno planerskih podloga za ocjenu podobnosti mogućih lokacija za izgradnju nuklearnih elektrana na području Republike Hrvatske korišteni su, između ostalih, i hidrogeološki i inženjerskogeološki kriteriji. Nakon što su primjenom eliminacijskih kriterija eliminirani dijelovi područja na kojima izgradnja nuklearnih elektrana ne dolazi u obzir, korištenjem poredbenih kriterija, težinskih faktora i višekriterijske analize na cijelom prostoru Hrvatske izdvojeno je 36 potencijalnih lokacija. Od toga 15 lokacija nalazi su u slivu Save. U ovom radu na primjeru tih 15 lokacija prikazan je način vrednovanja s obzirom na njihove hidrogeološke i inženjerskogeološke značajke. Rezultati primjene hidrogeološkog i inženjerskogeološkog kriterija pokazali su da su tri najpovoljnije lokacije:

1. lokacija br. 8 (5,5 km istočno od Blinjskog Kuta);
2. lokacija br. 12 (10,5 km jugoistočno od Nove Gradiške);

### 3. lokacija br. 16 (Trnjanski Kut).

Izdvojene lokacije najpovoljnije su *samo* s obzirom na hidrogeološke i inženjerskogeološke karakteristike. Tek primjenom *svih* relevantnih kriterija i objektivnom višekriterijskom analizom izdvojiti će se nekoliko stvarno najprihvatljivijih lokacija, koje će ući u Prostorni plan Republike Hrvatske.

Na tim lokacijama provest će se detaljna, višedisciplinarna istraživanja čiji će rezultati omogućiti konačni izbor lokacije (ili nekoliko lokacija) na kojima se može izgraditi nuklearna elektrana s najmanje negativnih posljedica po okolicu.

Primljeno: 4. IV. 1991.

Prihvaćeno: 25. VI. 1991.

### LITERATURA

- Mayer, D. (1980): Mogućnost zagađivanja vodonosnih slojeva kao posljedica hidrodinamičkih značajki na području užeg porječja Save u SR Hrvatskoj. Doktoraska disertacija, RGN fakultet, IV+151, Zagreb.
- Mayer, D. (1990): Sigurnost i prihvatljivost uže lokacije, Geologija i seizmologija-Hidrogeologija. U: Studija Prostorno planerske podloge, istraživanja i ocjena podobnosti lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte na prostoru SR Hrvatske, 35, Urbanistički institut SR Hrvatske, Zagreb.
- Mayer, D. & Velić, J. (1987): Prostorno planiranje s obzirom na ugroženost kvalitete podzemnih voda doline Save u SR Hrvatskoj. Zbornik referata, Savjetovanje »Rijeka Sava« zaštitita i korištenje voda«, JAZU, 516-521, Zagreb.
- Velić, J. (1990): Sigurnost objekta, Geologija i seizmologija, Inženjerska geologija. U: Studija Prostorno planerske podloge istraživanja i ocjena podobnosti lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte na prostoru SR Hrvatske, 32, Urbanistički institut SR Hrvatske, Zagreb.
- Villi, M. (1991): Nuklearne elektrane, U: Kriteriji za izbor lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte, 32-50, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb.
- IAEA (1968): Management of Radioactive Wastes at Nuclear Power Plants, VII-225, International Atomic Energy, Vienna.
- IAEA (1978): Training Course in Siting for Nuclear Power Plants, General Reference Material, Regulatory Guide 1.70-3.47, Aragon.
- U. S. NRC (1981): Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants, 2.5-5.12, Washington D. C.

## Hydrogeological and Engineering-geological Criteria for the Selection of Nuclear Power Plant Location Case of the Sava River Basin in Croatia

D. Mayer, J. Velić, and S. Lenartić

- elimination criteria, according to which a desirable condition either is or is not attained, i. e. the location is satisfying or it is not;
- comparative criteria, according to which the acceptability of some location is evaluated in comparison with other locations.

Criteria for the selection of nuclear power plant location present a set of rules for the selection among alternative solutions and they are usually formulated in a form of requirement to attain some aim (IAEA, 1978). The objectives are defined as ideal, i. e. desirable conditions, and if such desirable conditions cannot be attained, a criterion has to define the degrees of acceptability. Thus two categories of criteria are applied:

Hydrogeological and engineering-geological criteria are used in all phases of location selection. They are applied both in the category of elimination criteria and in the category of comparative criteria. The areas, where nuclear power plants cannot be located from the hydrogeological point of view, are separated in the category of elimination criteria. In these areas the groundwater

dynamics is under the influence of pumping on well-fields of the public water supply. The areas with unconfined aquifers and river basin zones of karst wells are singled out as well. In the category of comparative criteria, the data on the depth of overlying cover, the depth to groundwater, the values of coefficients of aquifer hydraulic conductivity, the existence of well-field in the circle of 10 km radius around the potential location and on the capacity of these well-fields were compared. As a comparative criteria, from engineering-geological characteristics, the data on the dominant rock type on the location area were used, as well as the engineering-geological classification of rocks and liquefaction susceptibility. On the basis of the discussed criteria, in the Sava river basin as the most appropriate locations the locations No. 8, No. 12 and No. 16 were selected. (Fig. 1.). The chosen locations are most appropriate considering only hydrogeological and engineering-geological criteria. The really most appropriate advantageous locations which will be included into the Spatial Plan of the Republic Croatia will not be selected until all other criteria (13 elimination and 22 comparative criteria) and an objective multi-criterion analysis are applied.