

Temeljne značajke hidrauličkog modela geotermijskog ležišta Velika Ciglena

S. Čubrić

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Veliki potencijal geotermijskog ležišta Velika Ciglena već 20 godina stoji neiskorišten. Pri razmatranju prognoznih pokazatelja, s priličnim povjerenjem se gleda na mogući prиток 7 200 m³/d (170 °C, 28 bara). Projektanti su u tom pogledu uvjerljivi, jer je put fluida kroz bušotinu jasan, poznat. Međutim, za vijek iskorištavanja s konstantnom temperaturom (20-24 godine), ne mogu biti dovoljno uvjerljivi, jer put fluida od utisne do proizvodne bušotine nije lako dokazati. Prikazan je tijek prikupljanja spoznaja o svojstvima ležišta, na temelju kojih je stvoren hidraulički model ležišta. Istaknuta je uloga hlađenja super propusnih pukotinskih zona s izgubljenim bušačim fluidom. Te zone su zapravo reverzni rasjedi. Identificirane su mjerenjem temperature nakon bušenja i testova injektiranja. Ta mjerenja, zajedno s podacima karotaže, seizmike i testa interferencije, poslužila su za stvaranje hidrauličkog modela ležišta. U radu je prodiskutirano o pouzdanosti tog modela. Razmotrene su mogućnosti povećanja pouzdanosti hidrauličkog modela.

Ključne riječi: pukotinsko geotermijsko ležište, učinak hlađenja, test interferencije, hidraulički model

1. Uvod

Cilj je rada ukazati na dileme pri vrednovanju geotermijskog ležišta Velika Ciglena. Jedna od najvećih dilema je hidrogeološki (hidraulički) model ležišta. Skoro 20 godina odgađa se donošenje investicijske odluke o privođenju iskorištavanju, uglavnom zbog ove dileme, iako to nije nigdje zapisano.

Ležište je otkriveno 1990. godine bušotinom VC-1 u okviru istraživanja na naftu, koja je provodio INA-Naftaplin. Nafta nije nađena, ali je nađen obećavajući geotermijski potencijal. Kada je nabušena podloga tercijara, tj. karbonatne breče, ugrađena je tehnička kolona 244,5 mm na dubinu 2 574,4 m. Na dubini 2 585 m registrirana je neobično visoka temperatura (172 °C), gdje su zabilježeni prvi totalni gubitci cirkulacije. Daljnje bušenje kroz trijaski karbonatni kompleks (do 3 835 m), vođeno je uz totalne gubitke cirkulacije. Samo je dio kanala bušotine rađen uz cirkulaciju, smjesom voda-dušik. Na taj način uspjelo je dobiti nešto krhotina ležišnih stijena. Na dubini 3 200 m došlo je do kraće erupcije vruće vode i CO₂. Karotažom je identificirano mnogo pukotinskih zona. Dvije od njih, na dubinama 3 210 - 3 220 m i 3 590 - 3 630 m, progutale su najveći dio bušačeg radnog fluida, o čemu svjedoče temperaturna mjerenja^{1,2} (Sl. 1.). Kasnije su ove zone interpretirane, kao presjecišta kanala bušotine s reverznim rasjedima. Interesantna je i temperaturna anomalija u samoj podini trijaskog karbonatnog kompleksa, na dubini 3 821 - 3 831 m. Na tom intervalu promjer kanala, veći je od 26 in. (66,04 cm).

Kada je kanal bušotine prošao pukotinski, trijaski kompleks, ugrađen je liner promjera 177,8 mm na dubinu 4 043 m. Liner je cementiran samo u donjem dijelu, kako bi se izbjegli gubitci cementa u super propusne zone. Zatim je bušenje nastavljeno kroz nepropusne ili slabo propusne karbonatne naslage permske starosti. Na dubini 4 790 m, bušenje je obustav-

ljeno zbog loma bušačih šipki. Bušotina nije ispunila očekivanja (zadatak), ležište nafte nije otkriveno. Međutim otkriven je vrlo interesantan geotermijski potencijal u trijaskim pukotinskim dolomitima.

U cilju provjere tog potencijala, a i u cilju buduće eksploatacije, autor ovog rada predložio je izradu geotermijske bušotine.

Prijedlog se temeljio na sljedećim činjenicama:

- registriran je najveći geotermijski gradijent u Panonskom bazenu (veći od 0,625 9 °C/m) i gotovo jednaka temperatura po cijeloj debljini trijaskog karbonatnog kompleksa, što svjedoči o intenzivnoj konvekciji kroz cijeli splet pukotina;
- intenzivna konvekcija odvija se samo u debelim ležištima visoke vertikalne propusnosti;
- o visokoj propusnosti svjedoče temperaturna mjerenja, koja su indicirala super propusne zone, u koje je izgubljeno 13 614 m³ isplake, te 24 621 m³ tehnološke vode;
- povoljna je činjenica, što su najpropusnije zone smještene u dubljem dijelu, što će, uz djelovanje gravitacije, sprječavati brze prodore reinjektirane vode u proizvodnu bušotinu, koja će raskriti samo vršni dio ležišta.

Uprava INA-Naftaplina, prihvatila je prijedlog, dijelom i zbog toga, što bušača garnitura nije dobila novu lokaciju (kriza istraživačkog programa za naftu).

Međutim, pri projektiranju trajektorije kanala nove bušotine, pojavilo se neugodno iznenađenje. Prikazana geološka građa geotermijskog ležišta imala je vrlo nepovoljan oblik: tektonsko uzdignuće, male površine i veliki skokovi normalnih rasjeda, koji su ga okruživali. Kako se ne bi dogodilo, da kanal promaši trijasko ležišne naslage, odabran je vrlo ograničen otklon kanala nove bušotine VC-1a. U krovini geotermijskog ležišta,

horizontalni razmak među kanalima dvije bušotine iznosi oko 560 m. Horizontalni razmak od dna VC-1a do vertikalnog kanala VC-1 iznosi 701 m. Za ovakve, visoko propusne naslage, čak i u slučaju zavodnjavanja naftnih ležišta, ovi razmaci su premali.

Ipak je bušotina VC-1a ostvarila vrlo dobre rezultate. Potvrdila je očekivanja o visokoj produktivnosti i, što je još važnije, pokazala, da je volumen geotermijskog ležišta znatno veći, nego je izgledalo u vrijeme njenog lociranja. Naime, ona je presjekla reverzni rasjed, koji povećava debljinu ležišta i ne predstavlja barijeru. Pokazalo se, da su zone reverznih rasjeda najpropusniji dijelovi ležišta. U bušotini VC-1a, to je potvrđeno temperaturnim skokom na dubini 2 550 m (vert.) tijekom proizvodnog testa. Bušotina VC-1a raskrila je trijaski karbonatni kompleks na kosom intervalu 2 569-2 956 m ili na vertikalnoj dubini 2 462-2 787 m. Ova zona zaštićena je slotiranim linerom promjera 177,8 mm.

Provedena su brojna ispitivanja odmah nakon završetka bušenja, tj. tijekom veljače i ožujka 1991. godine:

- test interferencije, pri čemu je VC-1a služila kao aktivna, dok je VC-1 bila opservacijska; utvrđena je vrlo brza hidraulička veza među bušotinama, a također ograničenost ležišta;
- testovi izdašnosti bušotine VC-1a; iz tehničkih razloga nije se mogla ostvariti optimalna izdašnost; maksimalni (kratkovremeni) prtok je bio 4 770 m³/d, pri tom je tlak ušća bio 35 bara, a temperatura 152 °C;
- ekstrapolacijom izmjerenih neustaljenih vrijednosti temperature u semi-log dijagramu (tipa Horner) procijenjena je statička temperatura od 175 °C (kasnije izmjerena čak i nešto veća);
- temperaturna mjerenja radi utvrđivanja zona primanja i davanja;
- testovi injektivnosti i produktivnosti; indeksi proizvodnosti i injektivnosti su vrlo visoki (depresije i represije jedva zamjetne);
- utvrđene su količine u vodi otopljenih plinova (27 m³/m³, CO₂ s tragovima CH₄ i H₂S); kao i minerala (26 644 mg/l);
- ispitana je tendencija odlaganja kamenca, pri čemu je utvrđeno, da se pri tlaku nižem od 20 bara kamenac intenzivno odlaže, a pri tlaku 20-28 bara potrebna je upotreba inhibitora;
- ispitana su i korozivna svojstva geotermalnog fluida,
- ispitana je radioaktivnost geotermalnog fluida, te je utvrđeno da nema opasnosti za okoliš.

Tijekom Domovinskog rata bušotine su bile začepljene cementnim mostovima. U to vrijeme izrađeno je nekoliko znanstveno-stručnih radova, u kojima je analiziran utjecaj pojedinih ležišnih i bušotinskih parametara na moguću eksploataciju ovog ležišta. Pri tome su korišteni vrlo pojednostavljeni hidraulički modeli ležišta, jer još nije bila dovršena geološko-geofizička reinterpretacija. U jednom od najvrijednijih radova iz tog vremena¹, diplomand Z. Buza, pod vodstvom prof. M. Zelića, izradio je kompjutorski program protjecanja kroz proizvodnu bušotinu VC-1a. Rezultat rada je, da će

bušotina VC-1a moći davati 10⁴ m³/d vode temperature 172 °C uz tlak na ušću 26 bara.

Razmatrana je, i metodologija izračunavanja promjena temperature ležišta.² Do tada se u nas, za izračunavanja koristilo analitičko rješenje, pri čemu se uzimala u obzir samo fiksna utisno-drenažna površina u homogenoj sredini. To je ona površina koju obuhvaća utiskivani fluid u trenutku svog prvog prodora (breakthrough) u proizvodnu bušotinu. Iz naftnog ležišnog inženjerstva, poznato je, da se u daljnjem istiskivanju ta površina povećava. To doprinosi realnijem (sporijem) padu udjela nafte u proizvodnji. Kod geotermijskih ležišta, to doprinosi realnijem (sporijem) padu temperature na izlazu iz ležišta. U geotermijskoj literaturi pitanje prirasta utisno-drenažne površine (uključivo heterogenu sredinu), poznato je kao Gringarten-Sauty metoda.⁶ Istini za volju, valja istaknuti, da je ta metoda prvobitno kreirana u naftnom ležišnom inženjerstvu.⁷ Izračunavanja po metodi Gringarten-Sauty provedena su (za hipotetsko ležište) u odličnom diplomskom radu.⁵ Na žalost, nema naznaka, da je primijenjena ikad više u Hrvatskoj. Sve je rješavano na temelju fiksnih drenažnih površina.

Uprava INA-Naftaplina je 1994. prihvatila prijedlog da islandska firma Virkir-Orkint izradi Pre-Feasibility Report (na osnovu naših podataka i sugestija) o isplativosti kombinirane proizvodnje topline i električne energije na hrvatskim poljima Lunjkovec-Kutnjak i Velika Ciglena. Za tu svrhu, Služba istraživanja INA-Naftaplina (S. Kolbah) izradila je strukturno-tektonsko rješenje Velike Ciglene, iz kojeg je potekao protočni model, pod nazivom Z-model. Izvještaj¹¹ je predan u svibnju 1995. Prije razmatranja Z-modela, recimo ukratko, da je izvještaj¹¹ pokazao vrlo dobre ekonomske rezultate pod pretpostavkama:

- da će biti dopušteno trajno ispuštanje CO₂ u atmosferu (reinjektira se samo voda), te da je Z-model zaista realističan.

Ni jedno ni drugo nije bilo lako dokazati. Ideja o Velikoj Cigleni odložena je za bolja vremena. Ipak su 1996., izvršena nova ispitivanja, praktički u istom opsegu kao 1991. Novost je bila u tome, da se počelo razmišljati o termosifonskom načinu reinjektiranja smjese vode i CO₂ (bez pumpi i kompresora). Takav način se primjenjuje na geotermijskom sustavu sportskog parka Mladost u Zagrebu od 1993. godine.⁷ Programiranje parametara termosifona, u tom je slučaju bilo relativno jednostavno, jer se radi o jednofaznom fluidu. U slučaju Velike Ciglene (dvofazni fluid), programiranje je znatno složenije, ali je uspješno riješeno.¹⁰ Na žalost, ova korisna ideja za Veliku Ciglenu nije iskorištena.

2. Razvoj spoznaja o Z-modelu

Posljednje strukturno-tektonsko rješenje geotermijskog ležišta Velika Ciglena⁴, prikazano je shematski na karti (sl. 2.), te na uzdužnom profilu (sl. 3.). Prva verzija je napravljena, kao podloga studiji Virkir-Orkinta, 1994. godine. Bio je tada prikazan vrlo sličan raspored rasjeda, jedino su bile drugačije udaljenosti među njima. Na novije rješenje utjecala su dodatna seizmička mjerenja, te rezultati izrade dviju istražnih (negativnih) bušotina

na naftu (VC-2, Ptk-1). Te dvije bušotine raskrile su samo mali dio debljine geotermijskog ležišta. Posredno, na temelju visoke temperature, te gubitaka cirkulacije bušačeg fluida, očito je, da je nabušeno geotermijsko ležište dobrih protočnih svojstava. U opisu geološke građe⁴ naglašava se, da su normalni rasjedi vjerojatno barijere. Zbog toga, nove bušotine vjerojatno nisu u hidrauličkoj vezi s bušotinama VC-1 i VC-1a. Takav zaključak moguće je izvesti i na temelju gore spomenutog testa interferencije.

Test interferencije izveden je u veljači 1991., između bušotina VC-1 kao opservacijske i VC-1a kao aktivne. Tijekom testa, opservacijski manometar nalazio se daleko iznad ležišta, na dubini 1 800 m (5 905,5 ft), zbog temperaturnih ograničenja. To je nepovoljno utjecalo na pouzdanost rezultata, dobivenih analizom testa. Ponovljeni test 1996. dao je gotovo iste rezultate kao i onaj iz 1991.

Na sl. 4 prikazane su promjene tlaka u opservacijskoj bušotini, a u tablici 1. slijed aktivnosti tijekom testa 1991.

Test je izveden uz ozbiljna tehnička ograničenja. Već je spomenut neadekvatan položaj manometra. Najveći problem predstavljao je mali obujam isplačne jame u koju se odlagala pridobivena geotermijska voda. Zbog toga je prtok bio ograničen na 1 220 m³/d, što je daleko ispod potencijala bušotine.

Na kraju perioda pritoka bili su sljedeći pokazatelji:

- prtok vode 1 220 m³/d (7 673 bbl/d)
- temperatura na ušću 147 °C (296,6 °F),
- tlak na ušću 26 bar (377 psi).

Odziv tlaka u opservacijskoj bušotini bio je vrlo brz, možda samo 1 sekunda. To bi moglo upućivati na postojanje jedne naročito super propusne pukotinske zone, koju su presjekla oba bušotinska kanala, a koja bi mogla prouzročiti brz prodor injektirane vode. Takvu opasnost bitno umanjuje naprijed spomenuti gravitacijski efekt, koji će se iskoristiti u strategiji injektiranja. Naravno taj efekt će biti tim povoljniji, što je niža temperatura utiskivane vode. Pored toga, u opisu geološke građe⁴, nema naznaka o takvoj opasnosti. Tijekom mjerenja porasta tlaka (obje bušotine zatvorene) došlo je do naglog pada uslijed potresa, koji je registriran u Seizmološkom zavodu. Epicentar je bio pod planinom Bilogora (udaljen 15 km). Nakon toga, tlak je nastavio rast, čini se usporeno. Nažalost, dublje analize vezane uz potres nisu obavljene, ali čini se kao da je povećan šupljikavi obujam.

Iz analize promjena tlaka moguće je suditi o tipu šupljikavosti kolektorskih stijena. Kao što je poznato, pukotinski sustav karakteriziran je s dva parametra, koeficijentom međušupljikavog protjecanja (λ) i omjerom pohranjivosti (ω). U ovom slučaju vrijednosti tih parametara izrazito su male ($\lambda=0,008$; $\omega=1,94 E+8$), što znači da je udjel matriksa u protjecanju zanemariv. Dakle protjecanje se odvija jedino po pukotinama.

Tablica 1. Slijed aktivnosti u testu interferencije

Točke	Aktivnost	Primjedba
1 - 2	Obje bušotine zatvorene poslije kratkog testa pritoka i injektiranja	Tlak u opservacionoj bušotini nastavlja blagi pad (prije stabilizacije)
2 - 3	Period pada tlaka 92,9 sata; VC-1a proizvodila 50 m ³ /h	Na kraju perioda: na ušću VC-1a; $p=26$ bar; $T=147$ °C
3 - 4	VC-1a zatvorena; period porasta tlaka; zabilježen potres	Potres (oko 3-4 stupnja po Richteru), epicentar pod planinom Bilogorom, udaljenost 15 km;
E do 4	Nastavak perioda porasta tlaka	Tlak raste sporije od očekivanog
4 do 5	Injektiranje u VC-1a	Obrok 120 m ³ /h, na ušću $p=0$
5 do 6	Obje bušotine zatvorene	Registrira se pad tlaka
7	VC-1a otvorena za proizvodni test	Proizvodni obrok 240 m ³ /h

Tablica 2. Svojstva ležišta i fluida za analizu testa interferencije

Svojstvo	Simbol	Vrijednost	Jedinica
Početni ležišni tlak na 3 130 m (težište ležišta)	P_i	301,8	bar
Početna ležišna temperatura na 3 130 m (težište)	T_i	175,8	°C
Plin otopljen u vodi, pri p_i, T_i	R_{sw}	27	m ³ /m ³
Mineralizacija vode		26 600	mg/l
Obujamski faktor vode, pri p_i, T_i	B_{wL}	1,0909	
Kompresibilnost vode, pri p_i, T_i	c_v	1,354 E-4	bar ⁻¹
Kompresibilnost ležišnih stijena, pri p_i, T_i	c_f	5,7 E-5	bar ⁻¹
Ukupna kompresibilnost ležišta, pri p_i, T_i	c_t	1,924 E-4	bar ⁻¹
Šupljikavost, pri p_i, T_i	φ	0,16	
Viskoznost vode, pri p_i, T_i	μ_w	0,18	mPa·s

Tablica 3. Obujam ležišne vode po jednadžbi materijalnog balansa

Količina vode dobivene tijekom testa	V_{wp}	4 722	m^3
Pad ležišnog tlaka (181,783 bar na 181,557 bar)	Δp_r	0,226	bar
Ukupna kompresibilnost ležišta	c_t	1,93 E-4	bar^{-1}
Obujamski faktor vode	B_w	1,090 9	
Obujam ležišne vode (povezan s bušotinama)	V_{rw}	118,477 500	$10^6 m^3$

Obujam ležišne vode, koji je reagirao na promjene tlaka u testu interferencije, procijenjen je na temelju slijedeće jednadžbe (materijalni balans):

$$V_{vr} = \frac{V_{vp} \cdot B_w}{\Delta p_r \cdot c_t}$$

Potrebni podaci i rezultat izračuna, prikazani su u tablici 3.

Ovaj rezultat treba usporediti s rezultatima volumetrijskog izračuna⁴. Ležište tvore sljedeće hidraulički povezane propusne zone.

- podinska propusna zona (PPZ) s obujmom ležišta $60 \times 10^6 m^3$, te obujmom ležišnog fluida $7 \times 10^6 m^3$;
- rasjedna propusna zona-1 (RPZ-1) s obujmom ležišta $7 \times 10^6 m^3$, te obujmom ležišnog fluida $2 \times 10^6 m^3$;
- krovinska propusna zona, bloka 1 (KPZ-1) s obujmom ležišta $210 \times 10^6 m^3$, te obujmom ležišnog fluida $34 \times 10^6 m^3$; prema karotaži efektivna debljina zone je 174 m, na dubini od 2 585 do 2 940 m;
- krovinska propusna zona, bloka 2 (KPZ-2) s obujmom ležišta $84 \times 10^6 m^3$, te obujmom ležišnog fluida $14 \times 10^6 m^3$;
- rasjedna propusna zona-2 (RPZ-2) s obujmom ležišta $37 \times 10^6 m^3$, te obujmom ležišnog fluida $4 \times 10^6 m^3$;

Ukupno u svim zonama, obujam ležišta je $398 \times 10^6 m^3$, a obujam ležišnog fluida $61 \times 10^6 m^3$.

U volumetrijskoj metodi, najvjerojatnije je podcijenjen obujam bloka 2. To znači, da bi u eventualnoj eksploataciji bilo moguće (opravdano) iz kanala VC-1a izraditi novi kanal s većim otklonom (u blok 2), u cilju produženja vijeka konstantne izlazne temperature.

Kada bi postojala hidrodinamička veza s blokom u kojem su bušotine VC-2 i Ptk-1, test interferencije bi pokazao znatno veći obujam. Dakle, kao ležište u eksploatacijskom smislu, pravilno je tretirati samo obujam, koji komunicira s ispitanim bušotinama.

Glavno pitanje razrade ležišta je što pouzdanije prognozirati put injektiranog (ohlađenog) fluida. U tu svrhu pokušalo se stvoriti logičan hidrogeološki model. On se temeljio na ranije spomenutim temperaturnim mjerenjima, testu interferencije, petrofizikalnim analizama i strukturno-tektonskom rješenju. Valja imati u vidu, da je pri testu injektivnosti 1991., liner bio perforiran na interval 3 585 - 3 596 m, tj. nasuprot PPZ. Injektirani fluid, većim je dijelom ulazio u PPZ, ali se iza linera dizao i do RPZ-1. Važno je da se nije, iza linera probijao u intervale KPZ. Godine 1996. razmatrala se opasnost proboja injektiranog fluida iza linera u sam vrh KPZ-1, tj. u prvu zonu totalnih gubitaka. U svrhu

priprema izolacije dijela prstenastog prostora iza linera, napravljene su perforacije na intervalima 2 680 - 2 686 m i 2 780 - 2 786 m. Srećom, izolacijski radovi nisu provedeni, jer bi bilo više štete, nego koristi. Nekoliko mjeseci nakon perforiranja, ponovljen je test injektivnosti koji je opet pokazao da primaju samo PPZ i RPZ-1. Nove perforacije ipak mogu biti korisne. Preusmjeravat će dio silaznog toka injektiranog fluida kroz prstenasti prostor (iza linera), te na taj način smanjivati pad tlaka uslijed trenja. Razlog što KPZ nije primala, prije svega leži u razlici gustoća. I u eventualnoj eksploataciji bit će znatna razlika gustoća. Gustoća fluida u ležištu je $934 kg/m^3$, a injektiranog fluida nasuprot ležišta oko $1 000 kg/m^3$ (voda s otopljenim CO_2 , kod $80^\circ C$). Zbog toga će represija rasti od vršnog dijela prema dubljim intervalima. S time će rasti i injektivnost.

Očekivani put injektiranog fluida bio bi slijedeći:

- po PPZ naniže do spoja s RPZ-1, a po njoj na više do KPZ-1; dalje po KPZ-1 širokim čelom (frontom) širine 1 350 m do reverznog rasjeda RPZ-2. Zatim se gibanje nastavlja uzlazno po toj rasjednoj zoni do kanala bušotine VC-1a, zahvaćajući i dijelove bloka 2, tj. KPZ-2. Kao što je već naglašeno gravitacijski efekt će izravnati frontu utiskivane vode. Putanja fluida od utisne do proizvodne bušotine podsjeća na slovo "z". Zato hidraulički model ima oblik slova Z (sl. 5).

Ovaj model je osnova za izračunavanje vremena proizvodnje s konstantnom temperaturom.

Napomenimo, da su širine površina protoka (u Z-modelu) manje nego su na strukturnoj karti. Na taj način, posredno, je uveden površinski koeficijent obuhvata. Račun obujma Z-modela prikazan je u tablici 4.

Ukupna veličina obujma u ovoj tablici, praktički je ista kao u oficijelnoj dokumentaciji o rezervama geotermalne vode.⁴ Ovdje su donekle korigirani neki parametri. Na primjer, na prikazu Z-modela u oficijelnom dokumentu, širina fronte za PPZ i RPZ zadržana je (2 350 m), kao i u prvobitnom rješenju iz 1994. Ovdje je to usklađeno s oficijelnim strukturno-tektonskim rješenjem (sl. 2.).

3. Diskusija o pouzdanosti Z-modela

O veličini obujma ležišta i omjeru obujamskih specifičnih toplina ležišta i ležišne vode ovisi ukupna količina vode, koja se može dobiti pri približno konstantnoj izlaznoj temperaturi.

Ona se računa pomoću izraza:

$$W_{pct} = \frac{W_{LF}(c_p)_L}{(c_p)_{wL}}$$

Tablica 4. Obujam ležišta i ležišnog fluida u Z-modelu

	Širina, km	Duljina, km	Površina, km ²	Efektivna debljina, m	Obujam ležišta, 10 ⁶ m ³	Poroznost, dijelovi jedinice	Obujam fluida 10 ⁶ m ³ (lež. uvjeti)
KPZ-1	1,350	0,820	1,107	61	67,527	0,16	10,804
KPZ-2	1,350	0,050	0,067 5	47	3,175	0,16	0,510
RPZ-1	1,350	1,900	2,565	3	7,695	0,300	2,310
RPZ-2	1,350	0,600	0,81	30	2,430	0,106	0,729
PPZ	1,350	0,800	1,35	10	13,500	0,164	1,431
Ukupno					94,332		15,740

gdje je:

W_{LP} obujam ležišta, m³,

$(c_p)_L$ obujamska specifična toplina ležišta, J/m³

$(c_p)_w$ obujamska specifična toplina ležišnog fluida, J/m³

U konkretnom slučaju⁴, dobiva se:

$$W_{pct} = \frac{94332600 \cdot 2,677 E + 6}{3,975 6 E + 6}$$

$$W_{pct} = 63 497 201 \text{ m}^3$$

Za očekivanu dnevnu proizvodnju od 7 200 m³/d (170 °C, 28 bara), godišnja proizvodnja vode će biti⁴:

$$\Delta W_p = 7 200 \cdot 365 = 2 628 000 \text{ m}^3$$

Vrijeme konstantne izlazne temperature je:

$$\tau_{ct} = \frac{W_{pct}}{\Delta W_p} = \frac{63497201}{2628000} = 24,2 \text{ godine}$$

Ako pogledamo tablicu 4, vidjet ćemo da najveći utjecaj na vrijeme proizvodnje s konstantnom temperaturom ima obujam KPZ-1. Pretpostavljeno je da protok ide kroz debljinu 61 m, a ukupna efektivna debljina te zone je čak 174 m. Prema tome, samo trećina debljine je uzeta kao aktivna. To nije pretjerano.

Teško je naći argumente koji bi govorili, da se protjecanje ne odvija po Z-modelu. Ali bez probne proizvodnje i ispitivanja pomoću trasera nemoguće je dokazati kolikim putem (ležišnim obujmom) protječe injektirani fluid.

Inicijatori iskorištavanja geotermijske energije u nas, podrazumijevali su neophodnost probne proizvodnje, i ispitivanja u tijeku njenog trajanja. Istovremeno su isticali i maksimalne (krajnje) ciljeve. Na primjer, na Velikoj Cigleni nedvojbeno se može ostvariti proizvodnja električne snage 4,7 - 5 MWe (pri projektiranom pritoku 7 200 m³/d s temperaturom od 170 °C). Međutim dvojbena je kada i kako će proizvodnja opadati.

S gledišta probne proizvodnje, nepovoljna je činjenica, što je udaljenost do grada Bjelovara, tj. do većih potrošača toplinske energije prilično velika. Nitko neće investirati u potrošače toplinske energije samo radi probne proizvodnje. S druge strane, probna proizvodnja mora biti jeftina. Uvjet za to je primjena termosifona. Da bi termosifon funkcionirao¹⁰, mora se iskorištavati prilično velika razlika temperature, pri protoku do približno 5 000 m³/d. U slučaju Velike Ciglene, jedini potrošač toplinske energije, tijekom probne proizvodnje,

moгу biti staklenici. Međutim potencijalnim investitorima staklenici nisu bili privlačni.

4. Zaključak

Činjenica je da veliki geotermijski potencijal u Velikoj Cigleni, 20 godina čeka hoće li će biti donesena investicijska odluka o njegovom aktiviranju. U posljednjih 13 godina izrađeni su brojni znanstveni projekti o Velikoj Cigleni.⁴ Analizirani su svi mogući parametri, samo je Z-model ostao nedodirljiv. Nitko nije pokušao ispitati mogu li postojati i drugačiji protočni putovi. Zar novija seizmička mjerenja ne naslućuju i druge lomove u trijaskom dolomitnom kompleksu?

U većini slučajeva, pri donošenju investicionih odluka, banke (u svijetu) oslanjaju se na veličinu rezervi 50%-tne vjerojatnosti. Za očekivati je da bi vjerojatnosni pristup za Veliku Ciglenu pokazao za proizvodni vijek (tj. pridobivu energiju) barem 50%-tnu vjerojatnost, dok bi za projektiranu snagu vjerojatnost bila blizu 90%.

Na kraju valja podsjetiti, da je vjerojatnost veličine rezervi ugljikovodika u ležištima pukotinske poroznosti znatno manja, nego u onima sa intergranularnom poroznošću. Međutim, pukotinski sistemi obično daju veće pritoke, tj. energiju u jedinici vremena. Tako je i s geotermijskim ležištima.

Možda je problem u tome što investitori imaju drugačiji pogled na rizik nego djelatni geolozi i rezervoar inženjeri. To pitanje bilo je aktualno i ranije.⁹

Možda je izlaz u sasvim novom pristupu karakterizaciji ležišta i rizika.⁸



Autor:

Srećko Čubrić

UDK : 553.98 :553.28 : 622.24.063 (497.5)

553.982 ležišta nafte i plina
553.28 vrste ležišta
622.24.063 rudarstvo, iscrpljivanje ležišta, fluidi
(497.5) R. Hrvatska, Velika Ciglena