

Analiza iskorištavanja geotermalne energije na geotermalnom polju Karlovac

T. Kurevija, Ž. Kljaić and D. Vulin

PREGLEDNI ČLANAK

Geotermalno ležište Rečica otkriveno je dvjema bušotinama: Ka-2 i Ka-3. Na temelju dubinskih mjerenja temperature u navedenim bušotinama utvrđena je ležišna temperatura od 140 °C. Predviđeno je da bušotina Ka-3 bude proizvodna, a bušotina Ka-2 utisna. Za crpljenje geotermalne vode iz bušotine Ka-3 predviđen je proizvodni interval na dubini od 1 900 do 3 523 m, dok je za utiskivanje ohlađene vode u bušotinu Ka-2 predviđen interval na dubini od 3200 do 4 145 m. Toplinska energija iskorištavala bi se stupnjevito, Clausius-Rankinovim procesom. S obzirom na ukupan stupanj djelovanja geotermalnog izvora, snagu treba izraziti kao tehničku radnu moć ili eksergiju, pri čemu se stanje radnog medija povratnim načinom dovodi u mehaničku i toplinsku ravnotežu s okolinom. Kako bi se osigurala toplinska obnovljivost geotermalne vode i održao ležišni tlak, ohlađena voda utiskivat će se natrag u ležište. Ekonomskom analizom procijenjena su ukupna investicijska ulaganja potrebna za razvoj geotermalne elektrane, te ekonomski pokazatelji isplativosti geotermalnog projekta. Proizvodnja električne energije na lokalitetu Rečica bila bi ekonomski opravdana principom kaskadnog korištenja toplinske energije i visokog stupnja godišnjeg korištenja.

Ključne riječi: geotermalna energija, električna energija iz obnovljivog izvora, binarni Rankin ciklus

1. UVOD

Izvori geotermalne vode u Hrvatskoj zasad nisu primjereno iskorišteni za grijanje stambenih objekata, u poljoprivrednoj proizvodnji i industriji, te za proizvodnju električne energije. Nacionalni energetska program za korištenje geotermalne energije, kao dio projekta Razvoj i organizacija hrvatskog energetskog sektora koji provodi Energetski institut Hrvoje Požar, predložio je detaljnije analize svih ležišta koje je Ina otkrila prilikom istraživanja ležišta nafte i plina. Ina je u posljednje vrijeme učinila znatan iskorak u valoriziranju svojih geotermalnih potencijala i očekuju se novi rezultati na području proizvodnje geotermalnih voda. Korištenje geotermalne energije, koja je obnovljiv i ekološki prihvatljiv izvor energije, znatno bi se ubrzalo kada bi se donijeli zakonski propisi koji potiču istraživanje i korištenje geotermalnih ležišta.

Jedan od uvjeta za ulazak u Europsku uniju je i korištenje obnovljivih izvora energije te udovoljavanje ekološkim zahtjevima pri odabiru energenta. Inina bivša Služba za vodno gospodarstvo potpisala je pismo namjere s gradom Karlovcem, kojim potvrđuje zanimanje za korištenje termalnih voda u Rečici. Geotermalno ležište otkriveno je prije 25 godina, a temperatura vode na dubini oko 1 500 m iznosi otprilike 140 °C. Iz ležišta se planira proizvodnja električne energije, a voda bi se nakon korištenja, pri temperaturi od oko 40 °C, vraćala u ležište. Pismo namjere omogućuje Ininu istraživačkom timu da nastavi izrađivati projekt iskorištavanja izvora. Vlada Republike Hrvatske preporučila je Ini da iskoristi termalne vode za proizvodnju energije. Osim za proizvodnju struje, voda bi se mogla koristiti za grijanje staklenika i stambenih objekata.

2. GEOLOŠKO-FIZIKALNE ZNAČAJKE GEOTERMALNOG LOKALITETA KARLOVAC

Zbog geološke građe podzemlja Republike Hrvatske geotermalni se lokaliteti nalaze uglavnom na području Panonskog bazena. Među te lokalitete, koji se odlikuju temperaturom vode u ležištu višom od 100 °C, ubrajaju se i bušotine na području Karlovca, koje su izrađene radi pronalaska ugljikovodika.

Geotermalni lokalitet nalazi se oko 8 km sjeveroistočno od grada Karlovca (slika 1), a otkriven je 1983. godine bušotinom Ka-2. Poslije, tijekom 1988. godine, izrađena je bušotina Ka-3, kojom je potvrđen geotermalni potencijal spomenutog lokaliteta. Udaljenost između bušotina Ka-2 i Ka-3 iznosi približno 3 km. Obje bušotine su u vlasništvu Ine. Područje lokaliteta je ravničarsko, nadmorske visine oko 110 m, a bušotine se nalaze unutar većeg šumskog kompleksa, a otprilike 3 km zapadno od bušotine Ka-2 nalazi se veliki ribnjačarski kompleks Draganići.

Duboka istražna bušotina Ka-2 izrađena je u razdoblju od 15. 12. 1982. do 09. 7. 1983. godine. Bušotina je dosegla konačnu dubinu od 4 145 m. Kanalom bušotine presječen je niz sedimenata s izraženim izolatorskim svojstvima, kao što su glinoviti lapori, lapori, siliti i šejlovi, te stijene s dobrim kolektorskim svojstvima. Ispitano je pet intervala bušotine DST metodom, ali nisu utvrđene ekonomski vrijedne akumulacije ugljikovodika. U sklopu likvidacije bušotine tijekom 2001. godine ispitana su dva intervala na proizvodnju vode i probe primanja.

Istražna bušotina Ka-3 izrađena je u razdoblju od 06. 1. 1988. do 29. 5. 1988. godine. Bušotina je probušila slijed projektom predviđenih naslaga. Bušenje je završeno u mezozojskom kompleksu, na dubini od 3

523 m. Na osnovi geološkog monitoringa, testiranja i analize karotažnih dijagrama, izostala su predviđena zasićenja ugljikovodicima. Bušotina je ispitana na dotok, te je ispitivanjem eruptivno dobivena voda (20-50 m³/h), saliniteta 0,99 g NaCl/l i temperature na ušću od 87 °C do 94 °C. Kako tada nisu utvrđene ekonomski vrijedne akumulacije ugljikovodika, bušotina je zatvorena postavljanjem cementnih pregrada. Daljnja ispitivanja te bušotine učinjena su u sklopu programa njene likvidacije 2001. godine.

S geološkog stajališta, mogu se izdvojiti dva različita kompleksa naslaga različitoga geotermalnog potencijala. Kompleks klastičnih naslaga izgrađen je od pješčenjaka, lapora i silta. Salinitet vode u tim naslagama iznosi od 17,5 do 21 g NaCl/dm³, što upućuje da se radi o slanoj vodi. Premda temperatura vode u tom kompleksu dostiže vrijednost i do 138 °C, geotermalni potencijal kompleksa nije velik zbog slabe izdašnosti. Kompleks karbonatnih naslaga nalazi se ispod klastičnih naslaga, zasićen je vodom čiji salinitet iznosi manje od 1 g NaCl/dm³, te se radi o pitkoj vodi. Geotermalni potencijal kompleksa je velik jer se radi o znatnim raspucanim naslagama velikog rasprostiranja i debljine. Najviša izmjerena temperatura vode je 140 °C. Karbonatni kompleks na lokalitetu Karlovac čini krajnji sjeverni rub velike mezozojske karbonatne platforme koja je postojala od perma do kraja krede. Spomenuti se kompleks znatno razlikuje na bušotinama Ka-2 i Ka-3, što upućuje da su u geološkoj prošlosti nastali u vrlo različitim sredinama.

Bušotina Ka-2 smještena je u najdubljem dijelu Karlovačke kotline, gdje debljina kompleksa tercijarnih klastičnih naslaga iznosi 3 000 m. Kompleks karbonata izdiže se prema bušotini Ka-3, pa je na toj bušotini kompleks tercijarnih naslaga debeo oko 1 567 m. Bušotina je dosegla konačnu dubinu od 4 145 m. U dubljem dijelu bušotine javlja se kompleks karbonatnih i klastičnih naslaga, a u plićem dijelu klastične naslage neogenske starosti. Bušotina Ka-3 dosegla je dubinu od 3 523 m. Nabušen je kompleks klastičnih naslaga tercijarne starosti, a ispod njega je debeo kompleks karbonatnih naslaga, gdje je bušenje obustavljeno. Kompleks klastičnih naslaga tercijarne starosti bušen je do dubine 1 567 m. Izgrađuju ga laporaste gline, pijesci i proslojci ugljena, dok su na većim dubinama zastupljeni lapori i pješčenjaci.

Na bušotini Ka-3 ležišna temperatura procijenjena je prema geotermalnom gradijentu koji je izračunat na

Ležište	Propusni interval (m)	Slojni fluid	Šupljikavost (%)	Efektivna debljina (m)
Dolomit	3 385-3 440	Voda	5	55
Dolomit	3 535-3 705	Voda	5	170
Dolomit	3 715-3 780	Voda	5-6	65
Dolomit	3 800-3 825	Voda	5-6	25
Dolomit	3 835-4 145	Voda	5-6	310

temelju podataka DST mjerenja (INA Naftaplin 2006). Na dubini HDST = 2 511 m temperatura iznosi $t_{max} = 120$ °C. Iz tih podataka dobiven je geotermalni gradijent $G_t = 4,32$ °C/100 m, a pri proračunu je uzeto u obzir da je srednja godišnja temperatura okoliša ušća bušotine 11,6 °C. Prema tom gradijentu procjenjuje se da na dubini $H = 2 821$ m srednja temperatura iznosi: $t_{sr} = 133$ °C. Na bušotini Ka-2 ležišna temperatura iznosi $t_{max} = 139$ °C. Procijenjena je prema geotermalnom gradijentu izračunatom iz podataka DST mjerenja na dubini HDST = 3 344,4 m. Iz tih podataka dobiven je geotermalni gradijent $G_t = 3,81$ °C/100 m. Prema tom gradijentu procjenjuje se da je na dubini $H = 3 806$ m temperatura 157 °C.

Analizom karotažnih dijagrama procijenjene su vrijednosti šupljikavosti.

Prema prikazanim proizvodnim ispitivanjima nezacijevljenih dijelova kanala bušotina Ka-2 i Ka-3, možemo zaključiti da se radi o izdašnom vodnom ležištu jer se sastoji od masivnih karbonatnih zdrobljenih stijena koje se pojavljuju i u 3 km udaljenoj bušotini Ka-3. Budući da su elektrokarotažne metode predviđene samo za proračun intergranularne šupljikavosti, može se procijeniti da su stvarne vrijednosti šupljikavosti veće od onih koje su prikazane u tablicama 1 i 2. Osim toga, suma efektivnih debljina u tablici 2 nabrojanih slojeva iznosi 418 m, što je solidno pokriva za dobru proizvodnu izdašnost, a u slučaju bušotine Ka-2 može se očekivati dobar utisni kapacitet (INA Naftaplin 2006).

3. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI EKSPLOATACIJE LEŽIŠTA

Radi otkrivanja ležišta ugljikovodika na širem području grada Karlovca izrađene su ukupno tri bušotine, koje su bile negativne s obzirom na ugljikovodike. Od tih su bušotina dvije pogodne za iskorištavanje geotermalnog ležišta. Predviđeno je da bušotina Ka-3 bude proizvodna, a bušotina Ka-2 utisna. Budući da se radi o ležištu geotermalne vode koja je obnovljiv izvor energije, planira

Tablica 2. Prosječne vrijednosti ležišnih parametara propusnih intervala za bušotinu Ka-3 (INA Naftaplin 2006)

Ležište	Propusni interval (m)	Slojni fluid	Šupljikavost (%)	Efektivna debljina (m)
Dolomit	1 930-1 950	Voda	8	20
Dolomit	2 089-2 102	Voda	8	13
Dolomit	2 117-2 130	Voda	5-7	13
Dolomit	2 379-2 436	Voda	5-7	57
Dolomit	2 520-2 580	Voda	5-7	60
Dolomit	2 760-2 845	Voda	5-7	85
Dolomit	2 870-2 885	Voda	5-7	15
Dolomit	3 002-3 027	Voda	5-7	25
Dolomit	3 310-3 440	Voda	5-6	130

se vraćanje ohlađene vode natrag u ležište. Na taj način zadovoljit će se uvjet održavanja ležišnog tlaka, a bit će zadovoljeni i ekološki zahtjevi.

Radi se o vodi visoke temperature, pa je potrebno planirati njezino stupnjevito iskorištavanje kako bi stupanj iskorištenja toplinske energije bio što veći, a samim tim projekt ekonomski isplativiji. Tehnološko-tehničke mogućnosti nisu dopustile da se pomoću provedenih ispitivanja utvrde maksimalne količine vode koje bušotine mogu dati, odnosno koje mogu primiti. Na temelju mjerenih podataka može se zaključiti da bi bušotina Ka-3 pod optimalnim uvjetima mogla uz pomoć dubinske proizvodne pumpe davati 50 l/s geotermalne vode. Tijekom izrade kanala bušotina Ka-3 i Ka-2 gubio se radni fluid, što upućuje na veoma dobru propusnost ležišnih naslaga. Također, pretpostavlja se da bušotina Ka-2 može primiti svu ohlađenu vodu.

Poznavanje svih petrofizikalnih i hidrodinamičkih karakteristika ležišta ključno je za pouzdano i dugotrajno iskorištavanje geotermalnog ležišta. Pod tim se podrazumijeva poznavanje veličine ležišta, sposobnosti prirodne obnove ležišnog tlaka, poznavanje mjere u kojoj postoji komunikacija kroz ležište između bušotina, vrijednost propusnosti ležišta, itd. (INA Naftaplin 2006). Da bi se u konkretnom slučaju osigurali spomenuti podaci potrebno je:

- osposobiti bušotine Ka-2 i Ka-3 za proizvodnju geotermalne vode, tj. izvesti kapitalne remonte sloja i opreme;
- provesti opsežna hidrodinamička mjerenja u koja su uključena mjerenja porasta tlaka u bušotini Ka-3 i/ili pada tlaka u bušotini Ka-2, te interferencija između bušotina;
- nakon što se bušotine Ka-2 i Ka-3 povežu cjevovodom, izvršiti dugotrajna proizvodno-utisna testiranja bušotina Ka-2 i Ka-3, s istovremenim mjerenjem tlaka i temperature u obje bušotine kako bi se ostvarili uvjeti pod kojima bi bušotine bile u funkciji.

Tek nakon realizacije spomenutih radova moći će se izraditi nužna dokumentacija, kao što su elaborat o rezervama vode s ekonomskom valorizacijom geotermalnih zaliha, studija o utjecaju na okoliš, predinvesticijska studija o mogućnostima iskorištavanja geotermalne vode i glavni rudarski projekt geotermalnog polja.

Uobičajeno geotermalno postrojenje za transformaciju geotermalne u električnu energiju sastojalo bi se od:

1. proizvodnih i utisnih bušotina;
2. separatorskih jedinica za odvajanje otopljenog plina od vode;
3. sabirnog sustava;
4. geotermalnog postrojenja za pretvorbu energije;
5. utisnog sustava za utiskivanje geotermalne vode;
6. sustava za rasterećenje u akcidentnim okolnostima;
7. mjerne, kontrolne i regulacijske opreme za djelotvornost proizvodnog niza.

Osim geotermalnog postrojenja navedenoga pod točkom 4, preostali dio uglavnom čini konvencionalni sustav za proizvodnju nafte i plina.

Budući da se radi o srednjem temperaturnom ležištu u kapljevitom stanju, proizvodnja električne energije može se ostvariti Clausius-Rankinovima procesom sa sekundarnim radnim fluidom (binarni ciklus). Pregrijana para sekundarnoga radnog fluida pokreće turbinu generatora, nakon čega se kondenzira te se cirkulacijskom pumpom u zatvorenom krugu dovodi ponovno u izmjenjivač topline. Binarno postrojenje je ekološki prihvatljivo jer se geotermalna voda primarnog kruga u zatvorenom ciklusu utiskuje u ležište te nema doticaja s okolišem. Termodinamički stupanj djelovanja binarnog postrojenja, sukladno prvom glavnom zakonu termodinamike, ovisi o temperaturi i o količini geotermalnog fluida, a može se prikazati kao omjer izlazne snage i ukupne dovedene topline u binarnom procesu. Stvarna izlazna snaga postrojenja dobivena je kada se ukupna energija umanjuje za internu potrošnju binarne jedinice i utisnog sustava.

Geotermalni fluid temperature 135 °C i protoka od 50 l/s (4 320 m³/d) ulazi u prvi izmjenjivač topline, gdje mu se temperatura smanjuje na 80 °C. U skladu s prvim, izlazna temperatura drugog izmjenjivača topline arbitrarno iznosi 40 °C. U ovom cirkulacijskom krugu toplina geotermalne vode koristi se izravnim načinom za procese grijanja u hotelskom kompleksu i u kompleksu plastenika. U mogućem trećem cirkulacijskom krugu toplinska energija mogla bi se koristiti u balneološke svrhe, temperaturnim padom do 10,8 °C, što odgovara srednjoj godišnjoj temperaturi na lokalitetu.

4. EKONOMSKO-FINANCIJSKA ANALIZA PROJEKTA

Dok tehnološka rješenja izravno ovise o karakteristikama samog izvora, ekonomska analiza se često izvodi sa znatnim pretpostavkama i usklađivanjem preko povećane stavke nepredviđenih troškova. Trošak proizvodnje geotermalne energije sastoji se od dviju važnih komponenata: od amortizacije početnih kapitalnih investicijskih ulaganja te od operativnih troškova i troškova održavanja prilikom proizvodnog ciklusa. Početni kapitalni investicijski troškovi odnose se na sve troškove vezane uz razvoj projekta, u što je uključeno sljedeće: najam, dozvole, istraživanje, potvrđivanje rezervi, razvoj projekta, te niz troškova koji su izraženi kao uvjetni troškovi. Općenito uzevši, kapitalni troškovi geotermalnih projekata ovise o lokaciji i specifičnostima ležišta, a ležišna temperatura, dubina, kemizam vode i propusnost su čimbenici koji imaju najveći utjecaj na troškove razvoja geotermalnih projekata. Operativni troškovi i troškovi održavanja odnose se na sve troškove nužne za neprekidan pogon elektrane u normalnom režimu rada, a također izravno ovise o lokaciji i ležišnim karakteristikama (prije svega o dubini ležišta i o kemizmu vode).

Na temelju članka 28, stavka 3. Zakona o energiji, Vlada Republike Hrvatske donijela je Tarifni sustav (Narodne novine 2007) za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Tarifnim sustavom određuje se pravo povlaštenih proizvođača električne energije na poticajnu cijenu električne energije koju tržišni operator plaća za isporučenu električnu energiju proizvedenu iz

Tablica 3. Prihodi od prodaje električne i toplinske energije ležišta

Ulazna temperatura u binarno postrojenje	°C	135
Izlazna temperatura iz binarnog postrojenja	°C	80
Proizvodnja vode	m ³ /dan	4 320
Proizvodnja CO ₂	m ³ /dan	0
Specifični toplinski kapacitet vode	kJ/kg K	4,25
Specifični toplinski kapacitet CO ₂	kJ/kg K	0,9
Iskorištenje Δt za električnu energiju	°C	55
Iskorištenje Δt za toplinsku energiju	°C	40
Godišnji broj sati proizvodnje električne energije	sat	8 500
Godišnji broj sati korištenja toplinske energije	sat	4 000
Prodajna cijena električne energije	kn/kW h	1,26
Prodajna cijena toplinske energije	kn/MW h	120,00
Cijena energije za internu potrošnju	kn/kW h	1,00
Termodinamička iskoristivost proizvodnje el. energije	%	0,078
Interna potrošnja postrojenja	%	0,2
Pridobivena toplinska snaga I. krug	MW	11,69
Snaga postrojenja za proizvodnju el. energije	MW	0,91
Interna potrošnja postrojenja	MW	0,15
Neto snaga postrojenja za proizvodnju el. energije	MW	0,76
Toplinska snaga za grijanje	MW	8,50
Godišnji prihod od prodane el. energije	kn	9 747 306
Godišnji prihod od prodane topline (+ pretplata)	kn	5 232 600
Ukupni godišnji prihodi	kn	14 979 906

postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i iz kogeneracijskih postrojenja, sukladno članku 26, stavku 5. Zakona o energiji.

Tarifnim sustavom utvrđene su tarifne stavke i visine tarifnih stavki za električnu energiju proizvedenu iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i iz kogeneracijskih postrojenja, ovisno o vrsti izvora, snazi i drugim elementima isporučene električne energije, kao i o načinu i uvjetima primjene tih elemenata. Poticajna cijena je cijena koja se plaća proizvođaču električne energije iz postrojenja koja se koriste obnovljivim izvorima energije i iz kogeneracijskih postrojenja za vrijeme trajanja ugovora o otkupu električne energije, a iskazuje se u kn/kW h. Za postrojenja priključena na prijenosnu ili distribucijsku mrežu koja rabe geotermalne izvore energije za proizvodnju električne energije instalirane električne snage veće od 1 MW, utvrđena je visina tarifne stavke od 1,26 kn/kW h. Ugovor o otkupu električne energije proizvedene iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i iz kogeneracijskih postrojenja sklapa se na određeno vrijeme od 12 godina.

Pretpostavlja se da će ukupna ulaganja u iskorištavanje geotermalne vode na geotermalnom ležištu Rečica biti financirana iz vlastitih izvora, te nisu predviđeni zajmovi i troškovna opterećenja vezana uz njih. Ukupna ulaganja u bušotine i postrojenje za iskorištavanje geotermalne

Tablica 4. Ukupna ulaganja u postrojenje i bušotine i rashodi

Ulaganja u bušotine za korištenje geotermalne energije		kn
A)	Rudarski radovi na proizvodnoj bušotini	1 500 000,00
	Vađenje 5 1/2" kolone 1 000 m	
	Napucavanje, ispitivanje	
	Ugradnja DUS-a	
B)	Proizvodna oprema	3 380 000,00
	DUS, kabel, VSD	
	Exp. glava, zasuni	
	Rez. DUS	
C)	Rudarski radovi na utisnoj bušotini	800 000,00
	Vađenje opreme	
	Napucavanje, ispitivanje	
	Proba primanja slojeva	
D)	Utisna oprema	520 000,00
	Exp. glava, zasuni	
	UKUPNO (kn)	6 200 000,00
Ulaganja u postrojenje za korištenje geotermalne energije		kn
	Binarno postrojenje	7 100 000,00
	Toplana i vrelovod do potrošača – 5 000 m	10 000 000,00
	Sustav instrumentacije i daljinskog nadzora	6 000 000,00
	Izrada dokumentacije i ishodenje građevinskih dozvola	300 000,00
	Priključni cjevovodi, armatura, mjerna mjesta	709 800,00
	Utisna pumpa	500 000,00
	Priključni dalekovod – 3 km	1 560 000,00
	UKUPNO (kn)	26 169 800,00
	Ukupna ulaganja (kn)	32 369 800,00

energije prikazana su u tablici 4. Ulaganja u bušotine čine rudarski radovi na proizvodnoj i utisnoj bušotini, te proizvodna i utisna oprema. Ulaganja u postrojenje za proizvodnju električne i toplinske energije uključuju trošak izmjenjivača topline, toplovoda do potrošača duljine oko 5 km, trošak priključnog cjevovoda i dalekovoda, trošak utisne pumpe i sustava instrumentacije te izradu potrebne dokumentacije i ishodenje dozvola. U tablici 3 prikazan je račun dobiti i gubitaka za predviđeni radni vijek elektrane od 20 godina. Dinamičkim metodama procijenjena je isplativost ulaganja u razvoj geotermalne elektrane. Izračunati su neto sadašnja vrijednost, interna stopa rentabilnosti i vrijeme povrata ulaganja.

ZAKLJUČAK

Za proizvodnju geotermalne vode, temperature 135 °C, od 50 l/s binarnim ciklusom uz iskorištenje $\Delta t = 55$ °C u prvom cirkulacijskom krugu i $\Delta t = 40$ °C u drugom cirkulacijskom krugu, proračunate su instalirana električna i toplinska snaga. U prvomu cirkulacijskom krugu neto instalirana snaga postrojenja za proizvodnju

Tablica 5. Gotovinski tijek novca i povrat investicija

Godina	Prihodi	Izdaci	Troškovi proizvodnje	Interna potrošnja	Dobit prije oporezivanja	Neto dobit	Neto dobit kumulativno	Neto gotovinski tijek	Neto primici
2011	14 979 906	37 635 509	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	6 477 217	-22 655 603	-22 655 603
2012	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	12 954 434	9 714 197	-12 941 407
2013	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	19 431 651	9 714 197	-3 227 210
2014	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	25 908 868	9 714 197	6 486 987
2015	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	32 386 085	9 714 197	16 201 183
2016	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	38 863 302	9 714 197	25 915 380
2017	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	45 340 519	9 714 197	35 629 577
2018	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	51 817 736	9 714 197	45 343 774
2019	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	58 294 953	9 714 197	55 057 970
2020	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	8 096 521	6 477 217	64 772 170	9 714 197	64 772 167
2021	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	73 838 971	9 066 801	73 838 968
2022	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	82 905 772	9 066 801	82 905 768
2023	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	91 972 573	9 066 801	91 972 569
2024	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	101 039 374	9 066 801	101 039 370
2025	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	110 106 175	9 066 801	110 106 170
2026	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	119 172 976	9 066 801	119 172 971
2027	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	128 239 777	9 066 801	128 239 772
2028	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	137 306 578	9 066 801	137 306 573
2029	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	146 373 379	9 066 801	146 373 373
2030	14 979 906	5 265 709	2 371 405	1 275 000	11 333 501	9 066 801	155 440 180	9 066 801	155 440 174

električne energije iznosi 0,76 MWe, a instalirana toplinska snaga drugoga cirkulacijskog kruga je 8,50 MWt. Termodinamički stupanj iskorištenja binarnog ciklusa je 7,8%, a unutrašnji gubici postrojenja su 15%.

Financijsko-tržišnom ocjenom projekta, za radni vijek geotermalne elektrane u trajanju od 20 godina, procijenjena je isplativost ulaganja dinamičkim metodama za financiranje projekta iz vlastitih sredstava. Analiza pokazatelja ekonomičnosti ulaganja, uz godišnju amortizaciju vrijednosti 10% od investicije i u trajanju od 20 godina, pokazala je isplativost projekta. U slučaju financiranja razvoja geotermalne elektrane vlastitim sredstvima neto sadašnja vrijednost, uz diskontnu stopu od 8%, iznosi 63 391 229 HRK, interna stopa rentabilnosti 42,71%, a vrijeme povrata uloženog kapitala je 4 godine. Bitno je naglasiti da je takva isplativost moguća jedino ako se nađe potrošač za cjelokupnu proizvedenu toplinsku energiju (grijanje objekata u Karlovcu, ribnjičarski kompleks Draganići, industrija).

Ugovor o prodaji energije je važan instrument osiguranja koji omogućuje investitorima smanjenje rizika zbog promjenjivih cijena energije. Ugovorom se sprečava neuspjeh projekta kada cijene energije padaju te se jamči opskrba energijom po prihvatljivoj cijeni kada cijene fosilnih goriva ekstremno rastu. Sadašnja visoka cijena sirovina djelomično objašnjava rast troškova, ali različite studije govore da je nedostatak novih razvojnih projekata u posljednjem desetljeću otežao regularno ažuriranje procjena troškova izgradnje, pa se analize oslanjaju na pretpostavljene optimalne redukcije troškova. Visoke cijene nafte i nedavna primjena vladinih inicijativa osiguravaju geotermalne projekte u ekonomskim okvirima održivosti.



Autori:

Tomislav Kurevija, dipl. ing., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

Željana Kljaić, dipl. ing., INA - Industrija nafte d. d., SPC Sektor proizvodnje nafte i plina, Okrug Slavonija

Domagoj Vulin, DSc, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

UDK: 620.97 : 662.987 : 621.31 (497.5)

620.97
662.987
621.31
(497.5)

energetika, korištenje alternativnih izvora
geotermalna energija, korištenje
električne energija
R. Hrvatska, Karlovac