

EKOLOŠKI ASPEKTI ISKORIŠTAVANJA GEOTERMALNE ENERGIJE

Mr. sc. Z. Pravica dipl. ing.¹, I. Kulenović dipl. ing.², Prof. dr. sc. M. Golub dipl. ing.³,

¹ INA SD Naftaplin, Šubićeva 29, Zagreb, tel: 385 1 459 2377, email: zdravko.pravica@ina.hr

² INA SD Naftaplin, Šubićeva 29, Zagreb, tel: 385 1 459 2919, email: ismet.kulenovic@ina.hr

³ RGN fakultet, Zavod za naftno inženjerstvo, Pierottijeva 6, Zagreb, tel: 385 1 4605-173, fax: 385 1 4836-074, email: mgolub@rgn.hr

***Sažetak:** Fizikalno-kemijske karakteristike geotermalnog ležišta i pripadajućeg fluida jednoznačno određuju termodinamički proces koji se može primjeniti u kaskadnom obliku za proizvodnju električne i toplinske energije. Tijekom proizvodnje električne energije, s aspekta utjecaja na okoliš dolazi do popratne emisije plinova i para, buke te zagrijavanja okoliša, što je uvjetovano tipom tehnološkog procesa te veličinom samoga postrojenja. Kod direktnog korištenja topline geotermalnog fluida, utjecaj na okoliš je manje izražen jer su dimenzije postrojenja i proizvodne količine manje u odnosu na proizvodnju električne energije. Iskorištavanje geotermalne energije ima izrazite ekološke prednosti u komparaciji s konvencionalnim postrojenjima za proizvodnju električne energije, budući da je emisija štetnih tvari gotovo zanemariva. Geotermalna energija je istovremeno održiva i obnovljiva jer se proizvodni fluid reinjektira u ležište gdje se konduktivnim i konvektivnim prijelazom topline manifestira njena obnovljivost.*

Ključne riječi: geotermalna energija, iskorištavanje, ekološki aspekt, binarno postrojenje

1. UVOD

Geotermalna energija sadržana u toplini proizvodnog fluida koristi se za grijanje i hlađenje zgrada, u poljoprivrednoj proizvodnji i industriji, a geotermalna energija iz relativno visoko temperaturnih ležišta koristi se za proizvodnju električne energije.

Iskorištavanje geotermalne energije predstavlja jedan od ekološko najprihvatljivijih načina komercijalne proizvodnje energije, raspoloživa je tijekom cijele godine s iskorištenjem većim od 95 % u procesu pretvorbe geotermalne u električnu energiju.

Kao i kod svake druge energije, tako i u procesu korištenja geotermalne energije dolazi do utjecaja na okoliš. Osnovni utjecaji na okoliš u procesu pretvorbe geotermalne u električnu energiju odnose se na emisiju plinova i para, zagrijavanje okoliša, buku te potencijalnog zagađenja površinskih voda. Međutim, ti utjecaji na okoliš su znatno manje izraženiji u usporedbi s konvencionalnim postrojenjima za proizvodnju električne energije.

Korištenjem geotermalne energije izbjegavaju se kisele kiše te se znatno smanjuje emisija stakleničkih plinova i drugih oblika zagađenja zraka. Geotermalni fluid je smjesa vode, raznih plinova, otopljenih soli i minerala. Koncentracija otopljenih soli i minerala se povećava sa porastom temperature, što može dovesti do povećane koncentracije nekih elemenata što zahtijeva izgradnju dodatnih postrojenja za njihovo izdvajanje u cilju zaštite okoliša.

Površina za izgradnju bušotina, cjevovoda i postrojenja za proizvodnju električne energije je znatno manja u odnosu na druge fosilne ili nuklearne izvore energije.

2. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Postoje tri osnovna tipa postrojenja koja za proizvodnju električne energije koriste geotermalnu energiju. Koji će se tip elektrana primjeniti ovisi o karakteristikama geotermalnog resursa. Veličina postrojenja ovisi o mogućnosti plasmana energije i proizvodnosti bušotina.

Prvi tip postrojenja koristi protutlačne turbine, kada je geotermalni fluid suha para ili zasićena smjesa pare i vode. U ovom slučaju para i voda se odvajaju u separatoru, para pokreće turbinu a izdvojena voda se vraća u ležište.

Drugi tip koristi kondenzacijske turbine gdje se para nakon prolaza kroz turbinu kondenzira pri nižem tlaku. Ovisno o raspoloživoj temperaturi i tlaku, odvajanje pare se može obavljati u nekoliko stupnjeva i različitih radnih tlakova.

Treći tip predstavlja binarno postrojenje. Razvoj tehnologije lako hlapljivih kapljevina omogućio je korištenje geotermalnih resursa s temperaturom i do 90 °C. U ovim postrojenjima koriste se izmjenjivači topline koji predaju toplinu drugom radnom fluidu koji isparava kod niže temperature. Ta para pokreće turbinu generatora, nakon čega se kondenzira i u zatvorenom krugu ponovno ulazi u izmjenjivač. Binarno postrojenje je ekološki najprihvatljivije jer se geotermalna voda u zatvorenom ciklusu ponovno utiskuje u ležišta i nema direktnog utjecaja na okoliš.

Osim ova tri postojeća tipa elektrana za pretvorbu geotermalne u električnu energiju postoji još i ciklus totalnog protoka ili dvofazni rotacijski separator. Odvojena tekuća faza u separatoru pokreće turbinu neovisno o parnoj fazi.

U tablici 1. prikazan je sastav opreme za proizvodnju električne energije ovisno o tipu postrojenja.

3. DIREKTNO KORIŠTENJE TOPLINE

Geotermalna energija ima u direktnom korištenju topline vrlo široku primjenu. Uglavnom se koristi za grijanje zgrada, u industrijskim procesima, poljoprivrednoj proizvodnji, balneologiji, rekreaciji i dr. Svako korištenje zahtijeva ugradnju opremu za prijenos topline koja odgovara uvjetima i sastavu geotermalnog fluida kako bi se toplina dopremila do krajnjeg korisnika. Direktna način korištenja topline geotermalnog fluida odnosi se na predaju topline u izmjenjivaču nekom sekundarnom mediju ili na iskorištenje topline u primarnom krugu.

U tablici 2. prikazan je osnovni sastav opreme u direktnom korištenju topline

Tablica 1. Osnovni sastav opreme za proizvodnju električne energije

Proizvodni sustav	Geotermalno postrojenje
Površinska oprema	Protutlačna turbina
- ušća bušotina	- turbina i generator
- cjevovodi za paru i vodu	
- utisne pumpe	Kondenzacijska turbina
- uređaji za doziranje kemikalija	- odvajajući pare
	- turbina i generator
	- ukapljivači
	- plinski separatori

	- rashladni toranj
	Binarna jedinica
	- izmjenjivač topline
	- turbina i generator
	- ukapljivač
	- rashladni toranj
	- cirkulacijske pumpe
	Dvofazni rotacijski saparator
	- uređaji za doziranje kemikalija
	- dvofazna sapnica
	- rotacijski separator
	- turbina na tekuću fazu

Tablica 2. Osnovni sastav opreme u direktnom korištenju topline

Proizvodni sustav	Toplinsko postrojenje
Proizvodne i utisne bušotine	Direktno korištenje
- ušća bušotina	- izmjenjivači topline
- pročistači	- filteri
- cjevovodi	- odvajači plina
- pumpe	- utisne pumpe
	- uređaji za doziranje kemikalija
	- toplinske pumpe

4. UTJECAJI NA OKOLIŠ

U procesu proizvodnje geotermalne energije, značajniji utjecaji na okoliš uglavnom se pojavljaju kod visoko temperaturnih ležišta s većim proizvodnim količinama. Osnovni utjecaji na okoliš tijekom izgradnje objekata i preseca pretvorbe geotermalne u električnu energiju odnose se na: jediničnu površinu zemljišta po jedinici proizvedene energije, emisiju plinova i para, emisiju otpadne topline i razinu buke. Ovi utjecaji mogu biti stalni ili povremeni sa povratnim ili nepovratnim efektima.

Utjecaji na okoliš kod direktnog korištenja topline identični su proizvodnji električne energije. Stupanj utjecaja na okoliš u korištenju geotermalne energije proporcionalan je količini proizvodnje. Kako je kod direktnog korištenja potrebna manja proizvodnja fluida i topline nego kod proizvodnje električne energije tako su i utjecaji na okoliš kod direktnog korištenja razmjerno manji.

4.1. Korištenje zemljišta

Izgradnja pristupnih putova i izrada bušotina mogu utjecati na vegetaciju i izgled okoliša. Područje aktivnosti je relativno malo, jer se obično iz jednog mjesta buši nekoliko bušotina za što je potrebna površina zemljišta do 2500 m². Toplinska energija se koristi što je moguće bliže bušotinama, a što smanjuje dužinu potrebnih cjevovoda. U tablici 3. prikazana je

potrebna površina zemljišta za postrojenja za proizvodnju električne energije kod različitih energetskih izvora. [3]

Tablica 3. Potrebna površina zemljišta za postrojenja za proizvodnju električne energije

Energetski izvor	Potrebna površina zemljišta (m² / MW)
Geotermalna energija	400 - 3200
Nuklearna energija	2000 - 4000
Fosilna enegija (ugljen)	7600

4.2 Emisija plinova i para

Geotermalni fluid uglavnom sadrži otopljene plinove kao na primjer ugljik dioksid, metan i vodikov sulfid, a u neznatnim količinama dušik te lako hlapljive pare arsena i žive. Geotermalno postrojenje ima značajnu ekološku prednost u odnosu na postrojenja sa fosilnim gorivima jer nema emisije dušikovih oksida i sumpornog dioksida. Smanjena emisija dušika i sumpora smanjuje opasnost od pojave kiselih kiša, a smanjena emisija ugljik dioksida smanjuje mogućnost globalnih klimatskih promjena. Emisija ugljik dioksida može se razlikovati ovisno o karakteristikama geotermalnog fluida i tipa geotermalnog postrojenja. Binarno postrojenje ne proizvodi emisiju ugljik dioksida, dok protutlačna i kondezacijska postrojenja za proizvodnju električne energije emitiraju 0.09 kg CO₂/kWh proizvedene električne energije, što je deset puta manje u odnosu na pogon postrojenja sa ugljenom (Tablica 4.). Količina vodikova sulfida u geotermalnom fluidu kreće se u granicama 0.03 – 6.4 g/kWh [6], što ne izaziva pojavu kiselih kiša. Vodikov sulfid se može izdvojiti iz pare u Stretford procesu te se dobiva elementarni sumpor, što smanjuje emisiju H₂S i do 90 %. U posljednje vrijeme koriste se tehnike spaljivanja H₂S za dobivanje sumpornog dioksida koji se pretvara u sumpornu kiselinu čime se dobiva gotov proizvod.

Tablica 4. Usporedba emisije CO₂ kod korištenja različitih energenata za proizvodnju električne energije [1]

Energetski izvor	Emisija CO₂ (kg / kWh)
Geotermalna energija	0.09
Prirodni plin	0.6
Nafta	0.9
Ugljen	0.95

4.3. Emisija otpadne topline

Na geotermalnim resursima s prevladavajućom parnom fazom, topline odlazi u atmosferu ispuštanjem pare i na površinskim cjevovodima. Na geotermalnim sustavima gdje prevladava tekuća faza, topline se gubi rashladnim tornjevima i razvodnim cjevovodima. Proces iskorištavanja geotermalne energije obzirom na primjenjenu tehnologiju dovodi do velikih gubitaka topline. Djelotvornost postrojenja za pretvorbu geotermalne u električnu energiju je mnogo manja u odnosu na druga slična postrojenja za proizvodnju električne energije. Binarno postrojenje emitira najveću količinu topline u atmosferu glede niskog ukupnog stupnja djelovanja procesa. U tablici 5. prikazane su vrijednosti emisije topline u okoliš za različite energente korištene u proizvodnji električne energije

Tablica 5. Količina otpadne topline za različite energente u proizvodnji elekt. energije [2]

Energetski izvor	Emisija otpadne topline MW_T / MW elektr. en.
Plin	1.1
Nafta	1.6
Ugljen	1.7
Nuklearni	2.0
Solarni	2.3
Geotermalni	
Protutlačna turbina	4.4
Kondenzacijaska turbina	5.0
Binarno postrojenje	9.0

4.4. Reinjektiranje geotermalnog fluida

Svaki omjer proizvodnje fluida i topline u iskorištavanju geotermalne energije koji se prirodno nadomjesti u podzemlju smatra se obnovljivim. Zbrinjavanje geotermalnog fluida u ovom slučaju obavlja se utiskivanjem u pliće propusne geološke strukture kod kojih neće doći do ugrožavanja kvalitete pitke vode. Tako na primjer povećane proizvodne količine geotermalnog fluida bez reinjektiranja dovele bi do pada proizvodnje. Zbog toga se u gotovo uvijek planira reinjektiranje fluida u ležište čime se nadomješta proizvedena voda i podržava tlak u ležištu.

4.5. Razina buke

U procesu iskorištavanja geotermalne energije buka se pojavljuje tijekom izrade bušotina i izgradnje postrojenja za pretvorbu geotermalne u električnu energiju. U tom razdoblju razina buke kreće se od 45 do 120 dB [6] i nije stalnoga karaktera. U procesu proizvodnje razina buke kreće se kao i kod većine postrojenja koja koriste motorne pogone.

5. ZAKLJUČAK

Utjecaji na okoliš tijekom pretvorbe geotermalne u električnu energiju nemogu se isključiti. Oni ovise o smještaju postrojenja, tipu ležišta, njegovoj veličini i primjenjenoj tehnologiji za proizvodnju električne energije. Postrojenja za proizvodnju električne energije zauzimaju relativno malo prostora, ne zahtijevaju skladištenje materijala, transport proizvoda ili sagorijevanje goriva, a emisija plinova je izuzetno niska. Binarno postrojenje kod kojeg je turbina pogonjena parom sekundarnog fluida, a ne direktno geotermalnom parom, ima najmanji utjecaj na okoliš, ali pritome oslobađa najviše topline. Direktno korištenje topline i uporaba toplinskih pumpi nema značajnih utjecaja na okoliš. Geotermalni resursi u budućnosti primarno će se bazirati na njihovoj održivosti i obnovljivosti, zaštititi okoliša te optimalnom korištenju. Da bi se povećao ukupni godišnji stupanj djelovanja ciklusa nužno je koristiti kaskadno korištenje topline što omogućava najširu primjenu u svakodnevnoj praksi.

6. LITERATURA

- 1) Bloomfield, K., Moore, J.N., and R.M. Neilson Jr.: *Geothermal Energy Reduced Greenhouse Gases*, Geothermal Research Council. GRC Bulletin, April 2003
- 2) DiPippo, R.: *Geothermal energy: Electricity Generation and Environmental Impact*, Energy Policy, Vol 19 (8), pp 798 – 807
- 3) Geothermal Energy Program: Environmental and Economics Impacts <http://www.eren.doe.gov/geothermal/geoimpacts.html>, accessed Oct 7, 2002
- 4) Gunnlaugsson, E.: *Environmental monitoring*, United Nations University Geothermal Training Programme, Reykjavik, 2003
- 5) Hunt, T.M.: *Five lectures on environmental effects on geothermal utilization*, United Nations University Geothermal Training Programme, Report 1, Reykjavik, 2000
- 6) International Energy Agency <http://www.iea.org/pubs/studies/files/benign/pubs/append3g/pdf>; accessed October 30, 2002
- 7) Marshall, J., Renner L. Jeol.: *Environmental Compatibility of Geothermal Energy, Alternative Fuels and the Environmental*, Boca Raton: CRC Press, 1995
- 8) Milora, S. L.; Tester, J. W.: *Geothermal energy as a source of electric power*, The MIT Press, New York, 1976.
- 9) The World Bank Group. Geothermal Energy Environmental Impact Case Study http://www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/case_studies.htm, accessed January 28, 2003

ECOLOGICAL ASPECTS OF GEOTHERMAL ENERGY UTILIZATION

Abstract:

Key words: geothermal energy, utilization, ecological aspect, binary unit