Original scientific paper

Ključne reči: geotermalna energija; organski Rankinov ciklus (ORC); proizvodnja električne energije; finansijska isplativost

Key words: geothermal energy; organic Rankine cycle (ORC); electricity production; financial viability

STUDIJA IZVODLJIVOSTI KORIŠĆENJA GEOTERMALNE VODE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE U REPUBLICI SRBIJI

FEASIBILITY STUDY ON THE UTILIZATION OF GEOTHERMAL WATER FOR ELECTRICITY GENERATION IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Milena OTOVIĆ* — *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija*
** motovic@mas.bg.ac.rs* — *ORCID 0000-0002-6372-9806*
Srđan OTOVIĆ — *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija*
sotovic@mas.bg.ac.rs — *ORCID 0000-0002-6448-1953*
Bojan IVLJANIN — *Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Srbija*
bivljanin@politehnika.edu.rs — *ORCID 0009-0008-3551-6409*
Miloš MIHAILOVIĆ — *Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Srbija*
mmihailovic@politehnika.edu.rs — *ORCID 0000-0002-1125-4503*
Tomislav SIMONOVIĆ — *Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Srbija*
tsimonovic@politehnika.edu.rs — *ORCID 0000-0001-9633-5283*
Uroš MILOVANČEVIĆ — *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija*
umilovancevic@mas.bg.ac.rs — *ORCID 0000-0001-9960-2316*
Vladimir ČERNICIN — *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija*
vcernicin@mas.bg.ac.rs — *ORCID 0000-0003-2452-9585*

Usled negativnih posledica emisije štetnih gasova po životnu sredinu i klimatskih promena, sve veći značaj dobija primena „čistih", odnosno obnovljivih izvora energije, kao što su biomasa, geotermalna i solarna energija, kao i na korišćenje otpadne toplote iz industrijskih procesa. U ovom radu analizirana je tehnička i ekonomska izvodljivost proizvodnje električne energije iz niskotemperaturnog geotermalnog izvora u Bogatiću, na osnovu raspoložive tehničke dokumentacije i postojeće infrastrukture. Imajući u vidu tendenciju rasta cene energije, kao optimalno rešenje za konverziju geotermalne energije u električnu nameće se primena organskog Rankinovog ciklusa (ORC), pri čemu je akcenat stavljen na korišćenje energije za sopstvene potrebe u okviru postojeće proizvodne hale. Takav pristup doprinosi smanjenjeu emisije CO_2 i potrošnje fosilnih goriva, a ujedno obezbeđuje veću energetsku nezavisnost i finansijsku isplativost, posebno u kontekstu važećeg pravnog okvira u Republici Srbiji. Preostala toplotna i kinetička energija geotermalne vode može se dodatno iskoristiti za grejanje prostora, balneološke ili poljoprivredne svrhe ili za dodatnu proizvodnju električne energije primenom hidroturbine. Predstavljeni koncept ukazuje na značajan potencijal za razvoj održivih i decentralizovanih energetskih sistema zasnovanih na geotermalnoj energiji, koji do sada nisu bili u primeni u Srbiji.

Due to the negative environmental impact of greenhouse gas emissions and climate change, increasing importance is being placed on the use of "clean", i.e. renewable energy sources such as biomass, geothermal and solar energy as well as the utilization of waste heat from industrial processes. This paper analyzes the technical and economic feasibility of generating electricity from a

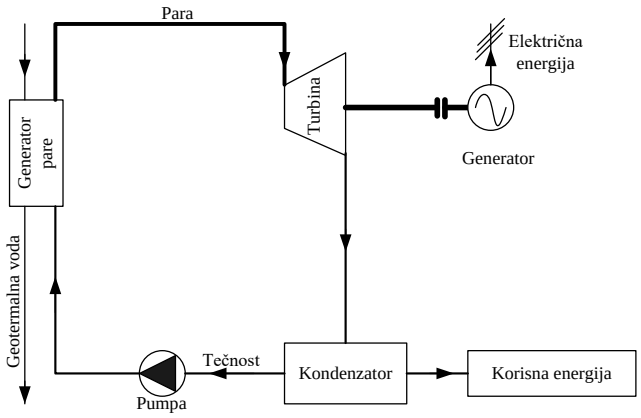
low-temperature geothermal source located in Bogatić, based on the available technical documentation and existing infrastructure. Considering the rising trend in energy prices, the Organic Rankine Cycle (ORC) emerges as a suitable solution for converting geothermal energy into electricity, with a particular focus on meeting the energy demands of an on-site industrial facility. This approach reduces CO_2 emissions and fossil fuel consumption, while improving energy independence and financial sustainability, particularly within the current legal framework of the Republic of Serbia. The remaining thermal and kinetic energy of the geothermal water can be repurposed for space heating, balneological and agricultural purposes, or for additional electricity production using a hydroturbine. The presented concept demonstrates strong potential for the development of sustainable and decentralized energy systems based on geothermal energy, an approach not yet implemented in Serbia.

1. Uvod

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu izradio je u junu 2024. godine studiju izvodljivosti korišćenja geotermalne vode iz bušotine u Bogatiću za proizvodnju električne energije, s ciljem procene najisplativijeg rešenja sa strane ekonomsko-finansijskog aspekta investicije. Geotermalna voda iz samoizliva konstantne temperature 70ºC i izdašnosti 40 l/s koristi se iz bušotine (bunara) dubine 635 m, a povratna bušotina (bunar) je duboka oko 150 m. U okviru lokacije nalazi se i bunar dubine oko 40 m sa vodom temperature 17ºC i izdašnosti 100 l/s. Investitor je postavio uslov da temperatura geotermalne vode, koja se koristi kao toplotni izvor, na izlazu iz sistema za proizvodnju električne energije ne sme biti niža od 50ºC. Studija izvodljivosti je izrađena na bazi uvida u stanje i tehničku dokumentaciju bušotina koju je obezbedio naručilac, a prema važećem Pravilniku o prethodnoj studiji izvodljivosti i studiji izvodljivosti (Službeni glasnik Republike Srbije br. 103/2023).

2. Proizvodnja električne energije pomoću geotermalne vode

Korišćenje geotermalne vode za proizvodnju električne energije moguće je jedino upotrebom sistema sa organskim Rankinovim ciklusom (ORC), koji omogućava rad na nižim temperaturama zahvaljujući upotrebi organskog fluida sa nižom tačkom ključanja od vode pri definisanom pritisku. Ovaj ciklus, sličan konvencionalnom parnoturbinskom (Rankin–Klauzijusov ciklus sa vodom kao radnim fluidom), omogućava iskorišćenje niskotemperaturnih izvora kao što su geotermalna voda, biomasa, otpadna toplota iz industrijskih procesa ili solarna energija (slika 1). Tipičan temperaturni opseg rada je 80 – 140°C, a komercijalni sistemi pokrivaju i šire – od 60°C do 350°C [1]. Proizvodnja električne energije je moguća i korišćenjem prethodno ohlađene geotermalne vode u kinetičkoj hidroturbini, pri čemu bi se koristila samo kinetička energija vode [2].



Slika 1. Blok šema ORC postrojenja

2.1. Sistemi sa ORC

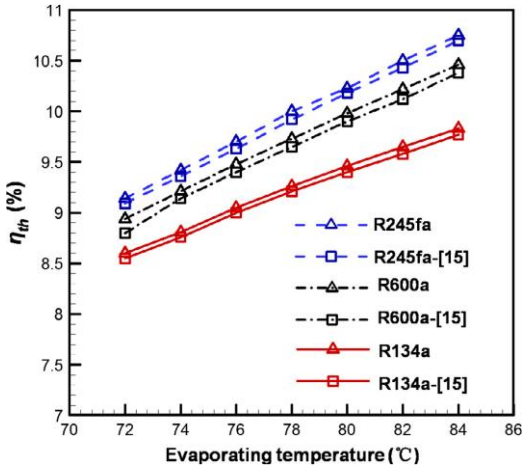
Organski fluid se u generatoru pare (isparivaču) uz pomoć izvora toplote pretvara u paru (bez ili sa blagim pregrevanjem), koja ekspandira u turbini i pokreće generator. Nakon toga se para kondenzuje, a kondenzat se pumpom šalje nazad u isparivač, čime se ciklus zatvara i ponavlja.

Imajući u vidu temperature toplotnog izvora i ponora, kao i zahtev naručioca (investitora), bilo je neophodno odabrati odgovarajući radni fluid. Izbor radnog fluida u ORC sistemima sa niskotemperaturnim izvorom je ključan, jer efikasnost razmene toplote zavisi od njegovih termofizičkih osobina i radnih uslova. Radi smanjenja protoka i veličine sistema, preporučuje se fluid velike gustine i toplote promene faze, stabilan na radnim temperaturama i sa niskom tačkom smrzavanja. Fluid treba da bude ekološki prihvatljiv (nizak ODP i GWP), dostupan, jeftin, sa umerenim pritiscima, nekorozivan, nezapaljiv i netoksičan.

Predlaže se upotreba radnih fluida kod kojih je nagib gornje granične krive vertikalan („izentropski" fluidi – npr. R11) ili pozitivan („suvi" fluidi – npr. izopentan R601a) u sistemima sa ORC, kako bi se izbegla oblast vlažne pare na kraju procesa ekspanzije u turbini. Korišćenje „izentropskih" fluida (kao što su najčešće R134a, R236ea, R227ea, R245fa, R600, R600a) u binarnim ciklusima geotermalnih elektrana može dovesti do povećanja efikasnosti sistema [3] (u literaturi [4] dat je pregled radova sa određenim ORC u natkritičnom ili potkritičnom području, kao i razmatranim temperaturama geotermalnog izvora toplote).

Prema slici 2 pri temperaturama isparavanja radnog fluida od oko 70ºC do oko 80ºC dobijaju se veće vrednosti termodinamičkog stepena korisnosti ORC kada je u pitanju fluid R245fa u odnosu na izobutan R600a i R134a, pa se dalje u radu razmatra ORC sistem sa radnim fluidom R245fa.

Radni fluid R245fa ima širok temperaturni opseg primene, što ga čini prikladnim za različite namene, pa se najčešće koristi u sistemima sa levokretnim ciklusom kao što su rashladne mašine i toplotne pumpe, a zbog pogodnih termofizičkih karakteristika i u sistemima sa desnokretnim ciklusom kao što je ORC. Bezbedan je za korišćenje u različitim okolnostima i ne predstavlja opasnost po zdravlje ljudi ili okolinu kada se koristi u propisanim uslovima. R245fa kao radni fluid ima niski potencijal oštećenja ozonskog omotača (ODP = 0).



Slika 2. Reprint iz [3]

2.2. Sistemi sa hidroturbinom

Razmotrena je i mogućnost primene hidroturbine nakon toplotnog iscrpljivanja, tj. hlađenja geotermalne vode nakon prolaska kroz sistem razmenjivača toplote u cilju grejanja prostora i ostalih potreba, kao i izlaska iz sistema sa ORC, a pre vraćanja u povratnu bušotinu.

Hidrokinetičke turbine koriste kinetičku energiju vodenih struja bez potrebe za akumulacijom vode i izgradnjom brana (za razliku od konvencionalnih), pa se često nazivaju „zero-head" turbinama. Pogodne su za primenu u rekama, morima i okeanima, ekološki su prihvatljive, jer ne narušavaju prirodne tokove i ne ugrožavaju naselja, zemljište ili ekosistem. Zbog veće gustine vode, ne zahtevaju velike brzine kao vetroturbine i rade efikasno i pri manjim brzinama struja, ali se obično ne koriste ispod 2 m/s. U mnogim slučajevima isplativije je kombinovati kinetičku i potencijalnu energiju [2]. Verzije za ugradnju u cevovodima, kompaktne po konstrukciji, imaju veliki potencijal u sistemima vodosnabdevanja, navodnjavanja i industrijskim procesima, s očekivanom širom primenom u budućnosti.

3. Analiza pravnog okvira i opcija za otkup električne energije

Prodaja električne energije proizvedene na teritoriji Republike Srbije moguća je isključivo u okviru njenih granica. Na proizvođaču električne energije je da odluči da li će proizvedenu električnu energiju prodavati u sistemu proizvođač ili u sistemu kupac–proizvođač.

U skladu sa trenutnim propisima, proizvodnja i prodaja električne energije se može vršiti ili po tržišnom principu, kada se potpisuje Ugovor o otkupu električne energije, ili uz primenu podsticajnih mera – tržišne premije ili fid-in tarife. U sistemu prodaje celokupno proizvedene električne energije za dodeljene fid-in tarife primenjuju se cene električne energije prema **Uredbi o podsticajnim merama za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i iz visokoefikasne kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije** („Službeni glasnik" Republike Srbije br. 56/2016, 60/2017, 44/2018 – dr. zakon, 54/2019, 112/2021 – dr. uredba), što je predstavljeno u tabeli 1. Fid-in tarife su predviđene podsticajne otkupne cene po proizvedenom kWh iz obnovljivih izvora energije koje su usklađene sa tehnologijom koja se primenjuje i koje Vlada Republike Srbije propisuje na određeni vremenski period kako bi podstakla investitore i smanjila rizik investicije.

Tabela 1. Cene električne energije u sistemu proizvođača u prethodnim godinama

Godina	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	2024.
Cena [c€/kWh]	8,41	8,54	8,65	8,62	9,05	9,88	10,17

Sistem za dodeljene fid-in tarife (prema **Zakonu o korišćenju obnovljivih izvora energije** „Službeni glasnik RS", br. 40/2021 i 35/2023) je model koji je isključivo rezervisan za mala postrojenja (do 500 kW) i demonstracione projekte. Međutim, budući da se za njihovu dodelu primenjuje identičan postupak kao u slučaju dodela tržišne premije, to podrazumeva da bi Ministarstvo rudarstva i energetike prvo moralo da utvrdi kvote za geotermalnu energiju, da proizvođač aplicira (uz davanje odgovarajuće bankarske garancije i ispunjenje ostalih uslova) i bude odabran, nakon čega bi se pristupilo realizaciji projekta i sticanju statusa povlašćenog proizvođača električne energije.

S obzirom na relevantne propise, preporuka bi bila da se kapacitet proizvodnog objekta ograniči na maksimalno 50 kW, budući da to obezbeđuje nekoliko komparativnih prednosti u odnosu na razvoj ovakvog projekta sa instalisanom snagom većom od 50 kW (operator distributivnog sistema (ODS) izdaje separat o priključenju proizvodnog objekta krajnjeg kupca u skraćenom postupku, za izgradnju je potrebno pribaviti rešenje o odobrenju za izvođenje radova, a ne građevinsku dozvolu i slično).

Imajući u vidu primenjenu tehnologiju, preporučenu snagu proizvodnog objekta i ostale okolnosti, razvoj projekta po prozjumer modelu jedini ima komercijalnog smisla. Pod pojmom kupca–proizvođača (prozjumer), prema **Zakonu o energetici** („Službeni glasnik" Republike Srbije br. 145/2014, 95/2018 – dr. zakon, 40/2021, 35/2023 – dr. zakon i 62/2023) i **Zakonu o korišćenju**

obnovljivih izvora energije („Službeni glasnik“ Republike Srbije br. 40/2021 i 35/2023), podrazumeva se krajnji kupac koji je na unutrašnje instalacije priključio sopstveni objekat za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, pri čemu se proizvedena električna energija koristi za snabdevanje sopstvene potrošnje, a višak isporučuje u prenosni sistem, distributivni sistem, odnosno zatvoreni distributivni sistem. Prema članu 4, stav 1, tačka 29 **Zakona o korišćenju obnovljivih izvora energije** obnovljivi izvori energije su definisani kao nefosilni izvori energije kao što su: vodotokovi, biomasa, vetar, sunce, obnovljivi vodonik, biogas, deponijski gas, gas iz pogona za preradu kanalizacionih voda, izvori geotermalne energije i drugi obnovljivi izvori energije. Postupak sticanja statusa kupca-proizvođača, kao i način, uslovi i kriterijumi obračuna međusobnih potraživanja kupca–proizvođača i snabdevača propisani su **Uredbom o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca-proizvođača i snabdevača** („Službeni glasnik“ Republike Srbije br. 83/2021 i 74/2022). Prema ovoj uredbi ukoliko na kraju perioda za poravnanje potraživanja i obaveza između kupca–proizvođača i snabdevača* količina ukupno isporučene električne energije bude veća od ukupno preuzete neto električne energije od kupca–proizvođača, kupac–proizvođač će bez prava na naknadu predati snabdevaču višak električne energije utvrđen u tekućem obračunskom periodu u kome se vrši poravnanje potraživanja i obaveza utvrđenih po vremenima primene tarifa za aktivnu energiju, pri čemu se niža i viša tarifa odvojeno poravnavaju.

U skladu sa propisima, način obračuna potraživanja i obaveza između kupca–proizvođača i snabdevača zavisi od kategorije krajnjeg kupca koji je postao kupac–proizvođač. U tom smislu, izričito je navedeno da ako kupac–proizvođač nije domaćinstvo ili stambena zajednica, snabdevač sa kupcem–proizvođačem putem neto obračuna slobodno ugovara uslove obračuna uzajamnih potraživanja i obaveza. Napominje se da se u praksi cena električne energije koju kupac–proizvođač isporuči u mrežu određuje u odgovarajućem procentu u odnosu na cenu po kojoj kupac–proizvođač preuzima električnu energiju iz mreže (s obzirom da Elektroprivreda Srbije (EPS) kao snabdevač snosi troškove pristupa sistemu, preuzima obavezu balansiranja u odnosu na kupca–proizvođača i pruža mu tzv. dodatne usluge). Cena se određuje za svaki konkretan slučaj zasebno, a u dosadašnjoj praksi EPS-a iznosila je do 95% cene električne energije po kojoj je kupac–proizvođač preuzima iz mreže.

4. Opis izabrane projektne opcije

Osvrćući se na važeće propise u Republici Srbiji prema kojima bi preporuka bila da se kapacitet proizvodnog objekta ograniči na maksimalno 50 kW, prednosti statusa kupac-proizvođač u odnosu na status proizvođača u ovom projektu, kao i da su moguća fazna priključenja uređaja, razmotrena je upotreba jednog uređaja sa ORC. Uzevši u obzir objektivnu mogućnost da toplotni izvor bude niže temperature od 70°C i činjenicu da ne postoje garancije od strane proizvođača da će uređaj u tim uslovima biti funkcionalan (donja temperaturna granica za pogon ove vrste sistema), razmatrana je upotreba ORC sistema kod kog je, prema proizvođačima, procenjena količina neto proizvedene električne energije (jednaka električnoj energiji koja se dobija iz generatora sa odbijenom električnom energijom za pogon pumpe) u zavisnosti od temperature toplotnog izvora data u tabeli 2.

Imajući u vidu da je pogodno da razlike između temperature isparavanja radnog fluida i temperature toplotnog izvora, odnosno razlike temperatura kondenzacije i vode za hlađenje kondenzatora (rashladne vode) budu što manje (u literaturi uobičajeno iznose 5°C), može se, prema matematičkom

---

* *Period za poravnanje potraživanja i obaveza između kupca–proizvođača i snabdevača je jedna godina koja traje od 1. aprila tekuće godine zaključno sa 31. martom naredne godine, a u slučaju novopriključenog mernog mesta traje od datuma priključenja objekta kupca–proizvođača.*

modelu sistema sa ORC datom u radu [1], odrediti termodinamički stepen korisnosti usvojenog ORC sistema, koji iznosi 7,43 % [5].

Tabela 2. Procenjena proizvedena električna energija prema temperaturi toplotnog izvora u geotermalnoj elektrani

Temperatura toplotnog izvora [°C]	70	68	65
Neto proizvedena električna energija [kW]	28,6	21,7	17,7

5. Finansijska analiza projektne opcije

Finansijskom analizom projektnih opcija se utvrđuje finansijska profitabilnost i održivost investicije tokom referentnog perioda, na osnovu pokazatelja finansijske profitabilnosti i analize finansijske održivosti. U to spadaju: godišnje vrednosti svih finansijskih rashoda uzrokovanih investicionim, operativnim i troškovima kapitalnog održavanja, godišnje vrednosti svih finansijskih prihoda koje generiše projekat, odnosno godišnje vrednosti finansijskih neto novčanih tokova u toku referentnog perioda.

Pored proizvodnje električne energije, geotermalne elektrane mogu prodavati ili eksploatisati i preostalu toplotu geotermalnog izvora koja se koristi u industrijskim ili komercijalnim procesima, za grejanje stanova ili objekata, što može doneti dodatne prihode od prodaje toplote.

Finansijski izdatak predstavljaju troškovi projekta, koji uključuju investicione troškove – trošak nabavke i puštanje u rad projektne instalacije, operativne troškove – neophodni troškovi funkcionisanja projektne instalacije u skladu sa projektnim ciljevima, kao i troškove tekućeg održavanja koji obuhvataju popravke nastale u toku eksploatacije (zbog kvara na pojedinim delovima postrojenja), a koje nisu u planu za remontovanje.

Kupac–proizvođač ima obavezu plaćanja naknada za obradu pristupa distributivnom sistemu za razliku između preuzete i utrošene električne energije, koja zapravo predstavlja naknadu za predatu električnu energiju u mrežu. Takođe, kupac–proizvođač plaća naknadu za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije, naknadu za unapređenje energetske efikasnosti, naknadu za odobrenu snagu, kao i akcize. Imajući u vidu član 25 **Uredbe o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca-proizvođača i snabdevača** („Službeni glasnik“ Republike Srbije br. 83/2021 i 74/2022), jasno je da će se sav višak proizvedene električne energije predati snabdevaču bez ikakve naknade. Zbog svega navedenog, vrlo je važno pravilno dimenzionisati elektranu kako bi se obezbedilo da se najveći deo proizvedene energije u elektrani iskoristi za sopstvene potrebe, sa što manjim količinama električne energije predate mreži, čime se smanjuju pomenute naknade.

Uzevši u obzir da **postoji objektivna mogućnost da toplotni izvor bude niže temperature od 70°C**, razmotrena je i upotreba jednog uređaja kod kog je, prema proizvođačima, procenjena količina neto proizvedene električne energije pri temperaturi geotermalnog izvora od 65°C oko 17,7 kW, tj. oko 152,9 MWh godišnje, tj. pri temperaturi od 68°C oko 21,7 kW, odnosno oko 187,5 MWh godišnje (tabela 2). Na osnovu dostupnih podataka proizvođača, za jedan uređaj bilo bi potrebno izdvojiti oko 195.000 €, odnosno procena je da je ukupno potrebno investirati oko 205.000 € u ovaj sistem, kada se u obzir uzme da je neophodno izdvojiti oko 10.000 € za izradu detaljnog projekta uređaja, tj. tehničke dokumentacije od strane proizvođača.

Prema podacima dobijenim od proizvođača, procenjena količina proizvedene električne energije u hidroturbini prilikom korišćenja vode protoka oko 40 l/s i napora 13 m (samoizliv) iznosi oko 3 kW, a njena cena je procenjena na oko 4.500 €. S obzirom da su koncipirane tako da rade po principu

„plug and play“, nema nikakvih posebnih dodatnih troškova u smislu puštanja u rad i održavanja, sem povremene provere nivoa maziva i podmazivanja na svaka 1–2 meseca.

Pored investicija koje je potrebno obezbediti za izgradnju pomenutog sistema, neophodno je povezati sistem sa postojećom elektro mrežom (elektro-orman, kablovi za povezivanje: faze, nula, uzemljenje – oko 12.000 €, tabela 3), a nakon završetka gradnje, tj. u periodu eksploatacije, potrebno je obezbediti sredstva za njegovo nesmetano funkcionisanje, koja predstavljaju godišnje troškove eksploatacije.

Operativni troškovi obuhvataju neophodne troškove funkcionisanja projektnog sistema tokom njegovog životnog ciklusa i u njih spadaju troškovi električne energije za pokretanje uređaja (uzeti u obzir prilikom proračuna proizvedene električne energije neto), kao i troškovi ličnih dohodaka zaposlenih koji upravljaju sistemom. Zbog nepoznavanja konkretnih normativa za ovu vrstu poslova prišlo se procentualnom utvrđivanju potencijalnih troškova ličnih dohodaka zaposlenih koji opslužuju geotermalnu elektranu i procenjeno je da stopa od 2 % od procenjene vrednosti sistema dovoljna za podmirenje ovih troškova, odnosno oko 5.500,00 €/god. Za troškove tekućeg održavanja ORC jedinice, tj. remontne i popravke nastale u toku eksploatacije uređaja, prema informacijama dostupnim od strane proizvođača, može se proceniti da je potrebno izdvojiti oko 4500,00 € godišnje.

Tabela 3. Investicioni troškovi sistema

	Vrsta troška	Cena [€]
1	troškovi za jedan ORC uređaj (uključujući porez, transport, radni fluid, puštanje u rad)	195.000
2	troškovi za izradu detaljnog projekta uređaja (tehničke dokumentacije)	10.000
3	hidroturbina	4.500
4	elektro-orman	6.000
5	kablovi za povezivanje	5.500
6	ostali troškovi (prilagođavanje postojećeg postrojenja, izrada projekta)	5.000
7	UKUPNO	226.000

Pretpostavljeni ukupni godišnji troškovi su predstavljeni tabelarno (tabela 4). Prekoračenje ulaganja zbog nepredviđenih izdataka nije računato, a efikasno upravljanje operativnim troškovima može doprineti poboljšanju finansijskih performansi i konkurentnosti sistema.

Tabela 4. Godišnji troškovi projekta

	Vrsta troška	Cena [€/god]
1	operativni troškovi – troškovi ličnih dohodaka zaposlenih	5.500
2	troškovi tekućeg održavanja ORC uređaja	4.500
3	UKUPNO	10.000

S obzirom da je u okviru parcele na kojoj se nalazi bušotina smešten proizvodni pogon za čije potrebe bi bila korišćena električna energija proizvedena u sistemu sa ORC, radi dalje analize potrebno je proceniti ukupnu potrošnju ovog postrojenja na godišnjem nivou. Prema računima za električnu energiju dostavljenim od strane naručioca [6] za period od marta 2023. godine do februara 2024. godine, ukupna godišnja potrošnja električne energije iznosi oko 209,7 MWh, od čega je oko

180,9 MWh u VT i oko 28,8 MWh u NT. Takođe, cena električne energije iznosi 11,97 c€/kWh u obe tarife, pa bi u slučaju nepromenjene cene u narednom periodu bilo potrebno izdvojiti oko 25.000,00 €/god na ime potrošene električne energije, koja bi se podmirila iz sopstvene proizvodnje. Uvidom u račune primećeno je da se u pojedinim mesecima znatno premašuje odobrena snaga, što dodatno opterećuje račun sa 694,504 RSD/kW, odnosno za oko 1000 €/god. Naknada za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije prema dostavljenim računima iznosi 0,801 RSD/ kWh, naknada za unapređenje energetske efikasnosti jednaka je 0,015 RSD/ kWh, dok naknada za obradu pristupa distributivnom sistemu iznosi 2,473 RSD/ kWh u VT, odnosno 0,824 RSD/ kWh u NT, što ukupno iznosi oko 4.000,00 €/god. Uzimajući troškove potrošene električne energije sa svim ostalim naknadama ukupni troškovi iznose oko 30.000,00 €/god, bez uračunatih akciza i PDV-a.

Imajući u vidu da uz ORC sistem korišćenje hidroturbine za proizvodnju električne energije značajno smanjuje energiju povučenu iz mreže, ukoliko bi potrošnja i cena električne energije ostale nepromenjene, plaćala bi se utrošena električna energija u VT i to oko 7.500,00 € godišnje pri temperaturi geotermalnog izvora od 65°C za oko 61,5 MWh, tj. oko 4.500,00 € godišnje pri temperaturi geotermalnog izvora od 68°C za oko 38,4 MWh, bez akciza i PDV-a. Sa druge strane, hidroturbina povećava i razliku između utrošene u odnosu na isporučenu električnu energiju u mrežu u NT, pa bi se plaćale prethodno pomenute nadoknade usled ove razlike u iznosu oko 450,00 €/god za oko 30,9 MWh pri temperaturi geotermalnog izvora od 65°C, odnosno oko 600,00 €/god za isporučenu energiju od oko 42,5 MWh pri temperaturi geotermalnog izvora od 68°C, ne računajući akcize i PDV. Procenjuje se da bi period povrata ove investicije bio oko 16 godina za sistem sa geotermalnim izvorom od 68°C, tj. oko 20 godina za sistem sa geotermalnim izvorom od 65°C [5].

Sagledavši sve prethodno rečeno, može se reći da se procenjuje da će period otplate biti utoliko kraći ukoliko se proizvedena električna energija više koristi za pokrivanje sopstvenih potreba. S obzirom na to da se u postupku ocene efikasnosti projekta koriste buduće vrednosti koje uslovljavaju određeni manji ili veći stepen neizvesnosti dobijenih rezultata, kao i da je cena električne energije u stalnom porastu, može se zaključiti da će se u tom slučaju period otplate investicija smanjiti. Takođe, nemoguće je predvideti potencijalne operativne troškove u budućnosti ukoliko je sistem sa ORC održavan u skladu sa preporukama proizvođača, kao ni eventualnu promenu republičkih regulatornih okvira.

6. Zaključak o izvodljivosti projekta

U radu je razmatrana mogućnost korišćenja geotermalnog izvora iz bušotine u Bogatiću za potencijalnu proizvodnju električne energije, a na osnovu zatečenog stanja na lokalitetu bušotine geotermalnog izvora i dokumentacije dostavljene od strane investitora (računi za električnu energiju, izveštaji o analizi vode, tehnički izveštaj o izvođenju radova istražno eksploatacionog bunara).

Za proizvodnju električne energije sa geotermalnim izvorom najpogodniji je sistem sa ogranskim Rankinovim ciklusom (ORC). Električna energija proizvedena pomoću ORC nastaje korišćenjem decentralizovanih toplotnih izvora, što predstavlja bitnu prednost u odnosu na konvencionalne načine proizvodnje električne energije. Korišćenjem sistema sa ORC smanjuje se emisija CO2, kao i potrošnja fosilnih goriva za proizvodnju električne energije, jer je sistem pogonjen toplotom dobijenom iz obnovljivih izvora toplote. Sa druge strane, ograničavajući faktor za upotrebu ovakvih sistema jeste niska temperatura toplotnog izvora, tj. geotermalne vode, zbog niske vrednosti termodinamičkog stepena korisnosti ciklusa elektrane.

S obzirom da je prema važećoj pravnoj regulativi u Republici Srbiji električna energija jeftinija kada se prodaje nego kada se kupuje, analiza tržišnih cena električne energije pokazala je da je finansijski najisplativije ulagati u geotermalnu elektranu koja bi zadovoljila vlastite potrebe za električnom energijom. Razlozi za investiranje u elektrane za vlastite potrebe su: energetska samostalnost (geotermalna elektrana nije zavisna od tržišnih kretanja cena energenata), smanjenje troškova nabavke električne energije i izbegavanje plaćanja ostalih naknada iskazanih po kWh utrošenom iz distributivne mreže, smanjenje rizika promene cena električne energije, ostvarenje ciljeva u pogledu energetske efikasnosti objekta kupca – proizvođača, ekološka osvešćenost.

Imajući u vidu da je u okviru lokaliteta geotermalne bušotine smeštena proizvodna hala, idealno bi bilo da se celokupno proizvedena električna energija iskoristi za sopstvene potrebe u proizvodnji (npr. radom postrojenja ili određenih mašina u tri smene, optimizacijom korišćenja određenih potrošača u periodu niže tarife, ugradnjom baterije-akumulatora) [5].

S obzirom da je realno očekivati da je temperatura geotermalne vode niža od 70ºC, procenjuje se da je najpogodnije da se geotermalna energija direktno iskoristi u jednoj jedinici ORC, pri čemu bi se na izlazu iz sistema sa ORC dobila geotermalna voda dovoljno visoke temperature koja zadovoljava postavljeni zahtev od strane naručioca da se može iskoristiti za grejanje prostora, ali se ona može koristiti i u balneološke svrhe kao i u poljoprivredi. Kinetička energija geotermalne vode na kraju procesa njenog toplotnog iskorišćenja, a pre vraćanja u povratnu bušotinu, bila bi iskorišćena u hidroturbini za proizvodnju električne energije, što bi značajno skratilo procenjeni period otplate ove investicije.

Naravno, ne bi trebalo gubiti iz vida činjenicu da je direktno korišćenje geotermalne energije bez transformacije u druge vidove energije najefikasniji i ekonomski najisplativiji način njenog korišćenja. Najekonomičnije koristiti toplotnu energiju geotermalne vode za potrebe grejanja prostora ili u balneoterapeutske svrhe, ili ukoliko je temperatura raspoloživog izvora dovoljna da zadovolji potrebe, može se koristiti i u nekim industrijskim procesima.

Za sada u Republici Srbiji još uvek nema komercijalnih geotermalnih elektrana koje bi snabdevale električnom energijom, te bi primenjena tehnologija proizvodnje električne energije predstavljala novinu u našoj zemlji.

7.Zahvalnica

Ovaj rad je rezultat istraživanja podržanog od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija RS prema Ugovoru 451-03-137/2025-03/ 200105 od 04.02.2025. godine.

8. Literatura

[1] **Otović, M., M. Komatina, N. Rudonja, U. Milovančević, S. Otović, S. Stevanović**, Upotreba geotermalne energije u organskom Rankinovom ciklusu (ORC), Elektronski zbornik radova, *47. međunarodni kongres o grejanju, hlađenju i klimatizaciji*, SMEITS, Beograd, Srbija, 2016, str. 183-192.

[2] **Ristić, B.**, *Brodski propeler kao hidrokinetička turbina – numeričke simulacije strujanja i analiza energetskih karakteristika*, Master rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija, 2019.

[3] **Wang, X., X. Liu, C. Zhang**, Parametric optimization and range analysis of Organic Rankine Cycle for binary–cycle geothermal plant, *Energy Conversion and Management*, Volume 80 (2014), str. 256–265.

[4] **Astolfi, M., M. C. Romano, P. Bombarda, E. Macchi**, Binary ORC (organic Rankine cycles) power plants for the exploitation of medium–low temperature geothermal sources – Part A: Thermodynamic optimization, *Energy*, Volume 66 (2014), str. 423–434.

[5] ******Studija izvodljivosti korišćenja geotermalnog izvora tople vode za potencijalnu proizvodnju električne energije*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija, jun 2024.

[6] ***Dokumentacija dostavljena od strane naručioca.