doi: 10.46793/EEE26-3.47I

Originalni naučni rad
UDK 553.98:620.91

Analiza mogućnosti korišćenja napuštenih naftnih i gasnih bušotina kao izvor toplotne energije u Srbiji

Marija Ilić, Dušan Danilović, Miroslav Crnogorac, Anastasija Mirjanić, Vesna Karović-Maričić, Lola Tomić
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Rezime **-** Naftne i gasne bušotine kod kojih dalja proizvodnja ugljovodonika nije ekonomski opravdana zatvaraju se, odnosno konzerviraju ili likvidiraju, čime dobijaju status napuštenih bušotina. S obzirom na to da njihove dubine dosežu od 1000 m do više od 2000 m, one dopiru do toplijih Zemljinih slojeva i predstavljaju velik neiskorišćeni geotermalni potencijal. Na području Srbije nalazi se preko 1000 napuštenih naftnih i gasnih bušotina pogodnih za dobijanje toplotne energije. Pored domaćih istraživanja, slične studije širom sveta pokazuju da ovakvi objekti mogu pružiti značajnu podršku lokalnim i regionalnim sistemima daljinskog grejanja, što ih čini važnim faktorom u strategijama energetske tranzicije. Troškovi opremanja postojećih dubokih bušotina i primene odgovarajućih tehnologija predstavljaju samo manji deo ulaganja u poređenju sa izradom novih, zbog čega se one mogu smatrati vrednim postojećim materijalnim resursom. Toplotna energija dobijena na ovaj način pripada geotermalnoj energiji, te se samim tim klasifikuje kao energija iz obnovljivih izvora. Proces eksploatacije zasniva se na zatvorenom sistemu cirkulacije radnog fluida unutar same bušotine – ohlađeni fluid se utiskuje kroz prstenasti međuprostor, zagreva se u dubljim slojevima i kroz tubing vraća na površinu. U radu su prikazane tehničke mogućnosti i prednosti korišćenja napuštenih bušotina za proizvodnju toplotne energije.

Ključne reči - napuštene naftne i gasne bušotine, toplotna energija, geotermalna energija

I UVOD

Izrada bušotina predstavlja dominantan deo kapitalnih troškova geotermalnih sistema, pa se razmatranje ponovne upotrebe napuštenih naftnih i gasnih bušotina nameće kao ekonomski opravdano rešenje za proizvodnju geotermalne energije. Troškovi opremanja postojećih dubokih bušotina za proizvodnju toplotne energije znatno su manji od izrade novih. Zbog toga se napuštene bušotine mogu smatrati značajnim postojećim materijalnim resursom [1].

Prema procenama u literaturi, u svetu postoji između 20 i 30 miliona naftnih i gasnih bušotina koje su završile svoj radni vek, a njihov energetski potencijal može se iskoristiti za proizvodnju obnovljive, pre svega toplotne energije . Iskorišćavanje postojeće bušotinske infrastrukture omogućava racionalniju upotrebu resursa, smanjenje ekoloških opterećenja i povećanje ukupne energetske efikasnosti sistema. Ovakav koncept direktno doprinosi energetskoj tranziciji, smanjenju potrošnje fosilnih goriva i razvoju savremenih tehnologija zasnovanih na obnovljivim izvorima. U zavisnosti od temperaturnih uslova u donjem delu bušotine, ove bušotine mogu biti pogodne za proizvodnju toplotne energije [1,2].

Iako su ideje o korišćenju napuštenih naftnih bušotina postojale i ranije, njihova praktična i komercijalna primena za eksploataciju geotermalne energije postaje aktuelna krajem 20. i početkom 21. veka, zahvaljujući napretku u tehnologiji razmene toplote.

Primer primene zatvorenih geotermalnih sistema u Panonskom basenu predstavlja mađarski pilot-projekat realizovan primenom WeHEAT tehnologije (eng. *wells for heat exchanging advanced technology*). Postrojenje je testirano u januaru 2021. godine na napuštenoj naftnoj bušotini KIHA-ÉK-14 (Kiskunhalas), dubine 1900 m, u koju je ugrađen koaksijalni izmenjivač toplote na dubini od 1800 m. Uslovi geotermalnog gradijenta od 45 °C/km omogućavaju stabilnu isporuku toplotne energije u rasponu od 300 kW do 900 kW. Energetska efikasnost sistema, prema operativnim podacima, iznosi oko 96%. Ostvareni kapacitet omogućava grejanje staklenika površine 1–1,5 ha ili stambenih i poslovnih objekata grejne površine do približno 30.000 m². Troškovi prenamene napuštene bušotine iznosili su oko 10% troškova konvencionalnih geotermalnih sistema [3].

U Sloveniji je u toku izgradnja geotermalne elektrane na napuštenoj bušotini Pg-8 koja će koristiti njen geotermalni potencijal na dubini od 3000 m. Elektrana će biti snage 50 kW, zatvorenog sistema i kao radni fluid koristiće se amonijak. Očekuje se da će postrojenje godišnje proizvoditi oko 400 MWh električne energije [4].

U Republici Hrvatskoj sproveden je postupak revitalizacije napuštene bušotine Pčelić-1, dubine 4772 m, s ciljem određivanja raspoložive toplotne energije uz korišćenje dubinskih izmenjivača toplote. Temperatura na dnu bušotine iznosi 206,2 °C, a analizom je utvrđeno da maksimalno potencijalno godišnje korišćenje toplotne energije u varijabilnom sistemu iznosi 1750 MWh, uz maksimalnu snagu grejanja od 1,5 MW tokom zimskog perioda. Analiza takođe ukazuje da je moguće ostvariti konstantno iskorišćenje toplotne energije snage 400 kW za direktno industrijsko grejanje tokom perioda od 20 godina, uz stabilnu temperaturu fluida od oko 50 °C [5].

Na naftnom polju Villafortuna Trecate u Italiji, koje predstavlja jedno od najvećih naftnih polja u Evropi, planira se primena dubinskog izmenjivača toplote u cilju proizvodnje toplotne i električne energije. Ležište se nalazi na dubini između 5800 i 6100 m, sa temperaturom od oko 160-170 °C [6].

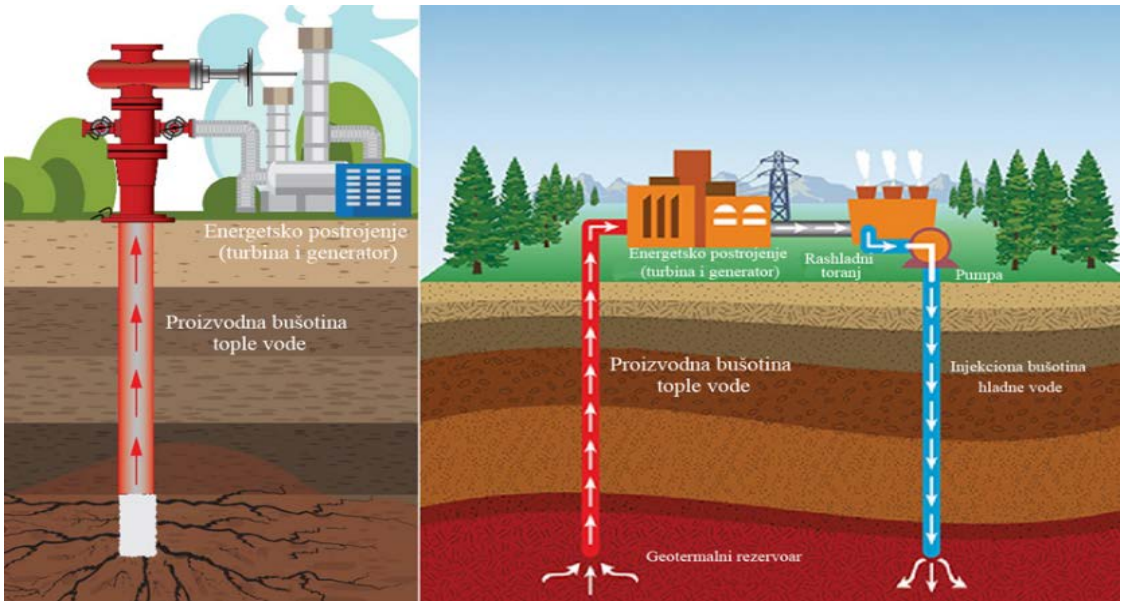
U Egiptu se razmatra izgradnja geotermalnih elektrana primenom korišćenja napuštenih naftnih i gasnih bušotina, čime se početni

troškovi smanjuju za 40% do 60%. Na polju Zapadne pustinje (Western Desert), gde su temperature oko 125 °C, primenom modifikovanog binarnog ciklusa može se ostvariti snaga od 3,063 MW. S druge strane, u regionu Sueckog zaliva, koji karakterišu visoke temperature do 300 °C, predložena je primena modifikovanog "Flash" parnog ciklusa kojom se postiže maksimalna snaga od 44,6 MW [7].

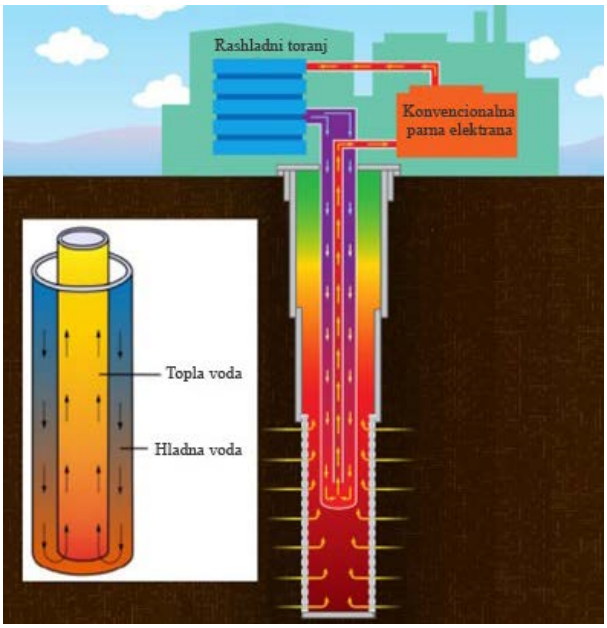
II PREDNOSTI KORIŠĆENJA NAPUŠTENIH BUŠOTINA U ODNOSU NA KONVENCIONALNE GEOTERMALNE SISTEME

Korišćenje konvencionalnih geotermalnih sistema zasniva se na dva osnovna koncepta. Prvi podrazumeva da se geotermalna voda, nakon iskorišćenja toplotne energije, ispušta u okolinu, što može imati negativan uticaj na životnu sredinu (slika 1 – levo).

Drugi koncept zasniva se na sistemu sa dve bušotine, pri čemu se geotermalna voda eksploatiše kroz proizvodnu bušotinu, dok se nakon iskorišćenja reinjektira u ležište putem utisne bušotine (slika 1 – desno). Iako ovaj pristup sprečava površinsko zagađenje i održava pritisak u ležištu, on zahteva dodatne investicione i operativne troškove, koji se odnose na izradu dodatne bušotine i potrošnju energije potrebne za proces utiskivanja fluida [8].



Slika 1. Korišćenje klasične geotremalne bušotine



Slika 2. Princip korišćenje napuštenih bušotina

Princip korišćenja napuštenih bušotina razlikuje se od konvencionalnih sistema po tome što se ista bušotina koristi i za zagrevanje radnog fluida i za njegovo vraćanje nakon iskorišćenja. Prenos toplotne energije ostvaruje se cirkulacijom odgovarajućeg radnog fluida kroz bušotinu. Radni fluid se kroz međuprostor između tubinga i eksploatacione kolone utiskuje u bušotinu, gde se zagreva usled kontakta sa toplim stenskim masama, a zatim se zagrejan fluid kroz tubing dovodi na površinu (slika 2). Na površini se toplotna energija koristi za proizvodnju toplotne energije, nakon čega se ohlađeni fluid vraća u istu bušotinu.

Opisani sistem je ekološki potpuno bezbedan, jer ne dolazi do ispuštanja iskorišćenog fluida u okolinu. Dodatna prednost ogleda se u relativno maloj potrošnji energije za cirkulaciju radnog fluida, budući da je sistem hidraulički uravnotežen i funkcioniše po principu zatvorene U-cevi, pri čemu se ista količina fluida istovremeno nalazi u međuprostoru i tubingu [9-12].

III VRSTE NAPUŠTENIH BUŠOTINA I MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA

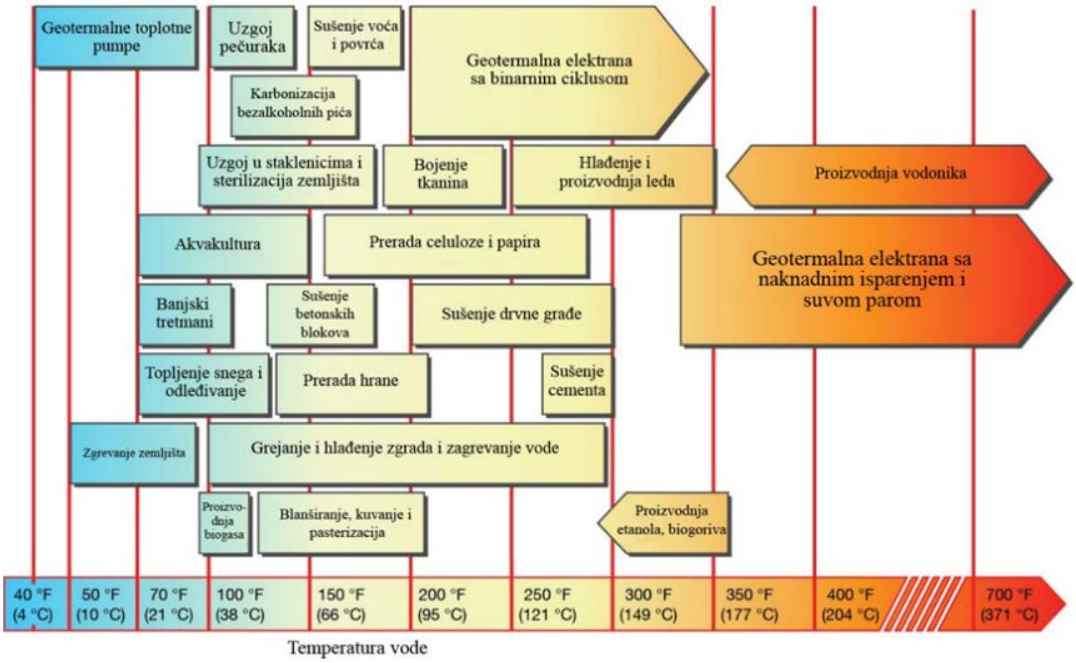
Napuštene bušotine, u zavisnosti od načina zatvaranja, mogu se podeliti na konzervirane, koje su privremeno zatvorene, i likvidirane, koje su trajno zatvorene. Konzervacija bušotina predstavlja postupak privremenog zatvaranja, pri čemu se zadržava mogućnost njihovog ponovnog korišćenja u budućnosti. Konzervirane bušotine se u određenom vremenskom periodu

nalaze van upotrebe, ali se mogu ponovo koristiti u svrhu razvoja naftnih, gasnih i kondenzatnih polja, eksploatacije geotermalnih, industrijskih i mineralnih voda, kao i za podzemno skladištenje fluida. U skladu sa planiranim periodom nekorišćenja, konzervacija se deli na kratkoročnu i dugoročnu. Dugoročna konzervacija primenjuje se kada se planira da bušotina bude van funkcije duže od jedne godine i zahteva sveobuhvatne mere kako bi se obezbedila njena dugoročna stabilnost. Kratkoročna konzervacija odnosi se na period do jedne godine i podrazumeva manje obimne zaštitne mere, uz očuvanje funkcionalnosti bušotine [13,14].

S obzirom na to da se konzervacijom zadržava mogućnost ponovnog korišćenja, konzervirane bušotine predstavljaju efikasno rešenje za buduću prenamenu [15,16].

Likvidirane bušotine predstavljaju trajno zatvorene bušotine. Postupak obuhvata postavljanje cementnog mosta unutar bušotine, čime se osigurava stabilnost i sprečava dalji prodor fluida. Zatim sečenje slobodnog dela eksploatacione kolone, uklanjanje preostale opreme,postavljanje još jednog cementnog mosta ispod vrha bušotine, kako bi se dodatno osigurala bušotina. Nakon toga se demontira erupcioni uređaj, čime se uklanja sva preostala oprema sa bušotine, i na vrhu bušotine se postavlja pokrovna kapa. Na kraju se vrši i sanacija zemljišta, uključujući obnovu vegetacije i vraćanje zemljišta u prvobitno stanje [13]. Za razliku od konzerviranih bušotina, likvidirane bušotine zahtevaju znatno veće troškove i radove za eventualno ponovno korišćenje, jer uključuju uklanjanje cementnih mostova, otvaranje bušotine i instalaciju opreme [14].

Napuštene bušotine se mogu koristiti za proizvodnju toplotne energije [6,1,17] pri čemu potencijal zavisi ne samo od temperature na dnu bušotine, već i od temperature radnog fluida na izlazu, koja određuje količinu korisne toplote dostupne na površini. Pregled različitih oblasti primene napuštenih bušotina u zavisnosti od temperature radnog fluida na ušću bušotine prikazan je na slici 3.



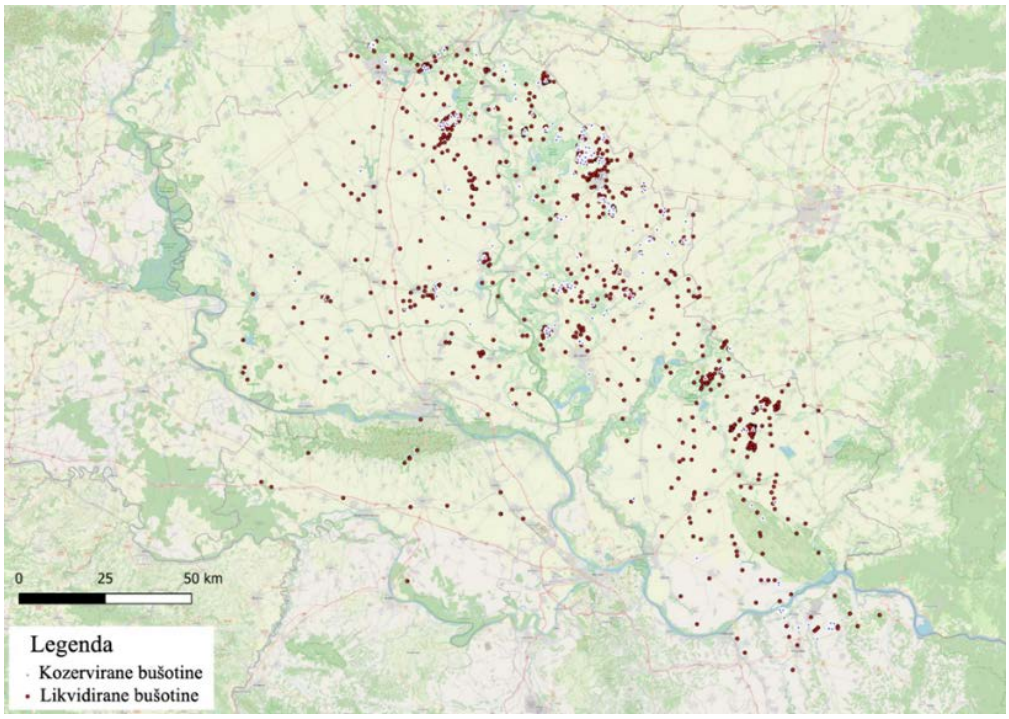
Slika 3. Mogućnosti primene napuštenih bušotina

III MOGUĆNOSTI PRIMENE NAPUŠTENIH BUŠOTINA ZA PROIZVODNJU TOPLOTNE ENERGIJE U SRBIJI

U Republici Srbiji primena napuštenih bušotina za proizvodnju toplotne i električne energije još uvek nije započeta. Ipak, značajan potencijal za ovakvu primenu postoji, s obzirom na to da se na teritoriji Vojvodine nalazi približno 1011 naftnih i gasnih bušotina koje više nisu u funkciji eksploatacije nafte i gasa. Ovu grupu čine istražne bušotine, iscrpljene proizvodne bušotine, kao i tzv. negativne bušotine.

S obzirom na to da se najveći broj napuštenih bušotina nalazi na teritoriji Vojvodine, gde dominira ravničarski prostor sa razvijenom poljoprivrednom proizvodnjom i disperzno raspoređenim naseljima, izbor njihove buduće namene treba razmatrati u skladu sa prostornim položajem bušotine u odnosu na potencijalne potrošače. Naime, ekonomska opravdanost primene napuštenih bušotina u velikoj meri zavisi od dužine toplovodnih instalacija, jer povećanje rastojanja između izvora i potrošača dovodi do većih investicionih troškova i toplotnih gubitaka. Zbog toga je racionalno da se bušotine koje se nalaze u neposrednoj blizini poljoprivrednih površina koriste prvenstveno za zagrevanje plastenika, sušenje poljoprivrednih proizvoda ili grejanje farmi za uzgoj životinja, dok se bušotine koje se nalaze u blizini urbanih sredina mogu efikasno primenjivati za grejanje stambenih, komercijalnih i javnih objekata.

Od ukupnog broja napuštenih bušotina 213 je konzervirano, dok je preostalih 798 likvidirano. Prema tome, likvidirane bušotine čine oko 79% ukupnog broja, dok je udeo konzerviranih bušotina približno 21%. Prostorni raspored napuštenih bušotina je takođe određen i grafički prikazan na slici 4.



Slika 4. Napuštene bušotine u Srbiji

Proizvedena toplotna energija iz napuštenih bušotina se može koristiti za zagrevanje plastenika i životinjskih farmi, sušenje žitarica, voća i drugih proizvoda, grejanje kuća, zgrada i banjskih kompleksa.

Za potrebe zagrevanja plastenika potrebne su relativno niske temperature grejnog medijuma, koje se u praksi najčešće kreću u opsegu 20–30 °C. Konkretna vrednost zavisi od konstruktivnih karakteristika plastenika, stepena toplotne izolacije i režima rada sistema grejanja, što ovu namenu čini posebno pogodnom za primenu niskotemperaturnih geotermalnih izvora. Upravo zbog toga, zagrevanje plastenika predstavlja jednu od najperspektivnijih oblasti primene napuštenih bušotina, jer se zahtevane temperature mogu ostvariti bez dodatnih sistema za podizanje temperaturnog nivoa, što doprinosi visokoj energetskoj efikasnosti i smanjenju investicionih i operativnih troškova. Za potrebe grejanja, plastenici zahtevaju instalisanu snagu od oko 200 W/m². Toplotni potencijal napuštene bušotine dubine 2000 m, pri temperaturnom padu radnog fluida od 20 °C (sa 40 °C na izlazu iz bušotine na 20 °C nakon hlađenja), iznosi približno 251 kW (toplotne snage). Primenom niskotemperaturnog sistema grejanja sa režimom 40/20 °C, jedna napuštena bušotina može da obezbedi dovoljno toplote za grejanje približno 1255 m² plasteničkog prostora.

Objekti namenjeni uzgoju životinja imaju relativno umerene temperaturne zahteve, koji su u domenu niskotemperaturnog grejanja i niži u poređenju sa stambenim objektima. Stabilan i kontinuiran izvor toplote predstavlja ključni zahtev ovakvih objekata, što napuštene bušotine čini pogodnim izvorom energije za ovu namenu. Primena geotermalne toplote omogućava pouzdano održavanje potrebnih mikroklimatskih uslova, uz smanjenje potrošnje konvencionalnih energenata i operativnih troškova sistema grejanja. Energetski zahtevi farmi za uzgoj životinja su nešto manji i iznose približno 150 W/m². U okviru primene niskotemperaturnog sistema grejanja sa temperaturnim režimom 40/20 °C, napuštena bušotina može predstavljati izvor toplotne energije dovoljan za pokrivanje potreba grejanja od oko 1500 m² objekata namenjenih uzgoju životinja.

Grejanje stambenih i komercijalnih objekata zahteva viši temperaturni nivo u odnosu na poljoprivredne objekte, ali se i dalje može realizovati primenom niskotemperaturnih sistema grejanja, posebno u objektima sa dobrom toplotnom izolacijom. Bušotine sa temperaturom fluida na izlazu u opsegu od 45 do 50 °C mogu efikasno pokriti energetske potrebe ovakvih objekata, naročito kada se primenjuju sistemi podnog grejanja ili niskotemperaturni radijatori. Na ovaj način ostvaruje se smanjenje potrošnje fosilnih goriva i povećanje ukupne energetske efikasnosti sistema. Za potrebe grejanja komercijalnih i stambenih objekata razmatra se primena niskotemperaturnog sistema grejanja sa temperaturnim režimom 50/30°C i instalisanom specifičnom snagom od 100 W/m². Pod ovim uslovima, toplotni potencijal jedne napuštene bušotine dovoljan je za pokrivanje energetskih potreba objekta ukupne grejne površine od približno 2300 m². Predviđeno je da sistem funkcioniše tokom grejne sezone u trajanju od 180 dana godišnje, sa dnevnim vremenom rada od 16 sati, uz koeficijent iskorišćenja sistema od 0,7.

U industrijskim postrojenjima napuštene bušotine mogu se koristiti kao izvor toplotne energije za tehnološke procese koji zahtevaju kontinuirano snabdevanje toplotom na niskom ili srednjem temperaturnom nivou. Prednost ovakve primene ogleda se u neprekidnom režimu rada tokom čitave godine, čime se postiže visok stepen iskorišćenja raspoloživog toplotnog potencijala bušotine. Zbog stalnog opterećenja sistema, industrijska primena omogućava povoljnije ekonomske

pokazatelje u poređenju sa sezonskim potrošačima. Zbog neprekidnog režima rada, 24h dnevno, industrijska primena omogućava maksimalno godišnje iskorišćenje toplotnog potencijala napuštenih bušotina, čime se postiže kraći period povraćaja investicije u poređenju sa primenama koje su ograničene na grejnu sezonu.

Banjski i rekreativni objekti predstavljaju posebno povoljne potrošače toplotne energije dobijene iz napuštenih bušotina, s obzirom na produženi period korišćenja sistema grejanja tokom godine. Temperaturni zahtevi ovih objekata kompatibilni su sa niskotemperaturnim geotermalnim izvorima, dok produženo vreme rada omogućava stabilno i efikasno iskorišćenje toplotnog potencijala bušotine. Pored grejanja prostora, ovakvi sistemi mogu se koristiti i za pripremu sanitarne tople vode, čime se dodatno povećava energetska opravdanost primene. Za potrebe grejanja banjskih i rekreativnih objekata predviđena je instalisana specifična snaga od približno 200 W/m², uz primenu niskotemperaturnog sistema grejanja sa režimom 45/28°C. U takvim radnim uslovima, toplotna energija dobijena iz jedne napuštene bušotine može obezbediti zagrevanje objekata ukupne površine od oko 1071 m². U poređenju sa grejanjem stambeno-poslovnih objekata, banjski i rekreativni kompleksi omogućavaju znatno duže vreme eksploatacije sistema tokom godine, sa minimalno 200 dana rada za potrebe grejanja, prosečnim dnevnim vremenom korišćenja od 16 sati i faktorom iskorišćenja sistema od 0,7.

Namena napuštenih bušotina direktno zavisi od temperature radnog fluida na izlazu iz bušotine, koja predstavlja jedan od ključnih tehničkih parametara za izbor sistema grejanja i krajnjeg potrošača. Bušotine sa nižim temperaturnim nivoom fluida (oko 40°C) posebno su pogodne za niskotemperaturne sisteme grejanja, kao što su plastenici i objekti za uzgoj životinja, gde su potrebne relativno niske temperature, ali kontinuiran i pouzdan izvor toplote [19]. Sa porastom temperature fluida na 45–50°C proširuje se spektar mogućih primena, uključujući grejanje stambenih i komercijalnih objekata, banjskih i rekreativnih kompleksa, kao i industrijskih postrojenja, dok u pojedinim slučajevima postoji i potencijal za proizvodnju električne energije korišćenjem odgovarajućih tehnologija.

Mogućnosti primene napuštenih bušotina prikazane su u tabeli 1, pri čemu se temperatura radnog fluida na izlazu kreće između 40 i 50 °C, što je temperaturni opseg koji je najzastupljeniji među postojećim bušotinama. Takve bušotine mogu efikasno snabdevati toplotnom energijom plastenike, farme za uzgoj životinja, stambene i komercijalne objekte, industrijska postrojenja, kao i banjske i rekreativne komplekse, a u određenim slučajevima postoji i potencijal za proizvodnju električne energije.

Za definisanje energetskog potencijala usvojen je maseni protok radnog fluida od 3 kg/s, u skladu sa tehničkim karakteristikama bušotine (prečnik eksploatacione kolone 244,5/220,0 mm i prečnik tubinga 73,0/62,0 mm). Temperatura fluida na vrhu bušotine zavisi od režima rada sistema i varira u rasponu od 40 do 50°C, što je osnov za dalje razmatranje mogućnosti prenamene bušotina u energetske sisteme. Ovaj pristup predstavlja standardnu pretpostavku u proračunima zatvorenih geotermalnih sistema, koja omogućava dalje razmatranje prenamene napuštenih bušotina u energetske sisteme i odabir adekvatnog tipa potrošača.

Tabela 1. Primena napuštenih bušotina za zagrevanje

	Zagrevanje				
Niskotemperaturni sistem grejanja, °C	Plastenika	Farmi	Komercijalnih i stambenih objekata	Industrija	Banje i rekreacija
	40/20	40/20	50/30	50/30	45/28
Temperatura na vrhu bušotine, °C	40	40	50	50	45
Maseni protok, kg/s	3	3	3	3	3
Izračunate vrednosti					
Toplotna snaga, kW	251	251	251	251	214,2
Površina grejanja, m²	1 255	1 500	2300	-	1071

VIII ZAKLJUČAK

Korišćenje napuštenih naftnih i gasnih bušotina predstavlja značajan potencijal u energetskoj tranziciji sa fosilnih goriva ka obnovljivim izvorima energije, posebno zbog mogućnosti ponovne upotrebe postojeće infrastrukture koja je često tehnički očuvana i ekonomski amortizovana. Konzervirane bušotine imaju prednost jer se minimalnim intervencijama mogu relativno brzo privesti novoj nameni, dok likvidirane bušotine zahtevaju znatno veća ulaganja i složene tehničke zahvate, što povećava troškove ponovne upotrebe.

Energetski potencijal jedne bušotine omogućava grejanje 1200–2300 m² prostora, u zavisnosti od tipa objekta, čime se smanjuje potrošnja drugih izvora energije i povećava energetska efikasnost sistema. Takva primena otvara mogućnost upotrebe u plastenicima, farmama, stambenim i industrijskim objektima, a pretvaranjem napuštenih bušotina u izvor energije može se takođe doprineti ekonomskoj održivosti i razvoju proizvodnje proizvoda veće tržišne vrednosti, posebno u poljoprivredi. Prenamena napuštenih bušotina u izvor toplotne energije predstavlja efikasno, ekonomski i ekološki opravdano rešenje, sa značajnim potencijalom za dalju primenu u Srbiji.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane projekta „Forward-Looking Framework for Accelerating Households' Green Energy Transition – FF GreEN“ koji se realizuje sredstvima Fonda za nauku Republike Srbije (grant br.4344).

LITERATURA

[1] Ilić, M., Živković, M., Danilović, D., Crnogorac, M., Karović Maričić, V., Tomić, L. Određivanje teorijskog termičkog potencijala napuštenih naftnih i

gasnih bušotina, Tehnika, Vol. 78, No. 6, pp. 667-672, 2023. https://doi.org/10.5937/tehnika2306667I

[2] Xianbiao, B., Weibin, M., Huashan, L. Geothermal energy production utilizing abandoned oil and gas wells, Renewable energy, Vol. 41, pp.80-85, 2012. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.009

[3] Szekszárdi,A., Békési, E., Gáti, M., Sulyok, I., Toth, K. WeHEAT SYSTEMS: a sustainable closed loop heating technology in the field of geothermal energy, in Proc. *European Geothermal Congress 2022*, Berlin, Germay, Geothermal Solutions, 459, pp. 1-10, 17-21 October 2022.

[4] SI-Geo-Electricity, Pilot project – Pilot geothermal power plant on existing Pg-8 well, Ministry of Cohesion and Regional Development, Republic of Slovenia, 2024. https://si-geo-electricity.si/wp-content/uploads/2022/10/SI-Geo-Electricity-eng.pdf [pristupljeno 15.12.2025]

[5] Macenić, M., Kurevija, T. Revitalization of abandoned oil and gas wells for a geothermal heat exploitation by means of closed circulation: Case study of the deep dry well Pčelić-1, Interpretation, Vol. 6, No. 1, pp. 1-9, 2018. https://doi.org/10.1190/INT-2017-0079.1

[6] Alimonti, C., Soldo, E. Study of geothermal power generation from a very deep oil well with a wellbore heat exchanger, Renewable Energy, Vol. 86, pp. 292-301, 2016. https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.031

[7] Moustafa, A.M., Shehata, A.S., Shehata, A.I., Hanafy, A.A. Reuse of Abandoned oil and gas wells for Power generation in Western Dessert and Gulf of Suez fields of Egypt, Energy Reports, Vol. 8, Supplement 9, pp. 1349-1360, 2022. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.067

[8] Liu, S., Taleghani, A.D. Closed-loop geothermal systems: Critical review of technologies, performance enhancement, and emerging solutions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 225, 116177, 2026. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116177

[9] Gao, Q., Jin, G., Yu, H., An, E., Ghassemi, A., Zhou, D., Meng, H. Heat extraction from abandoned petroleum wells utilizing coaxial borehole heat exchanger in Ordos basin, China. Renewable Energy, Vol. 230, 120806, 2024. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120806

[10] Liu, R.-J., Jia, L.-R., Zhang, W.-S., Yu, M.-Z., Zhao, X.-D., Cui, P. Study of Heat Transfer Characteristics and Economic Analysis of a Closed Deep Coaxial Geothermal Heat Exchanger Retrofitted from an Abandoned Oil Well, Sustainability, Vol. 16, No. 4, 1603, 2024. https://doi.org/10.3390/su16041603

[11] Hu, X., Jonathan Banks, J., Guo, Y., Liu, W.V. Unlocking geothermal energy by repurposing abandoned wells as enhanced geothermal systems for sustainable heat production: A numerical investigation, Journal of Hydrology, Vol. 651, 132577, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132577

[12] Ashena, R. Analysis of Some Case Studies and a Recommended Idea For Geothermal Energy Production From Retrofitted Abandoned Oil and Gas Wells, Geothermics, Vol. 108, 102634, 2023. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102634

[13] Api recommended practice, Environmental Protection for Onshore Oil and Gas Production Operations and Leases, 2009. https://www.api.org/~/media/files/policy/exploration/api_rp_51r.pdf [pristupljeno 18.12.2025]

[14] Ilić M., Danilović D., Crnogorac M., Karović-Maričić V., Tomić L., Mirjanić A. Well completion of suspended and abandoned wells for the production of thermal and electrical energy, Underground mining engineering, Vol. 1, No. 45, pp. 95-104, 2024. https://doi.org/10.5937/podrad2445095I

[15] Ojaghi, H., Shahin, M., Simjoo, M., Chahardowli, M.. Repurposing abandoned oil and gas wells for geothermal energy extraction: A review of concepts, challenges, and opportunities, Applied Energy, Vol. 401, 126816, 2025. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126816

[16] Chukwuemeka, A., Oluyemi, G., Mohammed, A., Njuguna, J. Plug and abandonment of oil and gas wells – A comprehensive review of regulations, practices, and related impact of materials selection, Geoenergy Science and Engineering, Vol. 226, 2023. https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211718

[17] Davis A., Michaelides E. Geothermal power production from abandoned oil wells, Energy, Vol. 34, No. 7 pp. 866–872, 2009. https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.03.017

AUTORI

Marija Ilić - asistent, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, marija.g.ilic@rgf.bg.ac.rs , ORCID 0000-0002-5184-6685
Dušan Danilović - vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, dusan.danilovic@rgf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0002-2969-040X
Miroslav Crnogorac - docent, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, miroslav.crnogorac@rgf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0002-8078-2684
Anastasija Mirjanić - asistent, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, anastasija.mirjanic@rgf.bg.ac.rs ORCID 0009-0008-3965-2782
Vesna Karović-Maričić - redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, vesna.karovic@rgf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0002-6323-1311
Lola Tomić - asistent, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, lola.tomic@rgf.bg.ac.rs, ORCID 0000-0002-6107-1780

Analysis of the Potential Use of Abandoned Oil and Gas Wells as a Source of Thermal Energy in Serbia

***Abstract* –** Oil and gas wells where further hydrocarbon production is no longer economically viable are shut in, i.e., suspended or plugged and abandoned, thereby acquiring the status of abandoned wells. Since their depths range from 1,000 m to over 2,000 m, they reach warmer geological formations and represent a vast, untapped geothermal potential. In the territory of Serbia, there are over 1,000 abandoned oil and gas wells suitable for thermal energy extraction. Alongside domestic research, similar studies worldwide demonstrate that such facilities can provide significant support to local and regional district heating systems, making them a vital factor in energy transition strategies. The costs of retrofitting existing deep wells and applying appropriate extraction technologies represent only a fraction of the investment required for drilling new wells, which is why they can be considered a valuable existing material resource. The thermal energy obtained in this manner falls under geothermal energy and is therefore classified as a renewable energy source. The exploitation process is based on a closed-loop circulation system of the working fluid within the wellbore itself – the cooled fluid is injected through the annulus, heated in the deeper formations, and returned to the surface through the tubing. This paper presents the technical possibilities and advantages of repurposing abandoned wells for thermal energy production.

***Index Terms* –** Abandoned oil and gas wells, Thermal energy, Geothermal energy

Rad primljen: 12.03.2026., prihvaćen: 18.08.2026.