

# Eksploatacija geotermalne energije revitalizacijom privremeno napuštenih bušotina

## Exploitation of geothermal energy by using revitalized wells

**dr. sc. Tomislav Kurevija, dipl. ing. petrol.**  
RGNF, redoviti profesor  
tkurevi@rgn.hr

**Tin Herbst, bacc. ing. petrol.**  
RGNF, student  
tin.herbst@rgn.unizg.hr

**dr. sc. Marija Macenić, mag. ing. min.**  
RGNF, poslijedoktorand  
mmacenic@rgn.hr



**Ključne riječi:** privremeno napuštene bušotine, duboki koaksijalni bušotinski izmjenjivač, geotermalna energija.

**Keywords:** temporarily abandoned wells, deep coaxial heat exchangers, geothermal energy.

### Sažetak

Usljed pada proizvodnje ugljikovodika očekuje se porast broja napuštenih, zavodnjenih i likvidiranih naftnih i plinskih bušotina na području Republike Hrvatske. Ovakve neperspektivne duboke bušotine imaju potencijal za iskorištavanje geotermalne energije, osobito na području Panonskog bazena gdje su utvrđene povišene vrijednosti geotermalnog gradijenta. Revitalizacija privremeno napuštenih, posebice suhih, bušotina moguća je prenamjenom u duboki koaksijalni izmjenjivač topline. Pridobivanje toplinske energije se zatim odvija cirkulacijom radnog fluida u zatvorenoj cirkulaciji kroz izmjenjivač.

### Abstract

Due to the decline in hydrocarbon production, an increase in the number of abandoned, flooded and

liquidated oil and gas wells in the Republic of Croatia is expected. Such deep wells have the potential to exploit geothermal energy, especially in the Pannonian Basin in Croatia, where elevated geothermal gradient values have been identified. Revitalization of temporarily abandoned, especially dry, wells is possible by converting them to a deep coaxial borehole heat exchanger. The exploitation of thermal energy then takes place by circulating the working fluid in a closed circulation through the exchanger.

## 1. Uvod

Od ukupnog broja bušotina koje se nalaze u Panonskom bazenu Hrvatske, jedan dio čine privremeno napuštene istražne, utisne, proizvodne i mjerne bušotine. Prema podacima INA grupe od sredine 20. stoljeća izrađeno je otprilike 4500 istražnih, proizvodnih i razradnih bušotina (INA d.d., 2018). Međutim, krajem 20. stoljeća započeo je pad proizvodnje ugljikovodika, zabilježeno je povećanje udjela vode u proizvodnji te je došlo do smanjenja tlaka u ležištima, što je rezultiralo napuštanjem, likvidacijom ili prenamjenom proizvodnih bušotina u utisne ili mjerne. Pretpostavlja se da će udio takvih bušotina,

kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj, i dalje rasti. Pannonski bazen, na području Republike Hrvatske, ima dokazano povišene vrijednosti geotermalnog gradijenta i toplinskog toka, kao što je vidljivo na novoj karti geotermalnog gradijenta (Slika 1). Zbog toga je potencijal navedenog područja za iskorištavanje geotermalne energije relativno visok.

Jedna od mogućnosti iskorištavanja takvih resursa je prenamjena privremeno napuštenih bušotina u duboke bušotinske izmjenjivače topline. Područje istraživanja revitalizacije neaktivnih bušotina iskorištavanjem geotermalne energije u posljednja dva desetljeća je u porastu (Morita i drugi; Kohl i drugi; Alimonti i Soldo, 2016;). Revitalizacijom bušotina otvara se mogućnost iskorištavanja obnovljive geotermalne energije, poglavito u sektoru toplinarstva a koji će ubrzo, s obzirom na energetske i klimatske zahtjeve, prolaziti kroz proces dekarbonizacije.

## **2. Postupak revitalizacije privremeno napuštenih bušotina upotrebom dubokih koaksijalnih izmjenjivača topline**

Prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18) istraživački ili eksploatacijski prostor nakon upotrebe mora biti saniran. Taj proces je ekonomski intenzivan za naftno-rudarske tvrtke. Za same bušotine sanacija podrazumijeva njihovo trajno napuštanje odnosno likvidaciju te nisu pogodni kandidati za revitalizaciju i ponovno stavljanje u upotrebu. Međutim, privremeno napuštene bušotine ili bušotine koje se planiraju napustiti i likvidirati, bile one mjerne, proizvodne ili istražne, mogu biti potencijalni kandidati za ugradnju dubokih izmjenjivača topline u svrhu iskorištavanja geotermalne energije.

Kod privremeno napuštenih bušotina površinska oprema je prisutna dok je sama bušotina ili ugušena ili je ugrađen cementni čep u svrhu sprječavanja komunikacije slojnih fluida s površinom. Koncept iskorištavanja geotermalne energije bušotinskim izmjenjivačima topline dobro je poznat kod iskorištavanja plitkih geotermalnih resursa pri čemu se pridobivanje toplinske energije odvija cirkulacijom radnog fluida u zatvorenom krugu. Glavne tri izvedbe bušotinskih izmjenjivača su jednostruka U petlja, dvostruka U petlja i koaksijalni izmjenjivač.

U posljednja dva desetljeća vidljiv je porast istraživanja i primjene tehnologije koaksijalnih izmje-

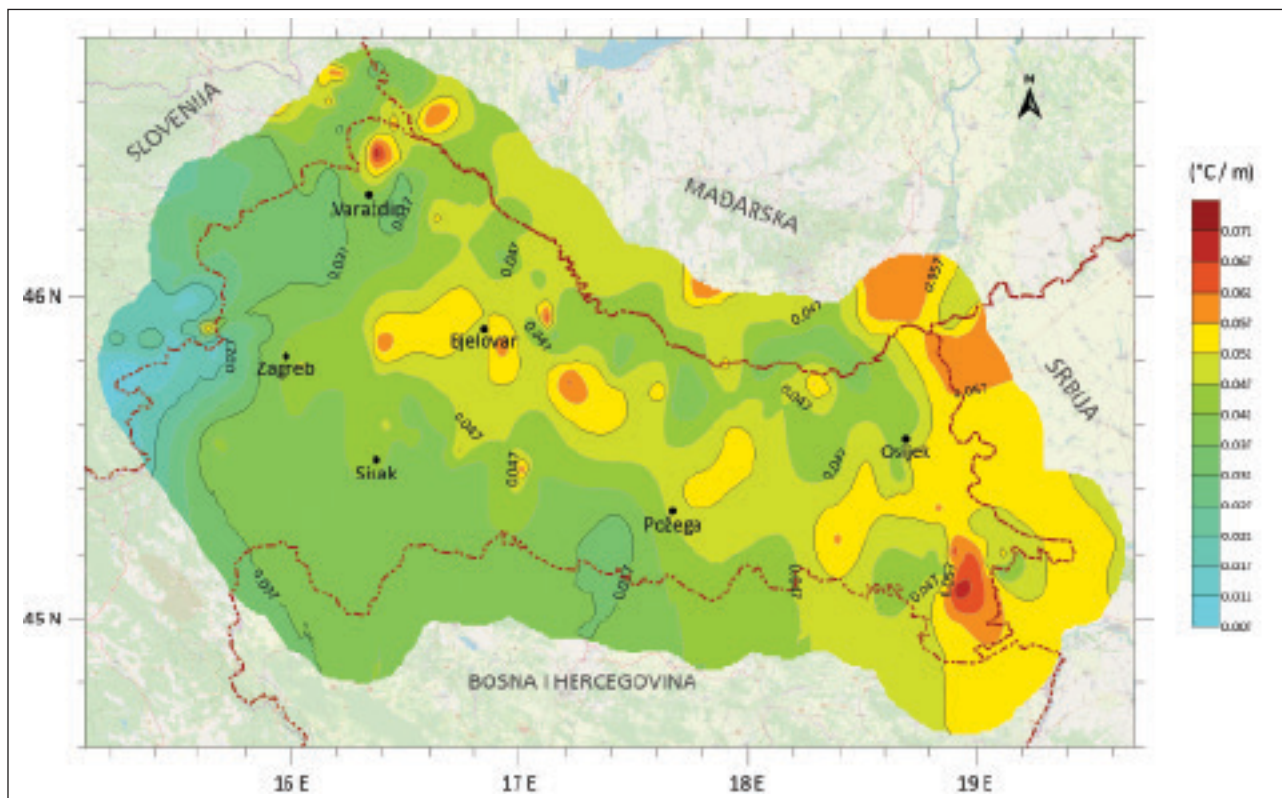
njivača topline kod iskorištavanja dubokih geotermalnih potencijala. Razlog za korištenje koaksijalnih izmjenjivača kod dubokih bušotina nalazi se u većoj dodirnoj površini cijevi sa stijenskom masom i manji ostvareni pad tlaka nego kod jednostruke ili dvostruke U petlje. Koaksijalni bušotinski izmjenjivač podrazumijeva izvedbu cijev-u-cijevi, odnosno cijev manjeg promjera nalazi se unutar cijevi većeg promjera.

U slučaju dubokih koaksijalnih izmjenjivača topline (DCBHE) vanjsku cijev čine kolone zaštitnih cijevi, dok se kao unutarnja cijev ugrađuje tubing odnosno kolona uzlaznih cijevi. Protok radnog fluida ostvaruje se cirkulacijom radnog fluida kroz unutarnju cijev i prstenasti prostor, a pridobivanje geotermalne energije odvija se prijelazom toplinske energije s toplije stijenske mase na pothlađeni cirkulirajući fluid u bušotinskom izmjenjivaču. Pri tome se pothlađeni radni fluid može utiskivati kroz unutarnju cijev, a zagrijani fluid proizvoditi kroz prstenasti prostor (konfiguracija protjecanja CXC) ili obrnuto (konfiguracija protjecanja CXA).

Za potrebe revitalizacije bušotina prvo je potrebno iz dnevnika bušenja ili bušotinskog arhiva preuzeti podatke o konstrukcijskim parametrima pojedine bušotine, a koji podrazumijevaju dubinu ugradnje pojedinih sekcija zaštitnih kolona kao i njihove promjere. Navedeni parametri su potrebni kako bi se moglo odrediti odgovarajuće dimenzije unutarnje cijevi kojom se oprema bušotina. Kako bi privremeno napuštena bušotina ili bušotina pred napuštanje bila ocijenjena kao pogodan kandidat za revitalizaciju potrebno je ocijeniti stanje ugrađenih kolona zaštitnih cijevi.

Prema tome, potreban je angažman remontnog postrojenja koje će odrediti da li su zaštitne cijevi u dovoljno dobrom stanju za daljnje korištenje, kao i za opremanje kolonom uzlaznih cijevi. Remontno postrojenje ima za zadatak ukloniti zastali fluid u zaštitnim cijevima, očistiti zaštitne kolone od nečistoća, ako su prisutne, te ugraditi paker na odabranoj dubini, kako bi se spriječilo eventualno dotjecanje ležišnih fluida. Nakon ugradnje pakera bušotina se oprema kolonom uzlaznih cijevi, čija se konfiguracija određuje na temelju promjera kolone zaštitnih cijevi i proračuna pada tlaka. Kolona uzlaznih cijevi, odnosno tubing, na dnu mora biti zatvoren, ali na određenoj udaljenosti od dna perforiran kako bi se osigurao protok radnog fluida.

Druga opcija je ugradnja cirkulacijske alatke na dnu, međutim ta opcija je povoljnija kod manjih dubina s obzirom da bi upotrebom cirkulacijske alatke došlo do povećanja pada tlaka, što se pokušava zadr-

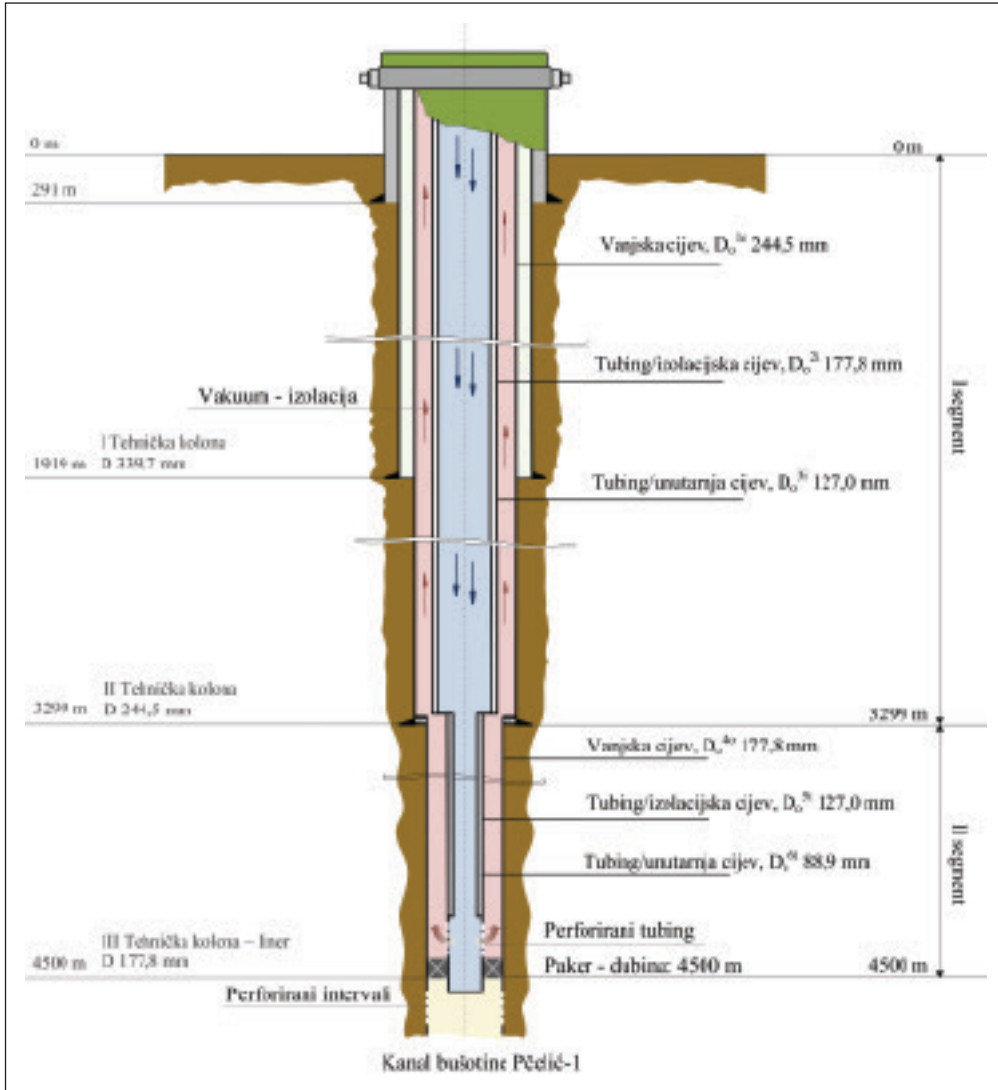


Slika 1. Nova karta geotermalnog gradijenta za sjeverni dio Hrvatske (Macenić, 2020)

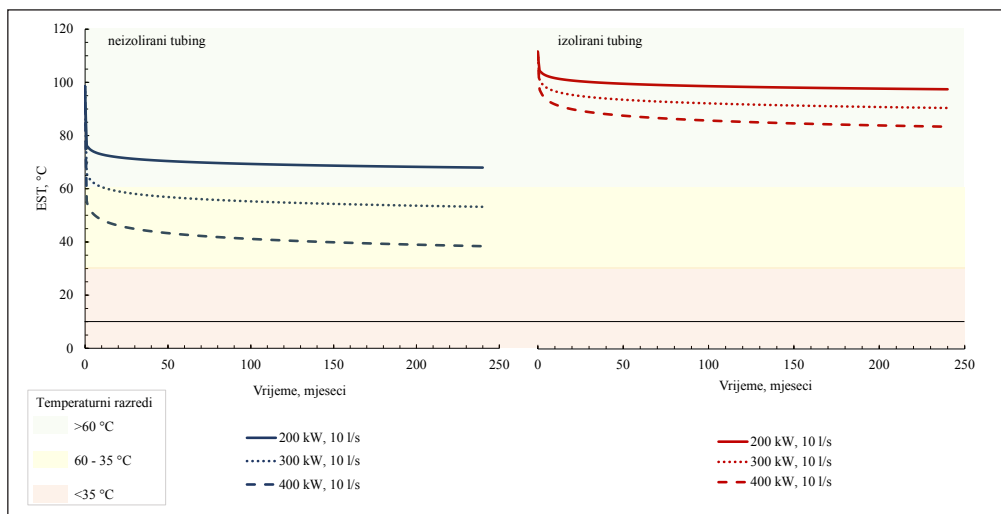
žati u minimalnim okvirima. Vrsta tubinga kojom će se opremiti duboki bušotinski izmjenjivač ovisi o dostupnim promjerima i duljinama savitljivog tubinga i klasičnih navojnih kolona uzlaznih cijevi. Korištenje savitljivog tubinga je optimalnije za slučajeve plićih bušotina, do cca 2000 m, s obzirom na pad tlaka i traženi protok. Prije ugradnje tubinga potrebno izraditi analizu pada tlaka za različite konfiguracije promjera unutarnje cijevi u skladu s promjerom vanjske cijevi kako bi se odabrala optimalna konfiguracija sa stanovišta pada tlaka.

Također, moguća je konstrukcija bušotina u nekoliko segmenata ovisno o promjeru kolone zaštitnih cijevi, a što ovisi o dubini bušotine. Shodno tome, postoji mogućnost da se bušotinski izmjenjivač izvede u segmentima na način da se promjer tubinga prilagodi u segmentu ovisno o promjeru vanjske cijevi. Tako su se na primjeru odabrane bušotine Pčelić-1 odabrala dva različita promjera tubinga – u prvom segmentu, do dubine 3999 m bušotina bi se opremila tubingom promjera 127 mm, dok bi u drugom segmentu bila opremljena tubingom promjera 88,9 mm, a u skladu sa smanjenim promjerom vanjske cijevi u drugom segmentu (Slika 2). Uz promjer unutarnje cijevi potrebno je voditi računa i o izolaciji tubinga. Naime, cirkulacijom pothlađenog i zagrijanog fluida

unutar koaksijalnog izmjenjivača moguće je da dođe do gubitka toplinske energije odnosno do prijelaza toplinske energije sa zagrijanog fluida na pothlađeni fluid. Gubitak je potrebno svesti na minimum, a što se može ostvariti ugradnjom dodatne kolone, za red veće od uzlazne kolone, te ostvarenjem vakuuma u tom prstenastom prostoru, između dva tubinga (Morita et al, 1985) ili cijevi izrađene od polimernih vlakana ojačane staklenim vlaknima, s nižim vrijednostima toplinske vodljivosti. Međutim, cijevi od polimernih vlakana imaju ograničenu dubinu ugradnje, te se mogu koristiti za dubine manje od 3000 m. Tako je kod dubokog koaksijalnog bušotinskog izmjenjivača u Wegissu, upotrebom vakuum pumpe ostvarena ekvivalentna toplinska vodljivost tubinga od 0,09 W/m°C (Kohl et al, 2002). Utjecaj izolacije tubinga na rad izmjenjivača vidljiv je na Slici 3. Vidljivo je kako bi temperaturni odaziv, za ista toplinska opterećenja i protok, u slučaju izoliranog tubinga bio povoljniji s obzirom na više ostvarene temperature tijekom 20 godina rada sustava. Za pridobivanje toplinske energije kao radni fluid se obično uzima voda, pri čemu je potrebno obratiti pozornost na to da ulazna temperatura ne bi trebala dosegnuti 0°C, kako bi se izbjeglo smrzavanje i posljedično moguće uništenje bušotinskog izmjenjivača. Kako bi se osiguralo da



Slika 2. Primjer izgleda privremeno napuštene bušotine Pčelić-1 nakon revitalizacije dubokim koaksijalnim bušotinskim izmjenjivačem topline (Macenić, 2020).



Slika 3. Prikaz proračuna temperaturnog odaziva predviđenog dubokog koaksijalnog bušotinskog izmjenjivača Pčelić-1, u slučaju neizoliranog i izoliranog tubinga, pri protoku od 10 l/s (Macenić, 2020)

do smrzavanja ne dođe, moguće je kod projektiranja predvidjeti temperaturu fluida koja bi i nakon projektiranog rada sustava bila barem  $5^{\circ}\text{C}$  iznad točke smrzavanja ili kao radni fluid koristiti smjesu glikola i vode.

### 3. Toplinski potencijal dubokih koaksijalnih izmjenjivača topline u Hrvatskoj

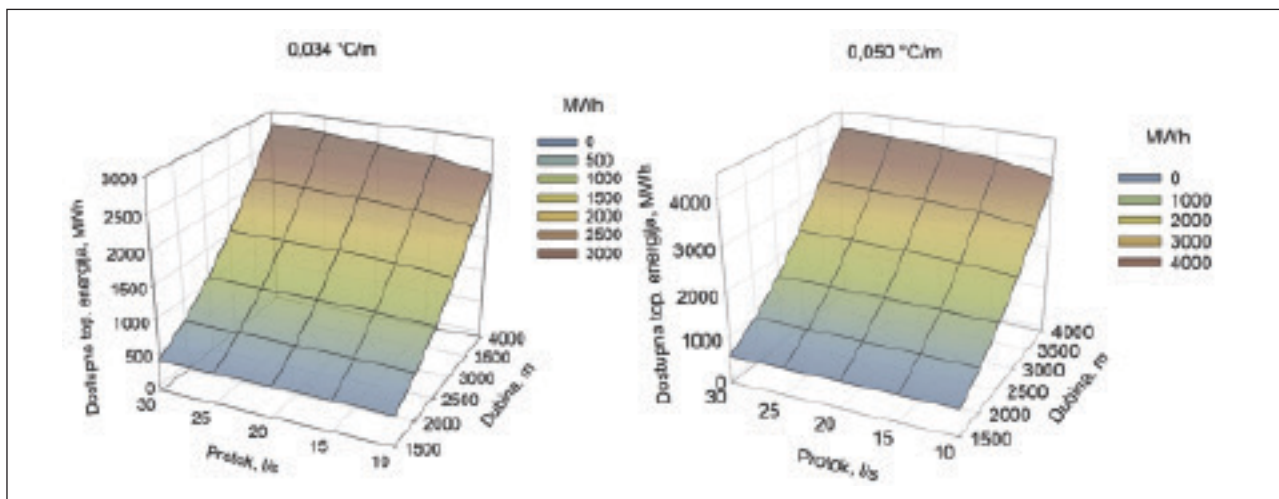
Korištenje dubokih koaksijalnih izmjenjivača topline za direktno korištenje toplinske energije u prvom redu ovisi o potrebama korisnika. Moguće su dvije opcije toplinskih potreba – konstanto i varijabilno toplinsko opterećenje. Konstantno toplinsko opterećenje podrazumijeva cjelogodišnje korištenje toplinske energije u jednakom toplinskom opterećenju. Iako rijetko, ovakve toplinske potrebne obično su zastupljene u industriji, npr. kod procesa sušenja, balneologiji i sl. Češće je međutim u praksi varijabilno toplinsko opterećenje gdje toplinske potrebe korisnika ovise o klimatskim uvjetima lokacije, odnosno toplinske potrebe su izražene tijekom sezone grijanja. Uz to, kod varijabilnih opterećenja tijekom ljetnih mjeseci pretpostavlja se da sustav ne radi te se na taj način osigurava toplinski oporavak stijenske mase.

Također, tehnološko rješenje sustava grijanja na strani korisnika potrebno je uzeti u obzir prilikom projektiranja iskorištavanja dubokih izmjenjivača. Tako je za temperaturni režim iznad  $40^{\circ}\text{C}$  moguće direktno iskorištavanje upotrebom pločastih izmjenjivača, dok je za niže temperaturne razrede potrebno koristiti dizalice topline. Nadalje, za određivanje toplinskog potencijala potrebno je poznavati toplin-

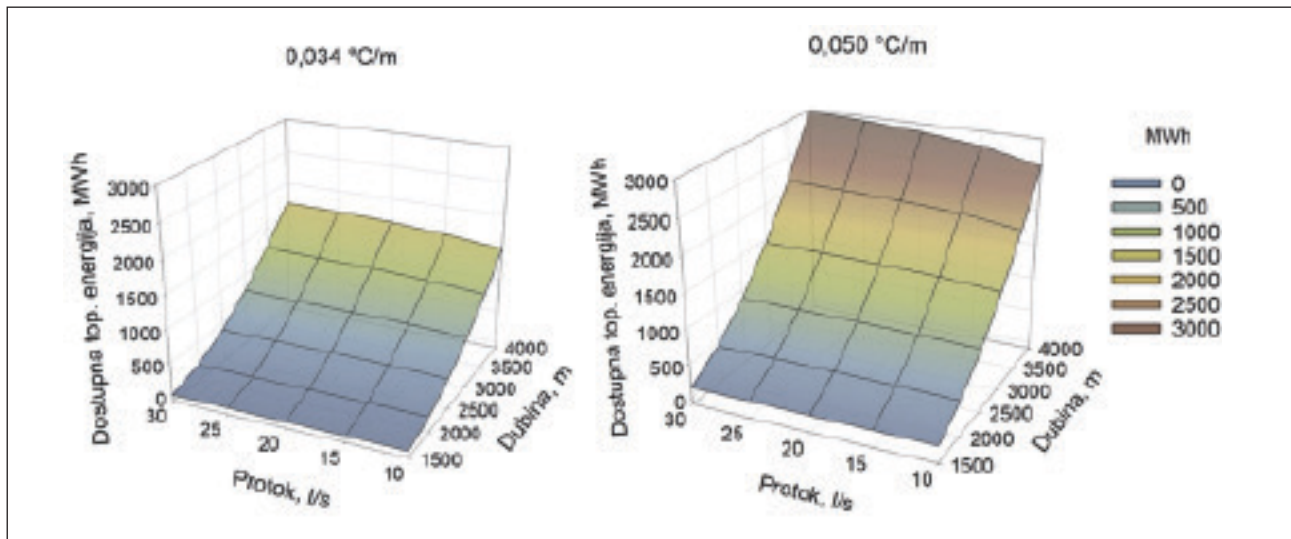
ska svojstva stijena, odnosno toplinsku vodljivost, toplinski kapacitet, toplinski difuzivitet i geotermalni gradijent, s obzirom da o njima ovisi dostupna toplinska energija. Prema tome kod projektiranja dubokih izmjenjivača topline potrebno je u obzir uzeti geometrijske parametre dubokog bušotinskog izmjenjivača, toplinska svojstva stijena i radnog fluida te toplinske zahtjeve korisnika kao i tehnološko rješenje termotehničkog sustava. Na temelju tih grupa parametra izrađena je prva procjena toplinskog potencijala iskorištavanja geotermalne energije revitalizacijom privremeno napuštenih naftnih, plinskih i istražnih bušotina (Macenić, 2020).

Analiza je rađena za različite uvjete protoka (od 10 do 30 l/s, u koraku po 5 l/s), dubine (1500 do 4000 m, u koraku od 500 m) te različitim geotermalnim gradijentima (od  $0,034$  do  $0,050^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , u koraku od  $0,004^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ). Toplinski potencijali određeni su za slučajeve kontinuiranog i varijabilnog toplinskog opterećenja za dva temperaturne režima, viši (minimalna izlazna temperatura  $40^{\circ}\text{C}$ ) i niži (minimalna izlazna temperatura  $10^{\circ}\text{C}$ ), pri čemu se kod nižeg temperaturnog razreda pretpostavlja korištenje dizalica topline. S tehničkog stanovišta moguće je kaskadno korištenje dizalica topline, kako bi se osiguralo optimalno iskorištavanje dostupne toplinske energije. Dostupna toplinska energija pri najnižoj i najvišoj odabranoj vrijednosti geotermalnog gradijenta za varijabilna opterećenja, s obzirom na to da su ona u praksi češća, prikazana su na Slici 4 za niži, a na Slici 5 za viši temperaturni režim (Macenić, 2020).

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da povećanjem vrijednosti dubine, protoka i geotermalnog gradijenta raste i dostupna toplinska energija. Međutim,



Slika 4. Dostupna toplinska energija kod varijabilnih toplinskih opterećenja pri geotermalnim gradijentima  $0,034$  i  $0,050^{\circ}\text{C}/\text{m}$  za niži temperaturni režim (Macenić, 2020)



Slika 5. Dostupna toplinska energija kod varijabilnih toplinskih opterećenja pri geotermalnim gradijentima 0,034 i 0,050°C/m za viši temperaturni režim (Macenić, 2020)

u slučaju višeg temperaturnog režima postoji mogućnost da pliće bušotine koje se nalaze na području nižih vrijednosti geotermalnog gradijenta ne ostvare temperature proizvedenog fluida koje mogu zadovoljiti toplinske potrebe za direktno korištenje. U takvom slučaju i dalje postoji mogućnost revitalizacije i ugradnje bušotinskog izmjenjivača, ali je poželjno rješenje korištenje dizalica topline i prelazak na niži temperaturni režim.

#### 4. Tehno-ekonomska analiza korištenja dubokih izmjenjivača topline

Cirkulacija radnog fluida u koaksijalnom bušotinskom izmjenjivaču topline ostvaruje se radom cirkulacijske pumpe. Porastom dubine i porastom vrijednosti protoka raste i pad tlak koji se ostvaruje u unutarnjoj i vanjskoj cijevi izmjenjivača. S porastom vrijednosti pada tlaka potrebno je odabrati cirkulacijsku pumpu odgovarajuće snage. Porastom pada tlaka tako se povećava potrošnja električne energije potrebne za cirkulaciju radnog fluida. Faktor iskoristivosti (tzv. SPF faktor), tj. omjer dostupne toplinske energije korištenjem dubokih bušotinskih izmjenjivača i utrošene energije za rad cirkulacijske pumpe, identificiran je kao jedan od faktora za procjenu isplativosti postupka revitalizacije.

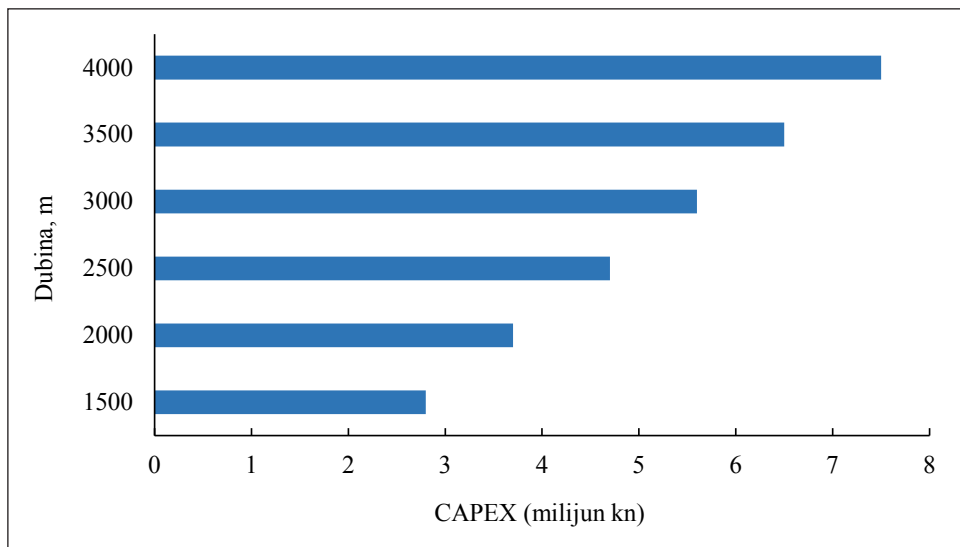
Drugi odlučujući čimbenik su kapitalni troškovi procesa revitalizacije bušotina u geotermalne. U kapitalni trošak kod revitalizacije ubrajaju se cijena najma i rada remontnog postrojenja, trošak ispitivanja kvalitete vezivanja cementnog kamena, te hidrauličkog i

mehaničkog integriteta kanala bušotine, trošak eventualnog popravnog cementiranja (skviziranja), trošak nabave i ugradnje tubinga, trošak nabave, ugradnje i aktivacije izolacijske alatke (pakera), trošak nabave pumpe za održavanje cirkulacije radnog fluida.

Navedeni troškovi određeni su principom ponude i potražnje najma na tržištu, zatim kretanjem cijena nafte, regiji i tipu remontnog postrojenja. Prosječni dnevni troškovi najma remontnog postrojenja se najčešće kreću između 4100 € i 8300 € po danu. Uz sam najam potrebno je uračunati i troškove mobilizacije i demobilizacije postrojenja, kao i trošak zaposlenog osoblja (scmdaleel.com, 2021). Cijena tubinga ovisi o promjeru samog tubinga, te se kreće od 125 000 € za manje promjere do preko 250 000 € za veće promjere (Moritis, 2011). Kao prosječna cijena troška opremanja dubokog koaksijalnog bušotinskog izmjenjivača topline uzeta je vrijednost od 1865 kn/m, te su određeni iznosi kapitalnih troškova revitalizacije bušotina za dubine od 1500 do 4000 m (Slika 6), u koraku po 500 m (Herbst, 2021). U trošak opremanja uključeni su troškovi najma i rada remontnog postrojenja, troškovi čišćenja bušotine, odnosno otklanjanja eventualnih nečistoća unutar niza zaštitnih cijevi, trošak nabave, ugradnje i aktivacije izolacijske alatke na dnu bušotine, trošak nabave i ugradnje dvije vrste tubinga za potrebe toplinske izolacije koaksijalnog izmjenjivača topline, te trošak vakuum pumpe.

Slika 7 prikazuje kretanja kapitalne investicije u odnosu na dostupnu toplinsku energiju za niži temperaturni režim. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da se pri višim vrijednostima protoka, većim dubinama i višim vrijednostima geotermalnog gradijenta kapital-

Slika 6. Kapitalni trošak revitalizacije bušotina ugradnjom dubokog koaksijalnog izmjenjivača topline na temelju prosječne cijene od 1865 kn/m za različite dubine (Herbst, 2021)

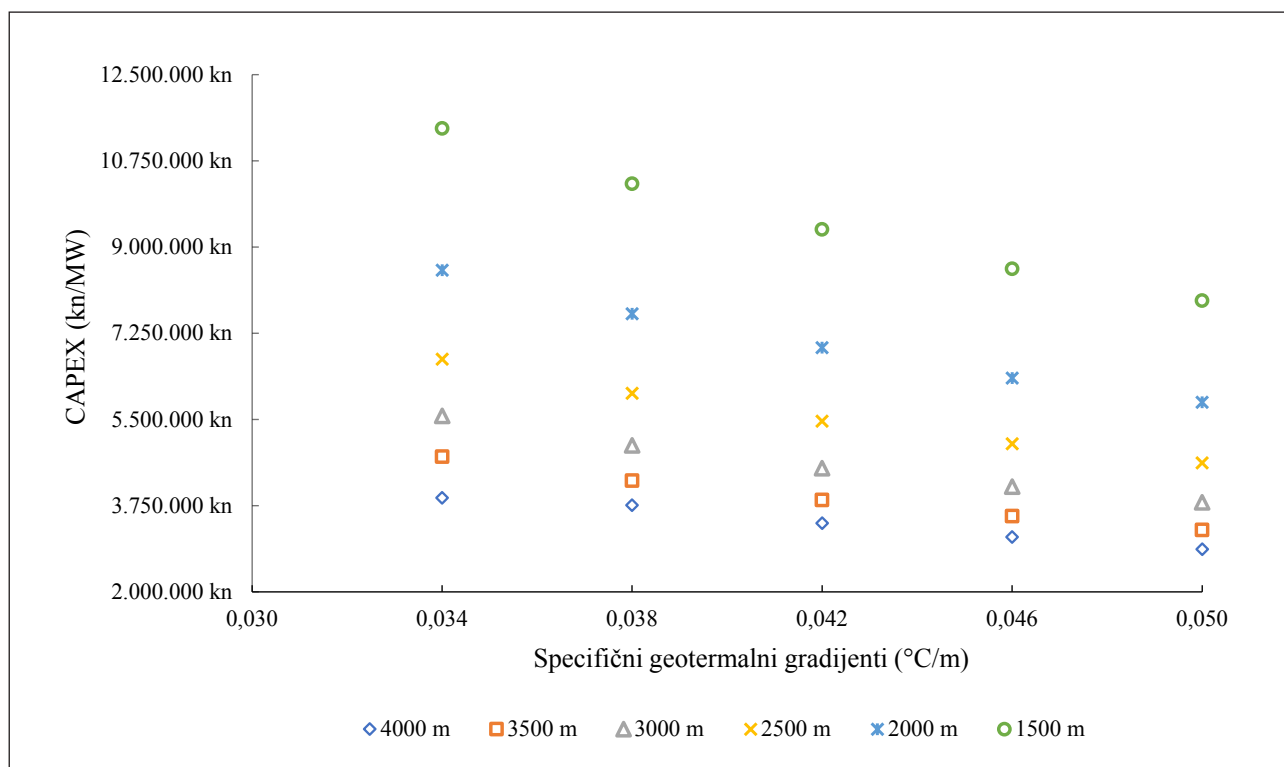


ni trošak, u odnosu na dostupnu toplinsku energiju, smanjuje.

Vidljivo je također da se kapitalni trošak investicije po MWh dostupne toplinske energije kreće u rasponu od minimalnih 80 kn/MWh, za dubine od 4000 m i vrijednosti geotermalnog gradijenta od 0,050°C/m, do maksimalnih 440 kn/MWh, za dubine od 1500 m i vrijednosti geotermalnog gradijenta od 0,034°C/m. Za usporedbu, kapitalni trošak izrade i opremanja mreže proizvodnih i utisnih bušotina dubine 2 000 m za potrebe opskrbe toplinskom energijom korisnika

u Danskoj tijekom sezone grijanja iznose 21 000 000 kn/MW (ens.dk, 2021), dok kapitalni trošak revitalizacije napuštene naftne ili plinske bušotine dubine 2 000 m iznosi 5 740 000 kn/MW u slučaju specifičnog geotermalnog gradijenta od 0,05°C/m, te 8 881 000 kn/MW za slučaj specifičnog geotermalnog gradijenta od 0,032°C/m.

Prema tome, kapitalni trošak revitalizacije napuštene bušotine ili mreže napuštenih naftnih i plinskih bušotina je, za istu količinu dostupne toplinske energije, pri specifičnom geotermalnom gradijentu



Slika 7. Kretanje kapitalnih troškova postupka revitalizacije ugradnjom DCBHE sustava za niži temperaturni režim u odnosu na različite geotermalne gradijente (Herbst, 2021)

od 0,034°C/m za 2,3 puta manji, dok je pri specifičnom geotermalnom gradijentu od 0,05°C/m za 3,7 puta manji u odnosu na kapitalni trošak izrade i opremanja mreže novih geotermalnih bušotina za potrebe sustava opskrbe toplinskom energijom. Stoga, revitalizacija privremeno napuštenih bušotina ugradnjom dubokih koaksijalnih izmjenjivača topline mogu predstavljati alternativu konvencionalnim geotermalnim projektima.

## 5. Zaključak

S obzirom na broj izrađenih bušotina i činjenicu da je proizvodnja ugljikovodika u Hrvatskoj u padu posljednjih 20-ak godina, broj napuštenih i likvidiranih bušotina je u porastu. Sam postupak napuštanja i likvidacije predstavlja određeni trošak vlasnicima takvih bušotina, a uz to mogu predstavljati i opasnost za okoliš. Revitalizacijom privremeno napuštenih naftnih i plinskih bušotina moguće je smanjiti troškove napuštanja za vlasnike bušotina, tj. naftne kompanije. Uz to, na relativno brz i jednostavan način moguće je iskorištavati geotermalne resurse, čime se mogu za-

dovoljiti zahtjevi Europske unije o udjelu obnovljivih izvora energije u energetske bilanci.

Sam proces revitalizacije i prenamjene postojećih bušotina sastoji se od nekoliko koraka, a koji uključuju čišćenje cijevi zaštitnih kolona, provjeru stanja cijevi i cementnog kamena, uklanjanje zaostalog fluida, ugradnju pakera te ugradnju tubinga, koji predstavlja unutarnju cijev koaksijalnog izmjenjivača topline. Za odabir optimalnog rješenja revitalizacije pojedine bušotine u obzir se uzimaju geometrijske karakteristike izmjenjivača, toplinska svojstva stijena i radnog fluida te zahtjevi toplinskog opterećenja, koji ovise o potrebama korisnika. Za optimalno rješenje može se koristiti faktor iskoristivosti koji predstavlja omjer dostupne toplinske energije i utrošene električne energije potrebne za rad pumpe. Osim utroška električne energije kao operativnog troška potrebno je uračunati i kapitalne troškove postupka revitalizacije. Ekonomska analiza je pokazala da revitalizirane bušotine ugradnjom dubokih izmjenjivača topline predstavljaju alternativu u odnosu na skupe konvencionalne geotermalne projekte koji se izvode za potrebe pokrivanja toplinskom energijom u sektoru toplinarstva.

## Literatura:

1. ALIMONTI, C. & SOLDI, E.: Study of geothermal power generation from a very deep oil well with a wellbore heat exchanger. *Renewable energy*, 2016, 86, 292-301.
2. HERBST, T.: Tehno-ekonomska analiza eksploatacije geotermalne energije revitalizacijom napuštenih naftnih, plinskih i istražnih bušotina [*Techno-economic analysis of geothermal energy exploitation by revitalization of abandoned oil, gas and exploration wells – in Croatian*]. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, 2021.
3. KOHL, T., BRENNI, R., & EUGSTER, W.: System performance of a deep borehole heat exchanger. *Geothermics*, 2002, 31(6), 687-708.
4. MACENIĆ, M.: Konceptualni model eksploatacije geotermalne energije revitalizacijom napuštenih naftnih i plinskih bušotina u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske [*A conceptual model of exploitation of geothermal energy by revitalization of abandoned oil and gas wells in the continental part of the Republic of Croatia – in Croatian*]. PhD Thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Zagreb, 2020, 191 p.
5. MORITA, K., MATSUBAYASHI, O., & KUSUNOKI, K.: Down-hole coaxial heat exchanger using insulated inner pipe for maximum heat extraction. *Geothermal Resources Council Trans.*, 1985, 9(1), 45-50.
6. MORITIS G., 2011, Coiled tubing use expands, *Oil and Gas Journal*.
7. NN 52/18: Zakon o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika.
8. <https://scmdaleel.com/category/workover-rig-services#cost-price>
9. <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-generation-electricity-and>