

# Одређивање теоријског термичког потенцијала напуштених нафтних и гасних бушотина

Marija Ilić, Marija Živković, Dušan Danilović, Miroslav Crnogorac, Vesna Karović Maričić, Lola Tomić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Одређивање теоријског термичког потенцијала напуштених нафтних и гасних бушотина | Marija Ilić, Marija Živković, Dušan Danilović, Miroslav Crnogorac, Vesna Karović Maričić, Lola Tomić | Tehnika | 2023 | |

10.5937/tehnika23066671

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009355>



## Određivanje teorijskog termičkog potencijala napuštenih naftnih i gasnih bušotina

MARIJA S. ILIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

MARIJA A. ŽIVKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

DUŠAN S. DANILOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

MIROSLAV P. CRNOGORAC, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

VESNA D. KAROVIĆ MARIČIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

LOLA D. TOMIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Stručni rad,

UDC: 622.276

622.323/.324

622.279

DOI: 10.5937/tehnika23066671

*U Srbiji postoji oko 1.200 napuštenih naftnih i gasnih bušotina, koje imaju značajan potencijal za proizvodnju toplotne energije. Napuštene bušotine, u zavisnosti od lokacije gde se nalaze i termičkog potencijala sa kojim raspolažu, se mogu koristiti za proizvodnju toplotne energije ili električne energije, ili za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije. Toplotna energija koja je proizvedena iz napuštenih bušotina dobija se korišćenjem geotermalne energije, pa se i električna i /ili toplotna energija koja bi se dobila korišćenjem takvih toplotnih izvora bilansira kao energija dobijena iz obnovljivih izvora energije. Troškovi opremanja dubokih bušotina i primena tehnologije koja bi se koristila za proizvodnju toplotne i/ili električne energije predstavlja daleko manji deo troškova u odnosu na troškove izrade dubokih bušotina, tako da ove napuštene bušotine predstavljaju i već postojeći značajan materijalni resurs. Proizvodnja toplotne energije iz napuštenih bušotina, koja se zasniva na utiskivanju radnog medijuma u bušotinu, zagrevanja i istiskivanja na površinu, je energetski malo intenzivna pošto se ista bušotina koristi za transfer toplotne energije – posredstvom odgovarajućeg radnog medijuma kroz tubing (užu cev) na površinu, a zatim se iskorištena ohlađena voda vraća u istu bušotinu kroz međuprostor. U radu je prikazana metodologija za izračunavanje teorijskog termičkog potencijala napuštenih naftnih i gasnih bušotina, koja je primenjena na primeru bušotina K-1, T-1, S-1 i M-1 koje se nalaze u Srbiji, a čija je dubina 2000 m, 2250 m, 1700 m i 2102 m. Prikazano je da se teorijska temperatura radnog fluida na površini zemlje nalazi u opsegu od 77,59 do 94,46 °C.*

**Ključne reči:** napuštene bušotine, termički potencijal, nafta, gas

### 1. UVOD

U Srbiji, a najviše na području Vojvodine, nalazi se oko 1200 naftnih i gasnih bušotina koje se više ne koriste za proizvodnju nafte i gasa. [1] Njih čine istražne bušotine, izeksploatisane naftne i gasne bušotine i negativne bušotine.

---

Adresa autora: Marija Ilić, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7

e-mail: marija.g.ilic@rgf.bg.ac.rs

Rad primljen: 14.11.2023.

Rad prihvaćen: 05.12.2023.

Ovakve bušotine predstavljaju značajan neiskorišćeni energetski resurs, jer se temperatura na dnu bušotine kreće u rasponu od 60 do 140 °C. [2] Ako se uzme u obzir da je cena njihove izrade u proseku iznosila oko milion dolara može se steći slika i o postojećoj ekonomskoj vrednosti koja se procenjuje na preko 3 milijarde dolara. [1] Dubina bušotina se kreće od 1000 m pa do preko 2000 m, na kojima se nalazi respektivni geotermalni potencijal.

U zavisnosti od temperature na dnu, napuštene bušotine se mogu koristiti za proizvodnju toplotne i/ili električne energije. Ovaj, u Srbiji, u potpunosti



neiskorišteni energetska potencijal ima veliki značaj, budući da su energetska bezbednost (sigurno i pouzdano snabdevanje energentima) i samodovoljnost osnovni ciljevi energetske politike, naročito jer je reč o energiji koja se dobija korišćenjem obnovljivih izvora energije.

U ovom radu prikazana je metodologija za proračun teorijskog termičkog potencijala (teorijske temperature koju bi fluid koji se utiskuje u bušotinu imao na površini zemlje), a primenjena je na primeru naftnih i gasnih bušotina K-1, T-1, S-1 i M-1 na dubinama 2000 m, 2250 m, 1700 m i 2102 m koje se nalaze u Vojvodini. Informacija o maksimalno mogućoj temperaturi fluida na površini zemlje je jedan od ključnih parametara za odabir načina i tehnologije korišćenja toplotne energije napuštenih bušotina.

## 2. METODOLOGIJA PRORAČUNA TERMIČKOG POTENCIJALA

Prilikom proizvodnje fluida usled njegovog kretanja od dna do površine bušotine dolazi do prenosa toplote sa fluida na okolne stene. Koliko će se toplotne energije predati okolnim stenama zavisi od termofizičkih karakteristika stena oko bušotine, termofizičkih karakteristika tubinga i eksploatacione kolone, i termofizičkih karakteristika međuprostora (vrste fluida ili gasa koji se nalazi u njemu). [3] Precizno utvrđivanje vrednosti temperature pri protoku fluida u tubingu je veoma složeno. Mnogobrojna istraživanja rezultirala su aproksimativnim analitičkim rešenjima i postojanjem većeg broja modela za predviđanje vrednosti temperature. [4, 5]

Svi modeli prikazani u literaturi uključuju određene pretpostavke koje se odnose na termodinamičko ponašanje radnog fluida, i s obzirom na to, mogu se pimeniti samo u ograničenim uslovima. [6]

Koeficijent ukupnog prolaza toplote  $K$  ( $W/m^2K$ ), izračunava se preko jednačine (1), obuhvata mehanizme provođenja i prelaza toplote a zavisi od toplotne provodljivosti  $\lambda$  ( $W/m\cdot K$ ), koja predstavlja termofizičku osobinu materijala i koeficijenta prelaza toplote  $\alpha$  ( $W/m^2K$ ), koji predstavlja složenu veličinu i zavisi od niza faktora (temperature čvrste površine, geometrijskog oblika čvrste površine, orijentacije čvrste površine u prostoru, temperature fluida, načina kretanja fluida, fizičkih osobina fluida, itd.) [7, 8]

Prema slici 1, na kojoj je prikazan radijalni prenos toplote kroz bušotinu, prolaz toplote se sastoji od prelaza toplote sa fluida na zid tubinga, provođenja toplote kroz tubing, provođenja toplote kroz međuprostor, provođenja toplote kroz eksploatacionu kolonu i prelaza toplote sa eksploatacione kolone na okolne stene. [9]

U jednačini (1) su:

$D_{it}$ - unutrašnji prečnik tubinga, (m)

$D_{ot}$ - spoljašnji prečnik tubinga, (m)

$D_{ic}$ - unutrašnji prečnik eksploatacione kolone, (m)

$D_{oc}$ - spoljašnji prečnik eksploatacione kolone, (m)

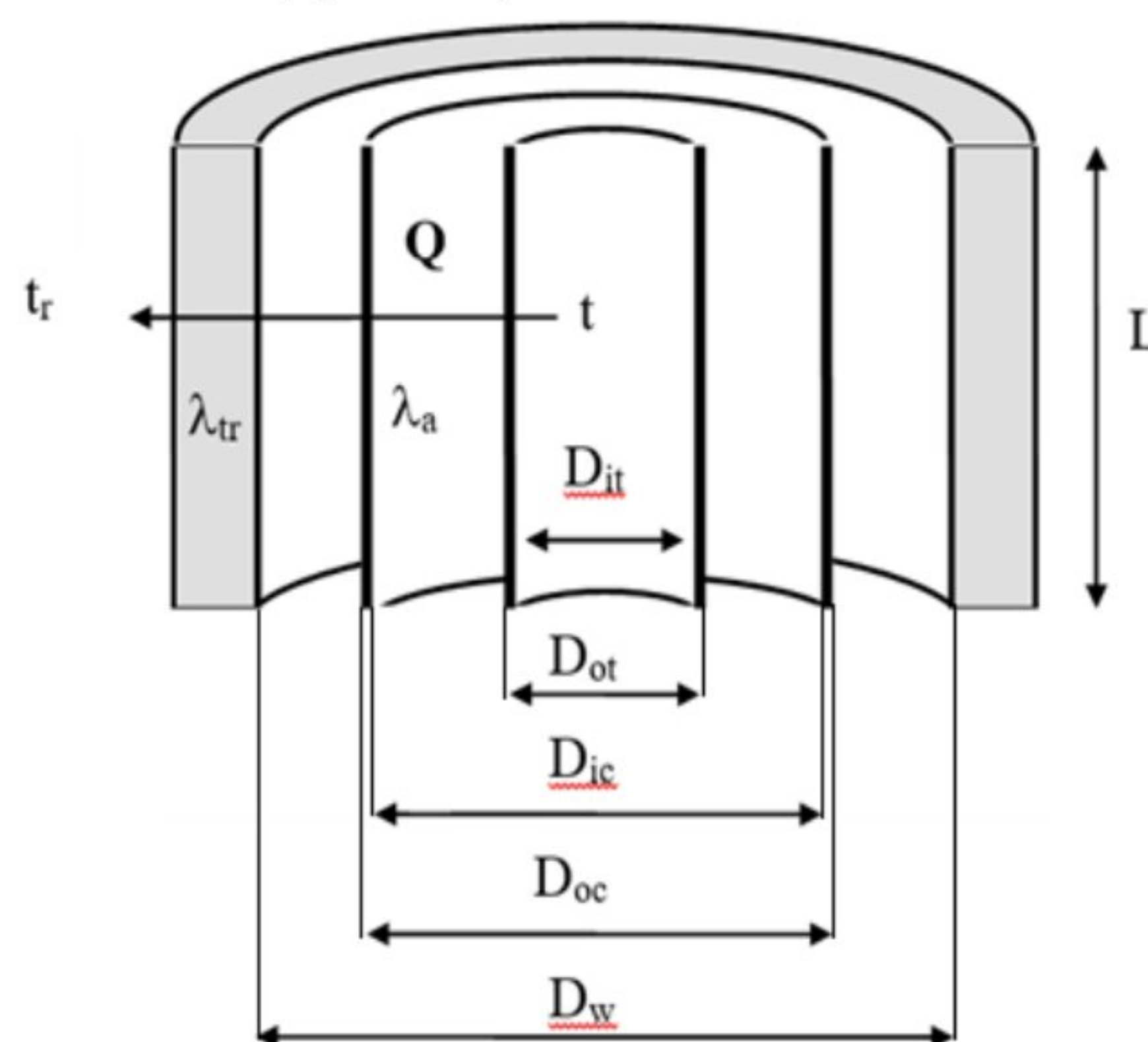
$\lambda_{tr}$ - toplotna provodljivost tubinga, ( $W/m\cdot K$ )

$\lambda_{ta}$ - toplotna provodljivost u međuprostoru, ( $W/m\cdot K$ )

$\lambda_{tc}$ - toplotna provodljivost eksploatacione kolone, ( $W/m\cdot K$ )

$\alpha_1$ - koeficijent prelaza toplote sa fluida na zid cevi, ( $W/m^2\cdot K$ )

$\alpha_2$ - koeficijent prelaza toplote sa zida cevi na okolne stene, ( $W/m^2\cdot K$ )



Slika 1 - Šematski prikaz radijalnog prenosa toplote u bušotini

Problemu prelaza toplote pri kretanju fluida kroz cev posvećeno je mnogo teorijskih i eksperimentalnih radova, tako da je dobijen veći broj izraza za određivanje koeficijenta prelaza toplote  $\alpha_1$ , pri čemu se najviše koriste modeli koji se baziraju na teoriji sličnosti i korišćenju bezdimenzionalnih grupa. Bezdimenzionalne grupe se mogu smatrati novim promenljivim, a njihovim uvođenjem u diferencijalne jednačine konvektivno-konduktivnog prenosa toplote broj promenljivih se redukuje, što znači pojednostavljenje postupka izučavanja mehanizama prenosa toplote kroz nehomogenu sredinu. Osim toga, nove bezdimenzionalne promenljive u obzir uzimaju ne samo jednu promenljivu, već određene grupe pomenljivih, što značajno olakšava utvrđivanje stvarne povezanosti pojedinačnih parametara fizičkog procesa. Teorijom sličnosti utvrđuju se uslovi pri kojima je rezultate laboratorijskih istraživanja moguće pimeniti za definisanje stvarnih procesa. Rezultat primene teorije sličnosti predstavljaju kriterijalne jednačine. [9]



$$K = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot D} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{tt}} \cdot \ln \frac{D_{ot}}{D} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{ta}} \cdot \ln \frac{D_{ic}}{D_{ot}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{tc}} \cdot \ln \frac{D_{oc}}{D_{ic}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_{oc}}\right)} \quad (1)$$

Koeficijent prelaza toplote sa fluida na zid cevi definisan je jednačinom: [9,10,4,3]

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_t \cdot N_{Nu}}{D} \quad (2)$$

gde su:

$\lambda_t$ - toplotna provodljivost fluida, (W/m·K)

$N_{Nu}$ - Nuseltov broj

Nuseltov broj se izračunava u zavisnosti od režima strujanja na osnovu jednačina [9,10,4,3,11]

Laminarno strujanje:

$$N_{Nu} = 0,15 \cdot \varepsilon_l \cdot N_{\Re}^{0,33} \cdot N_{Pr}^{0,43} \cdot N_{Gr}^{0,1} \cdot \varepsilon_T \quad (3)$$

Gde su:

$\varepsilon_l$  – dužinski korekcionni faktor

$N_{Re}$  – Rejnoldsov broj

$N_{Pr}$  - Prandtlov broj

$N_{Gr}$  - Grashofov broj

$\varepsilon_l$  – temperaturski korekcionni faktor

$\varepsilon_T$  se računa preko sledeće formule u zavisnosti od toga da li se fluid pri stujanju greje ili hladi:

$$\left(\frac{N_{Pr}}{N_{PrA}}\right)^{0,25} \text{ - za zagrejan fluid}$$

$$\left(\frac{N_{Pr}}{N_{PrA}}\right)^{0,19} \text{ - za hladan fluid}$$

Pri čemu indeks A govori da se Prandtlov broj treba računati za srednju temperaturu na unutrašnjoj površini cevi  $t_A$ . [2]

- Turbulentno strujanje:

$$N_{Nu} = 0,21 \cdot \varepsilon_l \cdot N_{\Re}^{0,80} \cdot N_{Pr}^{0,43} \cdot N_{Gr}^0 \cdot \varepsilon_T \quad (4)$$

$\varepsilon_T$  se računa preko sledeće formule:

- za zagrejan fluid

$$\left(\frac{N_{Pr}}{N_{PrA}}\right)^{0,11} \text{ - tečnost} \quad (5)$$

$$\left(\frac{T}{T_A}\right)^{0,55} \text{ - gas } 1 \leq \frac{T_A}{T} \leq 3,5 \quad (6)$$

- za hladan fluid

$$\left(\frac{N_{Pr}}{N_{PrA}}\right)^{0,25} \text{ - tečnost} \quad (7)$$

$$1,27 - 0,27 \cdot \frac{T_A}{T} \text{ - gas } 0,5 \leq \frac{T_A}{T} \leq 1 \quad (8)$$

Rejnoldsov broj predstavlja odnos inercijalnih sila koje izazivaju kretanje i viskoznih sila tokom strujanja fluida pod datim uslovima proticanja. Koristi se kao kriterijum za određivanje da li je strujanje laminarno ili turbulentano.

Kada je  $N_{Re}$  veći od 2320 smatra se da je strujanje turbulentno, a kada je manji od 2320 strujanje se smatra laminarnim. Izračunava se pomoću sledeće jednačine [9,10,4,3]:

$$N_{\Re} = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (9)$$

Gde su:

$v$ - brzina fluida, (m/s)

$\rho$ - gustina fluida, (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$ - dinamička viskoznost, (Pa·s)

Prandtlov broj je bezdimenziona veličina koja pokazuje kako se pri strujanju fluida menja brzina strujanja i prenosi toplota, tj. opisuje svojstvo fluida srazmerno dinamičkoj viskoznosti  $\mu$  i specifičnoj toploti pri konstantnom pritisku  $c_p$ , a obrnuto srazmerno toplotnoj provodljivosti fluida  $\lambda$  [9, 10, 4, 3]:

$$N_{Pr} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \quad (10)$$

Tabela 1. Vrednosti  $\varepsilon_l$  pri laminarnom strujanju

| l/d             | 1    | 2    | 5    | 10   | 15   | 20   | 30   | 40   | 50 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| $\varepsilon_l$ | 1,90 | 1,70 | 1,44 | 1,28 | 1,18 | 1,13 | 1,05 | 1,02 | 1  |

Tabela 2. Vrednosti  $\varepsilon_l$  pri turbulentnom strujanju

| $N_{Re}$       | Odnos dužine i prečnika cevi (l/d) |      |      |      |      |      |      |      |    |
|----------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|----|
|                | 1                                  | 2    | 5    | 10   | 15   | 20   | 30   | 40   | 50 |
| $1 \cdot 10^4$ | 1,65                               | 1,50 | 1,34 | 1,23 | 1,17 | 1,13 | 1,07 | 1,03 | 1  |
| $2 \cdot 10^4$ | 1,51                               | 1,40 | 1,27 | 1,18 | 1,13 | 1,10 | 1,05 | 1,02 | 1  |
| $5 \cdot 10^4$ | 1,34                               | 1,27 | 1,18 | 1,13 | 1,10 | 1,08 | 1,04 | 1,02 | 1  |
| $1 \cdot 10^5$ | 1,28                               | 1,22 | 1,15 | 1,10 | 1,08 | 1,06 | 1,03 | 1,02 | 1  |
| $1 \cdot 10^6$ | 1,14                               | 1,11 | 1,08 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 1  |



Grashofov broj predstavlja odnos sile uzgona i viskozni sila u fluidu, a određuje se pomoću sledeće jednačine [9, 10, 4, 3]:

$$N_{Gr} = \frac{D^3 \cdot g \cdot \beta \cdot t \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad (11)$$

gde su:

$g$ - ubrzanje sile zemljine teže, (m/s<sup>2</sup>)

$\beta$ -zapreminski koeficijent širenja

$t$ - temperatura fluida, (°C)

Zapreminski koeficijent širenja ( $\beta$ ) definiše se jednačinom:

$$\beta = \frac{1}{2583 - 6340 \cdot \rho + 5965 \cdot \rho^2 - t} \quad (12)$$

Koeficijent prelaza toplote sa kežinga na okolne stene se računa na sledeći način [9, 10, 4, 3]:

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot \lambda_{tr}}{D_{oc} \cdot \ln \left( 1 + 64,71 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{tr} \cdot \pi \tau}{c_{pr} \cdot \rho_r \cdot \left(\frac{D_{oc}}{2}\right)^2}} \right)} \quad (13)$$

gde su:

$\lambda_{tr}$ - toplotna provodljivost stene, (W/m·°C)

$\tau$ - vreme rada bušotine, (h)

$c_{pr}$ - specifična toplota stene, (J/kg·°C)

$\rho_r$ -gustina stene, (kg/m<sup>3</sup>)

Gustina stene se računa pomoću jednačine [9, 10, 4, 3]:

$$\rho_r = (-0,0747 \cdot e^{-0,809 \cdot 10^{-3} \cdot L} + 2,72) \cdot 1000 \quad (14)$$

gde je L dubina bušotine (m).

Toplotna provodljivost stene se izračunava na sledeći način [9, 10, 4, 3]:

$$\lambda_{tr} = 3,73 \cdot 10^{-10} \cdot \rho_r^{2,86} \quad (15)$$

Specifična toplota stene određuje se na osnovu jednačine [9, 10, 4, 3]:

$$c_{pr} = (-0,557 \cdot e^{-1,46 \cdot 10^{-3} \cdot L} + 0,908) \cdot 1000 \quad (16)$$

Parametar  $a$  predstavlja pokazatelj prolaza toplote i definiše se sledećom jednačinom [9]:

$$a = \frac{K \cdot D_{oc}}{m \cdot c_{pw}} \quad (17)$$

gde su:

$m$ - maseni protok, (kg/s)

$c_{pw}$ - specifična toplota fluida, (J/kg·K)

Temperatura fluida kada se smer proračuna izvodi od dna ka ustima bušotine [9]:

$$t_f = t_b - g_t \cdot L + \frac{g_t}{a} \cdot (1 - e^{-L \cdot a}) \quad (18)$$

gde su:

$t_b$ - temperatura na dnu bušotine, (°C)

$g_t$ - geotermalni gradijent, (°C/m)

Metodologija proračuna termičkog potencijala podrazumeva izračunavanje (određivanje) temperature fluida na površini pri njegovom protoku kroz tubing što će predstavljati teoretski termički potencijal. Pretpostavka je da se u međuprostoru nalazi fluid čija je temperatura jednaka temperaturi okolnih stena. Takođe je pretpostavljeno da je početna temperatura fluida koji struji kroz tubing jednaka temperaturi na dnu bušotine.

### 3. ODREĐIVANJE TEORIJSKOG TERMIČKOG POTENCIJALA - PRIMER NAPUŠTENIH BUŠOTINA U SRBIJI

Za napuštene naftne i gasne bušotine K-1, T-1, S-1 i M-1, koje se nalaze u Vojvodini, koje su konzervirane i više nisu u proizvodnji izračunat je teorijski termički potencijal. Bušotina K-1 je dubine 2000 m sa temperaturom na dnu od 90°C. Bušotina T-1 je dubine 2250 m i ima temperaturu na dnu 122°C. Bušotina S-1 je dubine 1700 m sa temperaturom na dnu od 96°C, a bušotina M-1 je dubine 2.102 m sa temperaturom na dnu od 109°C. Vrednosti geotermalnog gradijenta za navedene bušotine se kreću od 0,046°C/m do 0,052°C/m [2]. Sve četiri bušotine imaju iste karakteristične prečnike, što omogućava dalje poređenje rezultata, pošto je uticaj geometrije na radijalan prenos toplote za sve četiri bušotine identičan.

Teorijski termički potencijal bušotine se izračunava uzimajući u obzir gubitke toplote, odnosno pad temperature od dna bušotine ka površini pri protoku vode kao medija za prenos toplote, definisanog protoka. U prikazanom proračunu izabrano je da brzina strujanja fluida bude 0,4 m/s. Cilj je da pad temperature bude što manji kako bi temperatura vode na površini bušotine bila što veća. U cilju smanjenja gubitka toplote vode koja protiče kroz tubing može se koristiti i izolovani tubing. Teorijski termički potencijal posmatrane bušotine u ovom slučaju predstavlja maksimalnu temperaturu vode (definisanog protoka) koja se može dobiti na površini bušotine.

U tabeli 3 prikazani su ulazni podaci za napuštene bušotine K-1, T-1, S-1 i M-1 potrebni za proračun.

Temperatura na površini bušotine izračunava se na osnovu jednačine (18). Rezultati proračuna prikazani su u tabeli 4.

Temperatura vode na vrhu bušotine K-1 iznosi 77,59°C, bušotine T-1 iznosi 104,77°C, bušotine S-1 iznosi 85,73°C i bušotine M-1 iznosi 94,46°C. Izračunate temperature pokazuju da sve četiri bušotine imaju visok termički potencijal i pružaju široku mogućnost njegovog korišćenja, uključujući i mogućnost proizvodnje električne energije binarnim ciklusom.



Tabela 3. Podaci o bušotinama

|   | K-1     | T-1     | S-1     | M-1     |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Prečnik bušotine [m]                                | 0,30505 | 0,30505 | 0,30505 | 0,30505 |
| Spoljašnji prečnik eksploatacione kolone [m]        | 0,2445  | 0,2445  | 0,2445  | 0,2445  |
| Unutrašnji prečnik eksploatacione kolone [m]        | 0,22    | 0,22    | 0,22    | 0,22    |
| Spoljašnji prečnik tubinga [m]                      | 0,073   | 0,073   | 0,073   | 0,073   |
| Unutrašnji prečnik tubinga [m]                      | 0,062   | 0,062   | 0,062   | 0,062   |
| Dubina bušotine [m]                                 | 2000    | 2250    | 1700    | 2102    |
| Temperatura tla na površini [°C]                    | 15      | 12      | 15      | 15      |
| Temperatura na dnu bušotine [°C]                    | 90      | 122     | 96      | 109     |
| Geotermalni gradijent [°C/m]                        | 0,046   | 0,051   | 0,052   | 0,049   |
| Pritisak na površini [bar]                          | 59,37   | 60      | 51      | 56      |
| Pritisak na dnu bušotine [bar]                      | 71,85   | 150     | 100     | 130     |
| Vreme rada bušotine [h]                             | 1       | 1       | 1       | 1       |
| Toplotna provodljivost međuprostora [W/m·K]         | 0,6     | 0,6     | 0,6     | 0,6     |
| Protok vode [m <sup>3</sup> /dan]                   | 100     | 100     | 100     | 100     |
| Specifični toplotni kapacitet pri p=const. [J/kg·K] | 4186    | 4186    | 4186    | 4186    |
| Toplotna provodljivost vode [W/m·K]                 | 0,6     | 0,6     | 0,6     | 0,6     |
| Toplotna provodljivost čelika [W/m·K]               | 58      | 58      | 58      | 58      |
| Gustina vode [kg/m <sup>3</sup> ]                   | 1000    | 1000    | 1000    | 1000    |

Tabela 4. Vrednosti izračunatih parametara

| Parametar      | K-1                   | T-1                   | S-1                   | M-1                   |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $t_{fb}$       | 90                    | 122                   | 96                    | 109                   |
| $\mu_{wf}$     | 0,00052               | 0,00042               | 0,00050               | 0,00045               |
| $\mu_{wA}$     | 0,00052               | 0,00042               | 0,00050               | 0,00045               |
| $N_{Re}$       | 45574,08              | 56939,83              | 47856,84              | 52929,18              |
| $N_{Pr}$       | 3,64                  | 2,91                  | 3,47                  | 3,14                  |
| $N_{PrA}$      | 3,64                  | 2,91                  | 3,47                  | 3,14                  |
| $\beta$        | $1,68 \cdot 10^{-10}$ | $1,68 \cdot 10^{-10}$ | $1,68 \cdot 10^{-10}$ | $1,68 \cdot 10^{-10}$ |
| $N_{Gr}$       | 75,65                 | 150,71                | 88,19                 | 120,51                |
| $N_{Nu}$       | 195,18                | 211,96                | 198,76                | 206,30                |
| $\alpha_1$     | 1888,84               | 2051,24               | 1923,45               | 1996,49               |
| $\rho_r$       | 2705,19               | 2707,90               | 2701,12               | 2706,36               |
| $\lambda_{tr}$ | 2,44                  | 2,45                  | 2,43                  | 2,44                  |
| $c_{pr}$       | 877,96                | 887,14                | 861,45                | 882,11                |
| $\alpha_2$     | 29,88                 | 30,06                 | 29,58                 | 29,96                 |
| $K$            | 2,94                  | 2,95                  | 2,94                  | 2,95                  |
| $a$            | 0,00015               | 0,00015               | 0,00015               | 0,00015               |
| $t_r$          | 77,59                 | 104,77                | 85,73                 | 94,46                 |

#### 4. ZAKLJUČAK

Cilj rada je da prikaže značaj neiskorištenog energetskeg potencijala napuštenih bušotina kojih u Srbiji ima oko 1.200. Detaljnim istraživanjima potrebno je proceniti neiskorišteni energetskeg potencijal napuštenih bušotina, pri čemu je od izuzetnog značaja poznavanje očekivane temperature radnog fluida na površini zemlje, kao ključnog podatka koji opredeljuje

dalje korišćenje toplotne (geotermalne) energije. Takođe, potrebno je klasifikovati konzervirane i likvidirane bušotine.

Konzervirane bušotine se mogu odmah privesti nameni, dok su troškovi korišćenja likvidiranih nešto veći. Posebno treba naglasiti da napuštene bušotine predstavljaju vid zelene obnovljive energije. Potrebno je analizirati toplotni (geotermalni) potencijal svake



bušotine, kao i lokaciju gde se bušotina nalazi u odnosu na naseljeno područje i potencijalni toplotni konzum. Na osnovu uporedne analize toplotnog potencijala bušotine i njene lokacije može se definisati namena korišćenja svake bušotine. Opremanje ovih bušotina i primena tehnologije koja bi se koristila za proizvodnju toplotne energije i/ili električne energije predstavlja daleko manji deo troškova u odnosu na troškove izrade dubokih bušotina. Prema sadašnjim cenama, izrada dubokih bušotina bi se kretala oko 2 miliona dolara tako da ove napuštene bušotine predstavljaju i značajan ekonomski resurs. Određen je teoretski termički potencijal napuštenih naftnih i gasnih bušotina K-1, T-1, S-1 i M-1. Očekivane teorijske temperature radnog medijuma na površini zemlje su u opsegu od 77,59 do 94,46°C, a izračunate su uzimajući u obzir dubinu, geotermalni gradijent, temperaturu na dnu bušotine, koeficijent prolaza toplote. Dobijene rezultate treba posmatrati kao inicijalne ulazne podatke za procenu energetskog potencijala napuštenih bušotina, kao i za određivanje tehno/ekonomske isplativosti proizvodnje električne i/ili toplotne energije korišćenjem toplotne energije napuštenih naftnih i gasnih bušotina.

#### LITERATURA

- [1] Projekat *Istraživanje mogućnosti povećanja energetske efikasnosti korišćenjem energetskih potencijala na primeru NIS-Naftagas-a*, evidencioni broj: 33001, MNTR
- [2] Milivojević M, *Geotermologija i geotermalna energija*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, str. 375, 2011.
- [3] Wei C, Mao L, Yao C, Yu G, Heat transfer investigation between wellbore and formation in U-shaped geothermal wells with long horizontal section, *Renewable Energy*, 195, pp. 972-989, 2022.
- [4] Gao J, Shi Q, Study on number of geothermal wells based on flowing water and transferring heat in rock mass, *Case Studies in Thermal Engineering*, 41, 102668, 2023.
- [5] Xianbiao B, Kunqing J, Huashan L, Feng M, Lingbao W, Experimental study on convective heat transfer of an open-loop borehole heat exchanger, *Geothermal Energy*, 11, 8, 2023. Dostupno na: <https://doi.org/10.1186/s40517-023-00254-6>
- [6] Kujawa T, Nowak W, Stachel A, Utilization of existing deep geological wells for acquisitions of geothermal energy, *Energy*, 31, 5, pp. 650-664, 2006.
- [7] Milinčić D, *Prostiranje toplote*, Naučna knjiga Beograd, str. 446, 1989.
- [8] Fodor K, *Provođenje toplote kroz zid*, Završni rad, Univerzitet u Novom Sadu Prirodno-matematički fakultet, 2011.
- [9] Soleša M, Danilović D, Buza Z, *Sistem analiza proizvodnje nafte i gasa eruptivnom metodom*, DIT NIS-Naftagas Novi Sad, str. 524, 1999.
- [10] Zhou F, *Research on heat transfer in geothermal wellbore and surroundings*, Doctoral dissertation, Berlin Institute of Technology, 2013.
- [11] Yibin H, Yanjun Z, Xuefeng G, Yueqiang M, Thermal disturbance analysis in rock-soil induced by heat extraction from the abandoned well, *Geothermics*, 101, 102374, 2022.

#### SUMMARY

##### DETERMINATION OF THE THEORETICAL THERMAL POTENTIAL OF ABANDONED OIL AND GAS WELLS

*In Serbia, there are about 1200 abandoned oil and gas wells, which have significant potential to produce thermal energy. Abandoned wells, depending on their location and thermal potential, can be used to produce thermal energy or electricity, or for the combined production of electricity and thermal energy. Thermal energy that is produced from abandoned wells is obtained using geothermal energy, so the electrical energy and/or thermal energy that would be obtained using such heat sources are balanced as energy obtained from renewable energy sources. The costs of equipping deep wells and applying the technology that would be used to produce thermal energy and/or electricity represent a far smaller part of the costs compared to the costs of making deep wells, so these abandoned wells represent an already existing significant material resource. The production of thermal energy from abandoned wells, which is based on pressing the working medium into the well, heating it and pushing it to the surface, is less energy intensive since the same well is used for the transfer of hot energy - through the appropriate working medium through tubing (narrow pipe) to the surface, and then the used cooled water is returned to the same well through the intermediate space. The paper presents a methodology for calculating the theoretical thermal potential of abandoned oil and gas wells, which was applied to the example of wells K-1, T-1, S-1 and M-1 located in Serbia, with a depth of 2.000 m, 2.250 m, 1.700 m and 2.102 m. It is shown that the theoretical temperature of the working fluid on the surface of the earth is in the range of 77.59 to 94.46 °C.*

**Key Words:** *abandoned wells, thermal potential, oil, gas*