

ПЕТРОГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА КАО ОБНОВЉИВИ ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ СА ПРИМЈЕРОМ КОРИШЋЕЊА ГЕОТЕРМАЛНИХ СОНДИ У СИСТЕМУ ГРИЈАЊА И ХЛАЂЕЊА ОБЈЕКТА У БАЊАЛУЦИ, РЕПУБЛИКА СРПСКА

Бранко Ивановић¹

e-mail: ivankovic@ibis.ba

1-Ибис-инжењеринг д.о.о. Бања Лука

Апстракт

Петрогеотермална енергија припада геотермалној енергији ниске енталпије и представља енергију стијена. Заступљена је свуда и стим у вези представља значајан потенцијал обновљивих извора енергије за климатизацију објеката (и гријање и хлађење).

У овом раду ће бити приказан примјер коришћења геотермалне енергије ниске енталпије у систему гријања и хлађења стамбеног објекта у Бањалуци помоћу геотермалних сонди. За наведене потребе избушене су 24 сонде до дубине од 125 m. На овај начин је обезбјеђена довољна количина петрогеотермалне енергије за гријање и хлађење објекта, затим за гријање базена и топла санитарна вода. У току израде сонди изведен је и ТРТ (ГРТ) тест којим су добијена својства стијена и на основу ког је израђен модел и оптимизације система.

Систем је одржив, инвестиционо повољан за одржавање и еколошки прихватљив.

Кључне ријечи: геотермална енергија, обновљиви извори енергије, геотермална сонда, ТРТ тест

Тема скупа: Геолошка истраживања у рударству, просторном планирању, заштити животне средине, грађевинарству и др.

Увод

Загађење атмосфере услед сагоријевања фосилних горива, раст емисије угљен-диоксида, ефекат стаклене баште, оштећење озонског оморача, климатске промјене и нестабилност цијена и снабдијевања нафтом и гасом на глобалном тржишту током посљедњих година допринијели су убрзаном развоју и примјени обновљивих и одрживих енергетских извора у Европи.

По посљедњим подацима (према наведеном документу на <https://energijabalkana.net/globalni-energetski-pregled-2024-analiza-od-strane-iea>) укупна потрошња енергије у свијету у 2024. години износила је око 175.000 терават-часова (TWh). Ова колична енергије обухвата укупну потрошњу свих

извора енергије, укључујући електричну енергију, фосилна горива и обновљиве изворе. Према истом извору потрошња је у 2024. години порасла за око 2,2%, што је брже од просјечне стопе у посљедњој деценији.

У 2024. години, глобална потрошња енергије била је расподјелена на сљедећи начин:

- Обновљиви извори енергије чинили су 38% укупног раста глобалног енергетског снабдијевања.
- Природни гас је заузимао 28%, док су угаљ и нафта чинили 15% и 11% укупне потрошње.
- Нуклеарна енергија је имала удио од 8%.
- Електрична енергија је збиљежила снажан раст, при чему је глобална потрошња електричне енергије порасла за скоро 1.100 TWh.

Ови подаци показују да обновљиви извори и нуклеарна енергија постају све значајнији у глобалном енергетском миксу.

Обновљиви извори енергије укључују: вјетроенергију, хидроенергију, соларну енергију, биомасу и геотермалну енергију. У 2024. години, вјетар и хидроенергија су чинили више од двије трећине обновљиве производње електричне енергије у Европској унији, при чему је вјетроенергија доприносила са 39,1%, а хидроенергија са 29,9%. Соларна енергија је чинила 22,4%, док су биомаса и друга горива доприносили са 8,1%, а геотермална енергија са 0,5% (према информацијама објављеним на <https://serbia-energy.eu/sr/rast-obnovljivih-izvora-energije-u-eu-2024-lideri-kljucni-trendovi-i-buduci-izgledi/>)

Овај раст обновљивих извора је дио шире намјере за смањење зависности од фосилних горива и постизање климатске неутралности до 2050. године.

На основу горе наведеног, може се рећи да је учешће геотермалне енергије у обновљивим изворима је изузетно мало, а потенцијал коришћења овог вида енергије велики.

Циљ овог рада је да кроз један примјер из праксе покаже начин и могућност коришћења петрогеотермалне енергије као један од најефикаснијих начина за климатизацију објекта (и гријање и хлађење објекта).

Геотермална и петрогеотермална енергија-дефиниција и основни појмови

Геотермална енергија је топлотна енергија која потиче из унутрашњости Земље. Она се генерише природним процесима распада радиоактивних елемената и топлотом насталом при формирању планете. Овај извор енергије је обновљив и одржив, јер је топлота Земље практично неисцрпна.

Геотермална енергија се између осталог дијели на (Миливојевић, 2009):

- хидрогеотармалну: геотермална топлота акумулирана у подземној води
- петрогеотермалну: геотермална топлота акумулирана у сувим стијенама
- магмогеотермалну: геотермална топлота акумулирана у магми
- пнеумогеотермалну: геотермална топлота акумулирана у гасовима

Од свих наведених врста геотермалне енергије на нашим просторима је најзаступљенија хидрогеотермална енергија. Међутим коришћење овог типа енергије има за предпоставку да постоје термалне или термоминералне воде а та подручја су ограничена. Са друге стране истраживање нових локација и изналагање хидрогеотермалне енергије је скуп и дуготрајан процес са великим ризицима током истраживања да се уопште и не дође до позитивних резултата тј. хидрогеотермалне енергије.

У посљедњих 20-ак година а посебно у посљених 5 година како је кренула глобална енергетска криза и недостатак енергије, значајно мјесто у истраживању и коришћењу постаје петрогеотермална енергија.

Генерално гледано, значај коришћења петрогеотермалне енергије огледа се у сљедећем (према Миленићу, 2006):

- петрогеотермална енергија је свуда присутна и релативно једноставна за захватање и експлоатацију,
- енергетски ресурс је обновљив и јефтин за експлоатацију,
- користи се локално расположив енергетски обновљив ресурс кроз провјерену технологију,
- конзервација фосилних горива (нафта, природни гас) кроз замјену обновљивим извором енергије, еколошки прихватљивим,
- повећање у самодовољности и одрживости потрошње енергије,
- редуције у емисији гасова CO₂, CO и других загађивача – повећање квалитета стања животне средине,
- побољшање имица у јавности (домаћој и европској) локалне власти која користи обновљиве енергетске ресурсе,
- финансијска уштеда услијед смањења набавке увозних фосилних горива,
- увођење принципа „одрживог развоја“, стављање општина на европску мапу градова чија локална власт примјењује еколошки приступ планирању будућег развоја.

Принцип коришћења петрогеотермалне енергије

Најчешћи начин коришћења петрогеотермалне енергије у систему климатизације објекта је путем топлотних пумпи. Топлотна пумпа је уређај

који, по дефиницији апсорбује топлотну енергију са једне локације (спољни извори енергије) и премјешта је на другу локацију (објекат који се грије или хлади). За већину кућних и комерцијалних примјена, два најбитнија режима рада су хлађење и гријање.

Енергетска ефикасност топлотних пумпи се изражава преко коефицијента учинка (COP). То је однос између енергије која је уложена и енергије коју добијамо на излазу, за гријање или хлађење.

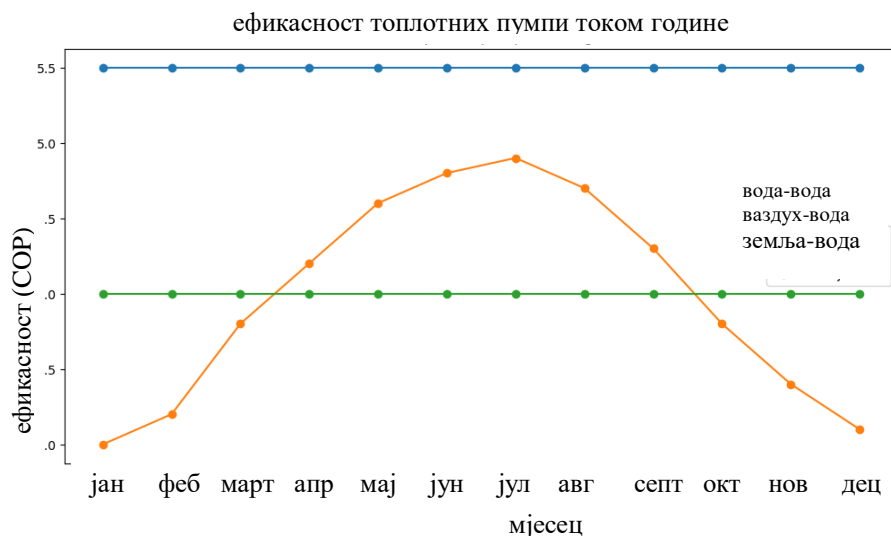
Коефицијент ефикасности топлотне пумпе (COP) израчунава се по формули (I Dincer, M. Rosen, 2011):

$$COP = \frac{\text{добијена топлотна енергија}}{\text{ангажована топлотна енергија}} \quad (1)$$

Његова вриједност креће се најчешће између сљедећих вриједности:

Топлотне пумпе вода - ваздух	COP = 3,0 – 4,8
Топлотне пумпе земља – вода	COP око 4,0
Топлотне пумпе вода – вода	COP око 5,5

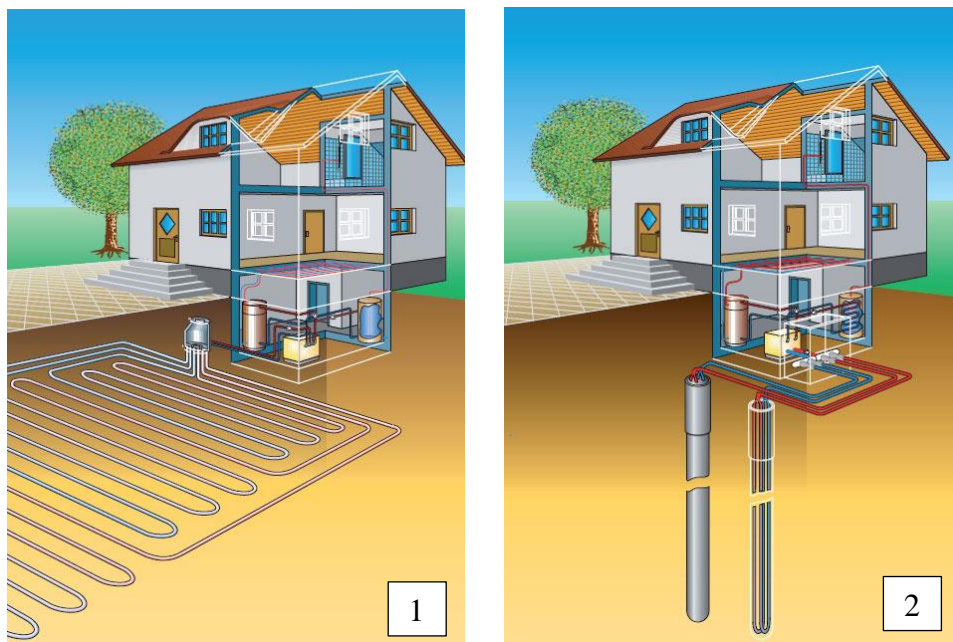
На слици 1 је приказана ефикасност топлотних пумпу током године гдје се јасно уочава да је степен корисног дества код коришћења земље или воде као енергента много стабилнији и ефикаснији током године него коришћење ваздуха кроз систем топлотних пумпи.



Слика 1 Ефикасност топлотних пумпи током године

У системима типа земља-вода (коришћење петрогеотермалне енергије) топлотне пумпе користе енергију тј. топлоту земље. Постоје два различита система експлоатације енергије земље на константној бази: подземни решеткасти измјењивачи (слика 2.1) и сонде које се уграђују на већим дубинама (слика 2.2). У оба случаја флуид који циркулише је одговоран за

пренос топлотне енергије са земље на систем гријања у објекту.



Слика 2 Примјер експлоатације петрогеотермалне енергије
(<https://www.grejanje.com>)

(1-подземни решеткасти измјењивач на малој дубини; 2-геотермалне сонде на већој дубини)

Земља као извор енергије има следеће карактеристике које утичу на ефикасност коришћења овог система:

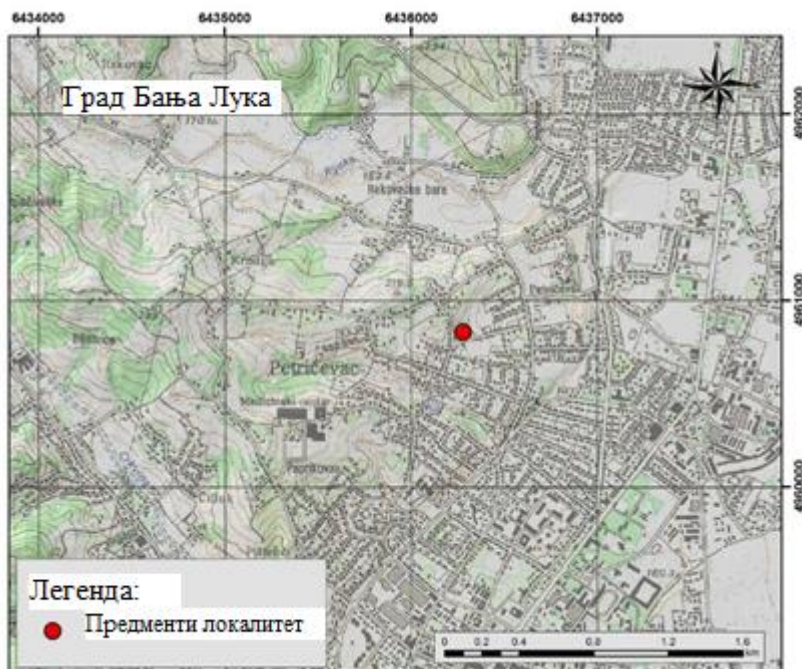
- мале температурне осцилације током године на дубинама преко 1,8 метра испод површине омогућују стабилан извор топлотне енергије неопходне за рад овог система.
- може се користити како за гријање и хлађење објекта, тако и за припремање топле воде у објекту (бојлери, загревање базенске воде итд.).
- систем са сондом омогућава пасивно хлађење и активно гријање и хлађење објекта.

Примјер коришћења петрогеотермалне енергије системом геотермалних сонди

Локација на којој су избушене геотермалне сонде које се користе у систему климатизације објекта се налази у Бања Луци (слика 3).

На предметној локацији је планиран и изграђен стамбени објекат димензија сса 20,0 x 30,0 m, спратности По+П+1+М као и базен димензија 15,0 x 11,0 m (Слика 4).

Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2025.



Слика 3 Географски положај предметних истраживања



Слика 4 Прегледна ситуција изграђеног објекта

Избушено је укупно 24 сонде, дубине до 125 m (од 118 до 125 m дубине).

Бушење је изведено ударно-ротационом бушилицом пречником ϕ 125 mm. Приликом бушења у литолошком смислу констатовани су лапораци, лапоровити кречњаци, глине, пјешчари док се у појединим дијеловима јављају и пакети угља. Констатована је и подземна вода у малим количинама. Један од важних параметара који улазе у прорачун оптимизације и одређивање броја сонди јесте и запремински топлотни капацитет ($\text{MJ/m}^3\cdot\text{K}$). У табели 1 су приказане вриједности овог параметра а преузете из Earth energy design-EED.

Табела 1 Табличне вриједности запреминског топлотног капацитета (Earth Energy Design, Дончев, 2019)

Стијена	Запремински топлотни капацитет ($\text{MJ/m}^3\cdot\text{K}$)
Глина	2,4
Лапорац	2,2
Пјешчар	2,0
Кречњал	2,3

У изведеној бушотини уграђена је Double-U геотермална сонда ФРАНК ГЕТ-Х (слика 5) направљена од полиетилена умреженог под високим притисцима (Ре-На) произвођача ФРАНК.



Слика 5 Изглед сонди које су уграђене у бушотине (<https://www.frank-gmbh.de/en/products/geothermal-energy/pex-geothermal-probes.php>)

За потребе цементације геотермалних сонди коришћена је испуна Fischer GeoFlow, произвођача FISHER. Топлотна проводљивост термоцементне испуне износи $2.0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Основне карактеристике сонди су приказане у табели 2.

Након избушених неколико сонди приступило се извођењу теста геотермалног одзива тла (ГРТ тест) тј. thermal response test (TRT).

Тест геотермалног одзива тла (ГРТ) изводи се са циљем утврђивања термалних карактеристика тла на локацији на којој је изведен бушотински измјењивач топлоте (геотермална сонда).

Табела 2 Карактеристике уграђених сонди (Дончев, 2019)

Тип сонде	Double-U
Произвођач	FRANK
Материјал цијеви сонде	Полиетилен умрежен под високим притисцима Ре-Ха
Стандард	DIN 16893
Радна температура	-10°C до +70°C
Дужина сонде	130 m
Пречник цијеви	32 mm
Дебљина зида цијеви	2.9 mm

Тест геотермалног одазива тла заснива се на мјерењу разлика у температури флуида који кружи унутар бушотинског измјењивача топлоте на улазу у измјењивач и након проласка кроз њега, при константном давању одређене количине топлотне снаге флуиду.

Топлотна проводљивост стијена λ је најзначајнији фактор приликом оптимизације геотермалних система. Представља особину тла која зависи од густине, температуре, облика зрна, порозности, садржаја воде и минералног састава тла. У разним литературама се могу наћи табличне вриједности овог параметра за разне стијене, међутим одређивање топлотне проводљивости тла на конкретној локацији тешко је спровести без извођења теста геотермалног одазива тла (ГРТ). Поред топлотне проводљивости стијена, један од значајнијих параметара који улазе у прорачун оптимизације геотермалних система јесте термална отпорност R_b између флуида који преноси топлоту и зида бушотине ($K/(W/m)$).

На слици 6 је приказан поступак извођења ГРТ теста.



Слика 6 Извођење ГРТ теста (фото Б. Дончев, 2019)

На основу изведеног теста добијени су следећи резултати:

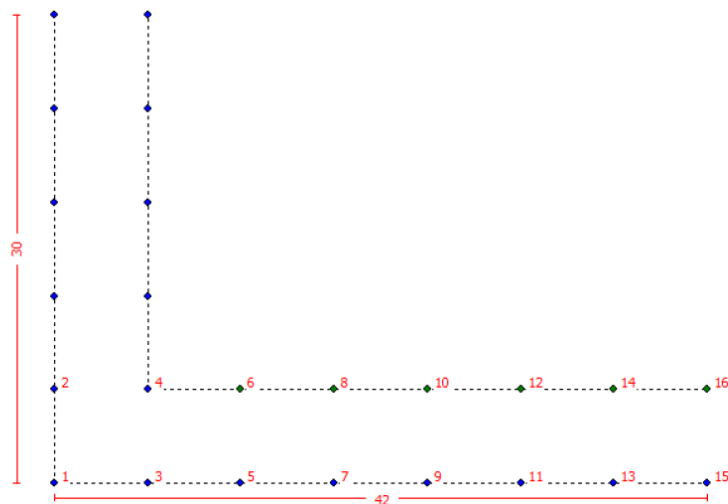
- топлотна проводљивост λ износи:

$$\lambda = 1,1-1,19 \text{ W/mK} \quad (2)$$

- вриједност термалне отпорности бушотине износи:

$$R_b = 0,121-0,223 \text{ (m} \cdot \text{K/W)} \quad (3)$$

Оптимизација система грејања/хлађења и одређивање укупног броја геотермалних сонди за потребе новог објекта у Бања Луци изведена је у софтверском пакету Earth Energy Design – EED. Прорачуни у софтверу EED омогућавају прорачуне кретања температуре флуида који циркулише унутар геотермалних сонди током периода симулације, односно периода будуће експлоатације система гријања/хлађења. С обзиром да топлотне пумпе приликом свог рада имају ограничења у погледу температура циркулишућег флуида, одабиром одговарајућег броја и распореда геотермалних сонди обезбјеђује се оптималан рад цијелог система гријања/хлађења.



Слика 7 Приказ одабраног распореда геотермалних сонди (Дончев, 2019)

Поред познавања већ поменутих параметара који се односе на термалне карактеристике тла и геотермалних сонди, за прорачун и оптимизацију геотермалних система неопходни су и улазни подаци који се односе на енергетске потребе самог објекта:

- Капацитет топлотне пумпе (гријни и расхладни);
- Карактеристике топлотне пумпе (факторе сезонског учинка пумпе);
- Ограничења топлотне пумпе у погледу температуре флуида;
- Годишња гријна потреба објекта (MWh);
- Годишња расхладна потреба објекта (MWh);

- Годишња енергетска потреба за потрошеном топлом водом (MWh);
- Вршна (максимална) оптерећења у гријању;
- Вршна (максимална) оптерећења у гријању хлађењу.

На основу извршене анализе добијен је приказ распореда геотермалних сонди како је то приказано на слици 7.

Литература

Бранко Иванковић, Петар Беговић, 2011. *Предстудија о могућностима искоришћавања геотермалне енергије ниске енталпије из подземних вода на локалитету Кампуса у Бањалуци са предлогом даљих истраживања*, Ибис-инжењеринг д.о.о., Бања Лука

Бојан Дончев, 2019. *Извештај о изведеном тесту геотермалног одазива тла на геотермалним сондама са прорачунима оптимизације будућег система грејања/хлађења новог стамбеног објекта у Купрешкој улици у Бања Луци (Република Српска – Босна и Херцеговина)*, Меридијан пројекат, Београд

Михајло Миливојевић, 2009. *Геотермологија 1, геотермална енергија*, Рударско-геолошки факултет, Институт за хидрогеологију, Београд

Дејан Миленић, 2006. *Хидрогеолошке карактеристике и могућност коришћења обновљивих хидрогеотермалних ресурса на ужој територији града Београда*, Рударско-геолошки факултет, Институт за хидрогеологију, Београд

İbrahim Dinçer&Marc A. Rosen, 2010. *Thermal Energy Storage: Systems and Applications*, Joh Wiley & Sons ltd., Chichester

<https://energijabalkana.net/globalni-energetski-pregled-2024-analiza-od-strane-iea>

<https://serbia-energy.eu/sr/rast-obnovljivih-izvora-energije-u-eu-2024-lideri-kljucni-trendovi-i-buduci-izgledi/>

<https://www.grejanje.com>

<https://www.frank-gmbh.de/en/products/geothermal-energy/pex-geothermal-probes.php>