105
Professional paper
Doi 10.61892/STP202601034I
ISSN 2566-4484

Branko Ivanković, Ibis-inženjering d.o.o., ivankovic@ibis.ba

THE INFLUENCE OF THE GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGY OF THE BANJALUKA AREA ON THE EFFICIENCY OF LOW ENTHALPY SUBGEOTHERMAL SYSTEMS

Abstract:

Low-enthalpy subgeothermal energy represents one of the most stable and environmentally friendly renewable energy sources for heating and cooling buildings. The efficiency of these systems largely depends on the geological and hydrogeological characteristics of the soil in which the geoprobes are installed in the case of the "soil-water" system or the wells in the case of the "water-water" system. This paper analyzes the influence of the lithological composition, structural relationships and hydrogeological conditions of the Banja Luka area on the characteristics of low-enthalpy subgeothermal systems. Special attention is paid to the role of groundwater in the heat transfer process, as well as differences in the suitability of the terrain for the application of wells and geoprobes. The results of the paper indicate that alluvial sediments and zones with developed hydrogeological circulation have significantly more favorable conditions for the application of these systems compared to compact rock masses with low permeability.

Keywords: Low-enthalpy subgeothermal energy , well, geoprobes

УТИЦАЈ ГЕОЛОШКЕ И ХИДРОГЕОЛОШКЕ ГРАЂЕ ПОДРУЧЈА БАЊАЛУКЕ НА ЕФИКАСНОСТ СУБГЕОТЕРМАЛНИХ СИСТЕМА НИСКЕ ЕНТАЛПИЈЕ

Апстракт:

Субгеотермална енергија ниске енталпије представља један од најстабилнијих и еколошки најприхватљивијих обновљивих извора енергије за потребе гријања и хлађења објеката. Ефикасност ових система у великој мјери зависи од геолошких и хидрогеолошких карактеристика тла у којем су уграђене геосонде ако је у питању систем "земља-вода" или бунари ако је у питању сиситем "вода-вода". У овом раду анализиран је утицај литолошког састава, структурних односа и хидрогеолошких услова подручја Бањалуке на карактеристике субгеотермалних система ниске енталпије. Посебна пажња посвећена је улози подземних вода у процесу преноса топлоте, као и разликама у погодности терена за примјену бунара и геосонди. Резултати рада указују да алувијални седименти и зоне са развијеном хидрогеолошком циркулацијом имају значајно повољније услове за примјену ових система у односу на компактне стијенске масе са слабом пропусношћу.

Кључне ријечи: субгеотермална енергије ниске енталпије, бунар, геосонда

1. УВОД

Пораст потрошње енергије, зависност од фосилних горива и потреба за смањењем емисије гасова са ефектом стаклене баште условили су интензивнији развој и примјену обновљивих извора енергије. Међу њима, субгеотермална енергија ниске енталпије заузима посебно мјесто због своје доступности, стабилности и могућности континуиране експлоатације током цијеле године.

За разлику од класичних геотермалних система високе енталпије, субгеотермални системи користе релативно константну температуру тла тј. плитких геолошких слојева и подземих вода, најчешће до дубина од 100 m. Ефикасност ових система не зависи искључиво од техничких карактеристика опреме, већ у великој мјери од природних услова средине, првенствено геолошке и хидрогеолошке грађе терена.

Подручје Бањалуке, смјештено у долини ријеке Врбас и окружено брдско-планинским масивима, карактерише сложена геолошка структура и изражена хетерогеност хидрогеолошких услова. Овакве карактеристике чине ово подручје погодним за анализу утицаја природних фактора на ефикасност субгеотермалних система ниске енталпије.

2. СУБГЕОТЕРМАЛНИ СИСТЕМИ НИСКЕ ЕНТАЛПИЈЕ

Субгеотермални извори енергије представљају вид хидрогеотермалне енергије ниске енталпије, акумулиран у подземих водама температуре до 30^0C и чија је експлаотација и коришћење условљено примјеног геотермалних топлотних пумпи [1].

Експлаотација субгеотермалне енергије се најчешће реализују у комбинацији са топлотним пумпама типа земља–вода или вода–вода.

У зависности од начина преузимања топлоте субгеотермални ресурси се могу подјелити на:

- суб-хидрогеотермалне ресурсе са гдје се у систему користе подземне воде
- суб-петрогеотермални ресурсе са коришћењем топлотном енергијом из стијена (хоризонтални колектори, постављени на дубинама до 2 m и вертикални колектори (геосонде), уграђени у бушотине најчешће дубине око 100 m.

Значај коришћења субгеотермалне енергије ниске енталпије, огледа се у сљедећем [1]:

- Подземне воде као носиоци субгеотермалне енергије су "лаке" за захватање, а енергетски ресурс је јефтин за развој и експлоатацију
- Користи се локално расположив енергетски обновљив ресурс кроз релативно просту технологију
- Могућа конзервација фосилних горива (нафта, природни гас) енергетски обновљивим видом енергије
- Повећање у самодовољности и одрживости потрошње енергије
- Повећање квалитета стања животне средине, кроз смањења односно кроз редукцију штетне емисије гасова попут CO_2, CO, SO_2
- Побољшање националног имица у јавности (домаћој и страној) локалне власти која користи обновљиве енергетске ресурсе
- Финансијска уштеда усљед смањења набавке увозних фосилних горива
- Увођење принципа " одрживог развоја", стаљање општина на европску мапу градова чија локална власт примјењује еколошки приступ планирању будућег развоја
- Развој туристичке понуде општина кроз програме коришћења термалних вода попут "спа центара" и слично.

3. ГЕОЛОШКА ГРАЂА УРБАНОГ ПОДРУЧЈА БАЊАЛУКЕ И ХИДРОГЕОЛОШКА ФУНКЦИЈА СТИЈЕНА

Приликом хидрогеолошког рејонирања урбаног подручја Бањалуке у обзир је потребно узети литолошки састав картираних јединица, тектонски склоп терена, геоморфолошке карактеристике, типове издани и њихово распрострањење, затим њихову издашност, услове прихрањивања и дренирања подземних вода [2].

На основу наведених чинилаца, на истражном простору су издвојене групе стијена према структурном типу порозности са одређеним степеном водопропусности:

- стијене међузрнске порозности добре водопропусности
- стијене међузрнске порозности средње водопропусности

- стијене међузрнске порозности слабе водопропусности
- стијене карстне порозности добре водопропусности
- стијене карстне порозности слабе водопропусности
- стијене карстно пукотинске порозности средње водопропусности
- стијене пукотинске порозности средње водопропусности
- стијене пукотинске порозности слабе водопропусности
- условно безводне стијене слабе водопропусности.

Стијене међузрнске порозности

Стијене међузрнске порозности представљају седиментне стијене које су настале у процесу алувијалне седиментације, те као продукт седиментације ободних процеса. У зависности од процентуалног учешћа глиновитих фракција, водопропусност ових стијена се мијења. У оквиру хидрогеолошке рејонизације издвојене су три категорије стијена међузрнске порозности:

- Стијене међузрнске порозности добре водопропусности:

У ову групу се убрајају алувијални седименти представљени шљунковитим седиментима са добрим филтрационим карактеристикама као и сипари. У овим стијенама се формира збијена издан са слободним нивоом подземних вода.

- Стијене међузрнске порозности средње водопропусности:

Ободни дио бањалучке котлине био је под утицајем ободних падинских процеса денудације. На тај начин, ободни дио котлине изграђују стијене издвојене као делувијално алувијални или пролувијално алувијални седименти. У овим стијенама алувијални седименти су измијешани са суспендованим глиновитим материјалом који је „спран“ из виших хоризоната. На тај начин ободни дио бањалучке котлине је изграђен од стијена које имају слабије филтрационе карактеристике, а исти структурни тип порозности. У ову катеогрију су сврстани и шљунковито-пјесковити седименти језерских тераса (alt)

- Стијене међузрнске порозности слабе водопропусности:

Стијене међузрнске порозности карактеристичне по слабим водоропусним својствима су пролувијалне лепезе, делувијални застори и друге стијене које имају велики проценат глиновите фракције. У овим наслагама јавља се тзв. „укрштена седиментација“ која се јавља код периодичних бујичних токова тј. токова који често мијењају протицај, а на тај начи и услове седиментације.

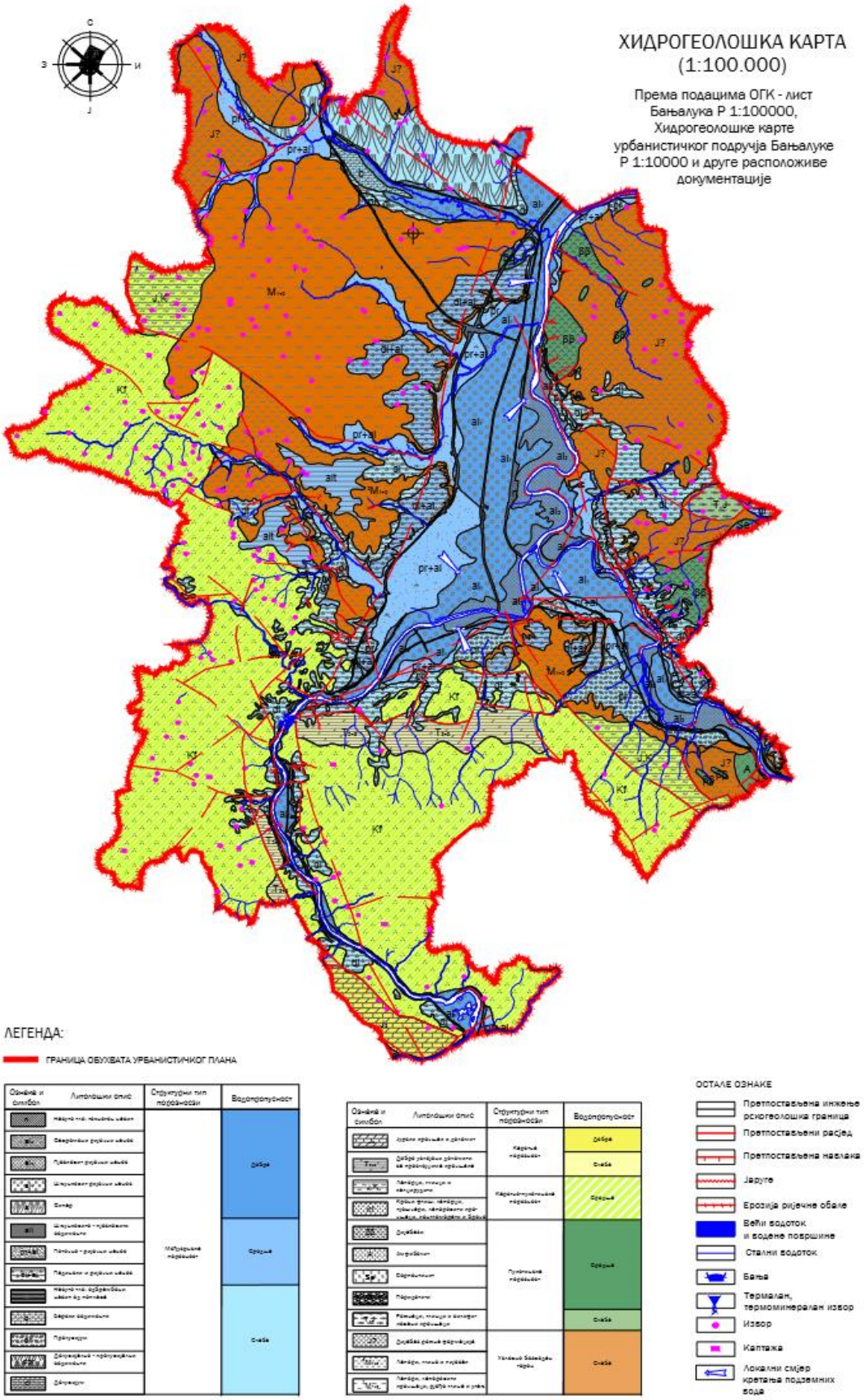

Figure 1. Хидрогеолошка карта подручја урбанистичког плана Града Бања Луке [2]

Стијене карстне порозности

Карстна порозност се развија само у карбонатним стијенама и зависи од степена подложности стијене хемијском растварању.

Стијене карстне порозности су такође издвојене у двије групе према степену водопропусности и то:

- Стијене карстне порозности добре водопропусности:

У ову групу стијена убрајају се чисти кречњаци који покривају углавном јужни дио града Бањалуке. Ерозиони базис у овом дијелу терена је јако дубоко и ерозиону базу представља Врбас. На овом дијелу терена изостају извори. Од присутних извора, евидентирани су само преливни гравитациони, тј. контактни извори. Структура кречњачких маса залијеже испод неогених седимената бањалучке котлине. С обзиром на велико пространство кречњака, ове наслаге представљају јако издашну средину за акумулирање подземних вода. Распрострањење кречњака у профилу није у потпуности истражено. На основу хидрогеолошке анализе сматра се да кречњаци могу да обезбиједе довољне количине подземних вода које би се у будућности могле користити за водоснабдијевање.

- Стијене карстне порозности слабе водопропусности:

У ову групу стијена убројане су карбонатне стијене у којима се јављају прослојци доломита који представљају хидрогеолошку баријеру, па директно утичу на развој карстног процеса. У овим наслагама однос Са и Mg је равномјернији, па је и процес карстификацје мање развијен.

Стијене карстно пукотинске порозности

У ову групу стијена убрајају се стијене које су по хемијском саставу карбонатне и имају својство растварања, а имају присутну пукотинску порозност. У овим стијенама под утицајем хемијске ерозије пукотине прерастају у каверне тако да се циркулација подземних вода везује за струјања кроз каверне и прслине или пукотине. Због свог односа Са и Mg кречњаци и доломити имају слаба својства разградње, тако да одговарају опису ове категорије стијена.

Стијене пукотинске порозности

Пукотински тип издани је према степену водопропусности подијељен на:

- средњу водопропусност (у ову групу улазе магматске и метаморфне стијене- дијабаз, перидотит, габро и серпентинит);
- слабу водопропусност (у ову групу спадају флишне наслаге код којих доминира пукотинска порозност. Такође, у ову групу су сврстане и доломитне наслаге са прослојцима кречњака).

Ова издан се генерално не карактерише великим количинама подземних вода, али је карактерише стабилност квалитативних и квантитативних карактеристика. Воде ове издани су вадозног поријекла, а истицање се у највећој мјери обавља преко извора који су издашности до 1 l/s.

Условно "безводно" подручје

Условно "безводни" дијелови терена се карактеришу слабом водопропусношћу, а формирани су у сљедећим седиментима: миоценски лапори, глине и пјескови као и миоценски лапори, лапоровити кречњаци, ријеђе глине и угаљ, те комплекс дијабаз рожне формације.

4. УТИЦАЈ ГЕОЛОШКО-ХИДРОГЕОЛОШКИХ ФАКТОРА НА ЕФИКАСНОСТ СИСТЕМА

Ефикасност субгеотермалних система ниске енталпије у директној је зависности од комплексног међудјеловања геолошких и хидрогеолошких фактора. Ови фактори одређују могућност акумулације топлоте у тлу, интензитет њеног преноса, као и дугорочну термичку стабилност система.

4.1. УТИЦАЈ ЛИТОЛОШКОГ САСТАВА

Литолошки састав тла и стијена представља основни геолошки фактор који утиче на термичка својства средине. Алувијални седименти, који су широко распрострањени у долини ријеке Врбас, карактеришу се високом порозношћу и промјенљивим гранулометријским саставом. Присуство пијесака и шљункова омогућава добру циркулацију подземних вода, што значајно повећава ефикасност преноса топлоте.

Компактне стијенске масе, попут карбонатних и кластичних стијена, имају нижу примарну порозност, али у случају развијене пукотинске и кавернозне порозности могу представљати повољан медиј за уградњу вертикалних колектора. Њихова већа запреминска маса доприноси акумулацији топлоте, али уз ограничен капацитет њеног обнављања у одсуству активне циркулације флуида.

4.2. ТОПЛОТНА ПРОВОДЉИВОСТ И ТЕРМИЧКА СТАБИЛНОСТ

Топлотна проводност тла зависи од минералног састава, влажности и збијености материјала. Влажна тла и стијене са већим удјелом воде имају знатно већу топлотну проводност у поређењу са сувим срединама. На подручју Бањалуке, најповољнији услови присутни су у ниским алувијалним зонама, гдје сезонске осцилације температуре тла имају мањи утицај на рад система.

Термичка стабилност тла представља важан параметар за дугорочну експлоатацију субгеотермалних система. У срединама са неповољним геолошким условима може доћи до локалног хлађења тла усљед интензивне експлоатације, што резултира падом коефицијента перформанси система.

4.3. УЛОГА ХИДРОГЕОЛОШКИХ УСЛОВА

Хидрогеолошки фактори имају пресудан значај за ефикасност субгеотермалних система ниске енталпије. Присуство подземних вода омогућава пренос топлоте конвекцијом, чиме се значајно повећава енергетски потенцијал система. Слободни и полузатворени аквифери у алувијалним седиментима Бањалуке омогућавају стабилне радне услове и веће вриједности сезонског коефицијента ефикасности (COP).

У подручјима са слабије развијеним хидрогеолошким условима, као што су брдски и узвишени дијелови терена, ефикасност система је ограничена усљед мале пропусности и спорог обнављања топлоте. У таквим условима неопходно је пажљиво димензионисање система и избор одговарајуће технологије.

4.4. УТИЦАЈ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Тектонски елементи, попут расједа и пукотина, имају значајну улогу у формирању хидрогеолошких путева и дистрибуцији подземних вода. Зоне расједања често представљају повољне локације за уградњу вертикалних геосонди, јер омогућавају повећан доток флуида и интензивнији пренос топлоте.

Међутим, присуство изражених структурних дисконтинуитета може представљати и ограничавајући фактор у погледу стабилности бушотина и заштите подземних вода, што захтијева додатне мјере техничке и еколошке контроле.

4.5. УТИЦАЈ ГЕОЛОШКО-ХИДРОГЕОЛОШКИХ ФАКТОРА НА ИЗБОР ТИПА СИСТЕМА

Анализа геолошко-хидрогеолошких карактеристика омогућава оптималан избор типа субгеотермалног система и његово правилно димензионисање. На основу литолошког састава, нивоа подземних вода и интензитета њихове циркулације, могуће је дефинисати зоне са различитим степеном погодности за примјену појединих технологија.

У алувијалним зонама са високим нивоом подземних вода и развијеним слободним аквиферима, субгеотермални системи типа вода–вода и вертикални колектори показују највише вриједности сезонског коефицијента перформанси, које према доступним истраживањима достижу вриједности COP > 4. Ови системи обезбјеђују стабилан рад и ефикасан пренос топлоте током цијеле године.

На теренима са ограниченим хидрогеолошким потенцијалом, попут брдских и узвишених дијелова подручја Бањалуке, погоднији су хоризонтални колектори или вертикалне геосонде већих дубина. У таквим условима неопходно је обезбиједити веће површине или дубље бушотине како би се избјегао пад ефикасности усљед локалног исцрпљивања топлотног потенцијала тла.

Интеграција геолошких и хидрогеолошких података у фази планирања омогућава рационално коришћење субгеотермалне енергије, смањење инвестиционих трошкова и повећање дугорочне поузданости система. Свеобухватна анализа ових фактора представља основу за еколошки прихватљиву и енергетски ефикасну примјену субгеотермалних система ниске енталпије.

5. ПРЕГЛЕД ТИПИЧНИХ ВРИЈЕДНОСТИ ТОПЛОТНЕ ПРОВОДЉИВОСТИ СТИЈЕНА И ОЧЕКИВАНА ЕНЕРГЕТСКА ИЗДАШНОСТ СОНДИ

5.1. ВРИЈЕДНОСТ ТОПЛОТНЕ ПРОВОДЉИВОСТИ СТИЈЕНА

У табели 1 дат је преглед типичних вриједности топлотне проводљивости (λ) за најчешће литолошке типове релевантне за подручје Бањалуке. Приказане вриједности представљају интервале преузете из међународне стручне литературе и односе се на уобичајена инжењерско-геолошка стања стијена.

Табела 1. Типичне вриједности топлотне проводљивости стијена на територији урбанистичког плана Бања Луке [1], [4], [5]

Врста стијене	Топлотна проводљивост λ [W/m·K]	Хидрогеолошке карактеристике	Општа погодност
Шљунак (засићен)	2,5 – 3,0	Висока порозност и пропусност	Врло добра
Пијесак	1,7 – 2,5	Умјерена до добра пропусност	Добра
Глина	0,8 – 1,3	Слаба пропусност, висока влажност	Умјерена
Кречњак	2,3 – 3,9	Кавернозна порозност	Добра до врло добра
Доломит	2,3 – 3,9	Пукотинска и кавернозна порозност	Добра до врло добра
Лапорац	1,2 – 2,0	Ограничена пропусност	Умјерена
Пјешчар	2,0 – 3,5	Пукотинска порозоност, често водоносна	Добра
Конгломерат	2,3 – 3,5	Пукотинска порозност, висока пропусност	Добра
Дијабаз	2,0 – 2,6	Слаба примарна, локална пукотинска	Добра
Амфиболит	2,0 – 2,8	Слаба примарна порозност	Изузетна
Перидотит	2,5 – 4,5	Врло мала порозност	Врло добра
Рожнац	4,0 – 6,5	Минимална порозност	Добра до врло добра
Дијабаз–рожна формација	2,5 – 5,0	Хетерогена, зависна од удјела појединих чланова	Добра до врло добра

На основу наведених вриједности јасно је да стијене богате кварцом и водоносни седименти обезбјеђују најповољније термичке услове, док слабије пропусне средине захтијевају конзервативније пројектне параметре.

5.2. ОЧЕКИВАНА ЕНЕРГЕТСКА ИЗДАШНОСТ СОНДИ

За процјену енергетског потенцијала вертикалних субгеотермалних сонди коришћени су референтни опсези специфичне топлотне снаге по метру сонде q (W/m), према препорукама VDI 4640 и сродној европској пракси. На основу ових вриједности процијењена је инсталисана снага и годишња количина преузете топлоте за сонду дубине 100 m. Годишња количина преузете топлоте зависи од броја еквивалентних пуних радних сати. У раду су приказане двије варијанте – 1800 h као конзервативни пројектни сценарио и 2400 h као интензивнији режим експлоатације, у складу са препорукама VDI 4640.

Табела 2. Типичне вриједности топлотне проводљивости стијена на територији урбанистичког плана Бања Лука

Врста стијене	q [W/m]	Снага сонде 100 m [kW]	Годишња енергија (1800 h) [kWh]	Годишња енергија (2400 h) [kWh]
Шљунак (засићен)	65-80	6,5-8,0	11.700-14.400	15.600-19.200
Пијесак	65-80	6,5-8,0	11.700-14.400	15.600-19.200
Глина	35-50	3,5-5,0	6.300-9.000	8.400-12.000
Кречњак	55-70	5,5-7,0	9.900-12.600	13.200-16.800
Доломит	55-70	5,5-7,0	9.900-12.600	13.200-16.800
Лапорац	45-60	4,5-6,0	8.100-10.800	10.800-14.400
Пјешчар	55-75	5,5-7,5	9.900-13.500	13.200-18.000
Конгломерат	65-85	6,5-8,5	11.700-15.300	15.600-20.400
Дијабаз	40-65	4,0-6,5	7.200-11.700	9.600-15.600
Амфиболит	40-65	4,0-6,5	7.200-11.700	9.600-15.600
Перидотит	40-65	4,0-6,5	7.200-11.700	9.600-15.600
Рожнац	65-85	6,5-8,5	11.700-15.300	15.600-20.400
Дијабаз–рожна формација	50-85	5,0-8,5	9.000-15.300	12.000-20.400

Приказане вриједности представљају оријентационе пројектне параметре. За хетерогене литолошке склопове и зоне са израженим утицајем подземних вода препоручује се извођење теста термичког одзива (TRT) ради прецизног одређивања ефективне топлотне проводљивости и дозвољене специфичне снаге сонде.

6. ПРОЦЈЕНА РАСПОЛОЖИВИХ КОЛИЧНА СУБ-ХИДРОГЕОТЕРМАЛНИХ РЕСУРСА НА ТЕРИТОРИЈИ УРБАНИСТИЧКОГ ПЛАНА БАЊА ЛУКЕ

Доступне количине енергије које се могу добити из суб- хидрогеотермалних система ниске енталпије (подземне воде) зависе од специфичне топлоте воде, температуре подземних вода односно температурне редукције која се може остварити у топлотној пумпи и издашности бунара.

У виду једначине овај однос се може представити кроз следећи прорачун:

$$E = c_p \cdot Q \cdot \Delta T \tag{1}$$

гдје је:

E - номинална расположива количина енергије (кW)

c_p - специфична топлоте воде (константа, 4.2 KJ/kg/ºC)

Q - издашност бунара (kg/s, исто што и l/s)

ΔT - температурна редукција која се може остварити у топлотној пумпи

Прорачун се може изразити и преко промјене специфичне енталпије, при чему вази апроксимација

$$h \approx c_p \cdot T \tag{2}$$

тако да се израз за енергију може записати и у облику:

$$E = Q \cdot \Delta h \tag{3}$$

гдје је:

Δh -промјена специфичне енталпије флуида.

Прорачун овако расположивог хидрогеотермалног ресурса срачунат је за већину могућих температурних случајева током године. Овај прорачун приказан је у табели 3 [3].

Табела 3. Прорачун расположивих количина енергије у kW [3]

			Издашност бунара (l/s)									
Темепратура подземих вода (°C)	T°	ΔT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	7	2	8	17	25	34	42	50	59	67	76	84
	8	3	13	25	38	50	63	76	88	101	113	126
	9	4	17	34	50	67	84	101	118	134	151	168
	10	5	21	42	63	84	105	126	147	168	189	210
	11	6	25	50	76	101	126	151	176	202	227	252
	12	7	29	59	88	118	147	176	206	235	265	294
	13	8	34	67	101	134	168	202	235	269	302	336
	14	9	38	76	113	151	189	227	265	302	340	378
	15	10	42	84	126	168	210	252	294	336	378	420
	16	11	46	92	139	185	231	277	323	370	416	462
	17	12	50	101	151	202	252	302	352	403	454	504
	18	13	55	109	164	218	273	328	382	437	491	546
	19	14	59	118	176	235	294	353	412	470	529	588
	20	15	63	126	189	252	315	378	441	504	567	630
	21	16	67	134	201	269	336	403	470	538	605	672
	22	17	71	142	214	285	357	428	500	571	643	714
	23	18	76	151	227	302	378	454	529	605	680	756
	24	19	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800
	25	20	84	168	252	336	420	504	588	672	756	840

Урбано подручје Бањалуке у појединим насељима (Лазарево, Борик, итд) има дебљину алувијалних седимената до 10 m (максимално 15 m) и према резултатима досадашњих истраживања из експлоатационих бунара се може добити између 2-3 л/с са просјечном температуром подземих вода око 12 ^{0}C. Имајући ово у виду, из једног експлаотационог бунара се може добити између 59-88 kWh енергије. Поред класичних бушених бунара, ефикаснији начин коришћена суб-хидрогеотермалне енергије био би израда копаних бунара са хоризонталним дреновима и овај вид бунара се може препоручити за израду.

7. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Резултати приказани у овом раду указују да геолошко-хидрогеолошки услови имају кључан утицај на ефикасност и поузданост субгеотермалних система ниске енталпије. Подручје Бањалуке карактерише изражена литолошка и хидрогеолошка хетерогеност, што захтијева индивидуални приступ пројектовању и димензионисању система.

Најповољнији услови за примјену вертикалних геосонди и система типа земља–вода присутни су у алувијалним зонама са развијеним слободним аквиферима. У овим условима могуће је остварити високе вриједности сезонског коефицијента ефикасности, као и стабилан дугорочни рад система.

У брдским и узвишеним дијеловима подручја Бањалуке, гдје доминирају компактне стијене са ограниченом пропусношћу, неопходно је примјенити конзервативније пројектне параметре и пажљиво управљати топлотним оптерећењем тла. Интеграција геолошких и хидрогеолошких података у раној фази планирања представља основни предуслов за економски и енергетски оправдану примјену субгеотермалне енергије.

Ако се користи систем топлогих вода-вода (тј. суб-хидрогеотермална енергија), онда су наповољније зоне које имају веће количине подземих вода (равничарски дио Бањалуке) и више температуре подземих вода. Просјечна температура подземих вода на теријирији града Бањалуке је обично око 12 ^{0}C али врло често он зна бити и око 15 ^{0}C што аутоматски повећава потенцијал овог ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. Миленић, А. Врањеш, 2015: *Истраживање и валоризација субгеотермалних енергетских ресурса.* Београд: Рударско-геолошки факултет, XI, 2015.

[2] „Урбанистички план Бања Луке-нацрт“, Урбис центар, Центар за планирање урбаног развоја Београда и ЈНЗ Институт за заштиту и екологију Републике Српске, 2025.

[3] Д. Миленић, *Хидрогеолошке карактеристике и могућности коришћења обновљивих хидрогеотермалних ресурса на ужој територији града Београда*, РГФ-Институт за хидрогеологију, Београд, 2006.

[4] D. Banks, *An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*. 2nd Edition, Blckwell Publishing, Oxford, 2012.

[5] C. Clauser and E. Huenges, „Thermal conductivity of rocks and minerals,“ *Rock Physics and Phase Relations – A Handbook of Physical Constants*, American Geophysical Union, vol. 3, pp. 105-126, 1995.

[6] Б. Иванковић, П. Беговић, „Пред студија о могућностима искоришћавања геотермалне енергије ниске енталпије из подземних вода на локалитету Кампуса у Бањалуци са предлогом даљих истраживања,“ Ибис-инжењеринг д.о.о., 2011.

[7] Б. Иванковић, „Петрогеотермална енергија као обновљиви извор енергије са примјером коришћења геотермалних сонди у систему гријања и хлађења објекта у Бањалуци,“ Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови, Приједор, 2025.

[8] М. Миливојевић, *Геотермологија 1, геотермална енергија*, Рударско-геолошки факултет, Институт за хидрогеологију, Београд, 2009.