

Могућност примене геотермалне енергије на систем даљинског грејања у Бечеју

Possibility of Applying Geothermal Energy to the District Heating System in Bečej

Игор Гаковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕНЕРГЕТИКА И ПРОЦЕСНА ТЕХНИКА

Кратак садржај – У раду је анализирана могућност примене геотермалне енергије у систему даљинског грејања у општини Бечеј. Извршени су енергетски и технички прорачуни различитих варијанти интеграције геотермалног извора у постојећи топлификациони систем, укључујући примену гасних котлова, гасног мотора и топлотних пумпи. На основу добијених резултата сагледани су економски и еколошки ефекти примене геотермалне енергије и процењен њен допринос смањењу потрошње природног гаса у Бечеју.

Кључне речи: Геотермална енергија, даљинско грејање, Бечеј, топлотне пумпе, обновљива енергија

Abstract – In this paper, the possibilities of applying geothermal energy in the district heating system of Bečej are analyzed. Energy and technical analyses were carried out for different integration options of the geothermal source into the existing district heating network, including the use of gas boilers, gas engines, and heat pumps. Based on the obtained results, the economic and environmental effects of geothermal energy utilization were evaluated, as well as its potential contribution to reducing natural gas consumption in the Municipality of Bečej.

Keywords: Geothermal energy, district heating, Bečej, heat pumps, renewable energy

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др. Александар Анђелковић, ред. проф.

1. УВОД

У савременим енергетским системима све већи значај придаје се коришћењу обновљивих извора енергије, услед потребе за смањењем емисије штетних гасова и повећањем енергетске ефикасности. Геотермална енергија заузима значајно место међу обновљивим изворима захваљујући стабилности, доступности и могућности континуиране експлоатације током целе године [1].

Општина Бечеј, смештена у северном делу Србије у Панонском басену, располаже повољним геотермалним условима. На територији општине постоји неколико геотермалних бушотина, а систем

даљинског грејања тренутно у потпуности зависи од природног гаса. Потреба за диверзификацијом извора топлоте, смањењем увозне зависности и испуњавањем климатских циљева намеће истраживање могућности интеграције локалних обновљивих ресурса [1].

У раду су анализиране могућности интеграције геотермалне енергије у постојећи систем кроз три варијанте: директно коришћење геотермалне воде, искоришћење издвојеног гаса у гасним котловима или гасном мотору, те примена топлотних пумпи. Анализа је заснована на реалним подацима геотермалних бушотина и постојећег система даљинског грејања у Бечеју, а укључује енергетски, технички, економски и еколошки аспект.

2. КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛОКАЦИЈЕ

2.1. Геотермални потенцијал и бушотине

Подручје општине Бечеј карактерише значајан геотермални потенцијал као резултат повољних хидрогеолошких услова Панонског басена, са геотермалним градијентом преко 6°C/100 m. На територији Бечеја постоје три геотермалне бушотине. Бушотина ВЋНТ-3/09, избушена 2009. године на западној обали реке Тисе, са производном температуром 66°C и протоком 20 l/s, представља главни предмет анализе у овом раду [5]. Кључни параметри свих бушотина приказани су у Табели 1.

Табела 1. Карактеристике термалних бушотина у Бечеју [5]

Бушотина	ВЋ-1/Н	ВЋ-2/Н	ВЋНТ-3/09
Локација	кр. Флора	ОСЦ	зап. обала Тисе
Дубина (m)	503	1020	1047
Год. израде	1981	1985	2009
Проток (l/s)	11	17–28	20
Температура (°C)	33	63–63,3	66
Минерализација (g/l)	4,5	4,6	4,3
Садржај гаса (Nm ³ /m ³)	Н.п.	1,86–2,14	1,92–2,23

2.2. Постојећи систем даљинског грејања

ЛП Топлана Бечеј управља системом са 919 прикључених потрошача (861 стамбени, 30 јавних институција, 28 пословних субјеката), грејаном површином 94.877 m² и инсталисаном снагом ≈ 18,6

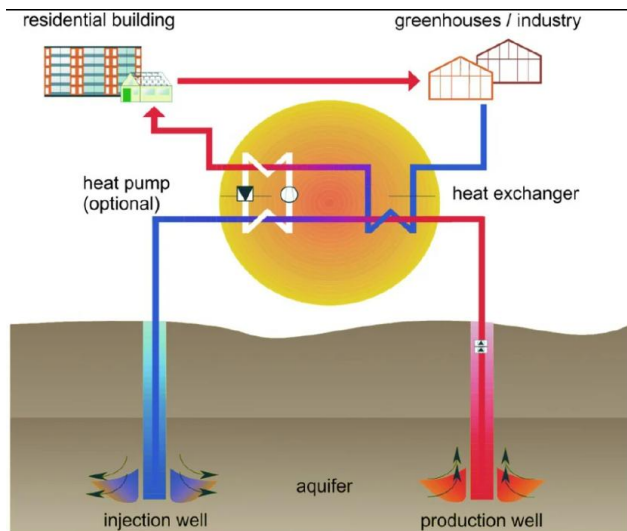
MW. Примарни температурни режим је 130/75°C, а секундарни 90/70°C. Систем поседује три топоводна котла, разгранату цевоводну мрежу са примарним и секундарним цевоводима, 165 топлотних подстанција са измењивачима топлоте и акумулационе резервоаре укупне запремине $3 \times 180 \text{ m}^3$ [5].

Грејна сезона у Бечеју траје просечно 180–200 дана, са рачунском спољашњом температуром -18°C . Максимално топлотно оптерећење јавља се у периоду децембар–фебруар. Систем у потпуности користи природни гас, а флукуације цена енергената и потреба за декарбонизацијом покрећу истраживање алтернативних извора топлоте. Постојећа инфраструктура (цевоводна мрежа, топлотне подстанции, акумулациони резервоари) добра је полазна основа за интеграцију геотермалног извора без значајних додатних инвестиција у дистрибутивну мрежу.

3. АНАЛИЗА МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ

3.1. Doublet систем – принцип рада

Техничка реализација геотермалног система у Бечеју заснива се на doublet систему – производна и утисна бушотина. Слика 1 приказује принцип рада: геотермална вода се извлачи производном бушотином, предаје топлоту систему даљинског грејања преко измењивача топлоте, а затим реинјектује утисном бушотином у исти геолошки слој. Овакав затворени систем осигурава дугорочну одрживост геотермалног ресурса и спречава загађење подземних вода.



Слика 1. Принцип рада doublet геотермалног система са топлотном пумпом [5]

3.2. Топлотна снага геотермалног извора

За бушотину ВЃНТ-3/09 ($T = 65^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 20 \text{ kg/s}$) топлотна снага одређена је изразом:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T [W] \quad (1)$$

Анализиране су две варијанте: варијанта 1 – хлађење воде на 20°C ($\Delta T = 45^\circ\text{C}$), $Q_1 = 20 \cdot 4180 \cdot 45 \approx 3,76 \text{ MW}$, и варијанта 2 – хлађење на 37°C ($\Delta T = 28^\circ\text{C}$), $Q_2 = 20 \cdot 4180 \cdot 28 \approx 2,34 \text{ MW}$. Варијанта 2 представља

реалистичнији сценарио у условима постојећег температурног режима мреже ($75/37^\circ\text{C}$ на повратном воду).

Укупна расположива снага геотермалног система у различитим конфигурацијама приказана је у Табели 2. Видљиво је да ни у најповољнијем сценарију геотермални систем не може самостално покрити укупну инсталисану снагу постројења (18,6 MW), али може поуздано покрити базно оптерећење грејне сезоне.

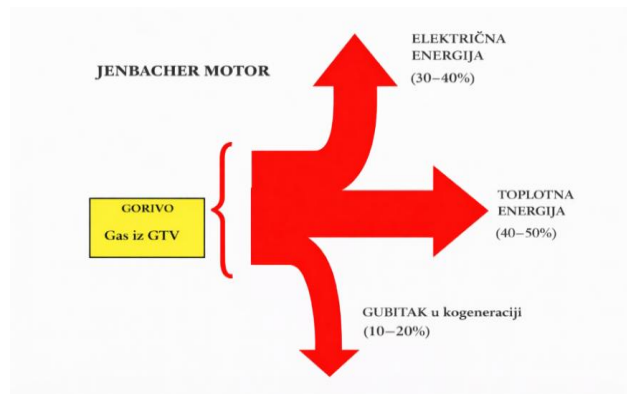
Табела 2. Располагаива топлотна снага по варијантама

Конфигурација система	Вар. 1 (MW)	Вар. 2 (MW)
Геотермална вода	3,76	2,34
Геот. вода + гас котао	4,91	3,49
+ Топлотна пумпа	5,75	4,33

3.3. Искоришћење издвојеног гаса – когенерација

Геотермална вода садржи значајне количине метана (92,9%) које се издвајају у дегазатору. Применом гасних котлова ($\eta = 0,90$, $H_d = 33.338 \text{ kJ/m}^3$, $q_g \approx 138 \text{ Nm}^3/\text{h}$) добија се додатна снага $Q_g \approx 1,15 \text{ MW}$. Укупна снага хибридног система: варијанта 1 – $Q_{uk} = 4,91 \text{ MW}$; варијанта 2 – $Q_{uk} = 3,49 \text{ MW}$.

Коришћење гасног мотора типа Jenbacher омогућава когенерацију – истовремену производњу топлотне и електричне енергије. Слика 2 приказује расподелу енергије у когенерацији: 30–40% горива претвара се у електричну, а 40–50% у топлотну енергију, уз свега 10–20% губитака. У летњем периоду мотор производи искључиво електричну енергију са расхладном кулом за хлађење.



Слика 2. Расподела енергије у когенерацији – Jenbacher мотор [5]

3.4. Примена топлотних пумпи

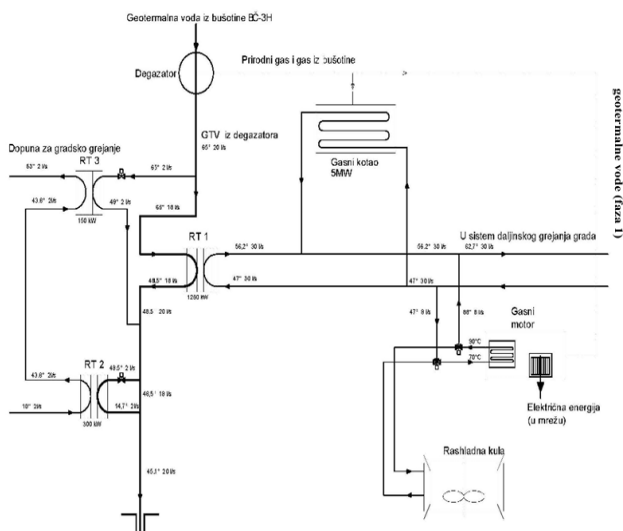
Топлотне пумпе омогућавају додатно снижење температуре геотермалне воде и искоришћење резидуалне топлоте. При хлађењу воде са 25°C на 15°C ($\Delta T = 10^\circ\text{C}$):

$$Q_{ДОД} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = 20 \cdot 4180 \cdot 10 \approx 0,84 \text{ MW} \quad (2)$$

Са вредностима $COP = 3\text{--}5$ за геотермалне примене, систем остварује 3–5 kW топлоте по 1 kW утрошене електричне енергије. Применом топлотне пумпе укупна снага система повећава се за приближно 20–25%, а пројектована потрошња електричне енергије износи $\approx 280 \text{ kWe}$.

3.5. Технолошка шема постројења

Слика 3 приказује технолошку шему предложеног постројења са свим компонентама. Геотермална вода из бушотине пролази кроз дегазатор, примарни измењивач топлоте RT1 (снага 1.250 kW) и опционо кроз тоplotну пумпу. Допунски топоводни измењивачи RT2 (300 kW) и RT3 (150 kW) служе за прилагођавање температурног режима. Издвојени гас доводи се до гасног котла (5 MW) и гасног мотора са расхладном кулом. Систем у целини обезбеђује флексибилно управљање оптерећењем [5].

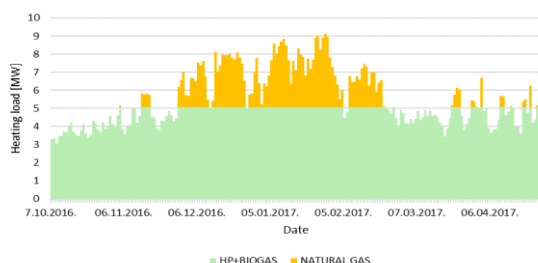


Слика 3. Технолошка шема геотермалног постројења у Бечеју [5]

4. ЕКОНОМСКА И ЕКОЛОШКА АНАЛИЗА

4.1. Топлотно оптерећење система

Слика 4. приказује дијаграм топлотног оптерећења система даљинског грејања током грејне сезоне 2016/2017. Јасно је видљива расподела покрића оптерећења: зелена зона (HP+BIOGAS) представља базно оптерећење које покрива геотермални систем са тоplotним пумпама, а жута зона (NATURAL GAS) вршно оптерећење које се покрива природним гасом. Максимално оптерећење износи до 9 MW, а базно оптерећење покривено геотермалним системом просечно 4–5 MW.



Слика 4. Дијаграм топлотног оптерећења система грејања Бечеј [5]

4.2. Инвестиција и период повраћаја

Укупна процењена инвестиција у систем износи $I \approx 5$ –7 милиона €, са радним веком преко 25 година. Инвестиција обухвата: израду doublet бушотина (≈ 2 –3

М€), надземно постројење са дегазатором и измењивачима (≈ 1 –2 М€), когенерациону јединицу ($\approx 0,5$ –0,8 М€), тоplotну пумпу ($\approx 0,3$ –0,5 М€) и интеграцију са постојећим системом ($\approx 0,5$ М€).

При раду од 3600 h/год, годишња производња тоplotне енергије износи 12.564–17.676 MWh. Уз цену тоplotе из гаса 56 €/MWh [5], годишње уштеде достижу $U \approx 703.584$ –942.300 €. Период повраћаја инвестиције: $T = I/U \approx 5$ –8 година. Додатна вредност произведене електричне енергије у когенерацији (гасни мотор, ≈ 350 –500 kWe) побољшава финансијски резултат за додатних 80.000–120.000 €/год при цени електричне енергије 0,145 €/kWh.

Економска исплативост значајно зависи од кретања цена природног гаса. При расту цене гаса за 20%, период повраћаја инвестиције скраћује се на 4–6 година. Геотермална енергија представља дугорочну заштиту од волатилности цена енергената – нема директних трошкова горива за геотермални извор, а оперативни трошкови ограничени су на електричну енергију за пумпе и редовно одржавање.

4.3. Еколошки ефекти

Применом специфичног фактора емисије за природни гас ($eCO_2 \approx 0,202$ t/MWh), процењено годишње смањење емисије CO_2 износи 2.538–3.570 t/год у зависности од варијанте. Поред тога, смањује се емисија NO_x и суспендованих честица, а геотермални систем не производи pepeo нити чврсте отпатке. Примена doublet система са реинјекцијом охлађене воде у исти геолошки слој обезбеђује еколошки прихватљиво и дугорочно одрживо коришћење геотермалног ресурса, уз очување притиска у лежишту [3].

Пројекат је у складу са Директивом ЕУ о обновљивим изворима енергије (RED III), Националним акционим планом за ОИЕ Србије и Уговором о Енергетској заједници, по коме Србија треба да достигне 27% удела ОИЕ у финалној потрошњи до 2030. Геотермалне инсталације у општини Бечеј могу постати демонстрациони пројекат и подстицај за сличне иницијативе у суседним општинама Панонске низије.

4.4. Утицај на цену тоplotе и сигурност снабдевања

Увођење геотермалне енергије, чија је маргинална цена производње значајно нижа у односу на природни гас, ствара услове за стабилизацију или снижење цене тоplotе за крајње кориснике. Процењено смањење просечне цене тоplotе износи 8–15% у зависности од варијанте и кретања цена природног гаса. Диверзификација извора тоplotе такође повећава сигурност снабдевања – у случају поремећаја у снабдевању природним гасом, геотермални систем може самостално обезбедити базно грејање за значајан број прикључених потрошача.

Током фазе изградње процењује се ангажовање 60–80 радника, а у фази погона 8–12 стално запослених стручних лица. Развој геотермалних компетенција локалних стручњака отвара и могућности за примену геотермалне тоplotе у процесима прераде, сушења, пластеничке производње и аквакултуре, коришћењем

воде нижих температура на излазу из главног система – чиме се остварује каскадно искоришћење ресурса.

4.5. Упоредна анализа варијанти и препоруке

На основу спроведених техничких и економских анализа могу се издвојити три основне варијанте хибридног геотермалног постројења у Бечеју, са различитим односом инвестиционих трошкова и остварених ефеката:

Варијанта А – Директно искоришћење геотермалне воде са гасним котлом: Најједноставнија и најмање инвестиционо захтевна опција ($I \approx 3\text{--}4$ М€). Геотермална вода предаје топлоту преко примарног измењивача RT1, а издвојени гас сагорева у гасном котлу. Укупна снага износи 3,49–4,91 MW. Препоручује се као прва фаза имплементације, уз могућност даљег проширивања системом.

Варијанта Б – Геотермална вода са гасним мотором (когенерација): Уз нешто вишу инвестицију ($I \approx 4,5\text{--}5,5$ М€), гасни мотор типа Jenbacher замењује гасни котао и омогућава истовремену производњу топлотне и електричне енергије. Посебна предност је флексибилност – у летњем периоду мотор производи искључиво електричну енергију са расхладном кулом, чиме се максимизује коришћење издвојеног гаса током целе године. Укупна топлотна снага је иста као у варијанти А, али је укупна искоришћеност горива виша.

Варијанта В – Потпуни хибридни систем са топлотном пумпом (препоручена): Највиша инвестиција ($I \approx 5\text{--}7$ М€), али и највиши степен искоришћења геотермалног ресурса. Топлотна пумпа додатно снижава температуру геотермалне воде са 25°C на 15°C и преузима додатних 0,84 MW, чиме укупна снага достиже 4,33–5,75 MW. Овај приступ је оптималан са становишта дугорочне одрживости и енергетске ефикасности.

Кључни техничко-економски ризици пројекта укључују: пад капацитета бушотине услед таложених минерала у цевоводу, потребу за хемијским третирањем геотермалне воде, АТЕХ захтеве за руковање издвојеним метаном и потребу за специјалним опремом измењивача топлоте отпорних на корозивне минерале Панонског басена. Препоручује се поступна имплементација у фазама, са пажљивим мониторингом параметара лежишта.

4.6. Примери примене геотермалне енергије у свету

Геотермална енергија се успешно користи у системима даљинског грејања широм света, нарочито у земљама са повољним геолошким условима. Исланд је светски лидер – преко 90% стамбених објеката греје се геотермалном енергијом, а систем даљинског грејања у Рејкјавику снабдева преко 200.000 становника. Температура геотермалне воде у Рејкјавику износи 80–130°C, знатно виша него у Бечеју, али принцип doublet система са реинјекцијом је исти [2].

У оквиру Панонског басена – идентичног геолошког окружења као Бечеј – Мађарска бележи значајне резултате. Град Сегедин (170.000 становника) успешно је интегрисао геотермалну енергију у постојећи систем

даљинског грејања, смањивши потрошњу природног гаса за преко 40%. У Француској, геотермални doublet системи у париском региону (температуре 56–85°C, дубине 1.500–2.000 m) раде поуздано преко пет деценија без значајног пада капацитета бушотина [4].

У Србији је геотермална енергија тренутно у почетној фази искоришћења, иако Панонски басен нуди значајан потенцијал. Општина Бечеј располаже повољнијим условима од многих европских локација које су већ успешно реализовале геотермалне пројекте. Искуства наведених земаља јасно указују на то да су кључни фактори успеха: детаљна хидрогеолошка истраживања, примена doublet система са реинјекцијом, фазна имплементација и дугорочни мониторинг параметара лежишта.

4.7. Утицај на енергетски биланс општине

Увођење геотермалне енергије директно смањује увозну зависност општине Бечеј од природног гаса. У оптималном сценарију (варијанта В са топлотном пумпом), геотермални систем може покрити 27–36% укупне годишње потребе за топлотном енергијом. Током просечних зимских дана, када је оптерећење умерено (5–7 MW), геотермални систем покрива базно оптерећење практично без употребе природног гаса.

Диверзификација извора топлоте повећава сигурност снабдевања потрошача. У случају поремећаја у снабдевању природним гасом, геотермални систем може самостално обезбедити базно грејање за значајан број прикључених стамбених објеката. Стабилност цена геотермалне енергије такође пружа заштиту корисницима – нема директних трошкова горива за геотермални извор, па цена произведене топлоте није изложена волатилности тржишта природног гаса.

Процењено смањење годишње потрошње природног гаса за грејање износи 1.260.000–1.770.000 Nm³/год, у зависности од варијанте. Уз просечну цену природног гаса од 0,80 €/Nm³, директна уштеда у набавци гаса износи 1,0–1,4 М€/год. Ово је значајно виша вредност у поређењу са уштедом на нивоу топлотне енергије, јер се рачуна разлика у трошковима горива а не у цени за крајњег корисника.

5. ЗАКЉУЧАК

Спроведена анализа показала је да геотермални потенцијал у Бечеју пружа реалну могућност унапређења система даљинског грејања. Располагава топлотна снага геотермалног извора (2,34–3,76 MW) уз додатак из издвојеног гаса (1,15 MW) и топлотних пумпи (0,84 MW) достиже укупно 4,33–5,75 MW, покривајући базно топлотно оптерећење током целе грејне сезоне.

Оптималан приступ подразумева хибридни систем у коме геотермална енергија покрива базно оптерећење, гасни котлови обезбеђују вршну снагу, а гасни мотор омогућава когенерацију у ванвандалном периоду. Примена топлотних пумпи додатно повећава искоришћење ресурса и укупни степен ефикасности система.

Економска анализа потврдила је исплативост пројекта са периодом повраћаја 5–8 година и годишњим

уштедама до 942.000 €. Еколошки ефекти – смањење емисије CO₂ за 2.500–3.600 t/год – чине овај пројекат усклађеним са циљевима декарбонизације енергетског сектора. Бечеј може постати модел одрживог коришћења геотермалне енергије у Панонском басену. Препоручује се израда детаљне студије изводљивости и изворишног истраживања пре доношења коначне инвестиционе одлуке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] I. Stober, K. Bucher, Geothermal Energy – From Theoretical Models to Exploration and Development, Springer, Berlin, 2021.
- [2] W. E. Glassley, Geothermal Energy – Renewable Energy and the Environment, CRC Press, Boca Raton, 2014.
- [3] D. Gvozdenac, Obnovljivi izvori energije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [4] J. W. Tester, S. L. Milora, Geothermal Energy as a Source of Electric Power, MIT Press.
- [5] iC, CES, ENOVA, CONTEX ENERGY, Final Report – Bečej, 2023.

Кратка биографија:



Игор Гаковић рођен је у Новом Саду 1997. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Енергетике и процесне технике – Термотехнике одбранио је 2026.год.

Контакт:

igor.gakovic97@gmail.com