# Stanje i razvojne smjernice učinkovitog iskorištavanja geotermalne vode na lokaciji Topusko

**Žužić, Ivica**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:607986

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-18**

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Ivica Žužić

# STANJE I RAZVOJNE SMJERNICE UČINKOVITOG ISKORIŠTAVANJA GEOTERMALNE VODE NA LOKACIJI TOPUSKO

ZAVRŠNI RAD

Karlovac 2016.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Ivica Žužić

# STANJE I RAZVOJNE SMJERNICE UČINKOVITOG ISKORIŠTAVANJA GEOTERMALNE VODE NA LOKACIJI TOPUSKO

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
dr.sc. Nenad Mustapić, prof. v.š.

Karlovac 2016.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department
Proffesional graduate study of Safety and Protection

Ivica Žužić

# STATUS AND DEVELOPMENT GUIDELINES FOR EFFECTIVE GEOTHERMAL WATER EXPLOITATION IN TOPUSKO

Final paper

Karlovac 2016.

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**
Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579

HRN EN ISO 9001:2009

# VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Studij: Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: sigurnost i zaštita Karlovac, 2016.

# ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Ivica Žužić

Naslov: **Stanje i razvojne smjernice učinkovitog iskorištavanja geotermelne vode na lokaciji Topusko**

Opis zadatka:

U okviru teme završnog rada potrebno je razraditi naredne cjeline:

1. Teoretske osnove (geotermalna energija u svijetu i općini Topusko).
2. Opis zatečenog stanja izvora tople vode (vlasnička struktura i tehničke karakteristike).
3. Analiza problema otpadne termalne vode.
4. Razrada mogućnosti energetskog iskorištavanja geotermalne vode i otpadne geotermalne vode u općini Topusko.
5. Zaključak.

| Zadatak zadan: | Rok predaje rada: | Predviđeni datum obrane: |
|---|---|---|
| 5.04.2016. | 14.6.2016. | 29.06.2016. |

Mentor:
dr.sc. Nenad Mustapić, prof.v.š.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:
dr.sc. Jovan Vučinić, prof.v.š.

# IZJAVA

Ovaj rad nastao je kao produkt mog dugogodišnjeg rada u Lječilištu Topusko i osobnog iskustva u primjeni geotermalne vode za potrebe balneologije i grijanja.

Ovom prilikom želim iskazati zahvalnost mom mentoru dr.sc. Nenadu Mustapiću na nesebičnoj pomoći, strpljenju i razumijevanju koje mi je pružio pri izradi ovog diplomskog rada kao i tijekom svih godina školovanja.

Želim se također zahvaliti i svim ostalim profesorima koji su me pratili kroz školovanje .

Svoju zahvalnost želim iskazati upravi i radnim kolegama „Lječilišta Topusko“ na razumijevanju, nesebičnoj podršci i pomoći koju mi pružaju u radu ali i tijekom mog obrazovanja na Veleučilšta u Karlovcu.

Veliko hvala i mojoj obitelji koja me uvijek i u svemu prati i podržava.

# SAŽETAK

U ovom završnom radu prikazane su opće značajke geotermalne energije, njezin potencijal, te lokacije na kojima se nalazi u Republici Hrvatskoj. Poseban naglasak stavljen je na Topusko kao mjesto s jednom od najboljih geotermalnih voda u Europi. Napravljena je analiza postojećeg stanja iskorištavanja geotermalne vode na lokaciji Topusko, te su date razvojne smjernice učinkovitog iskorištavanja geotermalne vode u budućnosti.

**Ključne riječi**: geotermalna energija, eksploatacija, bušotina, balneologija, centralna toplinska stanica, geotermalna toplinska pumpa - dizalica topline, kaskadno iskorištavanje geotermalne vode.

# SUMMARY

In this study presents the general features of geothermal energy, its potential and location in Croatia. Special emphasis is on Topusko, place with some of the best geothermal water in Europa. It was made an analysis for existing situation of geothermal water explatation in Topusko. Further more, development guidelines are given for effective geothermal water exploatation in the future.

**Keywords**: geothermal energy, exploatation, borehole, balneology, central heating station, geothermal heat pump – heat pump, cascading exploitation of geothermal energy.

# SADRŽAJ

**ZAVRŠNI ZADATAK** ..... **I**

**PREDGOVOR** ..... **II**

**SAŽETAK/SUMMARY** ..... **III**

**SADRŽAJ** ..... **IV**

**1. UVOD** ..... **1**

1.1. Predmet i cilj rada ..... 1

1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja ..... 2

**2. TEORETSKA OSNOVA** ..... **3**

2.1. Osnovna obilježja geotermalne energije ..... 3

2.2. Geotermalna energija u Republici Hrvatskoj ..... 5

2.2.1. Mogućnost eksploatacija geotermalne energije ..... 6

2.3. Geotermalna energija u Sisačko-moslavačkoj županiji ..... 7

2.3.1. Opće značajke geotermalne energije u Sisačko-moslavačkoj županiji ..... 8

2.3.2. Prirodne i tehničke značajke geotermalne energije u Topuskom ..... 9

**3. POSTAVKA ZADATKA** ..... **13**

**4. RAZRADA ZADATKA** ..... **15**

4.1. Osnovni tehnički i vlasnički podaci o izvorima geotermalne vode na području Topuskog ..... 15

4.2. Energetski aspekti prodaje i iskorištavanja geotermalne energije ..... 19

4.2.1. Postupak za dobivanje odobrenja za istraživanje i koncesije za eksploataciju mineralne sirovine ..... 20

4.2.1.1. Postupak radi odabira najpovoljnijeg ponuditelja za istraživanje mineralnih sirovina radi davanja koncesije za eksploataciju ..... 20
4.2.1.2. Postupak radi davanja odobrenja za istraživanje ..... 21
4.2.1.3. Postupak radi utvrđivanja eksploatacijskog polja ..... 21
4.2.1.4. Postupak radi davanja koncesije za eksploataciju ..... 22
4.3. Analiza vrijednosnih pokazatelja eksploatacije geotermalne vode ..... 24
4.4. Procjena stanja i karakteristike bušotina TEB-1, TEB-2, TEB-3 i TEB-4 ..... 26
4.4.1. Uporaba geotermalne vode u Topuskom ..... 31
4.4.1.1. Rad centralne toplinske stanice (CTS) ..... 33
4.4.1.2. Izračun potrošnje i naplate isporučene toplinske energije za 2014.g. ..... 36
4.4.1.3. Energija za zagrijavanje poslovnih prostora (varijabilni dio) ..... 36
4.4.1.4. Izračun toplinske snage za grijanje prostora ..... 36
4.5. Problem otpadne termalne vode ..... 37
4.6. Koncept korištenja geotermalne vode u Topuskom ..... 40
4.6.1. Geotermalna toplinska pumpa – dizalica topline ..... 48
4.7. Smjernice budućeg korištenja toplinske energije i ekonomski aspekt ..... 49

**5. ZAKLJUČAK ..... 55**

**6. LITERATURA ..... 58**

Popis slika ..... 61
Popis tablica ..... 63

# 1. UVOD

## 1.1. Predmet i cilj rada

Korištenje geotermalnih voda poznato je iz davne povijesti, osobito iz rimskih vremena. Razlozi su bili uglavnom balneološke, terapeutske, odnosno medicinske prirode. Velike koroznosti geotermalnih voda do nedugo je bila ograničavajući faktor u korištenju i za energetske svrhe. Permanentno poskupljenje klasičnih energenata i praćenje energetske krize, značajno su pridonijeli intenzivnom istraživanju nekonvecionalnih energetskih izvora, a među njima i geotermalnih voda, njihovih osobina i karakteristika u postrojenjima i instalacijama za grijanje i ostale energetske potrebe. Budući su u sklopu toga istraženi načini i metode korištenja toplinskih izvora nižih temperaturnih potencijala, a protiv agresivnosti i inkrustacije odgovarajući materijali i uređaji, danas se geotermalna voda i kod nas, a ne samo u svijetu, intenzivno koriste osim u medicinske svrhe, i za potrebe grijanja. Pri tome je, najčešće, zanemarena potreba racionalne potrošnje, a koja slijedi iz činjenice ograničenih količina geotermalne vode. Neracionalnim korištenjem, izvori – bušotine, vrlo se brzo mogu dovesti do takvih granica koje ne mogu više jamčiti niti minimum bitnih, medicinskih i potreba zdravstvenog turizma.

Od samog početka eksploatacije geotermalne vode u Topuskom uočeni su problemi s održivosti proizvodnje na pojedinim bušotinama pri većim obrocima crpljenja, što je u konačnici dovelo i do smanjenja tlaka na TEB-2 i TEB-3, a u konačnici i prestanka rada TEB-2 i nužnosti primjene potopne pumpe na TEB-3. Potrebno je, također, smanjiti temperaturu geotermalne vode na ispustu u rijeku Glinu i u kanalizacijski sustav, obzirom na trenutno važeće zakonske norme o zaštiti okoliša.

Moguća su i određena proširenja kapaciteta izgradnjom nove bušotine TEB-5 u području Livadskih izvora. Obzirom na današnje financijske okolnosti i nužnost pronalaska strateškog partnera za daljnji razvoj lječilišnog turizma u Topuskom, kao i garantirati konstantna opskrba geotermalnom energijom.

Dakle, racionalno korištenje, odnosno optimalizacijom energetske i masovne učinkovitosti korištenja geotermalnih resursa, u konkretnom lokalitetu Topuskog, postoje diktat i potreba. To znači da se problem korištenja geotermalnih voda mora sagledati sa svih relevantnih strana, odnosno medicinskog, toplinskog i ekonomskog aspekta i da na

osnovi toga predlože ona rješenja koja će osigurati i masenu količinu geotermalnih voda i količinu topline i za buduće naraštaje.

## 1.2. Izvor podataka i metode prikupljanja

Izvori podataka za izradu ovog rada bile su prvenstveno razne studije koje su u posljednje vrijeme rađene sa ciljem procjene sadašnjeg stanja i davanja prijedloga za učinkovito iskorištavanje geotermalne energije na lokaciji Topusko. Neki od podataka su i predmet mog vlastitog istraživanja, prvenstveno se to odnosi i na poglavlje 6.

Podatci su prikupljani kroz duži period kao pregled rada raznih službi Lječilišta Topusko i Top – Termi d.o., te kao rezultati raznih studija rađenih na temu geotermalne energije u Topuskom.

## 2. TEORETSKA OSNOVA

### 2.1. Osnovna obilježja geotermalne energije

Riječ geotermalno ima porijeklo u dvjema grčkim riječima *geo* (zemlja) i *therme* (toplina) i znači toplina zemlje, pa se prema tome toplinska energija Zemlje naziva još i geotermalna energija.

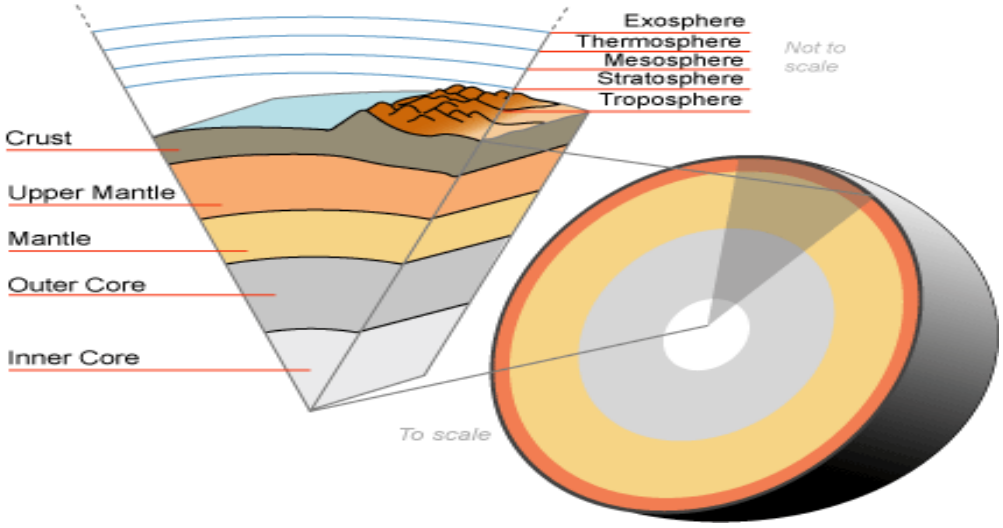
Toplina u unutrašnjosti Zemlje rezultat je formiranja planeta iz prašine i plinova prije više od četiri milijarde godina, a radioaktivno raspadanje elemenata u stijenama kontinuirano regenerira tu toplinu, pa je prema tome geotermalna energija obnovljivi izvor energije. Osnovni medij koji prenosi toplinu iz unutrašnjosti na površinu je voda ili para, a ta komponenta obnavlja se tako da se voda od kiša probija duboko po raspuklinama i tamo se onda zagrijava i cirkulira natrag prema površini, gdje se pojavljuje u obliku gejzira i vrućih izvora.

Vanjska kruta kora Zemlje duboka je od 5 do 50 kilometara i sastavljana je od stijena. Tvari iz unutarnjeg sloja neprestano izlaze na površinu kroz vulkanske otvore i pukotine na dnu oceana. Ispod kore nalazi se omotač i on se proteže do dubine od 2900 kilometara, a sačinjen je od spojeva bogatih željezom i magnezijem. Ispod svega toga nalaze se dva sloja jezgre – tekući sloj i kruti sloj u samoj jezgri planeta. Polumjer Zemlje je otprilike 6378 kilometara, i nitko zapravo ne zna što se točno nalazi u unutrašnjosti. Spuštanjem kroz vanjski sloj Zemlje, tj. koru temperatura raste otprilike 17 °C do 30 °C po kilometru dubine. Na slici 1. prikazani su slojevi zemlje: a) vanjska kruta kora, b) tekući omotač, c) vanjska tekuća jezgra i d) unutrašnja kruta jezgra [1].

Potencijal geotermalne energije je ogroman, ima je 50.000 puta više od sve energije koja se može dobiti iz nafte i plina širom svijeta. Geotermalni resursi nalaze se u širokom spektru dubina, od plitkih površinskih do više kilometara dubokih rezervoara vruće vode i pare koja se može dovesti na površinu i iskoristiti. U prirodi se geotermalna energija najčešće pojavljuje u formi vulkana, izvora vruće vode i gejzira.

U nekim zemljama se geotermalna energija koristi već tisućljećima u obliku toplica odnosno rekreacijsko-ljekovitog kupanja. No razvoj znanosti nije se ograničio samo na područje ljekovitog iskorištavanja geotermalne energije već je iskorištavanje geotermalne energije usmjerio i prema procesu dobivanja električne energije te grijanju kućanstava i industrijskih postrojenja. Grijanje zgrada i iskorištavanje geotermalne energije u procesu

dobivanja struje, glavni su ali ne i jedini načini iskorištavanja te energije. Geotermalna energija također se može iskoristiti i u druge svrhe kao što su primjerice u proizvodnji papira, pasterizaciji mlijeka, plivačkim bazenima, u procesu sušenja drveta i vune, planskom stočarstvu, te za mnoge druge svrhe.




**Slika 1.** Prikaz zemljinih slojeva.

Geotermalna energija ima brojne prednosti pred tradicionalnim izvorima energije baziranim na fosilnim gorivima. Najveća prednost geotermalne energije je to što je čista i sigurna za okolinu. Metoda koja se koristi za dobivanje električne energije ne stvara emisije štetne za okolinu. Smanjuje se korištenje fosilnih goriva, što također smanjuje emisiju stakleničkih plinova. Druga prednost su zalihe energije koje su nam na raspolaganju. Zalihe geotermalne energije su praktički neiscrpne. Geotermalne elektrane zauzimaju mali prostor. Geotermalne elektrane se grade direktno na izvoru energije i lako opskrbljuju okolna područja toplinskom i električnom energijom. Osim toga, zbog malog zauzeća prostora, takve elektrane su vrlo pouzdane. Geotermalna energija je pouzdana jer ne ovisi meteorološkim utjecajima za razliku od hidroelektrana (ovise o količini vode na raspolaganju), vjetroelektrana (vjetar jako varira i ne može se znati kad ce ga biti), solarnih sustava (ne mogu raditi noću i ovise o meteorološkim prilikama). Električna energija iz geotermalnih izvora može se proizvoditi 24 sata na dan. Geotermalne elektrane imaju vrlo niske troškove proizvodnje. Zahtijevaju samo energiju za pokretanje vodenih pumpi, a tu energiju proizvodi elektrana sama za sebe.

Glavni nedostatak prilikom iskorištavanja geotermalne energije je da nema puno mjesta na svijetu koja su izuzetno pogodna za eksploataciju. Najpogodnija su područja na rubovima tektonskih ploča, tj. područja velike vulkanske i tektonske aktivnosti.

## 2.2. Geotermalna energija u Republici Hrvatskoj

Ukupni se geotermalni energetski potencijal u Hrvatskoj procjenjuje na 812 MW toplinskog učinka i 45,8 MW električne snage, uz pretpostavku primjene u sustavima grijanja i s iskorištenjem do temperature 50 °C.

Geotermalna se voda na području Hrvatske koristila od davnina i na njoj se temelje brojne toplice (npr. Varaždinske, Bizovačke**,** Topusko). Dok je ranije u tim toplicama voda na površinu dotjecala prirodno, danas se koriste plitke bušotine. Značajnija istraživanja geotermalnih ležišta u Hrvatskoj započinju 1976. godine kako bi se ispitala moguća primjena u razne svrhe, ne samo zdravstveno-turističke.

Potencijal geotermalnih izvora u RH može se podijeliti u tri veće regije:

a) Panonska ravnica,
b) centralno područje,
c) jadransko priobalje i otoci (područje Dinarida).

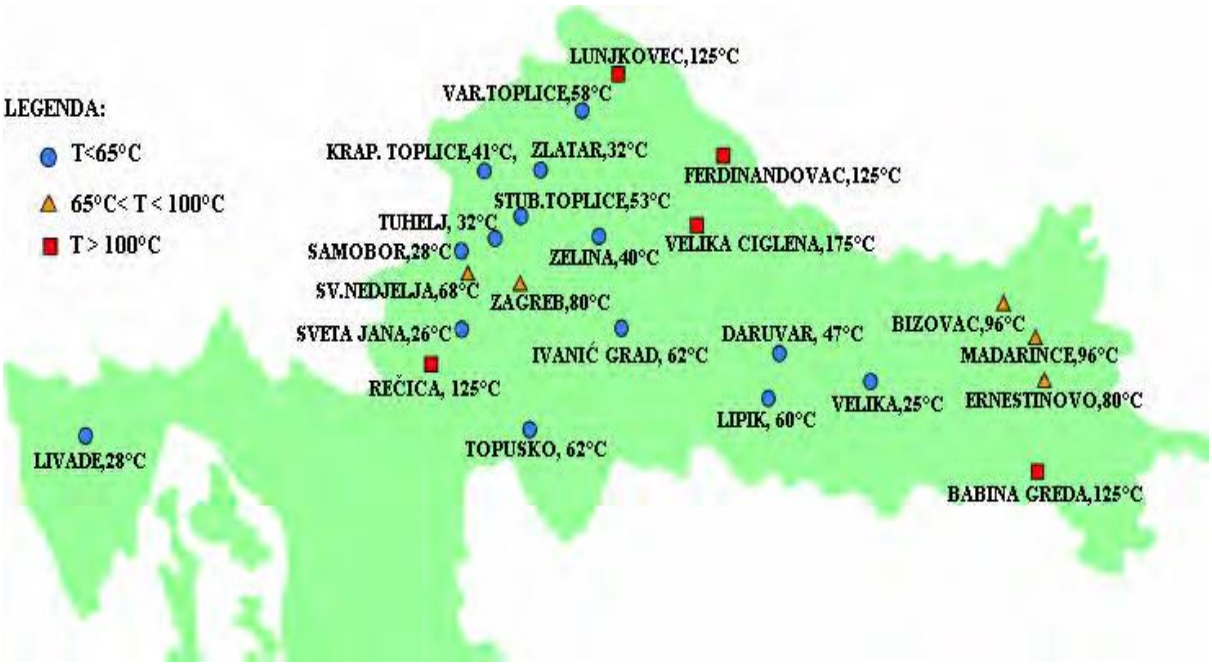
U Dinaridima prosječni geotermički gradijent iznosi: G=0,018 °C/m uz toplinski tok od: q=29 mW/m². Na ovom području zbog manjih vrijednosti geotermalnog gradijenta i toplinskog toka ne mogu se očekivati značajnija nalazišta geotermalnih ležišta. Bez obzira na to, postoje lokaliteti koji se mogu iskoristiti za rekreativne i balneološke svrhe, kao na primjer Istarske Toplice, lokaliteti u Splitu, Omišu, Sinju i Dubrovniku.

Centralno područje je područje od Korduna i Banovine do Međimurja. Na tom prostoru otkrivena su geotermalna ležišta u širokom rasponu temperatura i količina, i to od onih s najvišom registriranom temperaturom i količinom protoka (Karlovac – Rečica), do srednje temperaturnih prikladnih za zagrijavanje (GP Zagreb) i do onih za rekreativne i balneološke namjene (područje Hrvatskog Zagorja i Međimurja).

Za razliku od Dinarida, u Panonskom bazenu, koji obuhvaća sjeverni dio Panonskog bazena, od Međimurja do istočne granice RH, prosječni geotermički gradijent i

toplinski tok od: G=0,049 °C/m i q=76 mW/m² znatno su viši od europskoga prosjeka pa se mogu očekivati značajniji geotermalni potencijali. Ovdje je otkriven veći broj nalazišta relativno visokih temperatura geotermalne vode na ušću i velikim proizvodnim kapacitetima bušotina prikladnim za višestruku, kaskadnu namjenu (Kutnjak - Lunjkovec, Velika Ciglena, Bizovac, Babina Greda, Ferdinandovec). Od njih se za sada trenutno eksploatira samo ležište u Bizovcu. Ostala potencijalna nalazišta su akviferi dubokih naftnih i plinskih polja u Podravini i Slavoniji koja bi se mogla rentabilno iskoristiti nakon prestanka proizvodnje ugljikovodika kao na primjeru plinskih polja Molve i Kalinovac s temperaturama vode u okruženju ležišta od gotovo 120°C.

Na slici 2. prikazani su geotermalni resursi Republike Hrvatske i termalni izvori voda temperatura nižih od 65°C, a koja se mogu iskorištavati u balneološke svrhe [2].




**Slika 2.** Geotermalni resursi Republike Hrvatske.

### 2.2.1. Mogućnosti eksploatacija geotermalne vode

Pored brojnih prirodnih vrela koja se koriste u balneološke svrhe, energetski se iskorištava geotermalna voda temperatura većih od 65°C samo u Bizovačkim toplicama i u gradu Zagrebu.

Početak geotermije u našoj zemlji pripada eksploatacijskom polju GT Bizovec kraj Valpova. Istražnim radovima na naftu i plin otkriveno je ležište termalne vode temperature od 98°C što je rezultiralo gradnjom lječilišta krajem osamdesetih. Nakon prvobitnih poteškoća s eruptiranjem bušotine, izrađen je projekt podržavanja ležišnoga tlaka pomoću utiskivanja bunarske vode kroz injekcijsku bušotinu. Do danas su izgrađene ukupno tri bušotine koje energetski proizvode oko 9900 MWht godišnje. Energija se prodaje za 50 % cijene ekvivalenta energetske vrijednosti prirodnog plina.

Međutim, eksploatacija geotermalne vode može biti i za oko tri puta veća s obzirom na postojeće neaktivne naftne bušotine.

Na području eksploatacijskog polja GT Zagreb obavljeni su opsežni geološki i geofizičko - seizmički istražni radovi. Kako bi se izradila što bolja procjena, istražnim bušenjem na jugozapadnom dijelu Zagreba istražen je geotermalni akvifer. Iskorištavanje geotermalne vode započelo je 1980. godine grijanjem bazena na SRC Mladost. Do 1986. godine izrađeno je još 16 bušotina s ciljem povećanja opskrbe Mladosti i Sveučilišne bolnice u izgradnji. Lokalitet Mladost je zaokružena tehnološka cjelina, ali mogućnost eksploatacije je znatno veća od sadašnjih potreba. Na lokaciji Sveučilišne bolnice izrađeno je sedam bušotina, od čega su tri negativne. Preostale pozitivne bušotine služile bi za energetske potrebe budućega objekta. Trenutno se koristi samo jedna bušotina, i to za potrebe grijanja zgrada u krugu gradilišta. Budući da su lokacije Mladost i Sveučilišna bolnica isto ležište, hidrodinamički povezano, uvjeti eksploatacije su prilagođeni trenutnim potrebama.

### 2.3. Geotermalna energija u Sisačko-moslavačkoj županiji

Prostor SMŽ-a može se podijeliti u tri zemljopisne zone uži gorski pojas, brdoviti pojas, pojas oranica i riječnih dolina. Na području Županije postoje značajni potencijali za iskorištavanje mineralnih sirovina: šljunka, pijeska, kamena, gline, nafte i termalnih voda.

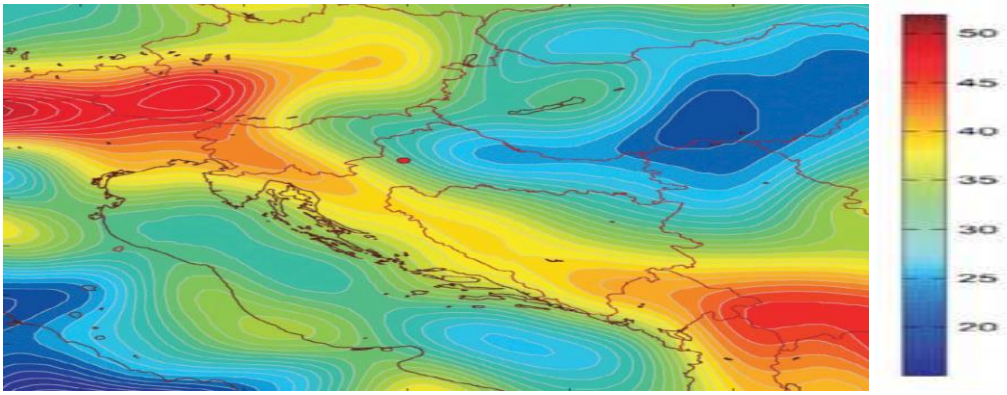
Termalne vode značajne su za Županiju s dva stajališta; kao izvori geotermalne energije i kao podloga za razvoj lječilišnog i rekreativnog turizma. Sisačko - moslavačka županija nalazi se u središnjem prostoru Republike Hrvatske u kojem su otkrivena geotermalna nalazišta najšireg raspona uporabivosti voda.

### 2.3.1. Opće značajke geotermalne energije u Sisačko-moslavačkoj županiji

Sisačko-moslavačka županija pripada centralnom području koje karakterizira srednje visoke vrijednosti gustoće toplinskog toka i geotermalnog gradijenta. Sisačko-moslavačka županija nalazi se u tektonskom smislu u području koje predstavlja graničnu zonu između Panonskog bazena i unutrašnjih Dinarida.

Županija na sjeveroistoku obuhvaća jugozapadne obronke Psunja i Moslavačke gore izgrađene najvećim dijelom od neogenskih naslaga, a samo malim dijelom zahvaća mlađe paleozojske magmatske i metamorfne stijene Moslavačke gore. Prema jugozapadu se pravcem SZ-JI pruža prostor Savske potoline s obje strane omeđen rubnim rasjedima koji su nastali tijekom mezozoika, a najaktivniji su bili za vrijeme paleogena i miocena, duž kojih je došlo do spuštanja terena. Prostor Savske potoline pokriven je klastičnim slatkovodnim naslagama i lesom. Jugozapadno od Savske potoline su rasjednuti kompleks Banovine i Zrinske gore te dijelovi Vukomeričkih gorica i Petrove gore. Najstarije stijene predstavljaju klastične i karbonatne naslage mlađeg paleozoika na samom jugu Zrinske i Petrove gore. U ovom području još se nalaze trijaske i kredne sedimentne stijene te stijene ofiolitnog kompeksa i s njima vezane metamorfne stijene jurske starosti. Uz ove stijene veliki je dio područja prekriven neogenskim i kvartarnim naslagama.

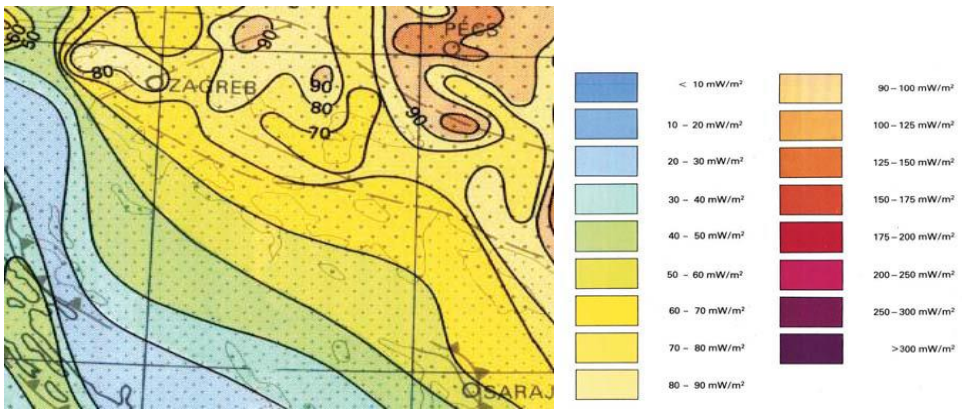
U Republici Hrvatskoj je geotermalni gradijent pod najvećim utjecajem dubine Mohorovičićevog diskontinuiteta (koji predstavlja granicu između Zemljine kore i plašta), odnosno debljine kontinentalne kore. Dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta u području središnje Hrvatske iznosi između 30 i 40 km, kako je prikazano na slici 3. U skladu s time dolazi do opadanja gustoće toplinskog toka idući od panonskog prema dinarskom dijelu Hrvatske [4].



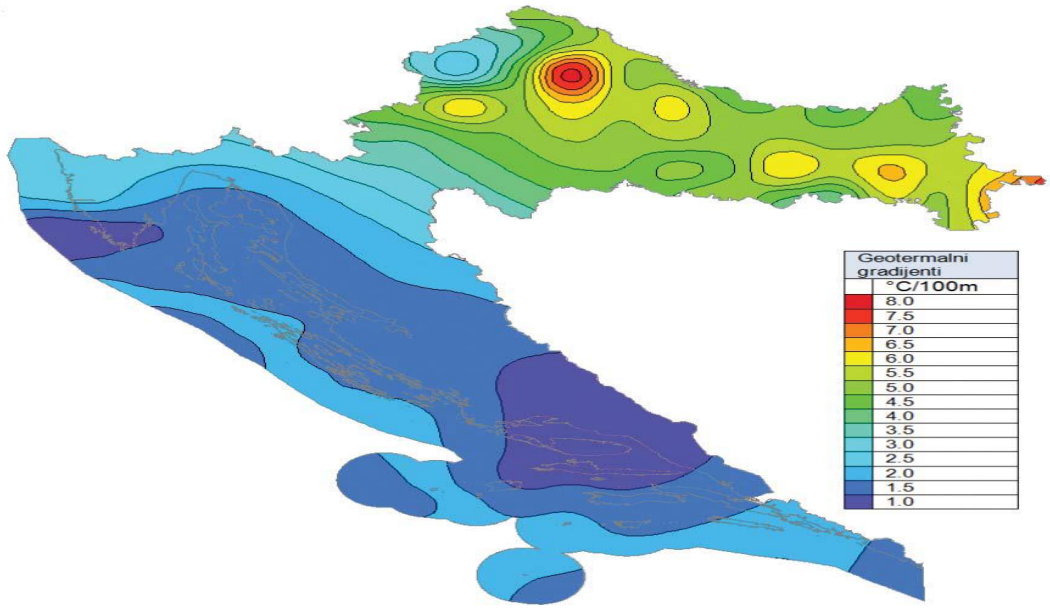

**Slika 3.** Karta dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta u jugoistočnoj Europi.

2.3.2. Prirodne i tehničke značajke geotermalnih izvora u Topuskom

Na prostoru Sisačko-moslavačke županije gustoća toplinskog toka na površini ima vrijednosti od 30-80 mW/m2; kako je prikazano na slici 4. [4], odnosno odražava se kontakt između panonskog dijela Hrvatske s višim gustoćama toplinskog toka i dinarskog područja s niskim vrijednostima gustoće toplinskog toka. Na prostoru Sisačko-moslavačke županije vrijednosti geotermalnih gradijenata kreću se od 30 - 45°C/km. Geotermalni gradijenata u Republici Hrvatskoj prikazani su na slici 5. [4]



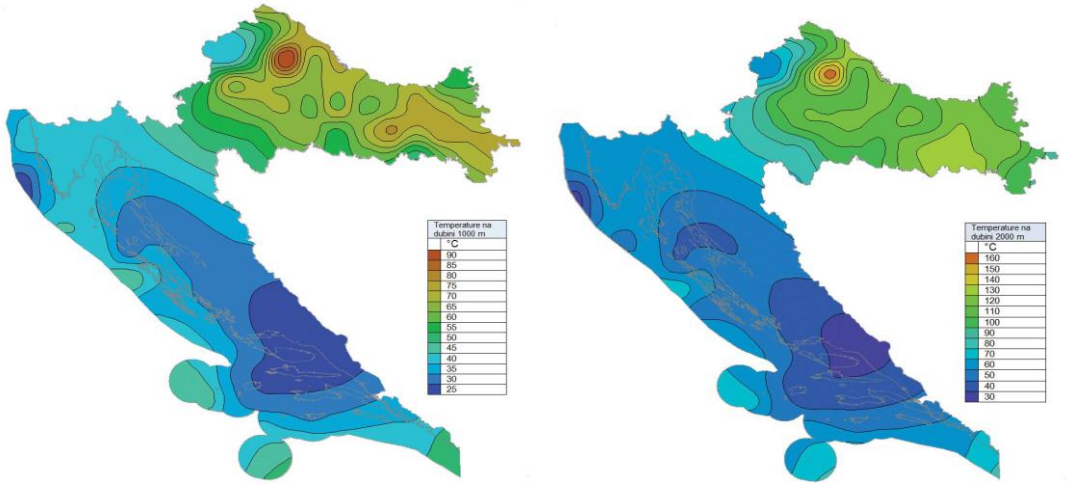

**Slika 4.** Prikaz gustoće toplinskog toka (mW/m2).




**Slika 5.** Prikaz geotermalnih gradijenata u Republici Hrvatskoj.

Prema rezultatima računalne interpolacije temperatura izračunatih prema pretpostavljenoj konstantnoj vertikalnoj kondukciji topline i promjenjivoj toplinskoj

provodljivosti po dubini, na dubini od 1.000 m mogle bi se dosegnuti temperature do 60°C. Na dubinama od 2.000 m temperature voda mogu dosegnuti i do 100°C uz određena odstupanja na lokacijama gdje se toplina uz kondukciju prenosi i konvekcijom putem cirkulacijefluida. Na slici 6. prikazano je a) temperature na dubini 1.000 m i b) temperature na dubini 2.000 m [4].

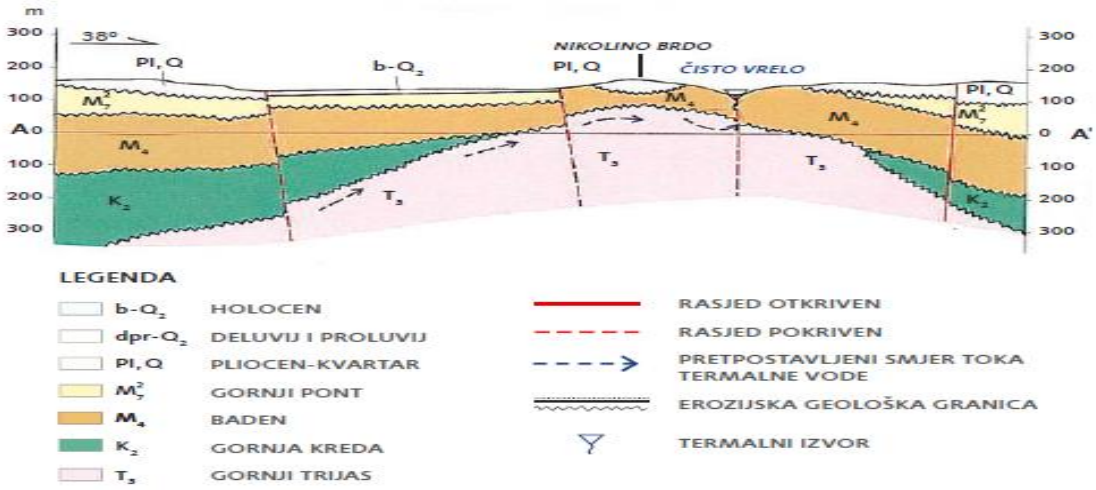



**Slika 6. a)** Temperature na dubini od 1.000 m **b)** Temperature na dubini od 2.000 m.

Termalni izvori u Topuskom iskorištavaju se od rimskih vremena, no danas se u toplicama i hotelu ovi potencijali u potpunosti iskorištavaju samo tijekom ljetnih mjeseci. U Topuskom su zabilježena tri izvorišta međusobno udaljena oko 800 m:

a) „Bistro vrelo“ s temperaturom od 55,2 °C,
b) „Glavno vrelo“ temperature 57°C,
c) „Livadno vrelo“ s temperaturom od 49°C.

Za pojavu termalnih izvora važna je neotektonska struktura u izdizanju. Na površini su badenske naslage, a u njihovoj podlozi trijaski dolomiti koji su glavni nosioci termalne vode. Na slici 7. prikazan je geološki profil okolice Topuskog [4]. Bušenjem u blizini izvora spriječeno je miješanje termalne i površinske vode te je došlo od povećanja temperature na 64-65°C, a vrela su presahnula. Negativna bušotina u blizini željezničke stanice pokazala je da je ova termalna voda vezana samo za spomenutu strukturu. Kemijski sastav geotermalne vode u Topuskom prikazan je na slici 8. [8].




**Slika 7.** Prikaz geološkog profila okolice Topuskog.

**Slika 8.** Kemijski sastav geotermalne vode u Topuskom.

U sklopu istraživanja nafte i plina u Sisku i njegovoj široj okolici između 1928. i 1937.godine izvođena su plitka i duboka bušenja te magnetska mjerenja. Utvrđeno je više plinskih i vodonosnih horizonata u naslagama pliocena. Najdublja bušotina DB-5 (1.015

m) je i danas u produkciji, a iz pješčenjaka donjopontske starosti dobiva se voda temperature 52,6°C i prosječne izdašnosti 4,6 l/s. Uz vodu se dobivaju i znatne količine plina metana, pod čijim pritiskom voda izlazi na površinu, povremeno i erupcijama. Voda spada u kategoriju fosilnih, odnosno tzv. petrolejskih voda koje prate naftna i plinska ležišta. Karakteristična je zbog visokog sadržaj joda (27,85 mg/l) te se od pronalaska koristi u lječilišne svrhe.

Osim u DB-5 jodna voda se pojavila i u bušotini Sisak-1 koja se nalazi u području naselja Odra, oko 4 km sjeverozapadno od lječilišta. U toj bušotini pojavila su se dva vodonosna horizonta na dubini između 780 i 1.085 metara. Dobivena voda je temperature 49°C, dok je sadržaj joda dvostruko manji. Rezultati dosadašnjih dubokih istražnih bušenja ukazuju na povoljne izglede za pridobivanje novih količina termomineralne jodne vode istočno i sjeverno od Siska. Potencijalni vodonosnici bili bi postavljeni u više nivoa na dubini od 750 do 1.250 m.

U okolici Petrinje, 1983. godine, bušenjem je otkrivena termalna voda porijeklom iz biogenog vapnenca badenske starosti. Temperatura vode iznosi 40,6°C, a izdašnost izvora iznosi 4,1 l/s.

U dolini Utinje jugozapadno od naselja Novi Farkašić postoji sumporovodično vrelo stalne temperature i kapaciteta. Tijekom čitave godine temperatura vode iznosi 12°C. Postoje planovi za pronalaženje termalne vode bušenjem na ovom lokalitetu. Termalni izvor zabilježen je i u naselju Bok.

Uz duboke izvore geotermalne energije u Sisačko-moslavačkoj županiji postoji mogućnost korištenja geotermalne energije putem dizalica topline koje su pogodne za niskotemperaturne sustave grijanja i/ ili hlađenja te zagrijavanja potrošne tople vode. Moguća je njihova primjena za manje i veće objekte. Dizalice topline koriste stalnu temperaturu tla na dubini od oko 2 m ili iz podzemne vode te ju koriste za potrebno dogrijavanje prostora (zimi), odnosno hlađenje (ljeti) i/ili za pripremu potrošne tople vode. Dizalice topline mogu se postavljati i u plitkim bušotinama sa sondom, najčešće na dubini od 60 do 150 m.

## 3. POSTAVKA ZADATKA

U ovom završnom radu potrebno je obraditi temu Stanje i razvojne smjernice učinkovitog iskorištavanja geotermalne vode na lokaciji Topusko. U okviru teme završnog rada potrebno je razraditi navedene cjeline:

1. Teoretske osnove (geotermalna energija u svijetu i općini Topusko)
2. Opis zatečenog stanja izvora tople vode (vlasnička struktura i tehničke karakteristike)
3. Analiza problema otpadne termalne vode
4. Razrada mogućnosti energetskog iskorištavanja geotermalne vode i otpadne geotermalne vode u općini Topusko
5. Zaključak

U teoretskoj osnovi obrađen je način nastajanja geotermalne energije, njezin potencijal, korištenje geotermalne vode te njezine prednosti i nedostaci u odnosu na druge izvore energije. Dat je uvid u geotermalni energetski potencijal u Republici Hrvatskoj, mjesta na kojima se vrši eksploatacija geotermalne vode, opće značajke geotermalne energije u Sisačko-moslavačkoj županiji, te prirodne i tehničke značajke.

Opis zatečenog stanja daje uvid u zakonski okvir za iskorištavanje geotermalne vode u Topuskom, vlasničku strukturu, postupak za dobivanje odobrenja za istraživanje i koncesije za eksploataciju mineralne sirovine, analizu vrijednosnih pokazatelja eksploatacije geotermalne vode u Topuskom. Sadašnje stanje eksploatacije geotermalne vode na lokaciji Topusko prikazano je kroz tehničke značajke bušotina te opis načina korištenja i korisnika geotermalne vode.

U analizi problema otpade termalne vode stavljen je naglasak na granične vrijednosti emisije otpadnih voda te propisane maksimalne temperature emisije i maksimalno odstupanje od temperature vode u koje se ispušta geotermalna voda. Također su navedeni načini na koje se može utjecati na temperaturu ispusta.

Razrada mogućnosti energetskog iskorištavanja geotermalne vode i otpadne geotermalne vode u općini Topusko obuhvaća podatke o trenutnim potrošačima geotermalne energije u Topuskoma sa energetskog i ekonomskog aspekta te smjernice

budućeg korištenja toplinske energije kroz kaskadno iskorištavanje geotermalne energije koje se oslanja na postojanje geotermalne toplinske pumpe - dizalice topline.

Zaključak donosi kratki pregled razrade navedenih cjelina kao i prijedlog mjera za energetski i ekonomski održivi sustav korištenja geotermalnih izvora energije na području općine Topusko.

# 4. RAZRADA ZADATKA

## 4.1. Osnovni tehnički i vlasnički podaci o izvorima geotermalne vode na području Topuskog

Geotermalna voda na području Topuskog koristi se već više od dvadeset godina u energetske i balneološke svrhe, no nažalost nikakav napredak u ležišnom inženjerstvu i razumijevanju geotermalnog polja s aspekta njegove održivosti i obnovljivosti nije postignut još od samih početaka razrade polja.

Vlada Republike Hrvatske 23.4.1998. godine donijela je Odluku o dodjeli koncesije, a ista je objavljena u Narodnim Novinama 63/1998. Odluka se odnosi na crpljenje geotermalne vode za medicinsku rehabilitaciju i zdravstveni turizam u ukupnoj količini od 4.762.000 m3/god odnosno 151,0 l/s i to iz bušotine:

a) TEB-1 630.720 $m^3$/god (20,0 l/s),
b) TEB-2 473.040 $m^3$/god (15,0 l/s),
c) TEB-3 504.640 $m^3$/god (16,0 l/s),
d) TEB-4 3.153.600 $m^3$/god (100,0 l/s).

Odluka propisuje i naknadu u iznosu od 0,072 kn/$m^3$ geotermalne vode, što je 10% naknade za korištenje voda utvrđene u Odluci o visini naknade za korištenje voda.

Ostala pravna dokumentacija Lječilišta Topusko je:

a) Ugovor o koncesiji za crpljenje termalnih voda, sklopljena između Davatelja koncesije (Državne uprave za vodu) i Korisnika koncesije (Lječilište Topusko) 16.06.1998. godine na period od 20 godina
b) Vodopravna dozvola za korištenje geotermalne vode, izdana od strane Ureda državne uprave u Sisačko-moslavačkoj županiji, Služba za gospodarstvo, od 21.01.2005. godine do 10.06.2018. godine
c) Vodopravna dozvola za ispuštanje otpadnih i termalnih voda, izdana od strane Ureda državne uprave u Sisačko-moslavačkoj županiji, Služba za

gospodarstvo, od 10.03.2005. godine, vodopravna dozvola istekla 31.12.2010. godine

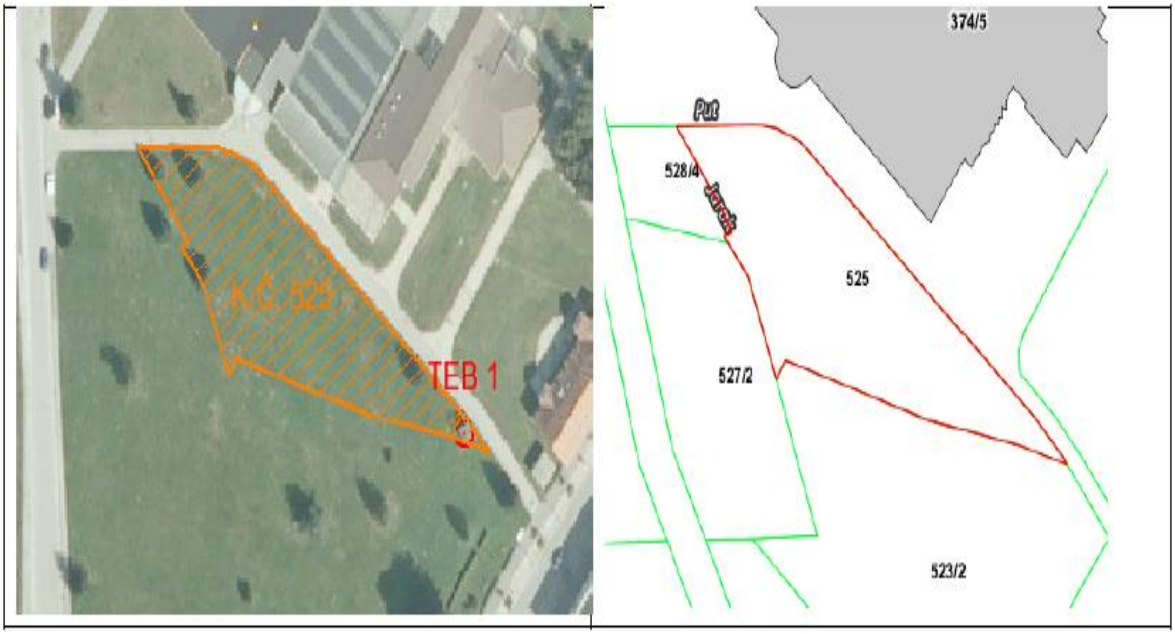
d) Dozvola za obavljanje energetske djelatnosti - Trgovačko društvo Termalna voda d.o.o. dobilo je odobrenje od Hrvatske Energetske Regulatorne Agencije (HERA) dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti 28.11.2008. godine. Dozvolom je regulirano da trgovačko društvo Termalna voda d.o.o. smije proizvoditi i distribuirati toplinsku energiju na rok od 5 godina te da smije opskrbljivati toplinskom energijom na rok od 3 godine. Dozvola za obavljanje energetske djelatnosti nije važeća.
e) Mišljenje Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva o korištenju geotermalne vode izdalo je Ministarstvo, Uprava za rudarstvo, 19.01.2010. godine u kojim se navodi da ukoliko se koristi manje od 50% akumulirane topline iz geotermalne vode u energetske svrhe, nositelj Zahtjeva nije dužan ishoditi koncesiju za eksploataciju mineralne sirovine.

Zahvat Topusko do sada nije bio obavezan postupati prema odrednicama Zakona o rudarstvu, tako da nije ishođeno Odobrenje za istraživanje mineralne sirovine, niti Koncesija za eksploataciju mineralne sirovine.

Zakon o rudarstvu objavljen u Narodnim Novinama 56/13 i 14/14 propisuje da Ovlaštenik ili Koncesionar mora imati zakonito izgrađene rudarske objekte i postrojenja.

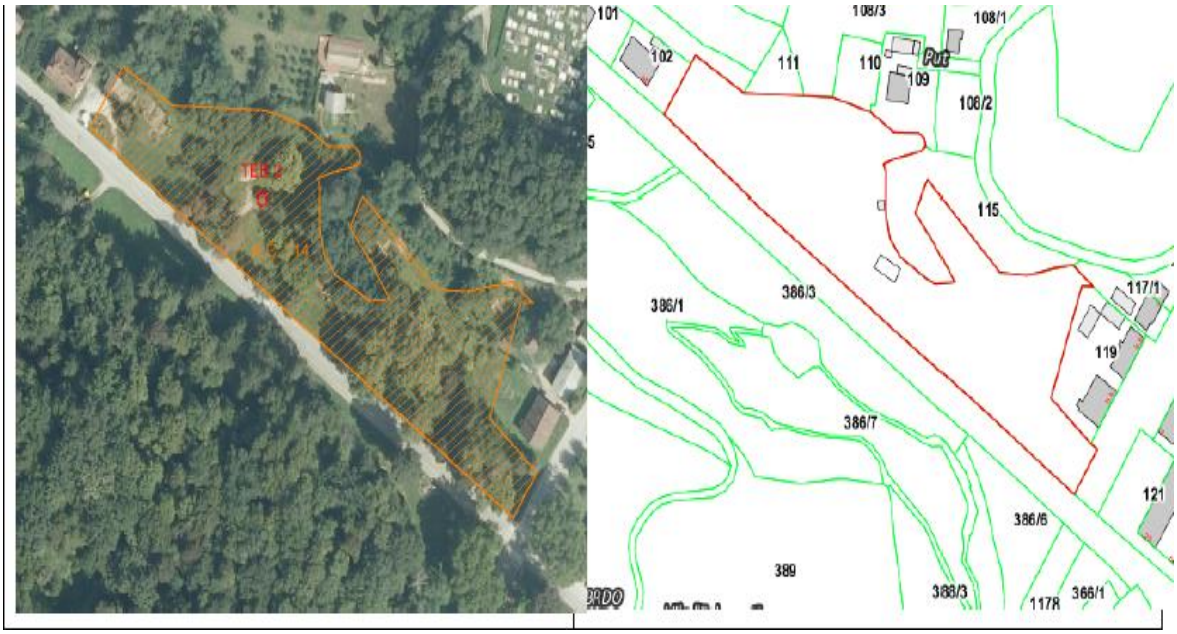
Kako nije dostavljena dokumentacija kojom bi se potvrdio pravni slijed rudarskih objekata – geotermalnih bušotina, potrebno je obaviti postupak ozakonjenja objekata i postrojenja kako bi Lječilište Topusko riješilo pravo vlasništva i steklo Koncesiju za eksploataciju geotermalne vode.

Bušotina TEB-1 nalazi se na K.Č. 525 KO Topusko. Čestica je u potpunosti u vlasništvu trgovačkog društva Top-Terme d.o.o. Topusko. Namjena čestice je park, te zauzima površinu od 1784 m². Čestica je uvrštena u posjedovni list 728. Katastarska čestica TEB-1 prikazana je na slici 9. [9].



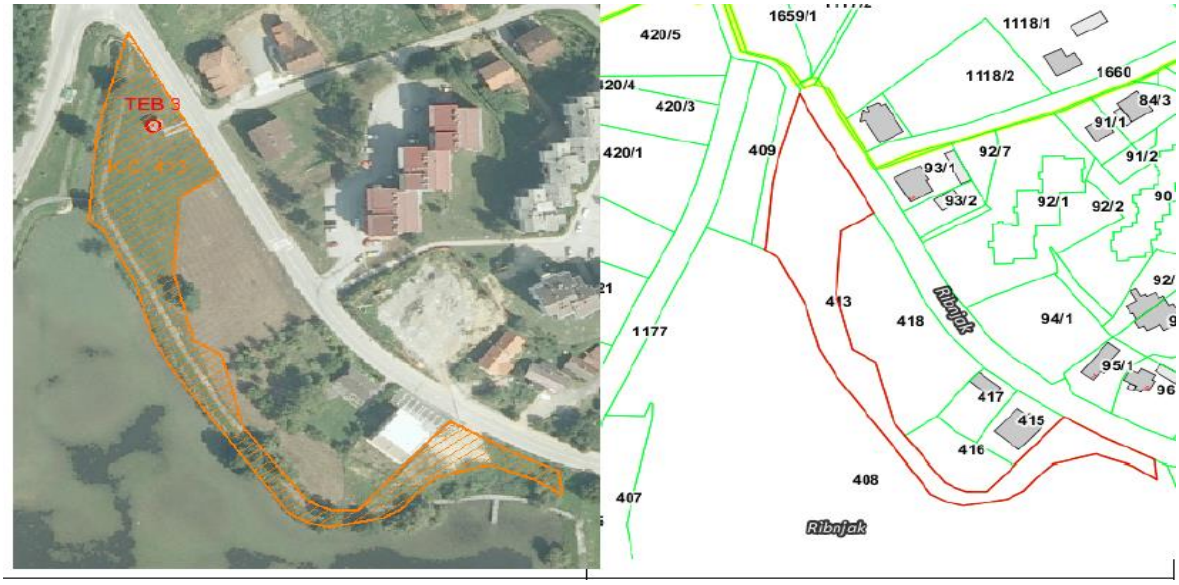

**Slika 9.** Katastarska čestica TEB-1.

Bušotina TEB-2 nalazi se na K.Č. 114 KO Topusko. Čestica je u potpunosti u vlasništvu Republike Hrvatske – javno dobro, upravitelj Hrvatske Vode. Namjena čestice je livada, te zauzima površinu od 10543m². Čestica je uvrštena u posjedovni list 819. Katastarska čestica TEB-2 prikazana je na slici 10. [9].




**Slika 10.** Katastarska čestica TEB-2.

Bušotina TEB-3 nalazi se na K.Č. 413 KO Topusko. Čestica je u potpunosti u vlasništvu Republike Hrvatske – javno vodno dobro, upravitelj „Hrvatske Vode“. Čestica je označena kao neplodno zemljište, zauzima površinu od 4038m², a uvrštena je u posjedovni list 783. Katastarska čestica TEB-3 prikazana je na slici 11. [9].




**Slika 11.** Katastarska čestica TEB-3.

Bušotina TEB-4 nalazi se na K.Č. 374/5 KO Topusko. Čestica je u potpunosti u vlasništvu Lječilišta Topusko. Namjena čestice je zgrada, hotel i neplodno zemljište, te zauzima površinu od 29443 m². Čestica je uvrštena u posjedovni list 728. Katastarska čestica TEB-4 prikazana je na slici 12. [9].

**Slika 12.** Katastarska čestica TEB-4.

## 4.2. Energetski aspekti prodaje i iskorištavanja geotermalne energije

Svaki zahvat u prostoru mora biti planiran dokumentima prostornog uređenja. U Sisačko-moslavačkoj županiji na snazi je Prostorni plan Sisačko-moslavačke županije, koji se smatra planom više razine, dok je u općini Topusko na snazi Prostorni plan uređenja općine Topusko, koji je plan niže razine.

Zakonom o rudarstvu definirano je da se Odluka o provođenju javnog nadmetanja za odabir najpovoljnijeg ponuditelja za istraživanje geotermalnih voda iz kojih se može koristiti akumulirana toplina u energetske svrhe, radi davanja Koncesije za eksploataciju mineralne sirovine, može donijeti za sve prostore na kojima ne postoje zapreke u dokumentima prostornog uređenja za obavljanje istraživanja tih mineralnih sirovina.

Prilikom prijave na natječaj za istražni prostor, Lječilište Topusko mora priložiti i Potvrdu o usklađenosti Zahvata Topusko s Prostorno planskom dokumentacijom, kao jedan od dokaza da u Prostornom planu ne postoje zapreke da se zahvat može nesmetano odvijati, odnosno da na razmatranoj lokaciji nije planirana neka druga namjena.

Dodatna zakonska legislativa koja proizlazi iz Zakona o rudarstvu, ili je vezana na iskorištavanje geotermalne vode je:

a) Zakon o koncesijama [„Narodne novine“, broj 143/12],
b) Zakon o gradnji [„Narodne novine“, broj 153/13],
c) Zakon o vodama [„Narodne novine“, broj 153/09, 130/11 i 56/13],
d) Zakona o zaštiti na radu [„Narodne novine“, broj 59/96, 94/96, 114/03, 100/04, 86/08, 75/09 i 143/12],
e) Zakon o zaštiti okoliša [„Narodne novine“, broj 80/13],
f) Zakon o zaštiti prirode [„Narodne novine“, broj 80/13].

Uz navedene Zakonske akte postoji cijeli niz Uredbi i Pravilnika koji su usko povezani prvenstveno sa Zakonom u rudarstvu, ali i drugim navedenim Zakonima. Ovdje nisu razmatrane zakonske odrednice (Zakon o energiji, Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom…) koje se odnose na distribuciju toplinske energije, obzirom da se svi rudarski objekti i postrojenja moraju nalaziti unutar granica odobrenog

eksploatacijskog polja, a pretvorbom i distribucijom energenta izvan eksploatacijskog polja prestaje rudarska djelatnost.

### 4.2.1. Postupak za dobivanje odobrenja za istraživanje i koncesije za eksploataciju mineralne sirovine

Ukoliko Lječilište Topusko želi i dalje pridobivati geotermalnu vodu, te istu koristiti u energetske svrhe, mora proći kroz postupak ishođenja potrebne dokumentacije sukladno Zakonu o rudarstvu, a s ciljem ishođenja Koncesije za eksploataciju geotermalne vode.

Generalno, postupak se može podijeliti na dva osnovna dijela i to:

a) istraživanje geotermalne vode,
b) eksploataciju geotermalne vode.

Postupak je definiran Zakonom o rudarstvu te se istraživanje i eksploatacija mineralne sirovine dodatno dijeli na dva koraka.

Koraci koje gospodarski subjekt - Lječilište Topusko mora zadovoljiti su sljedeći:

a) postupak radi odabira najpovoljnijeg ponuditelja za istraživanje mineralnih sirovina radi davanja koncesije za eksploataciju,
b) postupak radi davanja odobrenja za istraživanje,
c) postupak radi utvrđivanja eksploatacijskog polja,
d) postupak radi davanja koncesije za eksploataciju.

#### *4.2.1.1. Postupak radi odabira najpovoljnijeg ponuditelja za istraživanje mineralnih sirovina radi davanja koncesije za eksploataciju*

Postupak započinje podnošenjem Zahtjeva za istražni prostor od strane Lječilišta Topusko, a mora sadržavati sve propisane stavke (Posebni uvjeti, ograničenja i suglasnosti za raspisivanje javnog nadmetanja) sukladno Zakonu o rudarstvu.

Nakon prihvaćanja Zahtjeva slijede pripremne radnje za raspisivanje javnog nadmetanja za odabir najpovoljnijeg ponuditelja za istraživanje mineralne sirovine, a radnje vodi Ministarstvo gospodarstva, Uprava za rudarstvo.

Po završetku pripremnih radnji slijedi postupak javnog nadmetanja koji započinje objavom obavijesti o namjeri davanja koncesije u Narodnim novinama. Javno nadmetanje traje 30 dana, a u pravilu se prijavljuje samo jedan ponuditelj - Lječilište Topusko koje podnosi Ponudu za javno nadmetanje.

Nakon isteka 30 dana slijedi Odluka o odabiru najpovoljnijeg ponuditelja za istraživanje mineralnih sirovina, a koja se donosi temeljem Zakona o rudarstvu i Zakona o koncesijama.

*4.2.1.2. Postupak radi davanja odobrenja za istraživanje*

Za istraživanje mineralne sirovine - geotermalne vode, Lječilište Topusko mora ishoditi Rješenje o odobrenju za istraživanje mineralne sirovine, a nakon donošenja Odluke.

Istraživanje mineralne sirovine definirano je Zakonom u rudarstvu i podzakonskim aktima. Istraživanje geotermalne vode moguće je izvoditi samo unutar granica odobrenog istražnog prostora, dodijeljenog od tijela nadležnog za rudarstvo u postupku pri Ministarstvu gospodarstva.

Po završetku istražnih radova, Lječilište Topusko dužno je izraditi ili Elaborat o rezervama ukoliko su pronađene rezerve geotermalne vode, ili završno Izvješće o obavljenim istražnim radovima ukoliko nisu pronađene rezerve geotermalne vode.

*4.2.1.3. Postupak radi utvrđivanja eksploatacijskog polja*

Nakon završetka istražnih radova i donošenja rješenja iz Članka 55. Zakona o rudarstvu, pokreće se postupak utvrđivanja eksploatacijskog polja.

Prvi korak je utvrđivanje granice eksploatacijskog polja temeljem utvrđenih rezervi mineralne sirovine, te temeljem lokacijskih uvjeta iz Izvršne lokacijske dozvole i Idejnog rudarskog projekta.

Pri Ministarstvu za zaštitu okoliša i prirode, Lječilište Topusko mora ishoditi potvrdu da planirani Zahvat neće imati utjecaj na okoliš. To se provodi postupkom Ocjene

prihvatljivosti zahvata Topusko za ekološku mrežu i Studije o utjecaju na okoliš eksploatacije geotermalne vode na lokaciji Topusko. Nadalje, Idejnim rudarskim projektom Lječilište Topusko (rudarski gospodarski subjekt) ishodi pri ministarstvu nadležnom za poslove prostornog planiranja Potvrdu o lokacijskim uvjetima – lokacijsku dozvolu.

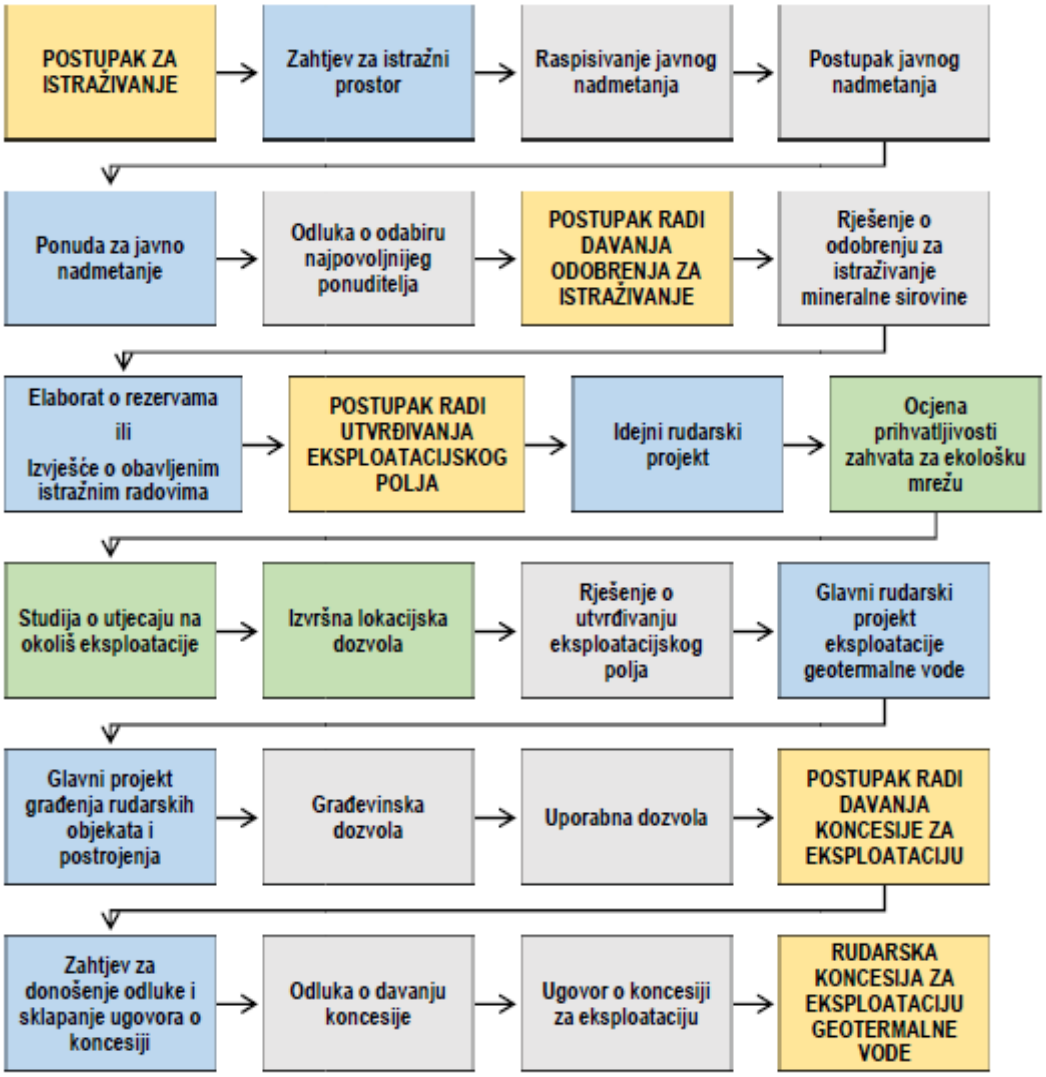
Ukoliko su zadovoljeni svi prethodni uvjeti, te ne postoje nikakve zapreke, resorno ministarstvo iz područja rudarstva Rješenjem o utvrđivanju eksploatacijskog polja ovlašteniku Topusko dodjeljuje eksploatacijsko polje na rok ne duži od 40 godina.

*4.2.1.4. Postupak radi davanja koncesije za eksploataciju*

Nakon utvrđivanja eksploatacijskog polja pokreće se postupak za donošenje Odluke o davanju koncesije i sklapanju Ugovora o koncesiji. Zahtjev za donošenje odluke i sklapanje ugovora o koncesiji podnosi rudarski gospodarski subjekt - Lječilište Topusko, kao ovlaštenik eksploatacijskog polja geotermalne vode Topusko.

Uz Zahtjev potrebno je dostaviti Izvršnu lokacijsku dozvolu od tijela nadležnog za prostorno uređenje, izjavu ministarstva nadležnog za rudarstvo o obavljenoj provjeri i prihvaćanju projektnih rješenja na Glavni rudarski projekt, te riješiti imovinskopravne odnose za zemljišne cestice unutar eksploatacijskog polja.

Po ispunjenju svih odrednica iz Zakona o rudarstvu ministarstvo nadležno za rudarstvo donosi Odluku o davanju koncesije kojom se potvrđuje da je Lječilište Topusko ispunilo sve uvjete te da se s njime može sklopiti Ugovor o koncesiji za eksploataciju geotermalne vode, a kojim se stječe pravo za izvođenje rudarskih radova radi gospodarskog korištenja mineralnih sirovina - Rudarska koncesija za eksploataciju geotermalne vode. Na slici 13. prikazan je grafički prikaz postupka ishođenja rudarske koncesije za eksploataciju geotermalne vode [9].




| | |
|---|---|
| | Glavni koraci prema Zakonu o rudarstvu za ishođenje rudarske koncesije |
| | Dokumentacija koju izrađuje i podnosi Investitor |
| | Dokumentacija ili postupak pri Ministarstvu gospodarstva |
| | Dokumentacija ili postupak pri Ministarstvu Zaštite okoliša i prirode, Ministarstvu prostornog uređenja i graditeljstva |

**Slika 13.** Grafički prikaz postupka ishođenja rudarske koncesije za eksploataciju geotermalne vode.

### 4.3. Analiza vrijednosnih pokazatelja eksploataciju geotermalne vode

Ulazni podaci za izračun vrijednosnih pokazatelja eksploatacije geotermalne vode su:

a) površina istražnog prostora = 20 ha
b) površina eksploatacijskog polja = 20 ha
c) površina bušotinskih radnih krugova = 3 ha
d) vrijednost geotermalne vode = 1,24 kn/m$^3$, iznos je dobiven analizom vrijednosti prodajne cijene energije i pada temperature na izmjenjivaču
e) količina pridobivene geotermalne vode= 865.258 m$^3$

U periodu od 2005. do 2013. godine Lječilište Topusko imalo je potrebu za ukupno 7.787.319 m$^3$ geotermalne voda, tako da je za period od 2015. do 2019. uzeta prosječna vrijednost potrebe za geotermalnom vodom u iznosu od 865.258 m$^3$.

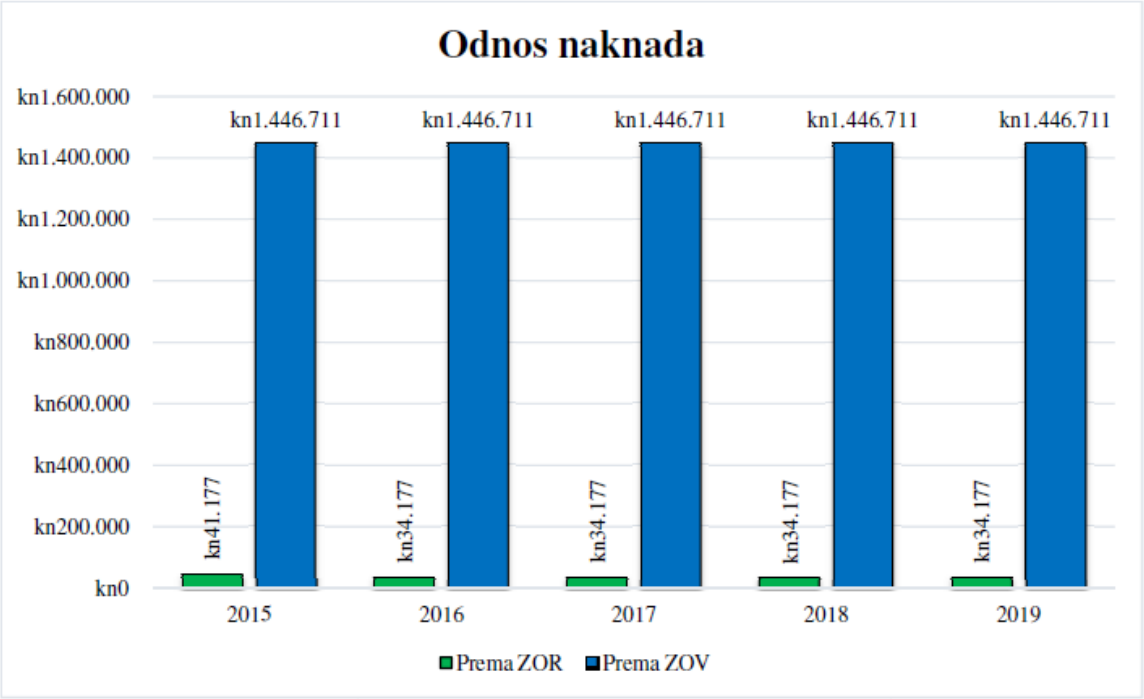
1. naknada za istraživanje geotermalne vode za prvu godinu = 3.000 kn/ha bušotinskog radnog prostora
2. naknada za eksploataciju geotermalne vode:

    a) fiksni dio = 100 kn/ha za veličinu eksploatacijskog polja manjeg od 100 ha
    b) varijabilni dio = 3% vrijednosti mineralne sirovine iz Elaborata u rezervama [5].

**Tablica 1.** Izračun naknada ovisno o vrsti namjene mineralne sirovine.

| Godina | Naknada prema Zakonu o rudarstvu (ZOR) | Naknada prema Zakonu o vodama (ZOV) |
|---|---|---|
| 2015. | 41.177 kn | 1.446.711 kn |
| 2016. | 34.177 kn | 1.446.711 kn |
| 2017. | 34.177 kn | 1.446.711 kn |
| 2018. | 34.177 kn | 1.446.711 kn |
| 2019. | 34.177 kn | 1.446.711 kn |
| **UKUPNO** | **177.884 kn** | **7.233.554 kn** |

Ukoliko se korištenje geotermalne vode obavlja prema odrednicama Zakona o rudarstvu, očekuje se smanjenje troškova samo za naknadu od oko 120.000 kn mjesečno, odnosno za razdoblje od 5 godina oko 7.000.000 kn. Na slici 14. prikazan je odnos naknada prema Zakonu o vodama (ZOV) i prema Zakonu o rudarstvu (ZOR) [9].




**Slika 14.** Grafički prikaz odnosa naknada prema ZOV i ZOR.

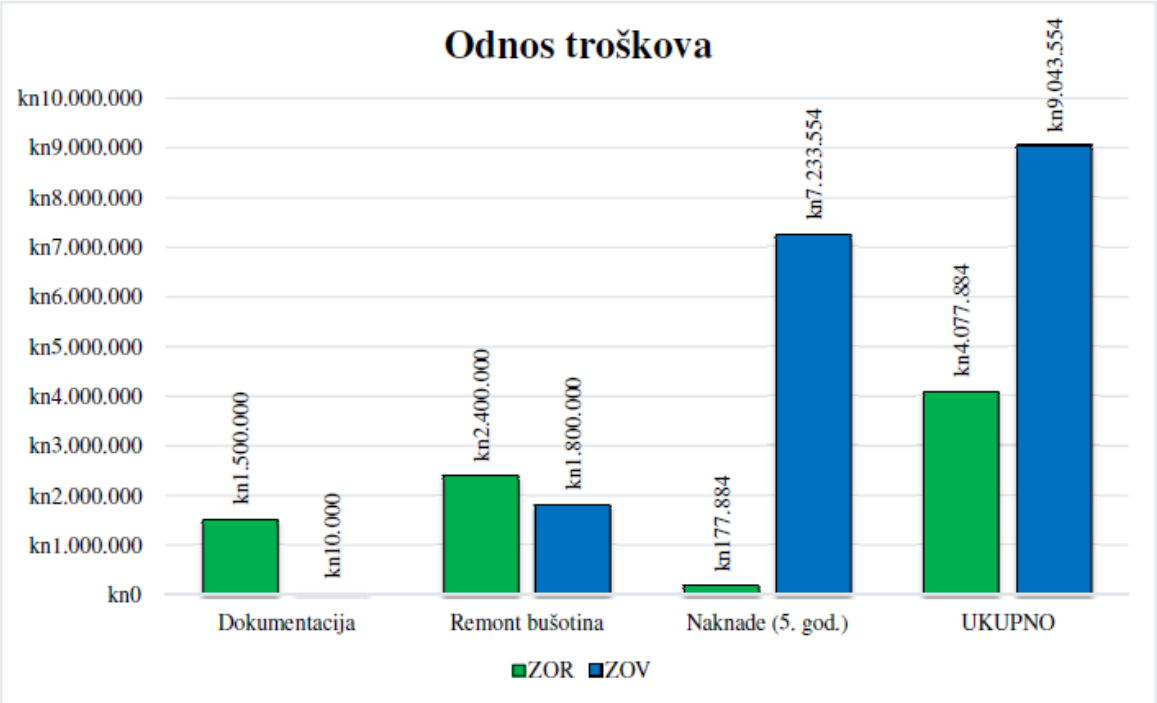
Za usklađivanje korištenja geotermalne vode sa zakonskim odrednicama prema Zakonu o rudarstvu, potrebna je izdvojiti i dodatna financijska sredstva za izradu projektne dokumentacije koja iznosi odprilike 1.500.000 kn.

Uz projektnu dokumentaciju bit će svakako potrebno izvesti remontne radove koji se procjenjuju na oko 600.000 kn po bušotini, te zbirno iznose oko 2.400.000 kn ta sve četiri bušotine.

**Tablica 2.** Rekapitulacija troškova usklađenja sa zakonskom legislativom.

| TROŠKOVI | ZOR | ZOV |
|---|---|---|
| Dokumentacija | 1.500.000 kn | 10.000 kn |
| Remont bušotine | 2.400.000 kn | 1.800.000 kn |
| Naknade (5 god.) | 177.884 kn | 7.233.554 kn |
| **UKUPNO** | **4.077.884 kn** | **9.043.554 kn** |

Iz gornje je tablice razvidno da ukoliko se Investitor odluči na usklađenje Zahvata s važećom zakonskom legislativom može uštedjeti oko 80.000 kn mjesečno odnosno oko 5.000.000 kn u periodu od 5 godina. Na slici 15. prikazan je odnos troškova prema Zakonu o vodama (ZOV) i Zakonu o rudarstvu (ZOR) [9].




**Slika 15.** Grafički prikaz odnosa troškova prema ZOV i ZOR.

### 4.4. Procjena stanja i karakteristika bušotina TEB-1, TEB-2,TEB-3 i TEB-4

Istraživanje geotermalne vode u Topuskom izvodila je tvrtka "Geofizika" iz Zagreba u drugoj polovici 70-ih godina. 1984. Tvrtka INAProjekt iz Zagreba izradila je "Elaborat o rezervama i bilanci termalnih voda u Topuskom". 1985. Godine tvrtka Geofizika ponovno je istražuje geotermalnu vodu u Topuskom te je zbog istražnih radova učinjeno sedam istražnih bušotina (TP-1 do TP-7) promjera 101 mm i jedna duboka bušotina (TP-8).

Dana 22. Kolovoza 2014., obavljen je terenski pregled bušotina, kako bi se uz postojeću tj. dostupnu dokumentaciju moglo utvrditi stanje bušotina, neke detalje o sustavu prihvata i daljem transportu geotermalne vode. Osnovni problem pri planiranju sustavnog to jest energetski učinkovitog iskorištavanja geotermalne vode predstavlja nedostatak

adekvatnih podataka o mjerenjima u bušotinama. Navedeno je kako su dotična mjerenja bila planirana u više navrata, međutim radi financijskih razloga nikad nisu obavljena.

U Studiji optimirane energetske učinkovitosti korištenja geotermalnih voda, navedeno je kako na temelju koncesije za crpljenje termalnih voda iz 1998. godine lječilište Topusko ima pravo na crpljenje termalnih voda iz bušotina TEB-1, TEB-2, TEB-3, TEB-4, a navedene su granične vrijednosti protoka po bušotinama (TEB-1= 20 l/s, TEB-2=15 l/s, TEB-3=16 l/s, TEB-4=100 l/s ).

Dalje se navodi mjerenje za bušotinu TEB-1 iz 1978. i 1982. godine s protocima 58,0 l/s i 49,1 l/s, pad temperature s 65,5°C na 60,5°C te pad tlaka s 2,18 bar na 1,52 bar (manometarski). Kako se vidi padajući trend svih parametara, u istoj studiji donesen je zaključak kako se bušotina TEB-2 preintenzivno crpila te da se podaci o izdašnostima trebaju uzeti s dozom kritičnosti. Iz svega gore navedenoga može se zaključiti kako se dotični podaci ne mogu koristiti, pošto ne postoji prihvaćen obrazac to jest metoda proračuna kojom bi se na temelju dostupnih podataka moglo procijeniti proizvodnost dotičnih bušotina i kapacitet ležišta. Postoji velika vjerojatnost da se ležište regenerira padalinama na obroncima Petrove gore no u kojoj mjeri je potpuno nepoznato.

Stanje površinskog dijela bušotina je slijedeće: bušotine nisu adekvatno opremljene za zaustavu protoka prilikom mjerenja, bušotinskom glavom, automatikom za kontrolu i praćenje parametara proizvodnje. Na površinskom sustavu uočeno je kako bušotine nisu hermetične, a cijevi i spojni elementi su jako korodirani. Potrebno je izmjeriti stupanj korodiranosti, gubitke u debljinama stijenki cijevi, te zamijeniti dotrajale dijelove, te isplanirati adekvatno opremanje bušotina. Podaci o zacijevljenosti, promjenama širina kanala bušotina, zapisnik o promjenama litologije te eventualni upotrebljivi karotažni podaci su nedostatni. Na slici 16. i 17. Prikazan je TEB-1 sa kojeg se grije južni dio Topuskog i to pretežno pravne osobe [9]. Slika 18. prikazuje TEB-2 kojem je potrebna sanacija i adekvatno hermetičko zatvaranje bušotine [9]. Slika 19. prikazuje TEB-4 sa kojeg se grije Ribnjak i Novo naselje, a slika 20. prikazuje izlaz iz bušotine za grijanje lječilišnog kompleksa, Glinske ulice, TIM dalekovoda i javnih ustanova [9].

**Slika 16.** Grijanje južnog dijela Topuskog, pretežno pravne osobe – TEB-1.

**Slika 17.** Izlaz bušotine TEB-1 iz zemlje.

**Slika 18.** TEB-2 (ne proizvodi), potrebna sanacija ili adekvatno hermetičko zatvaranje bušotine.

**Slika 19.** Grijanje Ribnjak/Novo naselje – TEB-4.

**Slika 20.** Grijanje lječilišnog kompleksa, Glinske ulice, TIM dalekovoda i javnih ustanova.

4.4.1. Uporaba geotermalne vode u Topuskom

Na lokaciji Topusko geotermalna voda koristi se za sljedeće potrebe:

a) za medicinske potrebe za balneologiju i u terapeutske svrhe,
b) za bazene radi zdravstvenog turizma,
c) za grijanje objekata na području Topuskog.

Lječilište Topusko kao nositelj koncesije za crpljenje geotermalne vode, trenutačno je i najveći potrošač geotermalne vode. Geotermalna voda koristi se za:

a) medicinske potrebe,
b) zdravstveni turizam (bazeni),
c) grijanje,
d) pripremu potrošne tople vode.

Prihvat geotermalne vode iz bušotine TEB-4 (a može i TEB-1), obavlja se preko Centralne toplinske stanice (CTS) gdje je organizirana izmjena topline preko pločastih izmjenjivača za grijanje i pripremu potrošne tople vode te distribucija tople i ohlađene geotermalne vode preko pripadnih hidrofora za potrebe balneologije. Odatle se snabdjevaju geotermalnom vodom unutarnji i vanjski bazeni Lječilišta, „TIM“ (Tvornica istegnutih metala) za potrebe grijanja proizvodnih hala i stambenih objekata uz „TIM“, osnovna i srednja škola, vrtić.

Potrošnja geotermalne vode iznosi 65 l/s, odnosno 234 $m^3$/h, odnosno 5616 $m^3$/dan zimi u periodu grijanja. Ukupna potrošnja termalne vode na bušotine TEB-4 u 2014. godini prikazana je u tablici 3. [8]

**Tablica 3.** Ukupna potrošnja termalne vode na bušotini TEB-4 u 2014. Godini.

| | | |
|---|---|---|
| Lječilište Topusko | 32% | 341.925,76 kn |
| Top Terme Topusko | 68% | 726.592,24 kn |
| **UKUPNO:** | | **1 068.518,00 kn** |

Sljedeća grupa potrošača geotermalne vode su oni koji istu koriste iz TEB-1. To su prvenstveno potrošači grijanja (obrt Kovačević – stambena zgrada, caffe bar „Scotch“, pošta, Općina i caffe bar“ Opatovina“).

Nakon predaje topline za grijanje, geotermalna voda se vraća do TEB-1 te transportira za potrebe bazena u ZRC-u.

Potrošnja geotermalne vode iznosi 10 l/s, odnosno 36 $m^3$/h, odnosno 864 $m^3$/dan.

Iz TEB-3 geotermalna voda koristi se za grijanje stambenih zgrada a potrošnja u sezoni grijanja iznosi 10 l/s, odnosno 36 $m^3$/h, 864 $m^3$/dan.

Ukupna potrošnja geotermalne vode za grijanje i balneologiju za 2014. godinu prikazana je u tablici 4. [8].

**Tablica 4.** Potrošnja geotermalne vode za grijanje i balneologiju za 2014. godinu.

| Mjesec | Ukupno $m^3$ | Grijanje Lječilište Topusko $m^3$ | Balneologija Lječilište Topusko $m^3$ | Grijanje Top-Termi $m^3$ | Balneologija T.T. | Sanitarna topla voda Lječilište | Sanitarna topla voda T.T. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 67.400 | 22.466 | 4.959 | 44.934 | 85 | 7.466 | 2.934 |
| 2. | 55.354 | 22.500 | 4.269 | 44 .950 | 2 | 6.451 | 2.084 |
| 3. | 78.790 | 26.263 | 4.789 | 26.264 | 21 | 5.263 | 3.526 |
| 4. | 60.700 | 20.233 | 4.296 | 20.234 | 88 | 4.223 | 2.467 |
| 5. | 35.830 | 13.100 | 3.966 | 11.944 | 0 | 7.943 | 9.886 |
| 6. | 22.620 | 0 | 2.879 | 0 | 0 | 6.310 | 7.620 |
| 7. | 23.670 | 0 | 4.872 | 0 | 2 | 4.835 | 4.670 |
| 8. | 21.120 | 0 | 4.773 | 0 | 0 | 5.560 | 6.120 |
| 9. | 32.720 | 0 | 5.297 | 0 | 19 | 4.360 | 4.720 |
| 10. | 65.910 | 13.182 | 6.733 | 15.180 | 62 | 5.949 | 4.187 |
| 11. | 69.990 | 13.988 | 6.166 | 23.330 | 0 | 6.202 | 5.462 |
| 12. | 86.510 | 13.988 | 5.797 | 25.954 | 62 | 6.081 | 8.337 |
| **Ukupno** | **620.614** | **145.720** | **58.788** | **212.790** | **341,00** | **70.643** | **62.013** |

*4.4.1.1. Rad centralne toplinske stanice*

CTS izgrađena je u svrhu pripreme i obrade termalne vode za potrebe Lječilišta, za grijanje i balneologiju, u razdoblju od 1984. do 1988. godine. Sastoji se od bazena za toplu termalnu vodu obujma 97,20 $m^3$, te bazena za rashlađenu termalnu vodu obujma 114,30 $m^3$. Uz bazene su smješteni uređaji za hlađenje, obradu i razvod rashlađene termalne vode do objekata. Na slici 21. prikazana je centralna toplinska stanica [8].

**Slika 21.** Centralna toplinska stanica.

Hlađenje termalne vode vrši se preko rashladnog tornja koji se nalazi s vanjske strane CTS. Za hlađenje putem pločastog izmjenjivača koristi se sanitarna voda kojom je napunjen kompenzacijski rezervoar. Sistem radi na način zračne struje (vjetra) koju dobivamo od 4 zračne turbine i 4 motora snage po cca 11kw. Voda koju pumpa tjera na toranj raspršuje se u sitan mlaz i zračna struja odvodi toplinu u smislu vodene pare (isparavanjem). Tim se načinom dio sanitarne vode koja se nalazi u rezervoaru gubi, te je količinu iste potrebno nadomjestiti novom vodom (sanitarnom). Navedeni proces vrši se automatski putem regulatora nivoa vode (nivostata). U tablici 5. prikazana je ukupna potrošnja sanitarne vode u 2014. godini [8].

**Tablica 5.** Ukupna potrošnja sanitarne vode u 2014. godini na CTS-u.

| **Mjesec** | **Trošak sanitarne vode (kn)** |
|---|---|
| Siječanj i veljača | 61.139,49 |
| Ožujak | 27.226,97 |
| Travanj | 35.367,78 |
| Svibanj | 39.126,56 |
| Lipanj | 64.369,39 |
| Srpanj | 40.637,45 |
| Kolovoz | 37.320,87 |
| Rujan | 33.838,47 |
| Listopad | 27.150,04 |
| Studeni | 31.443,16 |
| Prosinac | 27.205,32 |
| **UKUPNO** | **424.825,00** |
| Lječilište Topusko 32% | 135.952,00 |
| Top Terme Topusko 68% | 288.898,00 |

Tijekom ljetnih dana kada su vanjske temperature veće, te je povećana potreba za većom proizvodnjom hladne termalne vode (otvaraju se vanjski bazeni), taj se proces odvija teže jer je potreban duži rad tornja da bi ohladio vodu u usporedbi na zimske mjesece. Povećava se i potrošnja rashladnog sredstva zbog spomenutog gubitka kroz vodenu paru te se sukladno povećanom radu povećavaju i troškovi električne energije za rad tornja i pumpi u CTS-u. Ukupna potrošnja struje CTS-a u 2014. godini prikazan je u tablici 6., a trošak CTS-a (električne energije) po mjesecima u 2014. godini prikazan je u tablici 7. [8].

**Tablica 6.** Ukupna potrošnja struje CTS-a u 2014. godini.

| MJESEC | TROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE (KN) |
|---|---|
| Siječanj | 80.064,27 |
| Veljača | 70.928,84 |
| Ožujak | 72.933,24 |
| Travanj | 66.271,40 |
| Svibanj | 64.859,92 |
| Lipanj | 69.331,85 |
| Srpanj | 72.472,81 |
| Kolovoz | 80.211,97 |
| Rujan | 60.001,49 |
| Listopad | 67.172,94 |
| Studeni | 68.439,41 |
| Prosinac | 76.754,88 |

**Tablica 7.** Ukupna potrošnja struje CTS-a u 2014. godini.

| | |
|---|---|
| Lječilište Topusko 32% | 296.362,01 kn |
| Top Terme Topusko 68% | 553.081,41 kn |
| **UKUPNO:** | **849.443,02 kn** |

Prethodni sustav je koristio prirodni izvor tehnološke vode za hlađenje (rijeka Glina). Navedeni se mehanizam koristio prije rata, pa je potrebno utvrditi mogućnosti i isplativost sanacije i uspostave postojećeg starog sustava uz napomenu da se u tom slučaju treba i razmotriti dobivanje koncesije za korištenje te vode od Hrvatskih voda.

U sklopu CTS način korištenja geotermalne vode je relativno racionalan, iako ima još uvijek prostora za dodatne racionalizacije, optimizacije i poboljšanja. Troškovi CTS-a u 2014. godini prikazani su u tablici 8. [8].

**Tablica 8.** Troškovi Centralne toplinske stanice u 2014. godini.

| Troškovi CTS | Novčani pokazatelji |
|---|---|
| Top-Terme usluge djelatnika prema ugovoru o poslovnoj suradnji | 181.906,43 kn |
| Održavanje opreme CTS-a | 2.123,58 kn |
| Održavanje sustava rasvjete i ventilacije CTS-a DEC sredstava | 28.978,11 kn |
| **UKUPNO** | **213.008,10 kn** |

*4.4.1.2. Izračun potrošnje i naplate isporučene toplinske energije za 2014. god.*

Račun za obračunsko razdoblje sačinjava zbroj troškova za:

A) energiju za zagrijavanje poslovnog prostora (varijabilni iznos koji se obračunava prema očitanju potrošnje), (Tablica 9.)
B) snagu (fiksni mjesečni iznos), (Tablica 10.)

*4.4.1.3. Energija za zagrijavanje poslovnog prostora (varijabilni dio)*

**Tablica 9.** Utrošak energije za zagrijavanje u periodu 2013. – 2014.godina.

| **Stanje kalorimetra** | **31.12.2013. (MWh)** | **31.12.2014. (MWh)** | **Ukupno 2014. god (MWh)** |
|---|---|---|---|
| Hotel Petrova Gora | 4.553,59 | 5.707,55 | 1.153,96 |
| Blatne kupke | 1.103,11 | 1.411,01 | 307,9 |

Ukupna potrošnja - Lječilište Topusko za 2014. godinu: 1.461,86 MWh = 1.461.860 kWh

Jedinična cijena toplinske energije: 0,14 kn/kWh

Ukupna cijena toplinske energije - HOTEL PETROVA GORA: 161.554,40 kn
Ukupna cijena toplinske energije - BLATNE KUPKE: 43.106,00 kn
Ukupna cijena toplinske energije - LJEČILIŠTE za 2014. godinu: 204 660,40 kn

*4.4.1.4. Izračun toplinske snage za grijanje prostora*

Ukupna površina grijanog prostora: 5.998,36 $m^2$
Volumen grijanog prostora: 25.460,36 $m^3$

Izračun snage za grijani prostor (50W/m3): 1.273,018 kW

**Tablica 10.** Volumen i snaga grijanog prostora u 2014.godini.

| | VOLUMEN ($m^3$) | SNAGA (kW) |
|---|---|---|
| HOTEL PETROVA GORA | 15.260,11 | 763,01 |
| BLATNE KUPKE | 10.200,25 | 510,01 |

**Tablica 11.** Cijena toplinskebsnage za 2014.godinu.

| | |
|---|---|
| Jedinična cijena toplinske snage | 19,89 kn/kW |
| | |
| Mjesečni iznos za toplinsku snagu - Hotel Petrova Gora: | 15.176,27 kn |
| Mjesečni iznos za toplinsku snagu - Blatne Kupke: | 10.144,09 kn |
| Ukupni iznos za toplinsku snagu (mjesečno): | 25.320,33 kn |
| | |
| Ukupna cijena snage - Hotel Petrova Gora (7 mjeseci isporuke) | 106.232 kn |
| Ukupna cijena snage - Blatne Kupke (7 mjeseci isporuke): | 71.008 kn |
| Ukupna cijena snage za 2014. godinu (7 mjeseci isporuke): | 177.242,30 kn |
| | |
| **Ukupni iznos - HOTEL PETROVA GORA** | **267.787,00 kn** |
| | |
| **Ukupni iznos - BLATNE KUPKE** | **114.115.00 kn** |
| | |
| **Ukupni račun za isporučenu toplinsku energiju** | **381 902,70 kn** |
| | |
| **Iznos sa PDV-om:** | **477 378,38 kn** |

### 4.5. Problem otpadne vode

Kada se govori o razvojnim smjernicama učinkovitog iskorištavanja geotermalne energije treba uzeti u obzir i problem termalnog zagađenja rijeke Gline. Naime, koliko je poznato, korištena geotermalna voda ispušta se u kanale (ukupna duljina kanala kojim putuje voda iz svih bušotina je oko 2000 metara od kolektorskog čvorišta iz smjera bušotina TEB-1, TEB-3 i TEB-4) koji se zatim zajedničkim kanalom dovode do rijeke Gline.

Prema Zakonu o vodama propisane su granične vrijednosti emisija otpadnih voda, te je propisana maksimalna temperatura emisija i maksimalno odstupanje od temperature vode u koju se ispušta. Načelno, pravilnik se treba protumačiti tako da maksimalna temperatura ispuštanja može biti 30°C u rijeku Glinu ili 40°C u sustav javne odvodnje, uz maksimalnu razliku od temperature rijeke Gline 10°C.

U Topuskom, vezano uz prirodne izvore te vodu koja se proizvodi iz geotermalnih bušotina, postoji razgranati sustav kanala. Pri tome je oko 870 metara dugačak kanal koji vodi od kolektorskog čvorišta do mjesta u kojem se spaja sa livadskim izvorima. Kako se temperature voda iz prirodnih, tj. livadskih izvora kreću oko 55°C, a kanali iz takvih izvora se pridružuju kanalima koji vode iz bušotina, nije moguće lako utjecati na temperaturu

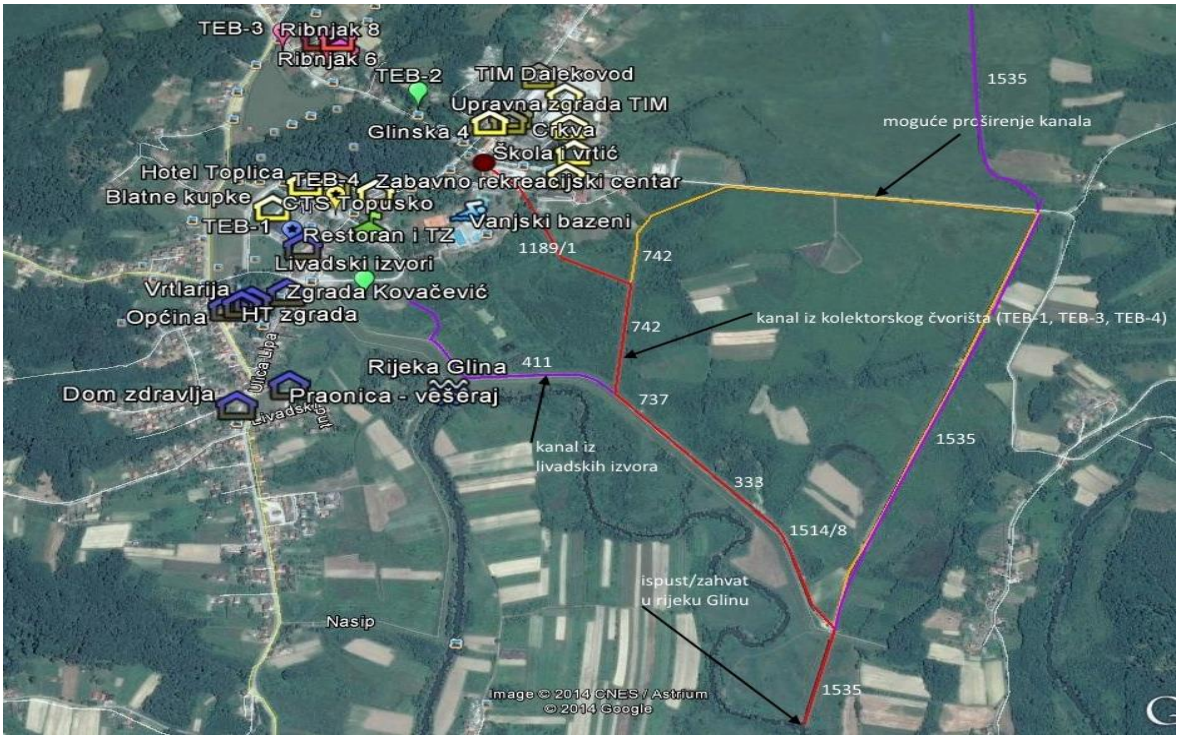
vode koja se odvodi do rijeke Gline na način da se zadovolje zakonski propisi, to jest da je temperatura veća od temperature rijeke Gline maksimalno za 10°C.

Tablicom 12. prikazane su duljine kanala kojima se odvodi voda iz površinskih izvora termalne vode te korištena voda iz geotermalnih bušotina [9].

**Tablica 12.** Kanali za odvod vode do rijeke Gline.

| Čestica | Katastarska općina | Naziv kat. čestice | Površina m² | Duljina m² |
|---|---|---|---|---|
| 1189/1 | Topusko | Topli kanal | 9947 | 545 |
| 742 | Topusko | Kanal | 7331 | 340 |
| 737 | Topusko | Nasip i kanal | 34969 | 300 |
| 333 | Velika Vranovina | Nasip i kanal | 7450 | 190 |
| 1514/8 | Hrvatsko selo | Nasip i kanal | 15556 | 340 |
| 1535 | Hrvatsko selo | Kanal – đon | 30205 | 270 |
| 411 | Topusko | kanal | 3630 | 660 |
| | | | | **2645** |

Cijeli put kanala od mjesta kolektorskog čvorišta do mjesta ispusta/zahvata prikazan je na slici 22. [9].




**Slika 22.** Postojeći kanali (crveno iz TEB-1, TEB-3, TEB-4 te ljubičasto iz livadskih izvora) te moguće proširenje kanala.

Na slici 22. je razvidno kako je moguće uz relativno malo proširenje spojiti cesticu 742 i 1535 te dobiti dodatne duljine kanala pogodne za hlađenje oko 2500 m. Prema Pravilniku [Narodne Novine, 80/2013] temperatura vode na ispustu (točka izljeva kanala u rijeku) može biti i 35°C, ukoliko je temperatura rijeke na mjestu zahvata veća od 20°C.

Na temperaturu na ispustu se može utjecati na tri načina:

1. Spuštanje temperature vode proizvedene iz geotermalnih bušotina na nižu temperaturu koja je blizu temperature rijeke, a što se može postići povećanjem kapaciteta tj. potrošnje toplinske energije primjenom kaskadnog principa,
2. Hlađenjem vode uvećanom duljinom kanala do mjesta ispusta,
3. Vračanjem vode u podzemne strukture utisnom bušotinom.

Spuštanje temperature vode iz geotermalnih bušotina odnosi se poglavito na zimski period korištenja, pošto se tada javlja veća razlika u temperaturi iskorištene geotermalne vode i temperature rijeke Gline. Bez prethodnih mjerenja temperatura i protoka u zimskom periodu, tj. periodu grijanja, nije moguće niti pretpostaviti stupanj pothlađivanja vode u kanalima do mjesta ispusta/zahvata.

Hlađenje vode u kanalu ovisi o nizu parametara (pored konvekcije, izloženosti sunčevoj radijaciji, temperaturi tla, zraka, geometriji i dimenzijama kanala, duljina i brzina protjecanja, vegetaciji itd.) te je također bez prethodnih mjerenja temperatura i protoka nemoguće projektirati hlađenje vode u kanalima. Rješenje problema hlađenja vode u kanalu izvedivo je rashladnim tornjem (velika investicija i velik utrošak električne energije), ali moguće su i druge solucije, poput produljenja duljine toka kanala i sl.

Vračanje vode u podzemne strukture definitivno je najskuplja opcija, jer su u tom slučaju potrebne dodatne analize interferencije utisne bušotine s proizvodnim bušotinama. Naime, ukoliko bi se na proizvodnim bušotinama vidno smanjila temperatura zbog hidrodinamičke povezanosti s utisnom, cijeli sustav ne bi mogao funkcionirati. Pored potrebnih početnih ulaganja u opremanje takve bušotine i navedena hidrodinamička ispitivanja, takav sustav bi trošio energiju i na pumpu za utiskivanje.

### 4.6. Koncept korištenja geotermalne vode u Topuskom

Tijekom eksploatacijskog procesa geotermalnih voda u Topuskom od samih početaka do danas bitno se mijenjao koncept korištenja.

Livadski izvori su najperspektivnija lokacija za bušenje nove bušotine, ukoliko ce se pojaviti potreba za povećanjem kapaciteta. U dokumentaciji INAProjekt vidljivo je da se tijekom probnih proizvodnji na ostalim bušotinama izdašnost Livadskih izvora nije mijenjala, što sugerira na mogućnost izrade drenažne bušotine TEB-5 kojom bi se moglo pridobiti otprilike novih 12 l/s u bilanci. Naravno, za ovakav scenarij potrebno je u potpunosti slijediti naputke u poglavlju 5., sukladno Zakonu o rudarstvu.

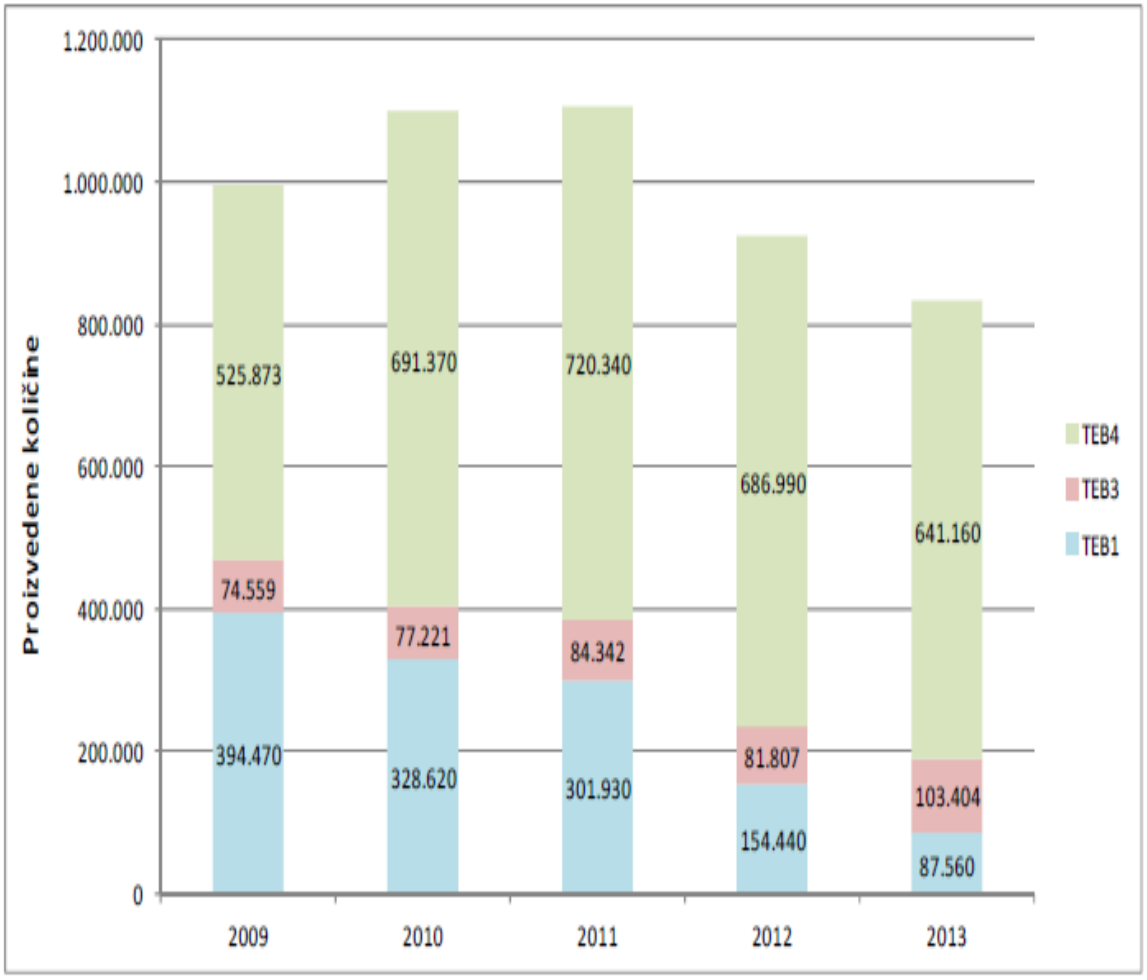
Optimizacija cijelog sustava koji funkcionira na isti način do danas dovršena je izradom tehničke dokumentacije i izgradnjom centralne toplinske stanice (CTS) tijekom 1995./96. godine. Ovaj glavni dio trenutnog sustava omogućuje učinkovito korištenje toplinske energije u grijanju i balneologiji, a osim TEB-4 na CTS je i povezan TEB-1 iako trenutno TEB-1 funkcionira zasebno za opskrbu potrošača u južnim dijelovima Topuskog.

Potrebno je naglasiti da iz TEB-1 postoje dva kraka cjevovoda od kojih jedan trenutno nije u funkciji grijanja (obzirom na relokaciju hotelske praonice koja je bila jedini potrošač) nego se trenutno koristi za cirkulaciju termalne vode s ciljem hlađenja i pripremu balneološke vode i punjenje bazena. Prema tumačenjima tehničke službe gubici u drugom kraku cjevovoda s TEB-1 iznose i do 75% obzirom na neizoliranost cijevi, promatrajući mjerila toplinske energije na bušotini i usporedbom s očitanjima mjerila potrošača. No, za potpunu analizu gubitka toplinske energije s TEB-1 potrebno je sakupiti podatke o mjesečnim očitanjima tijekom cijele godine, s centralnog mjerila na bušotini i mjerila toplinske energije utrošene u objektima. Na taj način moguće je izraditi u budućnosti tehnoekonomsku analizu gubitka energije i proračunati isplativost postavljanja nove izolacije na cijevi cijelom dužinom trase.

Energetska analiza u ovom radu bit ce dana na primjeru bušotine TEB-3 obzirom da se radi o izoliranom sustavu izgrađenom jedino za namjenu grijanja stambenih zgrada na adresi Ribnjak/Novo naselje.

Rezultati analize pokazat ce prosječnu potrošnju toplinske energije u objektima, opravdanost trenutne cijene energije te mogućnost potencijala za kaskadno korištenje. Rezultati energetskih potencijala vrlo lako mogu biti translatirani i na ostale bušotine

ukoliko se promatra jedinični protok, obzirom da sve bušotine rade sa sličnim temperaturnim razlikama (uobičajeno 63°C ulaz, 47°C izlaz iz izmjenjivača). Na slici 23. dane su proizvodne količine unatrag pet godina za bušotine TEB-1, TEB-3 i TEB-4, prikupljene od strane tehničke službe [9].




**Slika 23.** Proizvedene količine geotermalne vode za razdoblje 2009-2013.

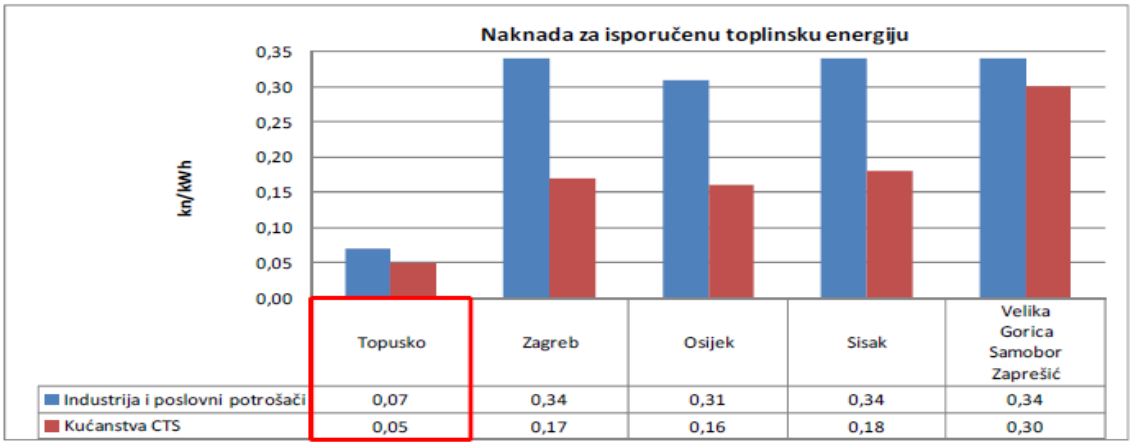
U tablici 13. prikazani su svi trenutni potrošači toplinske energije spojeni na distribucijski sustav tri bušotine [9]. Na potrošačima koji imaju iskazanu zakupljenu snagu u tablici instalirana su mjerila toplinske energije te plaćaju utrošenu energiju sukladno očitanjima i naknadi za zakupljenu snagu. Potrošači bez zakupljene snage nemaju instalirana mjerila i plaćaju energiju paušalno sukladno kvadraturi koja se grije.

**Tablica 13.** Trenutni potrošači toplinske energije u Topuskom.

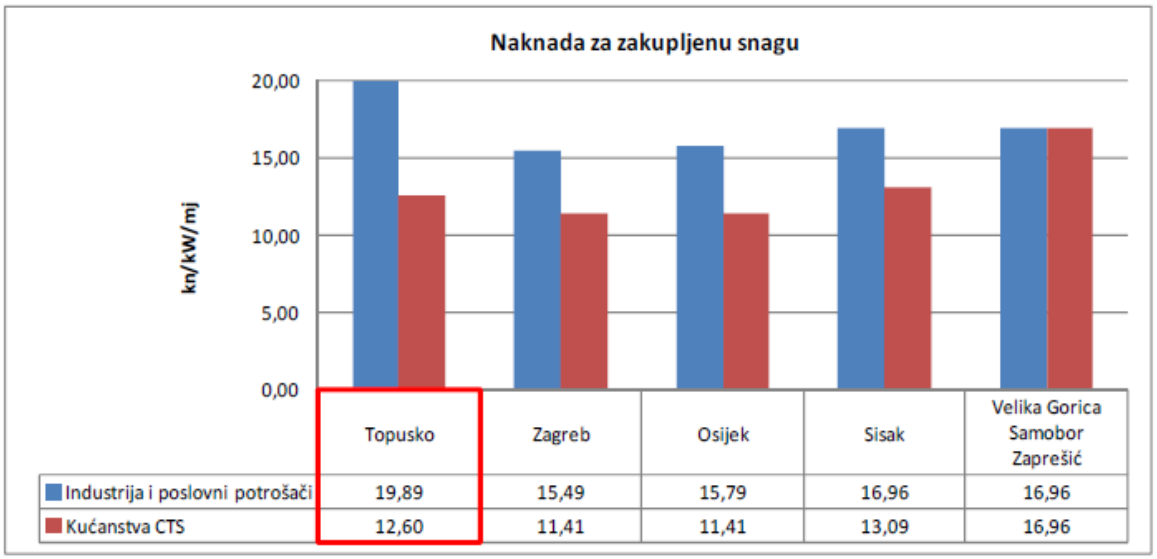
| Naziv lokacije | Površina m² | Zakupljena snaga kW | Prosječna snaga W/m² | Paušalno plaćanje kn/m² |
|---|---|---|---|---|
| 0101 Glinska 4 | 424 | 54 | 127 | - |
| 0102 Glinska 8 | 391 | 50 | 128 | - |
| 0103 Glinska 10 | 428 | 55 | 129 | - |
| 0104 Ribnjak 3 i N. naselje | 6770 | 863 | 128 | - |
| 0105 Željka Gajdek | 51 | 8 | 157 | - |
| 0109 Blatne kupke | 0 | 0 | 0 | - |
| 0110 Jo Lame, TZ, Zrinski | 369 | 60 | 152 | - |
| 0111 Praonica rublja | 0 | 16 | 0 | - |
| 0112 Rk. Crkva i župni ured | 316 | 134 | 424 | - |
| 0113 TEB-1/Ht, Općina, Kovačević | 526 | 45 | 85 | - |
| 0114 PTV Petrova gora | 0 | 0 | 0 | - |
| 0115 Scotch | 150 | 21 | 140 | - |
| 0116 Dalekovod (4 lokacije) | 7740 | 1839 | 238 | - |
| 0117 Pravoslavna crkva | 71 | 9 | 128 | - |
| 0118 Dom zdravlja | 1118 | 160 | 143 | - |
| 0119 Dragica Vujčić | 61 | 8 | 125 | - |
| 0120 Željko Kežman | 80 | 10 | 130 | - |
| 0121 Opatovina (caffe + kuća) | 178 | 22 | 124 | - |
| 0122 Osnovna škola topusko | 1350 | 0 | 0 | - |
| 0123 Srednja škola Topusko | 1750 | 0 | 0 | - |
| 0124 Kovačević (zgrada) | 366 | 24 | 66 | - |
| 0125 Josip Rakarić | 78 | 10 | 125 | - |
| 0126 Dječji vrtić | 262 | 62 | 237 | 6,8 |
| 0127 Lonia | 144 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0128 PBZ | 83 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0129 Karlovačka banka | 75 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0130 Kovačević obrt | 65 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0131 Općina | 152 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0132 Općina – županijska zgrada | 408 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0133 Općina – Opatovina | 353 | 49 | 140 | - |
| 0134 Piu Bello | 25 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0135 Knjigovodstveni servis | 22 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0136 Frizerski salon | 41 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0137 Zavod za socijalnu skrb | 123 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0138 MIP | 75 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0139 HT | 109 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0140 Garsonjere | 30 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0144 Škrinjica | 25 | n/a | n/a | 6,8 |
| 0145 Hrvatska pošta d.d. | 129 | 40 | 310 | - |
| 0146 ribnjak 4 – stan Gajdek | 45 | 8 | 178 | - |
| **UKUPNO** | **24409** | **3547** | | |

Na slikama 24. i 25. prikazane su usporedne cijene toplinske energije za trenutno operativne CTS u Republici Hrvatskoj [9]. Za obračun toplinske energije za distribucijsko područje Topusko prikazane tarifne stavke utvrđene su energetskom subjektu Termalna voda d.o.o. Visinu tarifnih stavki u tarifnom sustavu za usluge energetske djelatnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinske energije donijelo je Općinsko vijeće Općine

Topusko na 25. redovitoj sjednici od 21.11.2012., a sukladno mišljenju Hrvatske energetske regulatorne agencije i prijedloga općinskog načelnika Općine Topusko. Cijena toplinske energije po isporučenom kWh znatno je niža od klasičnih CTS u nadležnosti HEP-Toplinarstvo d.o.o.




**Slika 24.** Usporedba naknada za isporučenu toplinsku energiju – CTS (kn/kWh).




**Slika 25.** Usporedba naknada za zakupljenu snagu – CTS (kn/kW/mj).

Ovakva cijena energije, koja je u prosjeku niža i do 3,5 puta za kućanstva, odnosno i do 4,5 puta za industrijske i poslovne potrošače u usporedbi s ostalim CTS, može se objasniti činjenicom da je općina Topusko klasificirana u prvu skupinu područja od posebne državne skrbi, a prema Zakonu o područjima posebne državne skrbi [Narodne novine 86/08, 57/11, 51/13, 148/13, 76/14].

Trenutno niska cijena sigurno je i pod utjecajem iznimno loše energetske učinkovitosti zgrada i objekata kojima se isporučuje toplinska energija (kategorija starih neizoliranih zgrada), čime bi kumulativni trošak energije za krajnjeg kupca bio iznimno visok ukoliko bi cijena pratila ostale CTS.

Primjer za gornju tvrdnju je sustav stambenih zgrada na potrošačkom mjestu Ribnjak i Novo naselje s kumulativnom površinom od 6770 $m^2$. U tablici 13. prikazane su proizvodne kvote za pojedine bušotine, a kako geotermalna bušotina TEB-3 isključivo služi za opskrbu toplinske energije ovih zgrada prikazana je analiza energetske učinkovitosti objekata i primjer cijene energije za krajnjeg kupca.

U tablici 14. prikazane su mjesečne proizvodnje za bušotinu TEB-3 u zadnjih pet godina, te izraženi prosječni mjesečni protok koji je direktno zavisan o klimatskim uvjetima, odnosno toplinskim potrebama objekta [9]. Maksimalne proizvodne kvote za TEB-3 prema Elaboratu o rezervama i bilanci termalnih voda (1984.) iznose 16 l/s, iako je vrijednost od 12 l/s češće spominjana u kasnijim studijama kao realistična vrijednost koja omogućava održivu proizvodnju kroz duže vremensko razdoblje bez pada tlaka na ušću bušotine. Konkretan protok bit ce ustanovljen nakon nužnih HDM mjerenja na bušotini.

U tablici 15. izračunata je mjesečno prosječno narinuta toplinska snaga iz vrijednosti prosječnih protoka i temperaturne razlike na izmjenjivaču od 17°C zadnjih pet godina i izračunata iskorištena toplinska energija [9]. Iz sume godišnje iskorištene energije vidljivo je da utrošena energija po jedinici površine prostora varira između 220-300 $kWh/m^2/god$ što navedene zgrade svrstava u iznimno loš energetski razred F/G.

Potrebno je naglasiti da zbog blizine bušotine i potrošača, toplinski gubici u samom cjevovodu nisu značajni (pad sa 65°C na 62-63°C) pa dodatni radovi na izolaciji radi podizanja energetske učinkovitosti nisu ekonomski i energetski opravdani.

U tablici 16. prikazana je pojednostavljena ekonomska analiza prodaje toplinske energije za sustav Ribnjak/Novo naselje na temelju proračunatih vrijednosti utrošene energije i dostavljenih proizvodnih kvota za promatrano razdoblje [9]. Potrebno je naglasiti da ovakva analiza ne odgovara u potpunosti stvarnom stanju poslovanja i konkretnih brojki te nije bazirana na stvarnim financijskim izvještajima tvrtke Termalna voda d.o.o., već je približno točna računska aproksimacija radi utvrđivanja učinkovitosti funkcioniranja cjelokupnog energetskog sustava. Stvarna analiza zahtijevala bi uvid u cjelokupnu godišnju financijsku dokumentaciju i obračunske vrijednosti svakog mjeseca.

**Tablica 14.** Proizvedene količine vode iz TEB-3 za grijanje zgrada – Ribnjak/Novo naselje.

| Proizvedene količine geotermalne vode, m³ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **2009.** | **2010.** | **2011.** | **2012.** | **2013.** |
| 1. | 16.213 | 13.964 | 15.096 | 16.639 | 18.004 |
| 2. | 10.235 | 13.645 | 16.217 | 15.654 | 18.296 |
| 3. | 8.952 | 10.708 | 12.049 | 10.190 | 14.873 |
| 4. | 4.512 | 7.606 | 5.624 | 6.023 | 6.900 |
| 5. | 184 | 2 | 0 | 0 | 1.306 |
| 6. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.214 |
| 7. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10. | 7.725 | 7.034 | 9.034 | 5.991 | 8.893 |
| 11. | 12.123 | 8.594 | 11.781 | 10.723 | 13.993 |
| 12. | 14.616 | 15.668 | 14.541 | 16.587 | 19.925 |
| | **74.559** | **77.221** | **84.342** | **81.807** | **103.404** |

| Prosječan protok po mjesecima, l/s | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **2009.** | **2010.** | **2011.** | **2012.** | **2013.** |
| 1. | 6,05 | 5,21 | 5,64 | 6,21 | 6,72 |
| 2. | 4,23 | 5,64 | 6,70 | 6,47 | 7,56 |
| 3. | 3,34 | 4,00 | 4,50 | 3,80 | 5,55 |
| 4. | 1,74 | 2,93 | 2,17 | 2,32 | 2,66 |
| 5. | 0,07 | 0 | 0 | 0 | 0,49 |
| 6. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,47 |
| 7. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10. | 2,88 | 2,63 | 3,37 | 2,24 | 3,32 |
| 11. | 4,68 | 3,32 | 4,55 | 4,14 | 5,40 |
| 12. | 5,46 | 5,85 | 5,43 | 6,19 | 7,44 |

**Tablica 15.** Prosječna toplinska snaga po mjesecima i potrošnja u zgradama Ribnjak/Novo naselje

| Toplinska energija po mjesecima, kWh | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **2009.** | **2010.** | **2011.** | **2012.** | **2013.** |
| 1. | 321.558 | 276.953 | 299.404 | 330.007 | 357.079 |
| 2. | 202.994 | 270.626 | 321.637 | 310.471 | 362.871 |
| 3. | 177.528 | 212.375 | 238.972 | 202.102 | 294.981 |
| 4. | 89.488 | 150.852 | 111.543 | 119.456 | 136.850 |
| 5. | 3.649 | 40 | 0 | 0 | 25.902 |
| 6. | 0 | 0 | 0 | 0 | 24.078 |
| 7. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10. | 153.213 | 139.508 | 179.174 | 118.822 | 176.378 |
| 11. | 240.440 | 170.448 | 233.657 | 212.673 | 277.529 |
| 12. | 289.884 | 310.749 | 288.397 | 328.976 | 395.179 |
| **UKUPNO** | **1.478.754** | **1.531.550** | **1.672.783** | **1.622.506** | **2.050.846** |
| **kWh/m²/god** | **218,4** | **226,2** | **247,1** | **239,7** | **302,9** |

| Prosječna toplinska snaga po mjesecima, kW | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **2009.** | **2010.** | **2011.** | **2012.** | **2013.** |
| 1. | 432,2 | 372,2 | 402,4 | 443,6 | 479,9 |
| 2. | 302,1 | 402,7 | 478,6 | 462,0 | 540,0 |
| 3. | 238,6 | 285,5 | 321,2 | 271,6 | 396,5 |
| 4. | 124,3 | 209,5 | 154,9 | 165,9 | 190,1 |
| 5. | 4,9 | 0 | 0 | 0 | 34,8 |
| 6. | 0 | 0 | 0 | 0 | 33,4 |
| 7. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10. | 205,9 | 187,5 | 240,8 | 159,7 | 237,1 |
| 11. | 333,9 | 236,7 | 24,5 | 295,4 | 385,5 |
| 12. | 389,6 | 417,7 | 387,6 | 442,2 | 531,2 |

**Tablica 16.** Prihod od prodaje toplinske energije na TEB-3 i krajnji trošak za kupca

| Prihod od prodaje toplinske energije TEB-3, kn | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **2009.** | **2010.** | **2011.** | **2012.** | **2013.** |
| 1. | 28.524 | 26.392 | 27.465 | 28.928 | 30.223 |
| 2. | 22.855 | 26.089 | 28.528 | 27.994 | 30.500 |
| 3. | 21.637 | 23.304 | 24.575 | 22.812 | 27.253 |
| 4. | 17.428 | 20.362 | 18.482 | 18.861 | 19.692 |
| 5. | 13.323 | 0 | 0 | 0 | 14.387 |
| 6. | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.300 |
| 7. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10. | 20.475 | 19.819 | 21.716 | 18.830 | 21.582 |
| 11. | 24.646 | 21.299 | 24.321 | 23.318 | 26.419 |
| 12. | 27.010 | 28.007 | 26.939 | 28.879 | 32.044 |
| **UKUPNO** | **175.898** | **165.271** | **172.026** | **169.622** | **216.401** |
| **Naknada 1,672 kn/m³** | **124.663** | **129.114** | **141.020** | **136.781** | **172.891** |
| **Dobit** | **51.235** | **36.158** | **31.006** | **32.841** | **43.510** |

Prikazana analiza temelji se na stvarno očitanim proizvodnim količinama i poznatim zakupljenim snagama potrošača za studeni/2013 te naknadnim usklađivanjem proračunskih vrijednosti s realnima. Trošak toplinske energije za krajnjeg kupca prikazanje u tablici 17. [9].

**Tablica 17.** Trošak toplinske energije za krajnjeg kupca

| Trošak toplinske energija za krajnjeg kupca, kn/m² (bez PDV) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **2009.** | **2010.** | **2011.** | **2012.** | **2013.** |
| 1. | 4,21 | 3,90 | 4,06 | 4,27 | 4,46 |
| 2. | 3,38 | 3,85 | 4,21 | 4,14 | 4,51 |
| 3. | 3,20 | 3,44 | 3,63 | 3,37 | 4,03 |
| 4. | 2,57 | 3,01 | 2,73 | 2,79 | 2,91 |
| 5. | 1,97 | 0 | 0 | 0 | 2,13 |
| 6. | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,11 |
| 7. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10. | 3,02 | 2,93 | 3,21 | 2,78 | 3,19 |
| 11. | 3,64 | 3,15 | 3,59 | 3,44 | 3,90 |
| 12. | 3,99 | 4,14 | 3,98 | 4,27 | 4,73 |
| **Suma kn/m²/god** | **26,0** | **24,4** | **25,4** | **25,1** | **32,0** |

Uvidom u trošak toplinske energije za krajnjeg kupca, vidljivo je da se na godišnjoj bazi kreće između 24 i 32 kn/m2/god, a potrebno je istaknuti da naknada za zakupljenu snagu u najhladnijim mjesecima čini čak 40% od ukupnog troška.

Usporedbom s ostalim CTS u Republici Hrvatskoj, grijanje geotermalnom energijom u Topuskom izrazito je ekonomski prihvatljivo za krajnjeg potrošača. No, kako bi sustav bio tehnički održiv kroz duži radni vijek i obzirom na nužnost stalnih kapitalnih ulaganja nesumnjivo je sadašnja cijena toplinske energije neodrživa. Usporedbe radi, cijena prirodnog plina iznosi 0,45 kn/kWh što je 9 puta više od sadašnje prodajne cijene geotermalne energije.

Učestali način obračuna geotermalne energije u direktnom centraliziranom sustavu grijanja jest povezivanje s cijenom prirodnog plina ali uz određeni rabat, koji je funkcionalno zavisan o tehničkim osobitostima pojedinog ležišta i operativnih/fiksnih troškova pri radu samog sustava.

Pri ovakvim toplinskim zahtjevima objekta Ribnjak/Novo naselje angažiran je ukupni potencijal bušotine TEB-3 te nije moguće priključivanje novih potrošača s jednakom temperaturom distribucije, a bez negativnog djelovanja na postojeći sustav i hidrodinamičke aspekte ležišta.

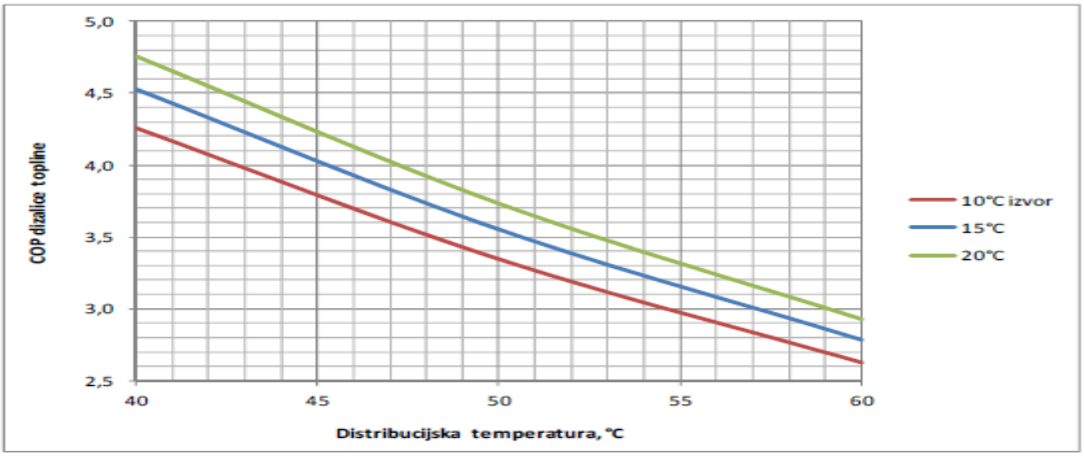
Iskorištena geotermalna voda s bušotine TEB-3 odlazi u kanalizacijski sustav prema sabirnom kolektoru i zatim prema mjestu izljeva u rijeku Glinu. Trenutne mogućnosti proširenja kapaciteta na TEB-3 ograničene su na kaskadno korištenje toplinske energije iz sustava Ribnjak/Novo naselje, s temperaturnim režimom cca. 45°C. Ovakva temperatura distribucije idealna je jedino za sustave podnog grijanja u kućanstvima ili direktnoj primjeni u industriji/plastenicima, a temperaturnim padom do 30°C moglo bi se osigurati novih 750 kW direktno instalirane toplinske snage.

U jednoj od varijanti budućeg razvoja i eventualne pojave većeg potrošača u blizini TEB-3, moguće ja sagledati i izgradnju visokoučinkovite energane s dizalicama topline unutar moguće poduzetničke zone.

No, potrebno je naglasiti da trenutno u blizini TEB-3 nema planova razvoja objekata koji bi zahtijevali ovako velike količine toplinske energije te su realne mogućnosti proširenja za sada ograničene, no svrha analize je pokazati mogući energetski potencijal. Ovakav potencijal i ekonomski povoljna energija kroz dugoročne ugovore o opskrbi garantira komparativnu prednost za Općinu Topusko u privlačenju investitora i osnivanju poduzetničkih zona u odnosu na druge općine i gradove.

Implementacija energetskih sustava s dizalicama topline od strane novih potrošača ključna je za razvoj cjelokupnog energetskog sustava, obzirom na propisane zakone o

temperaturi ispuštanja termalnih voda u kanalizacijski sustav i površinske vodene tokove. Na slici 26. prikazan je grafikon toplinskog množitelja (COP) dizalice topline koji opisuje omjer toplinske snage dostupne za grijanje i električne energije koju je potrebno unijeti u proces za rad kompresora [9].



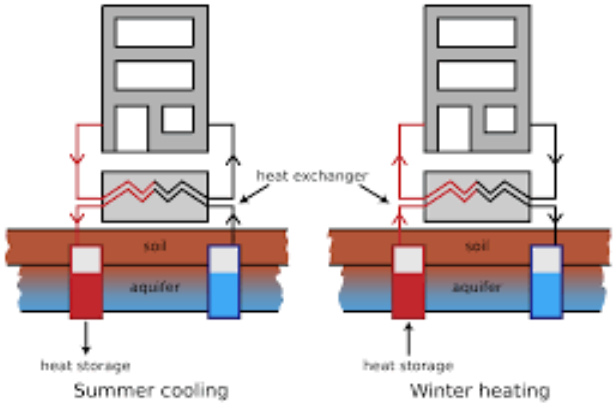

**Slika 26.** Učinkovitost dizalice topline voda-voda pri različitim temperaturama.

Toplinski množitelj prvenstveno ovisi o temperaturnoj razlici između okolišne temperature izvora energije i distribucijske temperature. Što je ta razlika manja, potrebno je manje električne energije za postizanje identične toplinske snage na izlazu dizalice topline.

### 4.6.1. Geotermalna toplinska pumpa - dizalica topline

Geotermalna toplinska pumpa, toplinska pumpa s izvorom u zemlji ili geotermalna dizalica topline je vrsta centralnog grijanja i/ili rashladnog sustava koji pumpa toplinu u zemlju ili iz nje.

Geotermalna toplinska pumpa koristi zemlju kao toplinski izvor zimi ili kao toplinski ponor ljeti. Princip rada dizalice topline prikazan je na slici 27. [10]. Prednost ovakve konstrukcije je u tome da koristeći umjerene temperature zemlje, povećava učinkovitost i smanjuje troškove sustava za grijanje i hlađenje.




**Slika 27.** Princip rada dizalice topline.

Kod efikasnosti toplinske pumpe treba uzeti u obzir efikasnost proizvodnje i prijenosa električne energije, njena izlazna energija je mnogo veća od utrošene električne energije. To rezultira ukupnom efikasnošću od preko 300%.

Geotermalna toplinska pumpa može smanjiti potrošnje električne energije, i odgovarajuće emisije koje zagađuju okoliš, do 40% u odnosu na zračne toplinske.

U cirkulacijskom ciklusu dizalice topline radni mediji prolaze sljedeće četiri stanice:

1. U isparivaču tekući hladni medij sniženjem tlaka isparava. To se događa već pri temperaturi ispod 0ºC. Kao izvor topline služi zemlja ili voda.
2. Kompresor podiže tlak i time raste temperatura hladnog medija.
3. U kondenzatoru se tada viša temperatura radnog medija koristi za grijanje prostora ili pripremu tople vode. Vrući radi medij predaje toplinu i prelazi ponovno u tekuće stanje.
4. U ekspanzivnom ventilu spušta se tlak radnom mediju i time se radni medij rasterećuje. Tako sada hladni medij može ponovno preuzeti toplinu od zemlje i vode.

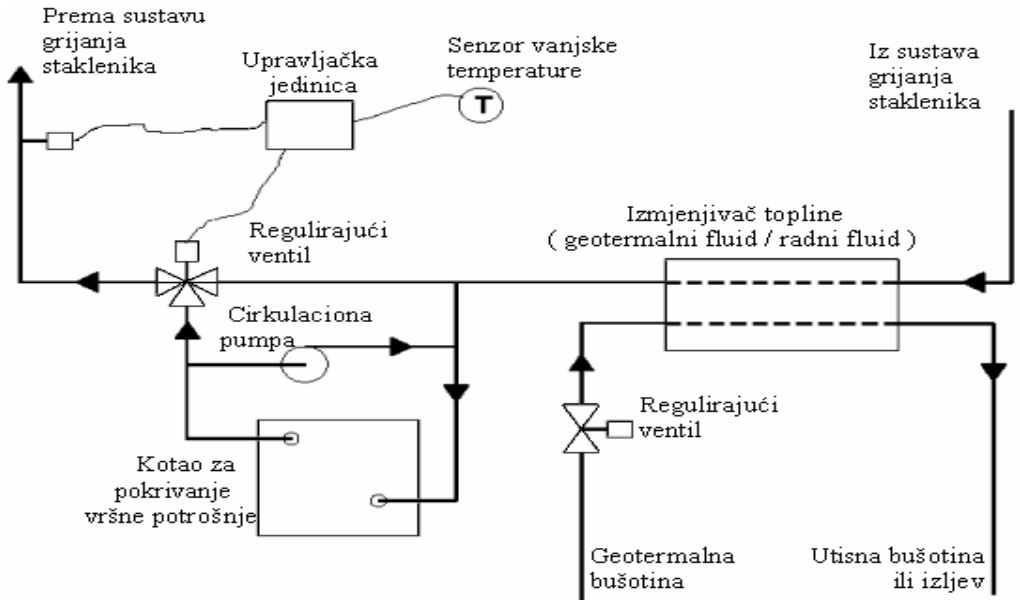
Time je kružni radni ciklus zatvoren i započinje ponovno od početka.

### 4.7. Smjernice budućeg korištenja toplinske energije i ekonomski aspekt

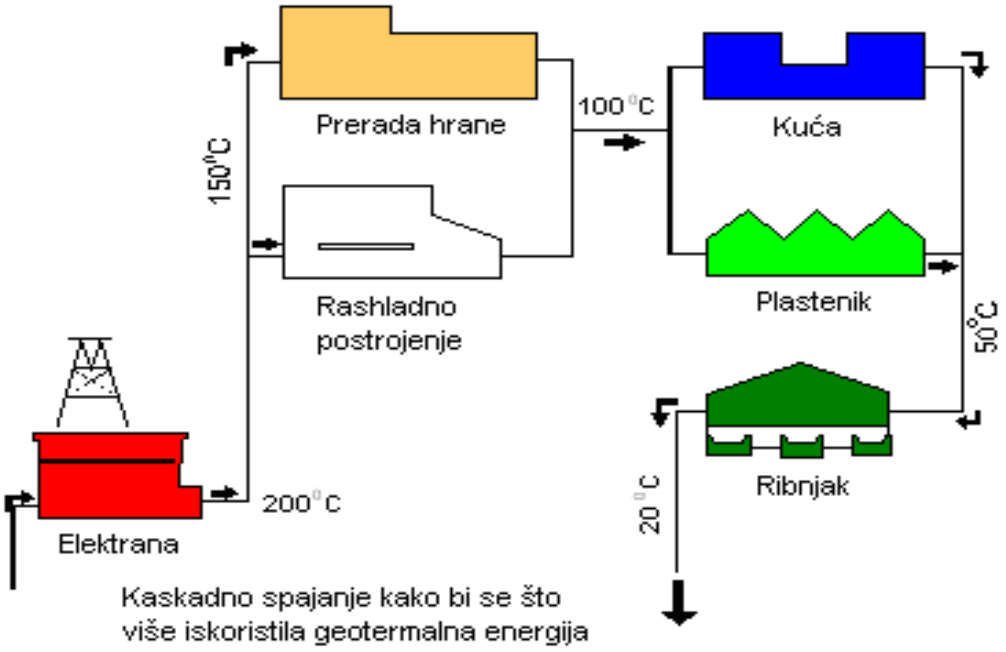
U nastavku teksta biti će obrađene dvije varijante za buduće korištenje toplinske energije. Svaka varijanta pretpostavlja tri zasebna, moguća scenarija.

U varijanti I pretpostavljena je sadašnja cijena toplinske energije za poduzetništvo od 0,07 kn/kWh i zakup toplinske snage od 19,89 kn/kW te tri scenarija A,B,C1/C2.

U scenariju B toplinska energija prodaje se direktno pretpostavljenom potrošaču u kaskadnom principu korištenja, odnosno potrošač preuzima pothlađenu termalnu vodu na izlazu iz primarnog objekta (za TEB-3 to su zgrade Ribnjak/Novo naselje odnosno sadašnji scenarij A), a temperatura distribucije termalne vode za novog potrošača u scenariju B iznosi 45°C i povrat od 30°C. U ovom slučaju potencijal za TEB-3 iznosi 750 kW, a uz istu razinu potrošnju energije kao u primarnim objektima A moguće je iskoristiti dodatnih 1800 MWh godišnje. Ovakav kaskadni dio posebno je interesantan za agrikulturni sektor odnosno stakleničku proizvodnju koja je prikazana na slici 28., no i za nove stambene objekte, ali uz uvjet tehničke prilagodbe na temperaturu distribucije (podno grijanje ili ventilokonvektori umjesto radijatorskog sustava) [11]. Najučinkovitiji način iskorištavanja geotermalne energije je upravo kaskadno iskorištavanje. Na slici 29. prikazano je kaskadno iskorištavanje geotermalne energije [12].




**Slika 28.** Shematski prikaz primjera korištenja geotermalne energije za zagrijavanje staklenika s kotlom za pokrivanje vršne potrošnje**.**




**Slika 29.** Kaskadno iskorištavanje geotermalne energije.

U scenariju C1 analizirana je upotreba dizalica topline s konačnom temperaturom distribucije od 60°C što zapravo predstavlja slučaj potpune regeneracije prema početnoj bušotinskoj temperaturi. Iskorištavanje toplinske energije iz ohlađene termalne vode odvija se u dva koraka odnosno u dvije energane, prvo spuštanjem temperature s 30°C na 20°C gdje se temperatura na ulazu u dizalicu topline održava na konstantnih 20°C pomoću međuspremnika koji odjeljuje dizalicu topline i termalnu vodu. Za ovaj slučaj moguće je pridobiti novih 732 kW za režim 60°C/20°C u prvoj energani, odnosno dodatnih 768kW za drugu energanu koja koristi režim 60°C/10°C. No, kod ovako visokih temperatura znatnije opada učinkovitost dizalica topline pa je COP u ovom slučaju svega 3,2 za režim 60°C/20°C, odnosno 2,9 za režim 60°C/10°C. Također, u ovakvom sustavu javljaju se sljedeći fiksni troškovi:

a) trošak energije termalne vode od 0,07 kn/kWh$_t$ i zakup toplinske snage od 19,89 kn/kW$_t$ prema društvu Top Terme,
b) trošak rada kompresora, odnosno utrošenu električnu energiju od prosječno 0,70 kn/kWh$_e$ prema distributeru električne energije i zakup električne snage od 29,5 kn/kW$_e$.

**Tablica 18.** Analiza primjene dizalice topline na TEB-3, Varijanata I (0,07 kn/kWh)

| | | Instalirana toplinska snaga, kWt | Godišnja distribuirana toplinska energija, MWht[1] | Prihod Top Terme HRK[2] | Godišnja iskorištena energija na potrošačkom mjestu, MWht | Električna snaga za dizalicu topline, kWe | Ukupan trošak toplinske energije za poduzetnika, HRK[3] | Jedinični trošak energije za poduzetnika, HRK/kWht[4] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | Direktno korištenje TEB-3 (63->47°C) | 857 | 2050,8 | 216.401 | 2050,8 | - | 216.401 | 0,106 |
| B | Kaskadno korištenje TEB-3 (45->30°C) | 754 | 1805,3 | 246.377 | 1805,3 | - | 246.377 | 0,136 |
| C1 | Dizalice topline 30->20°C (COP 3,2@60°C/20°C) | 732 | 1204,6 | 164.359 | 1752,1 | 229 | 616.793 | 0,352 |
| | Dizalice topline 20->10°C (COP 2,9@60°C/10°C) | 768 | 1204,6 | 164.359 | 1838,3 | 265 | 689.558 | 0,375 |
| C2 | Dizalice topline 30->20°C (COP 4,7@50°C/20°C) | 639 | 1204,6 | 164.359 | 1529,5 | 136 | 428.816 | 0,280 |
| | Dizalice topline 20->10°C (COP 4,0@50°C/10°C) | 670 | 1204,6 | 164.359 | 1603,7 | 168 | 491.682 | 0,307 |

[1] Distribuirana energija od strane Top Terme
[2] Ukupni prihod od prodaje toplinske energije i zakupa snage za poduzetništvo
[3] Ukupan trošak koji se sastoji od toplinske energije iz termalne vode, zakupa snage, električne energije i zakupa električne snage prema HEP – poduzetništvo – srednji napon – Bijeli tarifni model
[4] Jedinična cijena energije kao prosjek cijene utrošene toplinske energije i zakupa toplinske/električne snage

Ukupna analiza prikazana je u tablici 18. te je za poduzetništvo, uz korištenje energana s dizalicama topline u dva koraka, jedinična cijena finalne energije iznosi 0,352 odnosno 0,375 kn/kWh$_t$ [9]. Obzirom da je cijena prirodnog plina 0,45 kn/kWh$_t$ ovakva cijena nije stimulativna za privlačenje novih korisnika, obzirom na redukciju od -20%.

U scenariju C2 pretpostavljena je niža temperatura distribucije od 50°C, ali uz iste ulazne troškove. U ovom slučaju učinkovitost dizalice topline je značajnije veća te COP iznosi 4,7@50°C/20°C odnosno 4,2@50°C/10°C. Instalirani kapacitet u ovom slučaju iznosio bi 639 kW odnosno 670 kW za oba slučaja. Jedinični trošak finalne energije tada bi za poduzetništvo iznosio 0,28 kn/kWh$_t$ odnosno 0,307 kn/kWh$_t$, odnosno s redukcijom od 34-38% u odnosu na prirodni plin. Scenarij C2 predstavlja već naznaku isplativosti instaliranja dizalica topline pogonjene ohlađenom termalnom vodom.

U narednoj varijanti bit ce sagledan i krajnji slučaj redukcije troškova toplinske energije za dizalice topline, obzirom da većina prihoda dolazi iz scenarija A (trenutni) i scenarija B (prodaja toplinske energije iz pothlađene termalne vode iz scenarija A) te stoga nije imperativ držanja cijene ohlađene vode jednake kao za potrošače iz A i B. Sugerira se marketinški potez prodaje toplinske energije za dizalice topline od simboličnih 0,01 kn/kWh, no uz zadržavanje plaćanja naknade toplinske snage od 19,89 kn/kW.

U varijanti II sukladno gornjim zaključkom pretpostavljena je cijena toplinske energije za poduzetništvo u primjeni dizalica topline od 0,01 kn/kWh i zakup toplinske snage od 19,89 kn/kW te tri scenarija A,B,C1/C2.

U scenariju B toplinska energija prodaje se direktno pretpostavljenom potrošaču u kaskadnom principu korištenja, odnosno potrošač preuzima pothlađenu termalnu vodu na izlazu iz primarnog objekta (za TEB-3 to su zgrade Ribnjak/Novo naselje odnosno sadašnji scenarij A), a temperatura distribucije termalne vode za novog potrošača u scenariju B iznosi 45°C i povrat od 30°C kao i u slučaju u Varijanti I. Cijene ostaju nepromijenjene.

U scenariju C1 analizirana je upotreba dizalica topline s konačnom temperaturom distribucije od 60°C kao i u Varijanti I, no uz cijenu energije iz termalne vode od 0,01 kn/kWh$_t$. Ukupna analiza prikazana je u tablici 19., te za poduzetništvo, uz korištenje energana s dizalicama topline u dva koraka, jedinična cijena finalne energije tada iznosi 0,311 odnosno 0,336 kn/kWh$_t$ [9]. Obzirom da je cijena prirodnog plina 0,45 kn/kWh$_t$ ovakva cijena postaje stimulativna za privlačenje novih korisnika, obzirom na redukciju od 26 -31% i visoku temperaturu distribucije od 60°C [9].

**Tablica 19.** Analiza primjene dizalice topline na TEB-3, Varijanata II.

| | | Instalirana toplinska snaga, kWt | Godišnja distribuirana toplinska energija, MWht[1] | Prihod Top Terme HRK[2] | Godišnja iskorištena energija na potrošačkom mjestu, MWht | Električna snaga za dizalicu topline, kWe | Ukupan trošak toplinske energije za poduzetnika, HRK[3] | Jedinični trošak energije za poduzetnika, HRK/kWht[4] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | Direktno korištenje TEB-3 (63->47°C) | 857 | 2050,8 | 216.401 | 2050,8 | - | 216.401 | - |
| B | Kaskadno korištenje TEB-3 (45->30°C) | 754 | 1805,3 | 246.377 | 1805,3 | - | 246.377 | 0,136 |
| C1 | Dizalice topline 30->20°C (COP 3,2@60°C/20°C) | 732 | 1204,6 | 92.083 | 1752,1 | 229 | 544.517 | 0,311 |
| | Dizalice topline 20->10°C (COP 2,9@60°C/10°C) | 768 | 1204,6 | 92.083 | 1838,3 | 265 | 617.282 | 0,336 |
| C2 | Dizalice topline 30->20°C (COP 4,7@50°C/20°C) | 639 | 1204,6 | 92.083 | 1529,5 | 136 | 356.540 | 0,233 |
| | Dizalice topline 20->10°C (COP 4,0@50°C/10°C) | 670 | 1204,6 | 92.083 | 1603,7 | 168 | 419.406 | 0,262 |

[1] Distribuirana energija od strane Top Terme
[2] Ukupni prihod od prodaje toplinske energije i zakupa snage za poduzetništvo
[3] Ukupan trošak koji se sastoji od toplinske energije iz termalne vode, zakupa snage, električne energije i zakupa električne snage prema HEP – poduzetništvo – srednji napon – Bijeli tarifni model
[4] Jedinična cijena energije kao prosjek cijene utrošene toplinske energije i zakupa toplinske/električne snage

**U scenariju C2** pretpostavljena je niža temperatura distribucije od 50°C, ali uz iste ulazne troškove kao i u C1 (0,01 kn/kWh$_t$). Jedinični trošak finalne energije tada bi za poduzetništvo u ovom slučaju iznosio 0,28 kn/kWh$_t$ odnosno 0,307 kn/kWh$_t$, odnosno s redukcijom od 41 - 48% u odnosu na prirodni plin. Scenarij C2 predstavlja

najperspektivniji scenarij iskorištavanja termalnih voda pomoću energana s dizalicama topline obzirom na značajne uštede koje se generiraju za investitora. Prihod društva Top Terme bi i dalje bio respektabilan obzirom da bi investitor na godišnjoj bazi plaćao cca 92.000 kn, a instaliralo bi se novih 639+670 kW. Naravno, potencijalnom investitoru moguće je ponuditi i B+C2 scenarij gdje bi tada kumulativno raspoloživo bilo 754+639+670=2060 kW što predstavlja već respektabilan potencijal i to samo za TEB-3 iz bušotinskih 12 l/s.

Identičnu analogiju moguće je primijeniti i na TEB-1 obzirom na sličnost maksimalnih protoka (2 MW), te na TEB-4 gdje bi se moglo pridobiti i do pet puta više energije od ovdje prikazane (11 MW).

Ukupni potencijal ovakve analize scenarij B+C2 za sve tri bušotine TEB-3, TEB-1 i TEB-4 tada bi iznosio otprilike 15 MW toplinske snage. Ovakva potencijalna toplinska snaga predstavlja priliku za Općinu da nuđenjem dugoročnih ugovora o otkupu povoljne energije privuče nove investitore, odnosno osnivanje poduzetničke zone.

# 5. ZAKLJUČAK

Fokus provedbe nacionalne politike energetske učinkovitosti u Hrvatskoj je stavljen na javni sektor. Ovakav je pristup i nužan zbog još uvijek nedovoljno razvijenog tržišta energetske učinkovitosti u Hrvatskoj – javni sektor svojim aktivnostima i odlukama može djelovati na građane i subjekte iz drugih sektora na poduzimanje sličnih aktivnosti za smanjenje potrošnje energije, a zbog svoje kupovne moći ima snagu usmjeriti i transformirati tržišta prema učinkovitijim proizvodima i uslugama.

No, prepreke za primjenu mjera energetske učinkovitosti u javnom sektoru iznimno su velike. Među najznačajnijima su: naslijeđeni stav da su troškovi za energiju stalni i nepromjenjivi, nedostatak motivacije zaposlenika za ostvarenje ušteda energije, nemogućnost preusmjeravanja proračunskih sredstava u projekte
energetske učinkovitosti bez kompliciranih procedura, nepostojanje organizacijske strukture gospodarenja energijom koja će uključivati osobe zadužene za gospodarenje energijom te nepostojanje sustavnog pregleda stanja zgrada kao ni spoznaje o ukupnoj potrošnji energije svih zgrada državne uprave.

Nepobitna je činjenica da je pristup energiji po prihvatljivim cijenama ključan preduvjet gospodarskog i socijalnog razvoja svakog društava. No, proizvodnja energije i njezina uporaba značajno utječu na okoliš.

Sisačko-moslavačka županija svojim geostrateškim položajem može biti predvodnik u iskorištavanju potencijala energije proizvedene iz obnovljivih izvora. Potrebno je ulagati u sanaciju i adaptaciju objekata kako bi se postupno, ali dugoročno smanjivali troškovi.

Geotermalna voda na području Topuskog koristi se već više od dvadeset godina u energetske i balneološke svrhe, no nažalost nikakav napredak u ležišnom inženjerstvu i razumijevanju geotermalnog polja s aspekta njegove održivosti i obnovljivosti nije postignut još od samih početaka razrade polja. Potrebno je naglasiti da su ratna zbivanja u velikoj mjeri devastirala i usporila razvoj općine i samog lječilišta Napredak je postignut jedino na području izgradnje centralne toplinske stanice i ugradnje toplinskih mjerila za isporučenu toplinsku energiju krajnjim potrošačima.

Također, od samog početka eksploatacije uočeni su problemi s održivosti proizvodnje na pojedinim bušotinama pri većim obrocima crpljenja, što je u konačnici

dovelo i do smanjenja tlaka na TEB-2 i TEB-3, a u konačnici i prestanka rada TEB-2 i nužnosti primjene potopne pumpe za TEB-3.

Obzirom na današnje financijske okolnosti i nužnost pronalaska strateškog partnera za daljnji razvoj lječilišnog turizma u Topuskom, potrebno je u potpunosti definirati potencijale pojedinih bušotina kako bi se potencijalnom investitoru i novim potrošačima mogla garantirati konstantna opskrba s geotermalnom energijom kroz duže vremensko razdoblje.

Strategiju spajanja novih potrošača prvenstveno treba zasnivati na kaskadnom korištenju geotermalne vode na svakoj bušotini te nove potrošače spajati na direktni nisko-temperaturni režim rada (40-45°C) ili na energane s dizalicama topline što u konačnici može udvostručiti trenutni energetski potencijal.

Također, moguća su i određena proširenja kapaciteta izgradnjom nove bušotine TEB-5 u području Livadskih izvora. Ovi prirodni izvori već su se direktno koristili za potrebe lječilišta prije stavljanja u pogon bušotine TEB-4 i izgradnje centralne toplinske stanice. Izgradnjom TEB-5 i drenažom prirodnih vrela moguće je povećati sadašnju temperaturu na izvorištu i staviti u funkciju dodatnih 12 l/s za eventualne nove potrošače. Naime, uvođenje svakog novog potrošača ne smije narušiti snabdijevanje postojećih potrošača, prvenstveno za medicinske svrhe te zdravstveni turizam.

Vezano uz navedeno potrebno je:

a) maksimalno centralizirati prihvat, korištenje i distribuciju geotermalne vode, odnosno toplinske energije, tj. omogućiti centralno upravljanje, nadzor i praćenje eksploatacijskih bušotina
b) predvidjeti sustave automatske regulacije radi minimizacije potrošnje i osiguranje željenog komfora grijanog prostora
c) predvidjeti niskotemperaturna grijanja radi što veće iskoristivosti toplinske energije geotermalne vode
d) osigurati dovoljne deponijske prostore tople i ohlađene geotermalne vode premoštenja debalansa između dobave i potrošnje
e) koristiti geotermalnu vodu za zagrijavanje plastenika i staklenika (kaskadno iskorištavanje)

f) sve sustave osigurati od neželjenog efekta geotermalne vode u vidu agresivnosti, korozije i taloženja kamenca.

Svi navedeni zahvati pridonijeli bi optimizaciji potrošnje, proširenju broja korisnika geotermalne vode te zaštiti okoliša, što je izuzetno značajno za razvoj Topuskog i okolice.

Sam razvoj Općine trebao bi se stoga dijelom usmjeriti i na promoviranje ovog resursa u vidu privlačenja potencijalnih investitora i osnivanje poslovnih zona gdje bi se potrošačima kroz dugoročne ugovore omogućila mnogo povoljnija cijena energije nego što je to slučaj s konvencionalnim izvorima. Na ovaj način, povećanim iskorištavanjem prirodnog resursa otvarala bi se i nova radna mjesta. Kako bi se sve navedeno ostvarilo potrebno je uskladiti proizvodnju i distribuciju toplinske energije sa sadašnjom zakonskom regulativom.

Obzirom da se veliki dio energije iz geotermalne vode osim u balneološke koristi i u energetske svrhe, potrebno je usklađivanje prema Zakonu u rudarstvu. Sama legalizacija polja prema Zakonu o rudarstvu je nužnost, a prema sadašnjem obliku zakonske legislative ne postoji alternativa. Također, potrebno je smanjiti temperaturu geotermalne vode na ispustu u rijeku Glinu i u kanalizacijski sustav, obzirom na trenutno važeće zakonske norme o zaštiti okoliša. Ovaj segment može se zadovoljiti jedino uvažavanjem gornjih stavki o kaskadnom korištenju geotermalne vode niže temperature distribucije ili rekonstrukciji kanala prema rijeci Glini kako bi se pospješio prijelaz topline i smanjila temperatura na ispustu.

Kako bi se geotermalni resurs u Topuskom, od iznimne važnosti za razvoj Općine, mogao i nadalje u budućnosti održivo eksploatirati u vidu ekonomski povoljnog obnovljivog izvora energije nužnost je pokrenuti ciklus investicije u legalizaciju geotermalnog polja i obnovu bušotinskog fonda.

## 6. LITERATURA


[1] Izvori energije: *Geotermalna energija*, **www.izvorienergije.com**, pristupljeno 31.03.2016.

[2] Dekanič, I.: „*Strategija gospodarenja mineralnim sirovinama Republike Hrvatske*“, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2008.

[3] Kolbah, S., Škrlec, M., Kulenović, I., Šćuric, S., Golub, M.: „*Geothermal Water as Eneretic and Mineral Source*“, The Croatian Academy of Engineering vol. 1, 1; 139-161, 2009.

[4] Bačan, A.: „*Sisačko-moslavačka županija – potencijal obnovljivih izvora Energije*“, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2012.

[5] Vlahović, I., Velić, I., Šparica, M. (ur.): „*Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske*“, Zagreb, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 245-249, 1995.

[6] Modificirano prema Grupa autora: GEOEN: „*Program korištenja geotermalne energije - prethodni rezultati i buduće aktivnosti*“, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 1998.

[7] Šimunić, A. (ur.): „*Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske*“ (Geološka monografija), Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2008.

[8] Žužić, I.: „*Centralna toplinska stanica (CTS)*“, Lječilište Topusko, Topusko, 2015.

[9] Kurevija, T., Vulin, D. i Farkaš, B.: „*Elaborat analize postojećeg stanja i razvojne smjernice učinkovitog iskorištavanja geotermalne energije na lokaciji Topusko*“, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2014.

[10] Wikipedija: *Geotermalna toplinska pumpa*, **www.wikipedija.org**., pristupljeno 9.04.2016.

[11] Kurevija, T., Golub, M.: „*Iskorištavanje geotermalnih ležišta*“, Rudarsko geološko-naftni fakultet, Zavod za naftno inženjerstvo, Zagreb, 2008.

[12] Vorkapić, V.: „*Geotermalna energija*“, energetski institut Hrvoje Požar, Čakovec, 2010.

**Popis slika**

Slika 1. Slojevi zemljine kore ..... 4
Slika 2. Geotermalni resursi Republike Hrvatske ..... 6
Slika 3. Karta dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta u jugoistočnoj Europi ..... 8
Slika 4. Isječak karte gustoće toplinskog toka (mW/m²) ..... 9
Slika 5. Karta geotermalnih gradijenata ..... 9
Slika 6. a) Temperature na dubini od 1.000 m
b) Temperature na dubini od 2.000 m ..... 10
Slika 7. Geološki profil okolice Topuskog ..... 11
Slika 8. Kemijski sastav geotermalne vode u Topuskom ..... 11
Slika 9. Katastarska čestica TEB-1 ..... 17
Slika 10. Katastarska čestica TEB-2 ..... 17
Slika 11. Katastarska čestica TEB-3 ..... 18
Slika 12. Katastarska čestica TEB-4 ..... 18
Slika 13. Grafički prikaz postupka ishođenja rudarske koncesije za eksploataciju geotermalne vode ..... 23
Slika 14. Grafički prikaz odnosa naknada prema ZOV i ZOR ..... 25
Slika 15. Grafički prikaz odnosa troškova prema ZOV i ZOR ..... 26
Slika 16. Grijanje južnog dijela Topuskog, pretežno pravne osobe – TEB-1 ..... 28
Slika 17. Izlaz bušotine TEB-1 iz zemlje ..... 28
Slika 18. TEB-2 (ne proizvodi), potrebna sanacija ili adekvatno hermetičko zatvaranje bušotine ..... 29
Slika 19. Grijanje Ribnjak/Novo naselje – TEB-4 ..... 30
Slika 20. Grijanje lječilišnog kompleksa, Glinske ulice, TIM dalekovoda i javnih ustanova ..... 31

Slika 21. Centralna toplinska stanica ..... 33
Slika 22. Postojeći kanali (crveno iz TEB-1, TEB-3, TEB-4 te ljubičasto iz livadskih izvora) te moguće proširenje kanala ..... 41
Slika 23. Proizvedene količine geotermalne vode za razdoblje 2009-2013 ..... 43
Slika 24. Usporedba naknada za isporučenu toplinsku energiju – CTS (kn/kWh) ..... 43
Slika 25. Usporedba naknada za zakupljenu snagu – CTS (kn/kW/mj) ..... 43
Slika 26. Učinkovitost dizalice topline voda-voda pri različitim temperaturama ..... 48
Slika 27. Princip rada dizalice topline ..... 49
Slika 28. Shematski prikaz primjera korištenja geotermalne energije za zagrijavanje staklenika s kotlom za pokrivanje vršne potrošnje ..... 50
Slika 29. Kaskadno iskorištavanje geotermalne energije ..... 51

**Popis tablica**

Tablica 1. Izračun naknada ovisno o vrsti namjene mineralne sirovine.....24

Tablica 2. Rekapitulacija troškova usklađenja sa zakonskom legislativom .....25

Tablica 3. Ukupna potrošnja termalne vode na bušotini TEB-4 u 2014. g .....32

Tablica 4. Potrošnja geotermalne vode za grijanje i balneologiju za 2014. g .....33

Tablica 5. Ukupna potrošnja sanitarne vode u 2014. godini na CTS-u .....34

Tablica 6. Ukupna potrošnja struje CTS-a u 2014. godini.....35

Tablica 7. Ukupna potrošnja struje CTS-a u 2014. godini.....35

Tablica 8. Troškovi Centralne toplinske stanice u 2014. godini .....35

Tablica 9. Utrošak energije za zagrijavanje u periodu 2013. – 2014.g.....36

Tablica 10. Volumen i snaga grijanog prostora u 2014.g .....36

Tablica 11. Cijena snage za 2014.g .....37

Tablica 12. Kanali za odvod vode do rijeke Gline .....38

Tablica 13. Trenutni potrošači toplinske energije u Topuskom .....42

Tablica 14. Proizvedene količine vode iz TEB-3 za grijanje zgrada – Ribnjak/Novo Naselje .....45

Tablica 15. Prosječna toplinska snaga po mjesecima i potrošnja u zgradama Ribnjak/Novo naselje .....45

Tablica 16. Prihod od prodaje toplinske energije na TEB-3 i krajnji trošak za kupca.....46

Tablica 17. Trošak toplinske energije za krajnjeg kupca .....46

Tablica 18. Analiza primjene dizalice topline na TEB-3, Varijanata I .....53

Tablica 19. Analiza primjene dizalice topline na TEB-3, Varijanata II .....53