

Stavebná fakulta STU v Bratislave

Ing. Soňa Gažíková

Autoreferát dizertačnej práce

**OPTIMALIZÁCIA TEPELNÉHO HOSPODÁRSTVA S VYUŽITÍM VLASTNÝCH ENERGETICKÝCH ZDROJOV NA
BÁZE OZE**

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

v doktorandskom študijnom programe: 3136 Teória a technika prostredia budov

v študijnom odbore: Stavebníctvo

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Bratislava, 2021

Dizertačná práca bola vypracovaná na

Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave

Predkladateľ:

Ing. Soňa Gažíková

Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra technických zariadení budov
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ:

prof. Ing. Ján Takács, PhD.

Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra technických zariadení budov
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Oponenti:

prof. Ing. František Urban, PhD.

Strojnícka fakulta STU v Bratislave
Ústav energetických strojov a zariadení
Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava

doc. Ing. František Vranay, PhD.

Stavebná fakulta TUKE v Košiciach
Ústav pozemného staviteľstva
Letná 1/9, 040 01 Košice

Ing. Marek Bukoviansky, PhD.

Mierová 18550/27
821 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný: 20. 4. 2022

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa: 22. 4. 2022

o 10.00.h v knižnici katedry TZB, 14. poschodie

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
rektor STU alebo dekan fakulty,

0ABSTRAKT

V mojej dizertačnej práci som sa zaoberala problematikou využívania geotermálnej energie v rámci teplovodnej kotolne Stred I. vo Veľkom Mederi. Dizertačná práca mala viacero cieľov a to – analýzu meraných údajov z tejto kotolne a simulácií na tomto systéme, na základe ktorých sa vyhodnotila prevádzka tohto systému. Simulácie boli vytvorené v programe ANSYS.

Ďalším cieľom dizertačnej práce, ktorý sa už ale netýka hodnotenia prevádzky teplovodnej kotolne bolo vytvorenie internetovej mapy s údajmi o geotermálnych vrtoch na Slovensku s využitím Google Earth Pro.

Súčasťou tejto dizertačnej práce je aj mnou vytvorená mobilná aplikácia pre výpočet základných energetických parametrov geotermálnej energie, ktorými sú využiteľné množstvo geotermálnej energie, využiteľný energetický potenciál a využiteľné množstvo geotermálnej energie.

Kľúčové slová: geotermálna energia, sústava centralizovaného zásobovania teplom, simulácie, energetická analýza, analýza prevádzky, mapa geotermálnych vrtoch, mobilná aplikácia

ABSTRACT

In my dissertation I dealt with the issue of usage of the geothermal energy in the hot water boiler room Stred I. in Veľký Meder. The dissertation had several goals - the analysis of measured data from this boiler room and the creation of simulations on this system, based on which the operation of this system was evaluated. The simulations were created in ANSYS.

Another goal of the dissertation, which no longer concerns the evaluation of the hot water boiler room operation, was the creation of an Internet map with data on geothermal wells in Slovakia using Google Earth Pro.

Part of this dissertation is also a mobile application for the calculation of basic energy parameters of geothermal energy, which are the usable amount of geothermal energy, usable energy potential and usable amount of geothermal energy.

Key words: geothermal energy, centralized heat supply system, simulations, energy analysis, operation analysis, map of geothermal drills, mobile application.

OBSAH

ABSTRAKT	3
ABSTRACT	4
1. Úvod	7
2. Ciele dizertačnej práce	8
3. Metodika spracovania dizertačnej práce	8
4. Experimentálne merania	9
4.1 Cieľ meraní	9
4.2 Metodika meraní	10
4.3 Výsledky experimentálnych meraní	12
4.4. Analýza meraní	17
4.4.1 Zimné obdobie	17
4.4.2 Letné obdobie	18
4.4.4 Návrh riešení pre zlepšenie prevádzky	18
4.5 Čiastkový záver	19
5. Simulácie	19
5.1 Cieľ simulácií	19
5.2 Metodika riešenia simulácií	20
5.3 Výsledky simulácie	20
5.5 Analýza výsledkov	23
5.5.1 Analýza výsledkov pre simulácie v zimnom období	23
5.5.2 Analýza výsledkov pre simulácie v letnom období	24
5.5.3 Návrh riešenia	25
5.4 Čiastkový záver	25
6. Mapa geotermálnych vrtov	25
6.1 Cieľ vytvorenia mapy	25
6.2 Metodika práce	26
6.1 Výsledná mapa	26
7. Mobilná aplikácia pre výpočet energetických parametrov GTV	27
7.1 Cieľ vytvorenia aplikácie	27
7.2 Metodika tvorby aplikácie	27
7.3 Výsledná aplikácia	28
8. Prínosy dizertačnej práce	28

8.1 Prínosy pre vedný odbor	29
8.2 Prínosy pre technickú a spoločenskú prax	29
9. Záver	30
Výber použitej literatúry	31
Zoznam publikovaných prác.....	32

1. Úvod

Spotreba energie má po celom svete stúpajúci charakter. Pri čoraz rýchlejšom tempe vývoja energetickej situácie na území Slovenska, ale aj vo svete je veľmi dôležité využívať aj obnoviteľné zdroje energie, nakoľko využitie fosílnych palív nestačí pokrývať energetický dopyt a taktiež má aj negatívny dopad na životné prostredie. Európska únia, ktorej súčasťou je aj Slovenská republika, kladie veľký dôraz na využívanie obnoviteľných zdrojov energií kvôli energetickej bezpečnosti, zníženiu množstva emisií a skleníkových plynov a taktiež aj kvôli zníženiu závislosti členských krajín na dovoze energií.

Jednou zo základných priorít energetickej politiky Slovenskej republiky je zvyšovanie podielu obnoviteľných zdrojov energie na výrobe elektrickej a tepelnej energie z rôznych typov takýchto energetických zdrojov tak, aby bolo zabezpečené celkové krytie domáceho dopytu po energiách. OZE prispievajú k diverzifikácii a posilňovaniu štruktúry priemyslu a poľnohospodárstva, podporujú rozvoj a taktiež aj inováciu informačných technológií, otvárajú priestor pre nové smerovania. Racionálny manažment domácich OZE je v súlade s princípmi trvalo udržateľného rozvoja. Na Slovensku sa ako obnoviteľné zdroje energie využívajú biomasa, vodná, slnečná, geotermálna a veterná energia.

Podiel obnoviteľných zdrojov energie na hrubej koncovej spotrebe energií v rámci Európskej Únie dosiahol v roku 2018 hodnotu 18,9 %. Cieľovou hodnotou pre koniec roka 2020 je 20 % a predpokladaný nárast využívania obnoviteľných zdrojov energie pre celú EÚ by mal za nasledujúcich 10 rokov byť 7 %, teda výsledná predpokladaná hodnota využívania OZE v EÚ by mala v roku 2030 narásť na 27 %.

Na území Slovenskej republiky bol vývoj využívania obnoviteľných zdrojov energie nasledovný – využívanie OZE až do roku 2015 rástlo postupne na hodnotu 12,9 %, avšak v roku 2016 využívanie týchto zdrojov na našom území mierne pokleslo na hodnotu 12,0 %. A následne sa znižovalo využívanie obnoviteľných zdrojov energie v roku 2017 na 11,5 %. Od roku 2018 sa podiel OZE na domácej produkcii energií opäť zvyšuje pričom v tomto roku dosiahol hodnotu 11,9 % a predpokladaným navrhnutým cieľom je 14 % pre koniec roka 2020 [82]. Tento cieľ sa nakoniec nielenže podarilo naplniť, ale aj prekročiť na hodnotu 16,9 %. Táto dizertačná práca sa zaoberá využívaním geotermálnej energie, a preto v ďalších kapitolách a podkapitolách už nebudú spomínané obnoviteľné zdroje energie všeobecne, ale len geotermálna energia ako konkrétny obnoviteľný zdroj energie.

2. Ciele dizertačnej práce

Cieľom tejto dizertačnej práce je analyzovať a vyhodnotiť využívanie geotermálnej energie v geotermálnom energetickom systéme vo Veľkom Mederi v kotolni Stred I. a následne navrhnúť optimalizáciu tejto prevádzky na základe meraní na tomto systéme a na základe simulácií priebehu teplôt v doskovom výmenníku tepla s označením VT. Ďalšími cieľmi tejto dizertačnej je vytvorenie mapy geotermálnych vrtov spolu s popisom ich parametrov a mobilnej aplikácie pre výpočty základných energetických parametrov geotermálnych vôd.

Ciele sú nasledovné:

1. Na základe experimentálnych meraní a ich spracovania analyzovať a vyhodnotiť prevádzku GES vo Veľkom Mederi.
2. Vytvorenie simulácií rozloženia teplôt v doskovom výmenníku tepla s označením VT a tiež simulácia zmeny teploty geotermálnej vody odchádzajúcej zo systému pri menených okrajových podmienkach.
3. Vytvorenie mapy geotermálnych vrtov na Slovensku spolu s popisom ich základných parametrov.
4. Vytvorenie mobilnej aplikácie pre výpočty základných energetických parametrov zdrojov geotermálnych vôd.

3. Metodika spracovania dizertačnej práce

V rámci dizertačnej práce je potrebné aj k jednotlivým cieľom doplniť metodiku spracovania týchto cieľov. Metodika spracovania týchto cieľov je nasledovná:

Cieľ č. 1:

Pomocou zabudovaných prietokomerov a teplomerov v teplovodnej kotolni Stred I. budú merané potrebné veličiny (teploty a prietoky v jednotlivých miestach znázornených na schéme meracích bodov v kapitole 4) pre výpočet a následné zhodnotenie hospodárnosti tejto prevádzky, ktorá využíva geotermálnu energiu pre výrobu tepla a prípravu teplej vody pre 1 600 bytov a okolité nebytové objekty. Namerané údaje boli zaznamenané pomocou softvéru Niagara Network, odkiaľ som ich aj zozbierala, keďže som mala vzdialený prístup k tomuto softvéru kvôli panémii covid-19 a samozrejme som bola v tejto kotolni aj pár krát osobne pred pandemickou situáciou.

Cieľ č.2:

Hlavným nástrojom pre CFD simulácie v rámci dizertačnej práce je softvér ANSYS FLUENT. Tento softvér sa využíva pre simulácie tekutín, konkrétne pre predpovedanie toku tekutín, prenosu tepla a hmoty v tekutinách, chemických reakciách a ďalších fyzikálnych a chemických javov, ktoré súvisia s tekutinami.

Postup tvorby CFD simulácií pozostáva z vytvorenia 3D modelu v Space Claim-e, ktorý je súčasťou balíka ANSYS, následne vytvorenia výpočtovej siete a zadania okrajových podmienok a charakteristík, nastavenia solvera a nakoniec zobrazenia výsledkov simulácie.

Cieľ č.3:

Mapa geotermálnych vrtov bude na základe rôznych geologických a hydrogeologických podkladov spracovaná tak, že najprv sa vytvorí tabuľka s jednotlivými údajmi ku geotermálnym vrtom, pre ktoré som si zistila aj zemepisné súradnice jednotlivých vrtov. Následne sa vytvorí mapa vrtov v Google Earth Pro, ktorú sa následne pridá aj na webovú stránku.

Cieľ č.4:

Mobilnú aplikáciu pre výpočet základných energetických programov bude vytváraná v prostredí na tvorbu mobilných aplikácií s názvom Android Studio v programovacom jazyku Java. Aplikácia je funkčná len na mobilných zariadeniach využívajúcich operačný systém Android.

4. Experimentálne merania

V roku 2015 prebehla kompletná rekonštrukcia kotolne Stred I. vo Veľkom Mederi, pričom sa začal využívať ako hlavný zdroj tepla geotermálny vrt, do ktorého bolo v roku 2016 zabudované hlbinné ponorné čerpadlo s frekvenčným meničom otáčok pre lepšiu reguláciu čerpaného požadovaného množstva geotermálnej vody.

4.1 Cieľ meraní

Cieľom experimentálnych meraní je na základe nameraných výsledkov zhodnotiť hospodárnosť využívania geotermálneho energetického systému vo Veľkom Mederi v rámci kotolne Stred I.

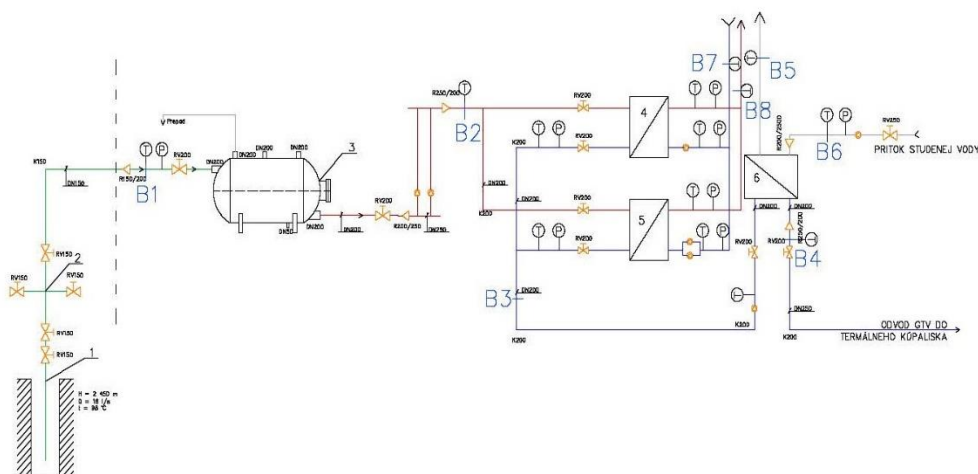
4.2 Metodika meraní

Pomocou zabudovaných prietokomerov a teplomerov v teplovodnej kotolni Stred I. boli merané potrebné veličiny pre výpočet a následné zhodnotenie hospodárnosti tejto prevádzky, ktorá využíva geotermálnu energiu pre výrobu tepla a prípravu teplej vody pre 1 600 bytov a okolité nebytové objekty. Namerané údaje boli zaznamenané pomocou softvéru Niagara Network, odkiaľ som ich aj zozbierala, keďže som mala vzdialený prístup k tomuto softvéru kvôli panémii covid-19 a taktiež som ich zozbierala aj počas osobných prehliadok v tejto kotolni keď ešte nebola pandémia. Na obrázku 4.1 sa nachádzajú fotografie meračov zabudovaných v systéme.



Obr. 4.1 Zabudované meracie prístroje v potrubíach

Na nasledujúcom obrázku (Obr. 4.2) sa nachádza vyobrazená schéma meracích bodov. Posudzované meracie údaje sú zozbierané za mesiace január – marec a jún – december v roku 2020 a následne po mesiacoch rozdelené ako hodnoty pre posudzované zimné, letné a prechodné obdobie.



Obr. 4.2 Schéma meracích bodov geotermálneho energetického systému

Rozpis meraných veličín a popis jednotlivých meracích bodov je nasledovný:

- B1 – teplota GTV na hlave vrtu - Θ_0 (°C) a prietok geotermálnej vody - m_{gtv} (l/s),
- B2 – teplota GTV po odplynení – Θ_2 (°C), ktorá je teplotou nosnou látkou na primárnej strane doskových výmenníkov tepla VT1 a VT2,
- B3 – teplota GTV na výstupe primárnej strany doskových výmenníkov tepla – Θ_3 (°C), pričom je to aj teplota geotermálnej vody, ktorá vstupuje na primárnej strane do výmenníka tepla VT, ktorý slúži pre I. stupeň predohrevu SV,
- B4 – teplota GTV vystupujúcej z teplovodnej kotolne Stred I. – Θ_4 (°C),
- B5 – teplota vody na výstupe sekundárnej strany doskového výmenníka tepla VT – Θ_5 (°C), ktorá je dopravovaná do zásobnej nádrže,
- B6 – teplota - Θ_{sv} (°C) a prietok - m_{sv} (l/s) SV vstupujúcej na sekundárnej strane do doskového výmenníka tepla VT,
- B7 – teplota vykurovacej vody – Θ_7 (°C), vstupujúcej do okruhu doskových výmenníkov tepla na sekundárnej strane,
- B8 - teplota vykurovacej vody vystupujúcej z okruhu doskových výmenníkov tepla na sekundárnej strane – Θ_8 (°C),
- ďalším meraným parametrom bola aj vonkajšia teplota – Θ_e (°C).

Vzorce pre výpočet energetických aspektov geotermálnych vôd sú nasledovné:

- využiteľné množstvo geotermálnej vody – M:

$$M = 24 \cdot n \cdot m_{gtv} \cdot V \cdot 3600 \cdot 10^{-3} \quad (\text{m}^3) \quad (4.1)$$

- využiteľný energetický potenciál – Q':

$$Q' = m_{gtv} \cdot c_v \cdot \rho \cdot (\Theta_0 - \Theta_r) \quad (\text{kW}) \quad (4.2)$$

- využiteľné množstvo geotermálnej energie – E:

$$E = 24 \cdot m_{gtv} \cdot c_v \cdot \rho \cdot (\Theta_0 - \Theta_r) \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (\text{MWh}) \quad (4.3)$$

- množstvo geotermálnej energie pripadajúcej na straty v rozvodoch – E₁:

$$E_1 = 24 \cdot m_{gtv} \cdot c_v \cdot \rho \cdot (\Theta_0 - \Theta_2) \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (\text{MWh}) \quad (4.4)$$

- užitočne využité množstvo geotermálnej energie - E_u :

$$E_u = 24 \cdot m_{gtv} \cdot c_v \cdot \rho \cdot (\Theta_2 - \Theta_4) \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (\text{MWh}) \quad (4.5)$$

- odpadové množstvo geotermálnej energie – E_o :

$$E_o = 24 \cdot m_{gtv} \cdot c_v \cdot \rho \cdot (\Theta_4 - \Theta_r) \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (\text{MWh}) \quad (4.6)$$

Kde:

n – počet dní exploatacie (d)

m_{gtv} – výdatnosť geotermálneho zdroja (l/s)

V – špecifický objem geotermálnej vody (m^3/kg)

ρ – špecifická hustota (kg/m^3)

c_v – špecifická tepelná kapacita geotermálnej vody ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)

Θ_o – teplota geotermálnej vody na hlave vrtu ($^{\circ}\text{C}$)

Θ_2 – teplota geotermálnej vody v meracom bode 2 ($^{\circ}\text{C}$)

Θ_4 – teplota geotermálnej vody v meracom bode 4 ($^{\circ}\text{C}$)

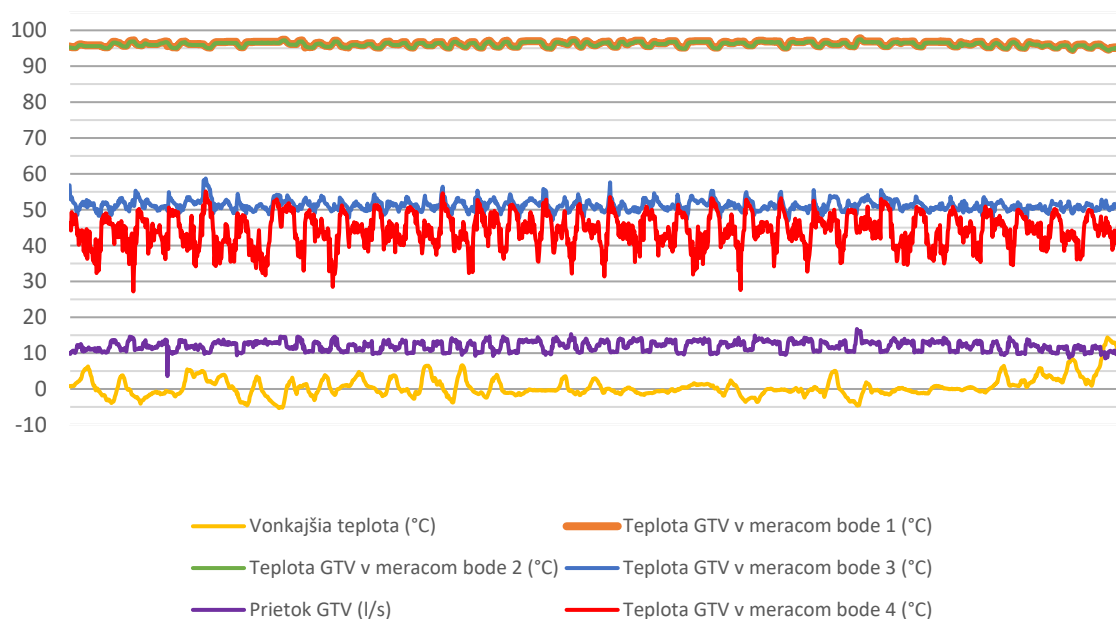
Θ_r – referenčná teplota ochladenia geotermálnej vody (otvorené systémy $+15^{\circ}\text{C}$, pri uzavretých systémoch sa rovná teplote ochladenej geotermálnej vody) [8].

4.3 Výsledky experimentálnych meraní

Výsledky experimentálnych meraní sú rozdelené podľa toho, akým spôsobom je geotermálna voda v jednotlivých 3-mesačných obdobiach využívaná na zimné, letné a prechodné obdobie. V rámci autoreferátu je pre každé obdobie vybraný jeden mesiac, aj keď v rámci dizertačnej práce sú merané údaje pre všetky 3 mesiace v rámci jedného obdobia.

Zimné obdobie

Medzi dominantné mesiace pre zimné obdobie patria január, február a december. V tomto období sa geotermálna voda využíva na prípravu teplej vody a pre zásobovanie teplom a je čerpaná z vrtu VM-1 za pomoci hlbinného čerpadla s frekvenčným meničom otáčok. Na obrázku 4.3 sa nachádza priebeh nameraných veličín v mesiaci január 2020.

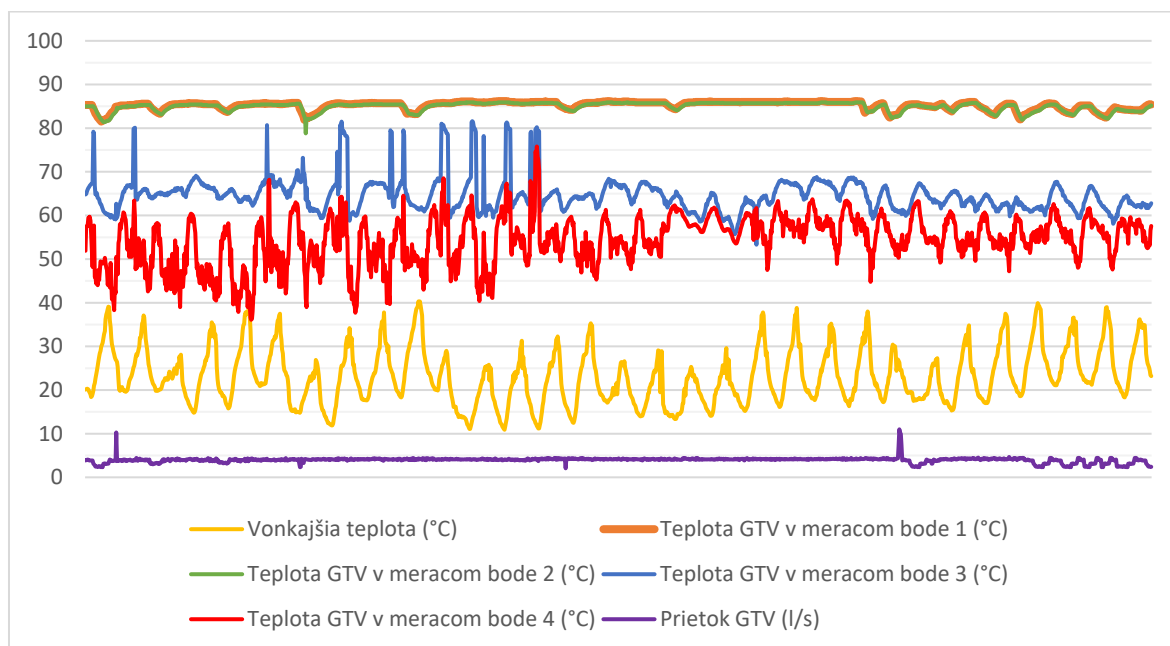


Obr. 4.3 Priebeh sledovaných hodnôt v mesiaci január 2020

Na základe obrázka 4.3 môžem konštatovať, že rozdiel medzi teplotou GTV čerpanou z vrtu (oranžová) a teplotou GTV po odplynení (zelená) je minimálny k čomu prispieva aj to, že geotermálny vrt sa nachádza v pomerne malej vzdialenosti od kotolne Stred I. (33,0 m od budovy) a tiež to, že potrubné rozvody sú zaizolované. Teplota GTV vstupujúcej do výmenníka VT (modrá) sa pohybuje v rozsahu 48 – 55 °C a teplota odchádzajúcej GTV z tohto systému (červenou) sa pohybuje v rozpätí 32 – 53 °C, prietok geotermálnej vody v mesiaci január sa pohybuje v rozsahu 9-15 l/s. v závislosti od vonkajšej teploty a množstve dopravovanej GTV do systému pomocou hlbinného čerpadla s frekvenčným meničom.

Letné obdobie

V rámci letných mesiacov sa GE využíva na prípravu teplej vody vo všetkých odberných miestach. Medzi dominantné mesiace letného obdobia patria jún, júl a august 2020. Počas júna sa GTV z vrtu VM-1 čerpá pomocou hlbinného čerpadla, avšak počas júla a augusta sa GTV z vrtu získava voľným prelivom, teda čerpadlo je vypnuté. Na obrázku 4.4 sa nachádza priebeh meraných veličín v júli 2020.

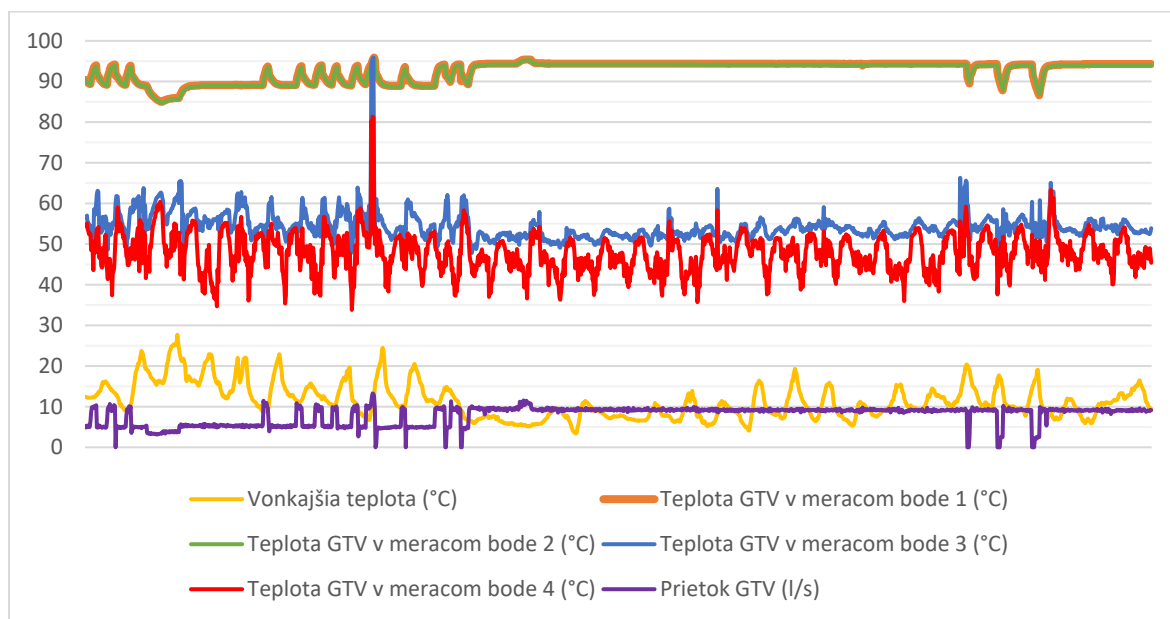


Obr. 4.4 Priebeh sledovaných hodnôt v mesiaci júl 2020

Obdobne ako v zimnom období aj v letnom období je rozdiel medzi GTV získavanou z vrtu a GTV po odplynení minimálny vďaka vhodne zvolenej hrúbke izolácie potrubí a malej vzdialenosti vrtu od kotolne. V letnom období je teplota odchádzajúcej vody zo systému kotolne Stred I. už vo vyššom rozsahu ako v zimnom období, pretože v lete sa geotermálna voda využíva len na prípravu teplej vody a tým pádom v tomto období je potrebné omnoho nižšie množstvo GE. Teplota GTV vstupujúcej do VT v júli 2020 sa pohybuje v rozsahu 58 – 80 °C, teplota opadovej GTV sa pohybuje v rozsahu 40 – 65 °C, prietok GTV sa pohybuje v tomto mesiaci v rozsahu 2- 5 l/s. V niektorých častiach grafu môžeme vidieť aj značný pokles v teplote GTV odchádzajúcej zo systému. Tento pokles sa vyskytuje najmä v nočných hodinách, kedy je menší dopyt po TV.

Prechodné obdobie

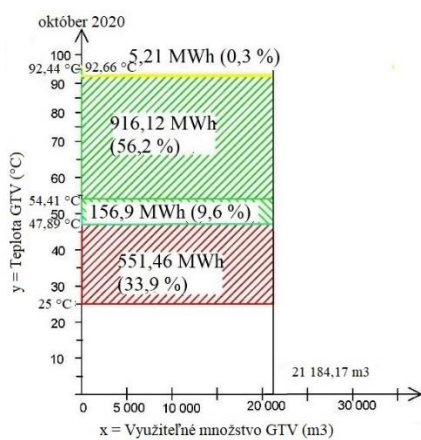
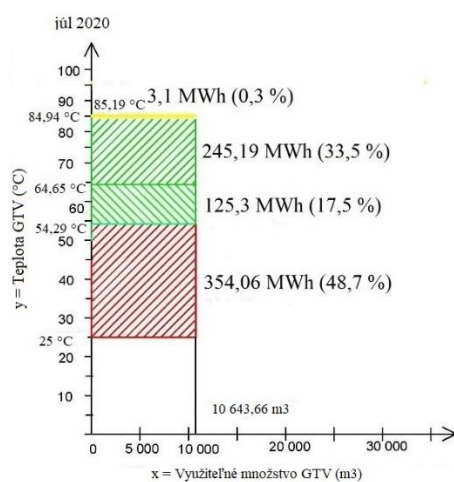
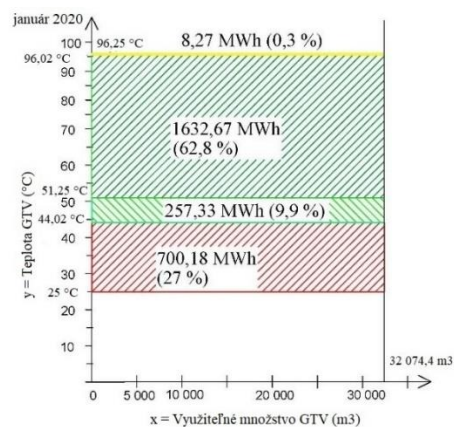
V rámci prechodného obdobia sa GE využíva na prípravu teplej vody počas celého obdobia a čiastočne aj pre zásobovanie teplom v prípade dní s vonkajšou teplotou nižšou ako 13 °C. V rámci autoreferátu som ako ukážkový mesiac zvolila október 2020. Od septembra sa GTV z vrtu VM-1 opäť získava čerpaním pomocou hlbinného čerpadla s frekvenčným meničom otáčok.



Obr. 4.5 Priebeh sledovaných hodnôt v mesiaci október 2020

Obdobne ako v zimnom a letnom období aj v prechodnom období je rozdiel medzi GTV získavanou z vrtu a GTV po odplynení minimálny (cca 0,2 – 0,4 °C) vďaka vhodnej hrúbke izolácií potrubných rozvodov a malej vzdialenosti vrtu od kotolne. V prechodnom období sa GE využíva nielen na prípravu teplej vody, ale v niektorých dňoch už aj pre zásobovanie teplom (táto skutočnosť je závislá od vonkajšej teploty). Teplota GTV vstupujúcej do VT sa pohybuje v rozsahu 50 – 60 °C, teplota opadovej GTV sa pohybuje v rozsahu 38 – 52 °C, prietok GTV sa pohybuje v tomto mesiaci v rozsahu 1- 10 l/s v závislosti od požiadavky na využité množstvo GTV a od vonkajšej teploty. V niektorých častiach grafu môžeme vidieť aj značný pokles v teplote GTV odchádzajúcej zo systému. Tento pokles sa vyskytuje najmä v nočných hodinách, kedy je menší dopyt po TV.

Na základe nameraných hodnôt sme si vyrátali aj hodnoty pre celkové, užitočne využité a odpadové množstvo geotermálnej energie v jednotlivých mesiacoch, ktoré sú dobrým ukazovateľom hospodárenia s geotermálnym systémom v mesiacoch január, júl a október.



Obr. 4.6 Celkové, užitočné a odpadové množstvo GE v mesiacoch január, júl a október

Na obrázku 4.6 sa nachádza vyobrazenie celkového využiteľného množstva GE, užitočne využitého a odpadového množstva GE v jednotlivých mesiacoch v januári, júli a októbri v roku 2020. Z obrázkov vidíme, že užitočne využité množstvo GE predstavovalo v januári 1 890,01 MWh GE (72,7 %), v júli to bolo 370,5 MWh GE (51 %) a v októbri to bolo 1 073,01 MWh GE (65,8 %). Odpadového množstva GE bolo v januári 700,18 MWh GE (27 %), v júli to bolo 354,06 MWh GE (48,7 %) a v októbri to bolo 551,46 MWh GE (33,9 %). Z tejto skutočnosti môžeme konštatovať, že v zimnom a prechodnom období je GE využívaná relatívne optimálne, avšak v lete je treba túto prevádzku optimalizovať. Časť z odpadového množstva GE z kotolne Stred I. sa ešte ďalej využíva v iných systémoch – menších kotolniciach a kúpalisku (avšak tieto systémy už nie sú predmetom skúmania v rámci tejto dizertačnej práce).

4.4. Analýza meraní

Hospodárenie s geotermálnou energiou v geotermálnom energetickom systéme vo Veľkom Mederi je z roka na rok optimálnejšie keďže každý rok sa pri prevádzke vychytávajú postupne nedostatky, avšak ešte stále je na tomto systéme čo vylepšovať, tak aby sa dosiahlo ešte hospodárnejších výsledkov, najmä počas letnej prevádzky, ktorá je najmenej optimalizovaná z hľadiska hospodárenia s geotermálnou energiou. Diskusiu k jednotlivým nameraným výsledkom je možné rozdeliť na tri menšie podkapitoly na základe vyhodnocovaných výsledkov vzhľadom na jednotlivé obdobia v roku, kedy sa menia požiadavky na využívanie geotermálneho zdroja a to na:

- diskusiu k nameraným výsledkom v zimnom období,
- diskusiu k nameraným výsledkom v letnom období,
- diskusiu k nameraným výsledkom v prechodnom období.

4.4.1 Zimné obdobie

Z meraných údajov a ich vyhodnotenia vyplýva, že využívanie geotermálnej energie počas zimných mesiacov v roku 2020 je optimálne, keďže miera využitia geotermálnej energie sa pohybuje okolo 70 % čo je priaznivá hodnota aj vzhľadom na to, že geotermálna energia sa ďalej ešte využíva vo vykurovacom systéme v poliklinike a v termálnom kúpalisku, avšak táto ďalšia skutočnosť nie je podstatou riešenia tejto dizertačnej práce. V rámci zimných mesiacov sa geotermálna energia v teplovodnej kotolni Stred I. využíva na vykurovanie

okolitých objektov (cca 1 600 bytov a ďalších administratívnych budov) a taktiež aj na prípravu teplej vody. Počas zimných mesiacov je v prevádzke aj hlbinné ponorné čerpadlo, ktorým sa geotermálna voda dopravuje do tohto systému, teda množstvo dopravovanej geotermálnej vody do systému je upravované podľa požiadaviek na potrebné množstvo geotermálnej vody.

4.4.2 Letné obdobie

Počas letných mesiacov (jún, júl a august) sa geotermálna voda z vrtu VM-1 využíva len na prípravu teplej vody. Avšak narozdiel od zimných mesiacov dosahuje miera využitia geotermálnej energie len 45 – 50 %, čo priaznivé rozhodne nie je. Geotermálna voda sa počas týchto mesiacov získava väčšinou voľným prelivom – júl a august a len v júni je v tomto období spustené hlbinné ponorné čerpadlo, čo tiež spôsobuje ne hospodárnosť s využívaním geotermálnej energie, keďže množstvo privádzanej geotermálnej vody nie je okamžite regulované na základe okamžitých spotrebných požiadaviek.

V rámci prechodného obdobia je využívanie GE vyhovujúce vtedy ak sa GE využíva aj na prípravu teplej vody a aj pre zásobovanie teplom. Pre zásobovanie teplom sa využíva v tých dňoch prechodného obdobia, kedy vonkajšia teplota poklesne pod 13 °C.

4.4.4 Návrh riešení pre zlepšenie prevádzky

Optimalizovať túto prevádzku pomáha práve hlbinné ponorné čerpadlo s frekvenčným meničom otáčok zabudované v geotermálnom vrte VM-1, ktoré je spustené od septembra do júna, avšak v júli a auguste je geotermálna voda získavaná len voľným prelivom. Spotrebovaná elektrická energia na pohon ponorného hlbinného čerpadla nie je vysoká. Priemerný výkon tohto čerpadla predstavoval pre mesiace marec - jún 5 kW, a pre ostatné mesiace sa výkon hlbinného ponorného čerpadla s frekvenčným meničom otáčok pohyboval v rozsahu 6 – 16 kW.

Preto ako vhodnú možnosť optimalizácie tejto prevádzky vidím zníženie množstva dopravovanej GTV do tohto systému, ktorú môžeme dosiahnuť buď ručným znížením dopravovaného množstva GTV na hlave vrtu v letných mesiacoch kedy je vypnuté čerpadlo (po dohode s geológmi), prípadne spustením hlbinného čerpadla do prevádzky. Taktiež treba spomenúť aj to, že aj napriek tomu, že využívanie geotermálnej energie nie je vždy úplne optimálne, jej využitím sa zníži množstvo emisií vypúšťaných do ovzdušia, keďže

pôvodným zdrojom tepla v tejto teplovodnej kotolni boli kotle na zemný plyn, ktoré úplne nahradila geotermálna energia.

V rámci nasledujúcej kapitoly, ktorá sa zaoberá simuláciami rozloženia teplôt v doskovom výmenníku tepla s označením VT pri rôznej zmene prietokov bude ukázané, či je navrhované riešenie pre zlepšenie prevádzky správne, nakoľko bude vidieť, či sa odpadová teplota z tohto GES znižuje pri takejto zmene alebo nie.

4.5 Čiastkový záver

Keď si zhrnieme jednotlivé grafy a namerané údaje za jednotlivé mesiace v roku 2020 môžeme konštatovať, že využívanie GE v rámci zimného obdobia je optimálne, keďže okrem prípravy teplej vody sa GE využíva aj pre zásobovanie teplom narozdiel od letného obdobia kedy máme následne prebytok geotermálnej energie. V rámci prechodného obdobia je využívanie GE optimálne vtedy ak sa GE využíva aj na prípravu teplej vody a aj pre zásobovanie teplom. Hlbinné čerpadlo s frekvenčným meničom otáčok pomáha optimalizovať odberné množstvo GE z vrtu VM – 1 na základe vonkajšej teploty aj požiadavkám v distribučnej sieti. Avšak v mesiacoch júl a august je toto čerpadlo vypnuté a geotermálna voda je získavaná z vrtu VM-1 voľným prelivom.

5. Simulácie

Simulácie doskového výmenníka s označením VT v GES vo Veľkom Mederi som spracovala v simulačnom CFD programe ANSYS FLUENT. Tento program zo simulačného balíka ANSYS sa využíva pre simulácie fyzikálnych charakteristík v tekutinách, v mojom prípade som sa zaoberala simuláciami rozloženia teplôt vo výmenníku tepla s označením VT, ktorý slúži na predohrev teplej vody. Spracovala som dva typy simulácií jednu pre charakteristické dni počas letného obdobia a jednu pre zimné obdobie.

5.1 Cieľ simulácií

Cieľom simulácií je vytvoriť simulácie rozloženia teplôt v doskovom výmenníku tepla VT a taktiež aj simulácie zmeny priebehu výstupnej teploty GTv pri menených okrajových podmienkach.

5.2 Metodika riešenia simulácií

Tvorba simulácií v rámci programu ANSYS pozostáva z viacerých krokov a to:

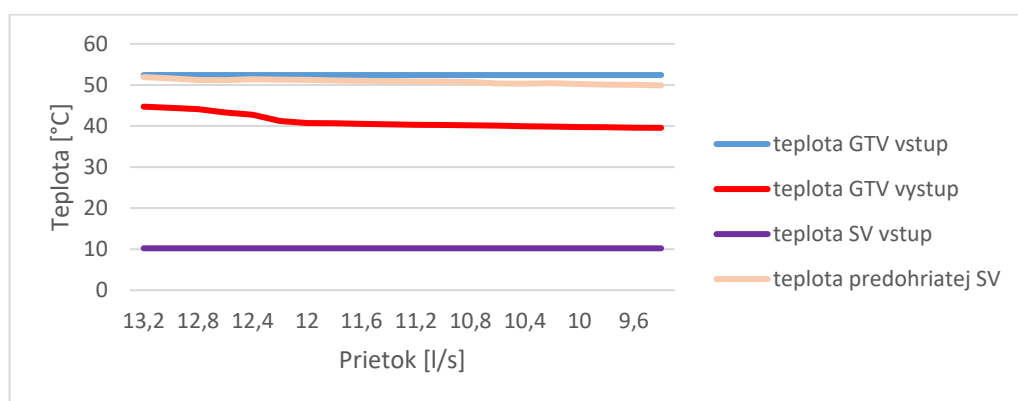
1. Vytvorenie 3D modelu simulovaného objektu – výmenníka tepla s označením VT v podprograme Space Claim-e.
2. Ďalším krokom je tvorba siete, ktorá zobrazuje jednotlivé elementárne plôšky, v ktorých dochádza k výpočtu nami zvolených parametrov.
3. Zadanie okrajových podmienok a riešenia pre solver (výpočtovú časť simulačného programu).
4. Vytvorenie a zobrazenie simulovaných charakteristík.

5.3 Výsledky simulácie

Výsledky simulácií som rozdelila na dva väčšie celky a to simulácie v rámci zimného a simulácie v rámci letného obdobia.

Simulácie v rámci zimného obdobia

Na obrázku 5.1 môžeme vidieť priebeh zmeny výstupných teplôt GTV na základe menených prietokov v simuláciách. Vstupné teploty zostávali nezmenené, menili sa len prietoky.



Obr. 5.1 - Zmena priebehu výstupných teplôt na základe zmeny prietoku v zimnom období

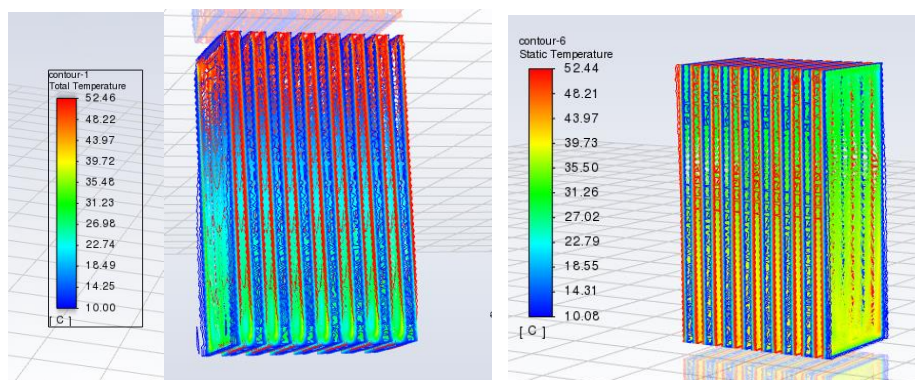
Na základe obrázka 5.1 môžem konštatovať, že pri znižovaní vstupného prietoku GTV dochádza aj k znižovaniu teploty odpadovej GTV. Ako vstupná teplota GTV bola zvolená nameraná teplota 52,4 °C, počiatočný prietok GTV bol 13,2 l/s. Ako vstupná hodnota SV bola zvolená teplota 10,2 °C a počiatočný prietok SV bol 3,24 l/s. V simulácii som menila v tomto prípade len prietok GTV.

Na nasledujúcom obrázku (Obr. 6.2) sa nachádza simulácia rozloženia teplôt v rámci doskového výmenníka tepla VT s nameranými hodnotami a jednou vybranou simulačnou alternatívou. Vstupné údaje pre pôvodný stav v rámci simulácie v zimnom období boli nasledujúce:

- vstupná teplota na primárnej strane – 52,4 °C,
- výstupná hodnota na primárnej strane – 44,7 °C,
- vstupná teplota na sekundárnej strane – 10,2 °C,
- výstupná hodnota na sekundárnej strane – 51,9 °C,
- vstupný prietok geotermálnej vody – 13,2 l/s,
- vstupný prietok studenej vody – 3,24 l/s.

Zmenené prietoky vstupujúce do alternatívy simulácie sú:

- vstupný prietok geotermálnej vody – 10,0 l/s,
- vstupný prietok studenej vody – 4,5 l/s.

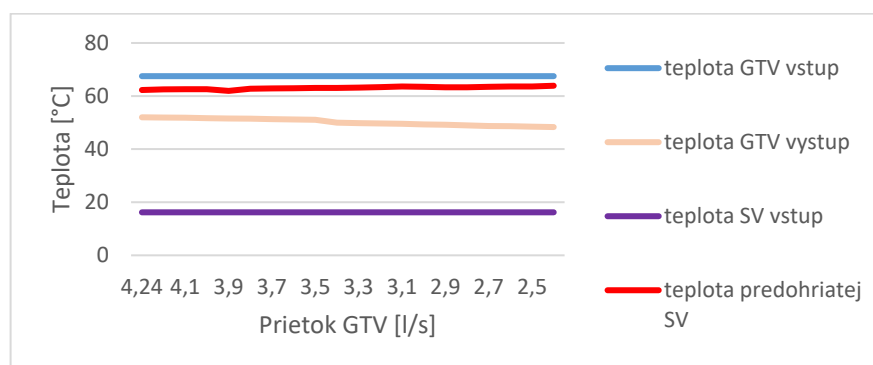


Obr. 5.2 - Rozloženie teplôt v doskovom výmenníku tepla VT v zime (vľavo – pôvodný stav, vpravo – zmenené okrajové podmienky)

Z obrázka 5.2 vidíme, že výstupná teplota GTV v pôvodnom stave bola 44,7 °C, avšak po znížení prietoku dopravovanej GTV a zvýšení prietoku studenej vody do výmenníka tepla dostaneme príznaivejší výsledok – teplota odpadovej vody bude 39,72 °C.

Simulácie v rámci letného obdobia

Na obrázku 5.3 môžeme vidieť priebeh zmeny výstupných teplôt GTV na základe menených prietokov v simuláciách v letnom období. Vstupné teploty zostávali nezmenené, menili sa len prietoky.



Obr. 5.3 - Zmena priebehu výstupných teplôt na základe zmeny prietoku v zimnom období

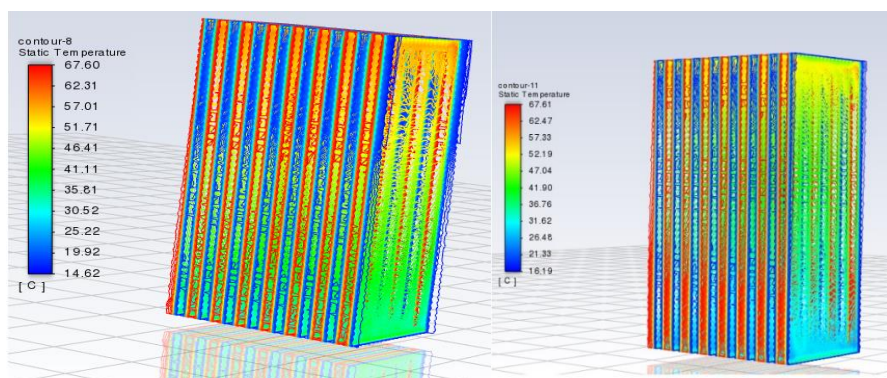
Na základe obrázka 5.3 môžeme konštatovať, že pri znižovaní vstupného prietoku GTV dochádza aj k znižovaniu teploty odpadovej GTV. Ako vstupná teplota GTV bola zvolená nameraná teplota 67,5 °C, počiatočný prietok GTV bol 4,24 l/s. Ako vstupná hodnota SV bola zvolená teplota 16,2 °C a počiatočný prietok SV bol 1,76 l/s. V simulácii som menila v tomto prípade len prietok GTV.

Na nasledujúcom obrázku (Obr. 5.4) sa nachádza simulácia rozloženia teplôt v rámci doskového výmenníka tepla VT s nameranými hodnotami a jednou vybranou simulačnou alternatívou v letnom období. Vstupné údaje pre pôvodný stav v rámci simulácie v letnom období boli nasledujúce:

- vstupná teplota na primárnej strane – 67,5°C,
- výstupná hodnota na primárnej strane – 54,0 °C,
- vstupná teplota na sekundárnej strane – 16,2 °C,
- výstupná hodnota na sekundárnej strane – 62,3 °C,
- vstupný prietok geotermálnej vody – 4,24 l/s,
- vstupný prietok studenej vody – 1,76 l/s.

Zmenené prietoky vstupujúce do alternatívy simulácie sú:

- vstupný prietok geotermálnej vody – 2,4 l/s,
- vstupný prietok studenej vody – 2,8 l/s.



Obr. 5.4 - Rozloženie teplôt v doskovom výmenníku tepla VT v lete (vľavo – pôvodný stav, vpravo – zmenené okrajové podmienky)

Z obrázka 5.4 vidíme, že výstupná teplota GTV v pôvodnom stave bola 54,0 °C, avšak po znížení prietoku dopravovanej GTV a zvýšení prietoku studenej vody do výmenníka tepla dostaneme prizanivejší výsledok – teplota odpadovej vody bude 48,32 °C.

5.5 Analýza výsledkov

V rámci simulácií som sa venovala simuláciám rozloženia teplôt v doskovom výmenníku tepla s označením VT. Cieľom simulácií bolo ukázať, že pri zmenách prietoku vstupujúcej geotermálnej vody a studenej vody do tohto výmenníka tepla sa dá znížiť teplota odpadovej geotermálnej vody zo systému teplovodnej kotolne Stred I. vo Veľkom Mederi. Pre simulácie na tomto výmenníku tepla som sa rozhodla preto, lebo je to presne ten výmenník tepla, z ktorého na primárnej strane opúšťa teplovodnú kotolňu Stred I. odpadová geotermálna voda. Simulácie som robila v študentskej verzii programu ANSYS FLUENT. Vytvorila som viacero simulácií zvlášť pre zimnú a zvlášť pre letnú prevádzku.

5.5.1 Analýza výsledkov pre simulácie v zimnom období

V rámci zimnej prevádzky som vytvorila viacero simulácií, aby som vedela ukázať ako sa postupne pri zmene prietoku vstupujúcej geotermálnej aj studenej vody mení prietok a teplota výstupnej vody z doskového výmenníka tepla. Výsledky sú znázornené graficky a následne tri vybrané z týchto výsledkov aj vyobrazené ako 3D farebné modely s rozložením teplôt. Ako prvý je farebne vyobrazený pôvodný stav. Pričom vstupné hodnoty boli:

- vstupná teplota na primárnej strane – $\Theta_3 = 52,4$ °C,

- vstupná teplota studenej vody na sekundárnej strane – $\Theta_{sv} = 10,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- výstupná teplota na sekundárnej strane – $\Theta_5 = 51,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- vstupný prietok geotermálnej vody – $m_{gtv} = 13,2 \text{ l/s}$,
- vstupný prietok studenej vody – $m_{stv} = 3,24 \text{ l/s}$.

Následne je vyobrazený variantný stav, pričom zmenené boli len prietoky vstupujúcej geotermálnej a studenej vody do výmenníka tepla nasledovne:

- vstupný prietok geotermálnej vody – $10,0 \text{ l/s}$,
- vstupný prietok studenej vody – $4,5 \text{ l/s}$.

Pri pôvodných podmienkach bola teplota geotermálnej vody odchádzajúcej z teplovodnej kotolne Stred I. $44,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, po zmenenom variante klesla na $39,72 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Variantov bolo vytvorených viac, len tieto výsledky sú zhrnuté z 3D simulovaných modelov, ktoré boli vybrané na základe väčšieho množstva simulácií, ktorých výsledky boli zhrnuté v grafe.

5.5.2 Analýza výsledkov pre simulácie v letnom období

V rámci letnej prevádzky som takisto ako pri simuláciách v zimnej prevádzke vytvorila viacero simulácií, aby som vedela ukázať ako sa postupne pri zmene prietoku vstupujúcej geotermálnej aj studenej vody mení prietok a teplota výstupnej vody z doskového výmenníka tepla. Výsledky sú znázornené graficky a následne tri vybrané z týchto výsledkov aj vyobrazené ako 3D farebné modely s rozložením teplôt. Ako prvý je farebne vyobrazený pôvodný stav. Pričom vstupné hodnoty boli:

- vstupná teplota na primárnej strane – $\Theta_3 = 67,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- vstupná teplota studenej vody na sekundárnej strane – $\Theta_{sv} = 16,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- výstupná teplota na sekundárnej strane – $\Theta_5 = 62,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- vstupný prietok geotermálnej vody – $m_{gtv} = 4,24 \text{ l/s}$,
- vstupný prietok studenej vody – $m_{stv} = 1,76 \text{ l/s}$.

Následne je vyobrazený variantný stav, pričom zmenené boli len prietoky vstupujúcej geotermálnej a studenej vody do výmenníka tepla nasledovne:

- vstupný prietok geotermálnej vody – $2,4 \text{ l/s}$,
- vstupný prietok studenej vody – $2,8 \text{ l/s}$.

Pri pôvodných podmienkach bola teplota geotermálnej vody odchádzajúcej z teplovodnej kotolne Stred I. 62,3 °C a po zmenenom variante klesla ešte na 48,32 °C. Variantov bolo vytvorených viac, avšak tieto boli vybraté ako názorné ukážky v 3D. Najvhodnejším variantom pre nastavenie prietokov pre optimalizáciu prevádzky je práve 2. variant zmeny okrajových podmienok v rámci letnej prevádzky, keďže teplota odchádzajúcej GTV z tohto systému bola najnižšia.

5.5.3 Návrh riešenia

Ako je z výsledkov simulácií zrejmé, zníženie teploty odpadovej GTV sa dá dosiahnuť práve reguláciou prietoku GTV vstupujúcej do výmenníka tepla VT, ktorú je možné dosiahnuť znížením prietoku už na hlave vrtu VM-1. Preto by bolo vhodné znížiť na základe dohody s geologickým ústavom prietok GTV v letných mesiacoch manuálne na hlave vrtu. Znížením prietoku v letných mesiacoch by sa okrem dosiahnutia lepších výsledkov odpadovej GTV z geotermálneho energetického systému vo Veľkom Mederi dosiahlo aj značné predĺženie životnosti tohto systému.

5.4 Čiastkový záver

Zo simulácií som zistila, že v rámci optimalizácie a predĺženia životnosti systému by bolo vhodné v rámci tohto GES v letnej prevádzke znížiť objemový prietok GTV vstupujúcej do výmenníka tepla VT a teda aj celého systému a týmto spôsobom vlastne optimalizovať túto prevádzku.

6. Mapa geotermálnych vrtov

Ako súčasť dizertačnej práce som vytvorila aj mapu s geotermálnymi vrtmi, v ktorej sú okrem umiestnenia vrtov aj znázornené základné charakteristiky geotermálnych vrtov.

6.1 Cieľ vytvorenia mapy

Cieľom vytvorenia mapy bolo sprístupniť prehľad geotermálnych vrtov vo forme aktuálnej mapy pre všetkých ľudí.

6.2 Metodika práce

Mapu geotermálnych vrtov som spracovala s pomocou geologických a hydrogeologických údajov a za pomoci Google Earth Pro. Tvorba mapy pozostávala z dvoch na seba nadväzujúcich krokov:

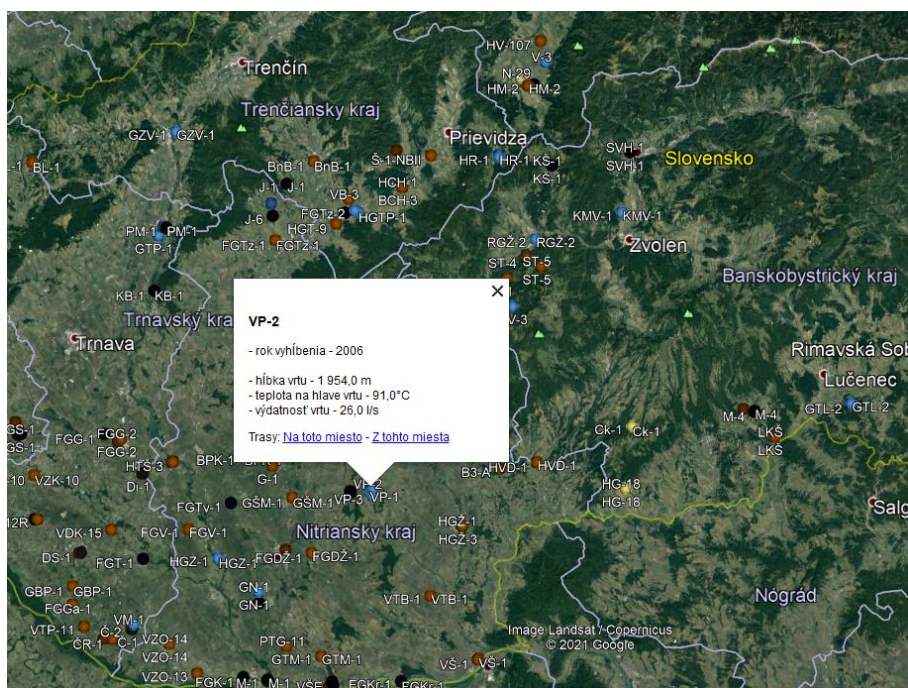
1. Vytvorenie tabuľky so základnými charakteristikami a lokáciou vrtov, ktorá slúžila ako podklad pre zadávanie údajov k jednotlivým vrtom
2. Vytvorenie mapy vrtov v google earth pro.

6.1 Výsledná mapa

Na základe vypracovanej mapy geotermálnych vrtov, môžem povedať, že v súčasnosti sa na Slovensku nachádza 172 zdokumentovaných geotermálnych vrtov, pričom ich teploty sa pohybujú v rozsahu 17,0 – 129,0 °C, hĺbky sú od 56,0 – do 4 000,0 m.

Tab. 6.1 – časť spracovanej tabuľky geotermálnych vrtov slúžiaci ako podklad pre mapu geotermálnych vrtov

Poradové číslo	Označenie vrtu	Lokalita	Súradnice - šírka	Súradnice - dĺžka	Rok vyhlbenia	Hĺbka	Teplota na hlave vrtu	Výdatnosť
			W	L		l	Θ_0	m_0
			(° ' ")	(° ' ")		(m)	(°C)	(l/s)
128	RK-22	Rajec	49°05'41"	18°38'06"	1974	1308	27,0	22,0
129	RKZ-1	Bátka	48°22'47"	20°11'37"	1989	658	-	-
130	RTŠ-1	Kamenná Poruba	49°06'05"	18°41'25"	1991	1830	41,0	13,4
131	S-1	Šipice	49°09'13"	19°09'09"	1968	83	20,0	1,0
132	S-21	Stretava	48°34'58"	22°03'15"	1972	3738	55,0	0,3
133	SB-1	Patince	47°44'50"	18°18'30"	1959	226	26,0	29,1
134	SB-2	Patince	47°44'51"	18°18'30"	1972	160	27,0	45,0
135	SB-3	Patince	47°44'51"	18°18'33"	1982	170	26,0	29,4



Obr. 6.1 Mapa geotermálnych vrtov v Google Earth pro so zobrazením údajov o vrtu.

7. Mobilná aplikácia pre výpočet energetických parametrov GTV

V rámci dizertačnej práce som vytvorila aj mobilnú aplikáciu pre výpočty základných energetických parametrov geotermálnych vôd. Aplikáciu je možné stiahnuť pod názvom Geotermia v Google Play Store.

7.1 Cieľ vytvorenia aplikácie

Cieľom vytvorenia aplikácie s názvom Geotermia je uľahčenia a urýchlenie výpočtu základných energetických parametrov geotermálnej vody, medzi ktoré patria:

- M – využiteľné množstvo geotermálnej vody [m^3],
- Q – energetický potenciál geotermálnej vody [kW],
- E – využiteľné množstvo geotermálnej energie [MWh].

7.2 Metodika tvorby aplikácie

Mobilnú aplikáciu s názvom geotermia som vytvorila vo vývojarskom prostredí Android Studio, ktoré slúži na programovanie aplikácii pre smartfóny s operačným systémom Android. Aplikácia je programovaná v programovacom jazyku Java.

7.3 Výsledná aplikácia

Mobilná aplikácia beží postupne v troch na seba nadväzujúcich oknách, ktoré sú zobrazené na obrázku 7.1.

The image displays three sequential screenshots of a mobile application titled "Geothermia" by Soňa Gažíková. The interface is designed for calculating geothermal energy parameters.

Screenshot 1 (Left): Shows the "Vstupné hodnoty:" (Input values) section. It includes a text box with instructions: "Táto aplikácia slúži na výpočet základných energetických parametrov geotermálnej energie, ktorými sú: M - Využitelné množstvo geotermálnej vody (GTV), Q - využitelný energetický potenciál geotermálnej vody, E - využitelné množstvo energie". Below this are input fields for:

- hustota GTV - ρ [kg/m³]: 997
- teplota na hlave vrtu θ [°C]: 85,7
- špecifická tepelná kapacita c [kJ/kg * °C]: 4,1882
- výdatnosť vrtu - m [l/s]: 7,23
- počet dní plošné: 25 (selected from a dropdown menu with options 15 and 30)

 Buttons at the bottom are "ZADAŤ HODNOTY" and "VÝPOČITAŤ".

Screenshot 2 (Middle): Shows the "Výsledné hodnoty" (Output values) section. It displays the calculated results:

- M [m³]: 18740.16
- Q [kW]: 1832.5233
- E [MWh]: 1319.4167

 A button at the bottom is labeled "NASPÄŤ NA VÝPOČET".

Screenshot 3 (Right): This is a duplicate of the middle screenshot, showing the same output values and the "NASPÄŤ NA VÝPOČET" button.

Obr. 7.1 – Vzhľad aplikácie

V mobilnej aplikácii môžeme vstupné hodnoty ľubovoľne prepisovať podľa reálnych hodnôt. Po ich zadaní stačí kliknúť na tlačidlo vypočítať. Ak sa chceme vrátiť a upraviť po výpočte ešte vstupné hodnoty, netreba aplikáciu púšťať nanovo, ale len kliknú na tlačidlo naspäť na výpočet.

8. Prínosy dizertačnej práce

Dosiahnuté výsledky, ku ktorým sme dospeli pri riešení problematiky dizertačnej práce s názvom „Optimalizácia tepelného hospodárstva s využitím vlastných energetických zdrojov na báze OZE“ môžeme zhrnúť s dôrazom na ich uplatnenie nielen v rámci rozvoja vedy, ale aj v rámci spoločenskej praxe.

8.1 Prínosy pre vedný odbor

Prínosy tejto dizertačnej práce pre ďalší rozvoj vedy vyplývajúce z tejto dizertačnej práce sú nasledovné:

1. Analýza súčasného stavu problematiky – rieši súčasný stav využívania geotermálnej energie a systémov CZT.
2. Analýzou a vyhodnotením experimentálnych meraní som prišla k záveru, že prevádzku geotermálneho energetického systému je možné optimalizovať relatívne jednoduchým spôsobom a to zlepšením regulácie množstva dopravovanej geotermálnej vody do tohto systému. Obdobne by sa dalo pracovať aj so zlepšením podmienok prevádzky aj iných nie úplne vyhovujúcich prevádzok na Slovensku.
3. CFD simulácie nám poskytujú informácie o tom, že systém je možné optimalizovať tak, aby sa zvýšilo využívanie geotermálnej energie v systéme a znížilo sa množstvo odpadovej energie odchádzajúcej zo systému.

8.2 Prínosy pre technickú a spoločenskú prax

Prínosy tejto dizertačnej práce pre technickú a spoločenskú prax vyplývajúce z tejto dizertačnej práce sú nasledovné:

1. Obsah práce a analýza stavu problematiky je informatívnym materiálom pre všetkých ľudí z oblasti technickej aj spoločenej praxe.
2. Výsledky experimentálnych meraní a následná optimalizácia systému pomocou simulácie sa dá obdobne preveriť pre rôzne výmenníky tepla, ktoré využívajú geotermálnu energiu na primárnej strane, pričom môžu pomôcť pri optimalizácii prevádzok.
3. Mapa geotermálnych vrtov poskytuje prehľadné základné informácie o geotermálnych vrtoch na Slovensku spolu so zobrazením ich umiestnenia v rámci Slovenska.
4. Mobilná aplikácia pre základné energetické výpočty geotermálnych vôd je pomocníkom pre rýchle výpočty energetických parametrov akéhokoľvek zdroja geotermálnej vody, ak poznáme jeho základné parametre.

9. Záver

Predkladaná dizertačná práca sa zaoberá analýzou hospodárnosti využívania geotermálnej vody v rámci teplovodnej kotolne Stred I. vo Veľkom Mederi na základe meraných údajov získaných cez vzdialený prístup do databázy Niagara Networks, ktorá slúži na ukladanie meraných dát a kontrolu stavu celého systému. Geotermálna voda sa síce ešte ďalej využíva v menšej kotolni a termálnom kúpalisku, avšak toto nie je riešením tejto dizertačnej práce.

Najskôr boli zanalyzované merané údaje a na základe ich spracovania bola vyhodnotená hospodárnosť využívania geotermálnej vody. Údaje boli rozdelené do troch typov a to na údaje zo zimného, letného a prechodného obdobia. Toto rozdelenie bolo vytvorené na základe toho, akým spôsobom sa geotermálna voda využíva v tomto systéme. Z vyhodnotených údajov som zistila nasledujúce skutočnosti:

- V rámci zimnej prevádzky, kedy sa geotermálna voda využíva na prípravu teplej vody aj vykurovanie a je spustené hlbinné ponorné čerpadlo s frekvenčným meničom otáčok, je využívanie geotermálnej vody hospodárne, keďže jej miera využitia sa pohybuje okolo 70 - 75 %.
- V rámci letnej prevádzky nie je využívanie geotermálnej vody veľmi hospodárne, jej miera využitia sa pohybuje okolo 45 - 50 %. Avšak v rámci letnej prevádzky sa geotermálna voda využíva len na prípravu teplej vody a hlbinné čerpadlo s frekvenčným meničom otáčok nie je v prevádzke, teda geotermálna voda sa získava len voľným prelivom.
- V rámci prechodného obdobia je využívanie geotermálnej energie vyhovujúce vtedy ak sa GE využíva aj na prípravu teplej vody a aj pre zásobovanie teplom. Pre zásobovanie teplom sa využíva v tých dňoch prechodného obdobia, kedy vonkajšia teplota poklesne pod 13 °C.

Po spracovaní a vyhodnotení meraných údajov nasledovali simulácie rozloženia teplôt v doskovom výmenníku tepla s označením VT. Tento výmenník bol vybraný preto, lebo je to výmenník tepla, ktorý slúži na predohrev teplej vody a teda je to výmenník, do ktorého je priamo na vstupe sekundárnej strany dopravovaná studená voda, ktorá sa tu zmiešava s geotermálnou vodou a tiež výstup na primárnej strane tvorí odpadová geotermálna voda. Najprv som urobila simulácie pre namerané údaje a následne pre údaje, pri ktorých som menila vstupné prietoky na primárnej aj sekundárnej strane. Zistila som, že pri zmene prietoku je možné dostať nižšiu teplotu geotermálnej vody, ktorá odchádza z tohto systému.

Na základe zhodnotenia spracovaných meraných údajov a výsledkov simulácie som teda prišla k záveru, že prevádzku je možné optimalizovať zmenou prietoku geotermálnej vody v systéme najmä počas letných mesiacov.

V rámci tejto dizertačnej práce boli spracované aj dva ďalšie ciele, ktoré sa ale netýkajú už analýzy a optimalizácie prevádzky v geotermálnom energetickom systéme vo Veľkom Mederi. Tieto splnené ciele boli:

- Vytvorenie mapy geotermálnych vrtov spolu s popisom ich základných parametrov, ktoré sa zobrazia po kliknutí na konkrétny vrt na tejto mape. Link na internetovú stránku, na ktorom je možné túto mapu nájsť je uvedený v kapitole k tejto mape.
- Vytvorenie mobilnej aplikácie pre výpočet základných energetických parametrov geotermálnych vôd. Táto aplikácia je optimalizovaná len pre telefóny s operačným systémom Android a pod názvom Geotermia je voľne dostupná na Google Play Store.

Výber použitej literatúry

- [1] PETRÁŠ, D. – LULKVIČOVÁ, O. – TAKÁCS, J. – FÜRI, B. 2009. *Obnoviteľné zdroje energie pre nízko-teplotné systémy*. Bratislava : JAGA GROUP s.r.o., 2009. 223s. ISBN 978-80-8076-075-5.
- [2] VAN NGUYEN, M. – ARASON, S. – GISSURARSON, M. – PÁLSSON, P. G. *Uses of geothermal energy in food and agriculture – opportunities for developing countries*. Rím : FAO, 2015. 60 s. ISBN 978-92-5-108656-8.
- [3] GRUDA, N. – BISBIS, M. – TANNY, J. *Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production – a review*. In: *Journal of cleaner production*. 2019. Číslo: 225. Strany: 324 – 339. ISSN: 0959-6526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.295
- [4] FAHMY, F. – EL MADANY, H. – FARGHALLY, H. *Greenhouse heating systems based on geothermal energy*. In: *International journal of energy*. 2016. Číslo: 10. Strany: 1 -9. ISSN: 1998-4316.
- [5] MUGNOZZA, G. S. a kol. *Use of low-enthalpy geothermal resources for greenhouse heating: an experimental study*. In: *Acta scientium polonorum Technica Agraria*. [online]. 2012. Ročník: 11, číslo: 1-2. Strany: 13 – 19. Dostupné na internete: <<http://www.acta.media.pl/pl/action/getfull.php?id=3215>>.
- [6] POPOVSKI, K, Š- VASILEVSKA, S. P. *Heating greenhouses with geothermal energy*. International Geothermal Workshop, Rusko. 2003.
- [7] JÓHANNESSON, T. – CHATENAY, C. *Industrial applications of geothermal resources*. In: *Short course VI on utilization of low- and medium-enthalpy geothermal resources and financial aspects of utilization*. Santa Tecla, Salvádor, 23. – 29. Marec 2014.
- [8] LUND, J. – LIENAU, P.: *Geothermal district heating*. World geothermal congress. Atalya, 2005.

- [9] Európska smernica 2012/27/EU smernica európskeho parlamentu a rady z 25. 10. 2012. *Smernica o energetickej účinnosti a zmene smerníc 2009/125/ES a 2010/30/EU a zrušení smerníc 2004/8/ES a 2006/32/ES.*
- [10] Európska smernica 2000/60/ES európskeho parlamentu a rady z 23. 10. 2000. *Smernica, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva.*
- [11] Smernica európskeho parlamentu a rady 2006/118/ES z 12. 12. 2006. *Smernica o ochrane podzemných vôd pred znečistením a zhoršením kvality vôd.*
- [12] BLANÁROVÁ, V. – FENDEK, M. – FRIČOVSKÝ, B. *Využitie vodných geotermometrov v geotermálnom výskume popradskej kotliny.* In: *Podzemná voda.* 2016., 22. ročník., č. 1. strany 73-83.
- [13] BAČOVÁ, N.– ŽENIŠOVÁ, Z. – MICHALKO, J. *Chemické zloženie vôd Dudiniec, Santovky a Slatiny.* In: *Podzemná voda.* 2015., 21. ročník. č. 2 strany 63-82.
- [14] FRANKO, O.– FUSÁN, O. – KRÁL, M. *Prehľad hydrogeotermálnych pomerov Slovenska.* In: *Podzemná voda.* 1995., 11. ročník. č. 1 strany 41- 67.
- [15] Legény, J.. *Rozvoj CZT na Slovensku.* 2014. dostupné na internete: <http://files.ageo.webnode.sk/200000126-2acfe2cc2d/Rozvoj%20CZT%20na%20Slovensku%20-%20J.%20Legeny.pdf>.
- [16] JANIŠ, S.: *Postavenie systémov centralizovaného zásobovania teplom (CZT) v modernej nízkouhlíkovej energetike.* 2020. Dostupné na internete: <http://www.oenergetike.sk/teplo/postavenie-systemov-centralneho-zasobovania-teplom-czt-v-modernej-nizkoughlikovej-energetike/>.

Zoznam publikovaných prác

ADE Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch

- ADE01 GAŽÍKOVÁ, Soňa - TAKÁCS, Ján. Analysis of the using geothermal energy for spa in Kremnica. In *Magyar Épületgépészet*. Vol. 67, no. 1-2 (2018), s. 12-16. ISSN 1215-9913.
- ADE02 GAŽÍKOVÁ, Soňa - TAKÁCS, Ján - KRAJČÍK, Michal. Improving the efficiency of geothermal energy use for recreation and balneology: a case study of SPA Kremnica. In *Russian Journal of Construction Science and Technology [elektronický zdroj]*. No. 2 (2018), online, [8] s. ISSN 2413-5933.
- ADE03 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa - DERZSI, István. Otvorený geotermálny energetický systém pre zásobovanie teplom v meste Veľký Meder. In *Vytápění, větrání, instalace*. Roč. 28, č. 2 (2019), s. 82-86. ISSN 1210-1389 (2019: 0.167 - SJR, Q4 - SJR Best Q).

AFA Publikované pozvané príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

AFA01 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa. Open geothermal energy system for the heat supply in Veľký Meder. In *EXPRES 2018 [elektronický zdroj] : proceedings of the 10th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency. Subotica, Serbia, April 05-07, 2018*. 1. vyd. Subotica : Inženjersko-tehničko udruženje vojvodanskih Mađara, 2018, CD-ROM, 17-20 s. ISBN 978-86-919769-3-4.

AFA02 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa. Assessment of suitability for the usage of geothermal energy for production electric energy in Slovakia. In *EXPRES 2019 [elektronický zdroj] : proceedings of the 11th international symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency. April 11-13, 2019, Subotica, Serbia*. 1. vyd. Subotica : Inženjersko-tehničko udruženje vojvodanskih Mađara, 2019, CD ROM, s. 105-110. ISBN 978-86-919769-4-1.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

AFC01 TAKÁCS, Ján - DERZSI, István - GAŽÍKOVÁ, Soňa. A nagymegyeri geotermális energetikai rendszer elemzése. In *ÉPKO 2018 : 22nd International Conference on Civil Engineering and Architecture. Sumuleu Ciuc, 31 May - 3 June 2018, XXII. Nemzetközi építéstudományi konferencia. Cluj : Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, 2018, S. 224-227. ISSN 1843-2123.*

AFC02 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa. A hévízzel töltött medencék energetikai elemzése és a hőviszanyerés lehetőségei. In *ÉPKO 2019 : 23rd International Conference on Civil Engineering and Architecture. Sumuleu Ciuc, 13-16 June 2018, XXIII. Nemzetközi építéstudományi konferencia. Cluj : Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, 2019, S. 137-140. ISSN 1843-2123.*

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01 GAŽÍKOVÁ, Soňa. Možnosti využívania geotermálnej energie na výrobu elektrickej energie. In *Obnoviteľné zdroje energie 2018 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 18. vedecko-odbornej konferencie so zahraničnou účasťou na tému "Nízкотеплотné systémy zásobovania teplom". Nový Smokovec, SR, 16. - 17. 5. 2018*. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2018, CD-ROM, s. 71-76. ISBN 978-80-89878-24-6.

AFD02 GAŽÍKOVÁ, Soňa - TAKÁCS, Ján. Utilization of geothermal energy in heating systems. In *Indoor Climate of Buildings 2019 [elektronický zdroj] : Energy Management for better Indoor Environment. Nový Smokovec, Slovakia, 8. - 11. December 2019*. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2019, CD-ROM, s. 209-216. ISBN 978-80-89878-55-0.

AFD03 GAŽÍKOVÁ, Soňa. Využitie otvoreného geotermálneho systému pre centralizované zásobovanie teplom na Slovensku. In *Advances in Architectural, Civil*

and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 29th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 16th 2019, Bratislava. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2019, CD-ROM, s. 202-209. ISBN 978-80-227-4972-5.

- AFD04 GAŽÍKOVÁ, Soňa. Zhodnotenie využívania geotermálnej energie vo Veľkom Mederi z energetického hľadiska. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 260-267. ISBN 978-80-227-5052-3.*
- AFD05 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa. Modelovanie výmenníkov tepla v geotermálnych systémoch v poľnohospodárstve. In *Vykurovanie 2018 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 26. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie na tému Nové trendy v zásobovaní budov teplom. Podbanské, SR, 12. - 16. 2. 2018. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2018, CD-ROM, s. 183-186. ISBN 978-80-89878-20-8.*
- AFD06 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa. Nasledovania hodný príklad riešenia geotermálneho energetického systému pre zásobovanie teplom mesta Veľký Meder. In *Vykurovanie 2019 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 27. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie na tému - Smart technológie a inovácie pri zásobovaní teplom. Podbanské, Vysoké Tatry, 1. - 5. apríl 2019. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2019, CD-ROM, s. 193-198. ISBN 978-80-89878-42-0.*
- AFD07 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa. Koncepcia a návrh využívania odpadového tepla z bazénových hospodárstiev. In *Obnoviteľné zdroje energie 2019 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 19. vedecko-odbornej konferencie so zahraničnou účasťou na tému "Zásobovanie teplom budov s nulovou potrebou energie". Nový Smokovec, SR, 16. - 17. 5. 2019. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2019, CD-ROM, s. 61-66. ISBN 978-80-89878-45-1.*
- AFD08 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa. Využitie geotermálnej energie pre centralizované zásobovanie teplom mesta Veľký Meder. In *Meranie a rozpočítanie tepla 2019 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 19. konferencie s medzinárodnou*

účasťou. Senec, SR, 7. - 8. november 2019. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2019, CD-ROM, s. 125-131. ISBN 978-80-89878-52-9.

AFH Abstrakty príspevkov z domácich konferencií

AFH01 GAŽÍKOVÁ, Soňa. Matematický model a simulácie v geotermálnom energetickom systéme vo Veľkom Mederi. In *Zborník abstraktov z 31. ročníka vedeckej konferencie Vnútorná klíma budov 2020 : vnútorné prostredie budov, 1.-2. december 2020, online*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2020, S. 61-62. ISBN 978-80-89878-68-0.

BEE Odborné práce v zahraničných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)

BEE01 TAKÁCS, Ján - GAŽÍKOVÁ, Soňa - DERZSI, István. Geotermálny energetický systém pre zásobovanie teplom v meste Veľký Meder. In *Alternatívni zdroje energie 2018 : sborník přednášek. Kroměříž, ČR, 20. a 21. června 2018*. 1. vyd. Praha : Společnost pro techniku prostředí, 2018, S. 219-226. ISBN 978-80-02-02805-5.