

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Stavebná fakulta

Ing. Anna Predajnianska

Autoreferát dizertačnej práce

**Spätné využívanie odpadového tepla z bazénových systémov
termálnych kúpalísk**

na udelenie akademického titulu *philosophiae doctor (PhD.)*

v doktorandskom študijnom programe

3631 Teória a technika prostredia budov

v študijnom odbore Stavebníctvo

Forma štúdia: denná prezenčná

Bratislava 2023

Dizertačná práca bola spracovaná na Slovenskej technickej univerzite v Bratislave, Stavebnej fakulte, Katedre technických zariadení budov.

Doktorand:

Ing. Anna Predajnianska

Katedra technických zariadení budov

Stavebná fakulta, STU, Bratislava

Školiteľ:

prof. Ing. Ján Takács, PhD.

Katedra technických zariadení budov

Stavebná fakulta, STU, Bratislava

Školiteľ špecialita:

prof. Ing. Ondřej Šikula, Ph.D.

Ústav technických zařízení budov

Autoreferát k dizertačnej práci rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa o dopoludnia/popoludní na Katedre technických zariadení budov, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava.

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.

Dekan stavebnej fakulty

Abstrakt

Využívanie obnoviteľných zdrojov v sebe skrýva energetické, ekonomické, ale aj ekologické výhody. Podpora využívania obnoviteľných zdrojov je uvedená v smernici Rady Európy a parlamentu č. 31/2010 o energetickej hospodárnosti budov, ktorá predpokladá zvýšenie podielu využívania obnoviteľných zdrojov o 20 % do konca roku 2020 a zvýšenie približne o 30 % do konca roku 2030. V súčasnosti je v platnosti revidovaná verzia Smernice 844/2018 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 31/2010 o energetickej hospodárnosti budov. Na území Slovenskej republiky sa v súčasnosti nachádza 176 geotermálnych vrtov, ktoré poskytujú termálnu vodu s teplotou až do 130 °C. V najväčšej miere sa termálna voda využíva v bazénových hospodárstvach na Slovensku. Teplota termálnej vody je dostatočná aj na zabezpečenie vykurovania a prípravy teplej vody pre byty, alebo občiansku vybavenosť. Táto dizertačná práca je však zameraná na priame využívanie termálnej vody v rekreačných zariadeniach, kde využívanie energetického potenciálu nie je dostatočné. Termálne, ale aj netermálne kúpaliská na Slovensku odvádzajú odpadovú bazénovú vodu najčastejšie do povrchových vodných tokov. Odpadová bazénová voda má však príliš vysokú teplotu, často vyššiu ako 40 °C. Maximálna teplota odpadovej bazénovej vody, ktorá môže byť odvedená do recipientu je stanovená Zákonom č. 364/2004 a nariadením vlády č. 269/2010 na hodnotu 26 °C. Odpadová bazénová voda s teplotou 40 °C má nemalý energetický potenciál, ktorý nie je využívaný. Táto dizertačná práca je zameraná na analýzu prevádzky existujúceho bazénového hospodárstva a predovšetkým na návrh opatrení, vďaka ktorým je možné zabezpečiť požadovanú teplotu odpadovej bazénovej vody a zároveň užitočne využiť energetický potenciál.

Kľúčové slová: geotermálna energia, termálne kúpalisko, spätné získavanie tepla, miera využívania energie, odpadová bazénová voda

Abstract

The use of renewable sources provides energy, economic, and ecological advantages as well. Support for the use of renewable resources is specified in the directive of the Council of Europe and the Parliament no. 31/2010 for energy efficiency of buildings, which assumes an increase of the use of renewable resources by 20 % till the end of 2020 and an increase of approximately by 30 % till the end of 2030. The revised version of Directive 844/2018 of May 30, 2018, which amends Directive 31/2010 on the energy efficiency of buildings, is currently in force. There are currently 176 geothermal wells in the territory of the Slovak Republic, which provide thermal water with a temperature of up to 130 °C. In Slovakia, there is thermal water used for swimming pools in the most cases. The temperature of the thermal water is also sufficient to ensure heating and domestic hot water preparation. However, this dissertation is focused on the direct use of thermal water in recreational facilities, where the use of energy potential is insufficient. Thermal, as well as non-thermal swimming pools in Slovakia most often

discharge waste pool water into recipient. However, the waste pool water has too high temperature, often higher than 40 °C. The maximum temperature of waste pool water that can be discharged into the recipient is determined by Law no. 364/2004 and Government Regulation no. 269/2010 to a value of 26 °C. Waste pool water with a temperature of 40 °C has considerable energy potential, which is not used. This dissertation is focused on the analysis of the operation of the existing pool management and, above all, on the proposal of measures, thanks to which it is possible to ensure the required temperature of the waste pool water and at the same time usefully use the energy potential.

Key words: geothermal energy, thermal bath, heat recovery system, energy utilization rate, waste pool water

1 ÚVOD

Na Slovensku sú využívané mnohé obnoviteľné zdroje, ako je slnečná, veterná, ale aj geotermálna energia. Obnoviteľné zdroje energie sú vo všeobecnosti považované za nevyčerpatel'né, čo nemusí byť pravda vo všetkých prípadoch. Pozornosť si vyžaduje najmä geotermálna energia, kde je vyčerpatel'nosť niektorých zdrojov odhadovaná len na desiatky rokov. Preto je potrebné nakladať s týmito zdrojmi energie šetrným spôsobom a využívať ich v čo najväčšej možnej miere. Geotermálna energia (GE) má oproti ostatným obnoviteľným zdrojom energie veľkú výhodu, ktorou je, že nie je závislá na čase. GE nie je ovplyvnená striedaním dňa a noci a striedaním ročných období na rozdiel od solárnej energie. Na Slovensku sa GE využíva v otvorených, alebo uzatvorených geotermálnych energetických systémoch.

Vzhľadom na spôsoby využívania termálnej vody, nie je možné jej navrátenie do geologického podložia. V najväčšej miere sa termálna energia a voda využíva v rekreačných zariadeniach, ktoré nevyužívajú energetický potenciál v dostatočnej miere. Vo väčšine prípadov je z rekreačných zariadení vypúšťaná odpadová bazénová voda s teplotou až do 40 °C, ktorá má nemalý energetický potenciál. Maximálna teplota odpadovej bazénovej vody, ktorá môže byť vypustená do recipientu je stanovená Zákonom č. 364/2004 o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (známy aj ako vodný zákon) a Nariadením vlády Slovenskej republiky č. 269/2010 z mája 2010, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd. Vo väčšine termálnych kúpalísk nie je táto podmienka dodržaná a prevádzkovatelia rekreačných zariadení sú povinní čeliť sankciám za znečisťovanie okolitého životného prostredia. Tie môžu dosiahnuť maximálnu výšku 160 000 € v závislosti od spôsobu a rozsahu poškodenia životného prostredia [22].

Cieľom dizertačnej práce je analyzovať prevádzku termálnych kúpalísk a navrhnúť opatrenia, vďaka ktorým by bolo možné:

- zabezpečiť maximálnu zákonmi povolenú teplotu odpadovej bazénovej vody 26 °C,
- zvýšiť mieru využívania energie termálnej vody,

- znížiť, v ideálnom prípade úplne eliminovať sankcie za znečisťovanie okolitého životného prostredia.

Dizertačná práca pojednáva o viacerých možnostiach zabezpečenia požadovanej teploty odpadovej bazénovej vody na maximálnu zákonmi povolenú teplotu 26 °C. Jedným z nich je systém spätného získavania tepla z odpadovej bazénovej vody, vďaka ktorému by bolo možné užitočným spôsobom využiť jej energetický potenciál priamo v prevádzke rekreačného zariadenia. V prípade, ak by z rôznych dôvodov nebolo možné využívať systém spätného získavania tepla, bude dizertačná práca zameraná aj na spôsoby umelého ochladenia odpadovej bazénovej vody na maximálnu zákonmi povolenú teplotu bez využitia energetického potenciálu.

2 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Termálne kúpaliská na Slovensku doplácajú na problém chladenia odpadovej bazénovej vody na požadovanú teplotu. Prevádzkovatelia termálnych kúpalísk sú povinný vynaložiť finančné prostriedky potrebné na sankcie, ktoré im vznikajú z dôvodu nedostatočného chladenia odpadovej bazénovej vody. Ako bolo popísané v predchádzajúcej kapitole, jedná sa o nemalé finančné prostriedky, ktoré by mohli byť vynaložené na modernizáciu technického vybavenia termálneho kúpaliska a na aplikáciu technických systémov, vďaka ktorým by bolo zabezpečené dostatočné ochladenie odpadovej bazénovej vody. Zámerom dizertačnej práce dosiahnuť:

Cieľ 1: Analyzovať mieru využívania energie termálnej vody bazénového hospodárstva pomocou výpočtovej metódy v riešenom termálnom kúpalisku.

Cieľ 2: Stanoviť mieru využívania energie termálnej vody referenčného bazéna pomocou výpočtovej metódy v riešenom termálnom kúpalisku a návrh energeticky úsporných opatrení v podobe systému spätného získavania tepla.

Cieľ 3: Overiť objemový prietok a teploty odpadovej bazénovej vody v strojovni referenčného bazéna pomocou experimentálnych meraní v prevádzke termálneho kúpaliska a zabezpečiť ochladenie na požadovanú hodnotu, pomocou vhodne navrhnutého systému spätného získavania tepla.

Cieľ 4: Analyzovať teplotu odpadovej bazénovej vody v chladiacom kanáli pomocou experimentálnych meraní a v nadväznosti na správne zvolenú výpočtovú metódu zabezpečiť ochladenie odpadovej bazénovej vody na požadovanú hodnotu.

Cieľ 5: Graficky vyjadriť teplotné pole vznikajúce pri ochladení odpadovej bazénovej vody v chladiacom kanáli a vytvoriť 2D a 3D matematicko-počítačovú simuláciu teplotného poľa pri ochladzovaní odpadovej bazénovej vody v chladiacom kanáli termálneho kúpaliska.

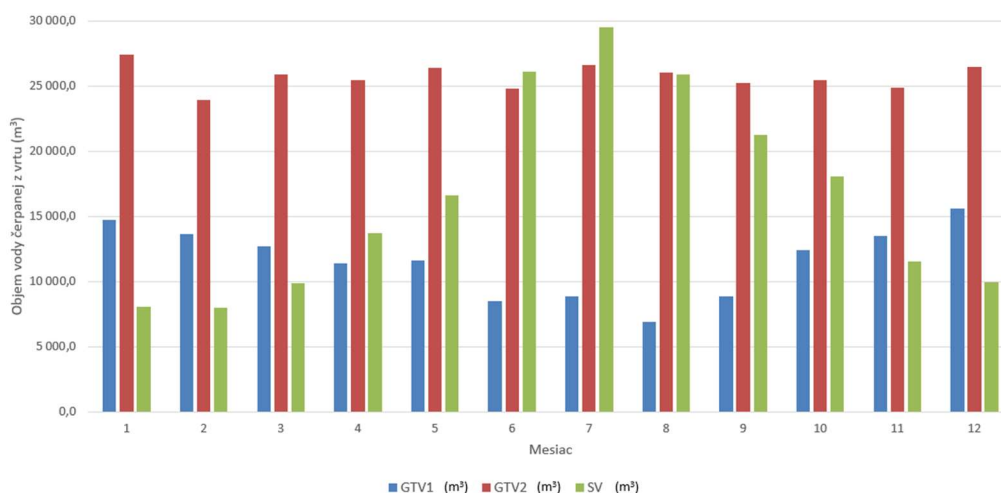
3 ANALÝZA MIERY VYUŽÍVANIA ENERGIE TERMÁLNEJ VODY BAZÉNOVÉHO HOSPODÁRSTVA

Termálne kúpalisko Thermal Corvinus vo Veľkom Mederi bolo otvorené pre kúpeľných hostí v roku 1974. V termálnom kúpalisku sa využívajú dva termálne vrty (GTV1, GTV2) s liečivou vodou. Mineralogické zloženie termálnej vody je vhodné na liečbu celého radu ochorení najmä pohybového ústrojenstva. Termálne kúpalisko je zásobované z dvoch geotermálnych vrtov, ktoré sa nachádzajú v areáli kúpaliska. Geotermálne vrty GTV1 a GTV2 boli realizované v rokoch 1972 a 1985. Pôvodne sa termálna voda z vrtov získavala voľným prelivom. V súčasnosti je vo vrte GTV1 osadené hlbinné čerpadlo, ktoré zabezpečuje potrebný prietok termálnej vody. Pôvodné a súčasné charakteristické údaje o geotermálnych vrtoch sú uvedené v Tab. 3.1.

Tabuľka 3.1 Pôvodné a súčasné charakteristické údaje o geotermálnych vrtoch

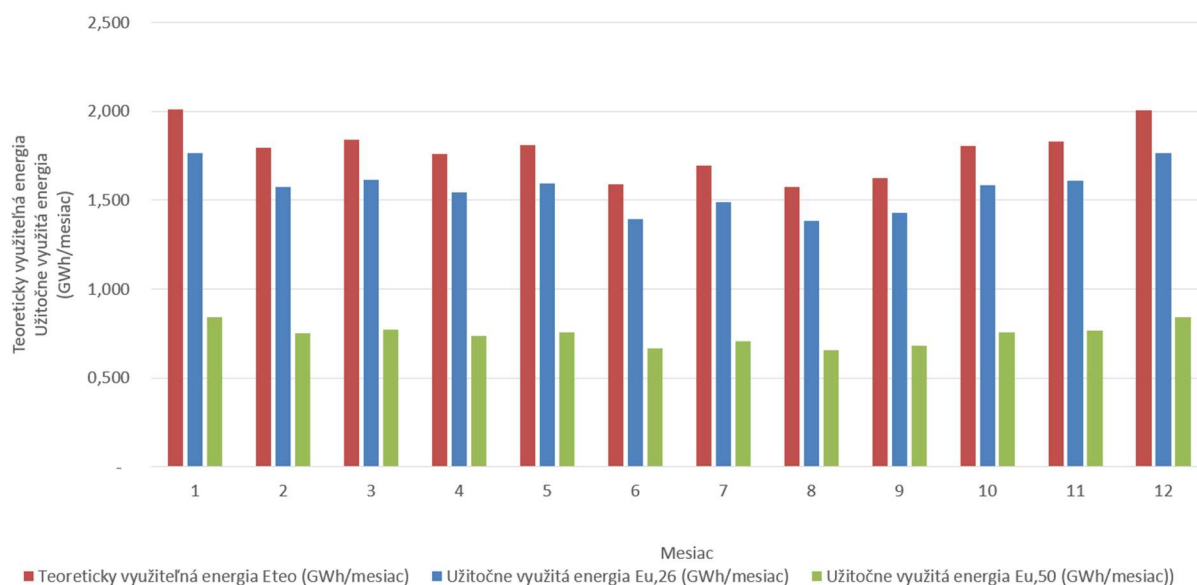
Označenie geotermálneho vrtu	Pôvodné údaje		Súčasný údaje	
	Objemový prietok	Teplota	Objemový prietok	Teplota
	m (l/s)	θ (°C)	m (l/s)	θ (°C)
GTV1	5,33	70,0	7,0	78,0
GTV2	11,62	55,0	11,62	56,5

Termálna voda sa v prevádzke kúpaliska využíva na prípravu technologickej vody pre bazénové hospodárstvo a tiež na prípravu teplej vody pre sprchy v šatniach. V zimnom období sa termálna voda využíva tiež na podlahové vykurovanie šatní, recepcie a hospodárskeho zázemia v budovách termálneho kúpaliska. Čerpanie termálnej vody z geotermálnych vrtov a čerpanie studenej vody zo studne počas roka 2019 je graficky znázornené na Obrázku 1. Z grafu je zrejmé, že termálna voda z geotermálneho zdroja GTV2 sa čerpala kontinuálne počas celého roka. Termálna voda z geotermálneho vrtu GTV1 sa čerpala vo väčšej miere počas zimných mesiacov. Čerpanie studenej vody závisí od požadovanej teploty bazénovej vody počas prevádzky. Z grafu je zrejmé, že je zvýšená potreba studenej vody v letných mesiacoch.



Obrázok 1 Čerpanie termálnej a studenej vody na prevádzku termálneho kúpaliska počas roka 2019

Do výpočtu užitočne využitej energie termálnej vody vstupuje teplota bazénovej vody. Vzhľadom na to, že v termálnom kúpalisku sa nachádza 13 bazénov s rôznymi teplotami bazénovej vody, bude vo výpočte uvažované s priemernou teplotou bazénovej vody 31 °C. Výpočet energetickej bilancie bazénového hospodárstva ukázal, že miera využívania termálnej vody počas prevádzky bazénového hospodárstva vo Veľkom Mederi počas roku 2019 dosiahla hodnotu 87,9 %, Táto hodnota je správna za predpokladu, že by bola odpadová bazénová voda ochladená na zákonmi požadovaných 26 °C, k čomu však nedochádza. V termálnom kúpalisku boli vykonané experimentálne merania, ktoré budú podrobne popísané a vyhodnotené v nasledujúcich kapitolách. Merania ukázali, že teplota odpadovej bazénovej vody, nameraná v chladiacom kanáli, dosahuje hodnotu až 50 °C. Preto hore uvedený výpočet je potrebné vykonať aj pre reálne namerané teploty z prevádzky bazénového hospodárstva. Zrejme, že energia termálnej vody je reálne využívaná len na 41,8 % čo nie je postačujúce. Približne 60 % energie termálnej vody nie je žiadnym spôsobom využívaných. Táto energia je považovaná za odpadovú. Obrázok 2 zobrazuje porovnanie teoreticky využiteľnej a užitočne využitej energie termálnej vody za predpokladu, že by bola odpadová voda ochladená na požadovaných 26 °C a za reálneho predpokladu, kedy má odpadová voda vysokú teplotu až 50 °C (hodnota zistená meraniami v prevádzke).



Obrázok 2 Porovnanie teoreticky využiteľnej a užitočne využitej energie termálnej vody

4 STANOVENIE MIERY VYUŽÍVANIA ENERGIE TERMÁLNEJ VODY REFERENČNÉHO BAZÉNA

Krytý plavecký bazén bol vybraný ako referenčný bazén, na ktorom boli vykonané nie len experimentálne merania, ale aj výpočet energetickej bilancie. Keďže sa jedná o krytý bazén, ktorý je situovaný v interiéri, je uvažované s celoročnou prevádzkou. Bazénový systém je cirkulačný. Základné údaje o referenčnom bazéne sú sumarizované v Tab. 4.1.

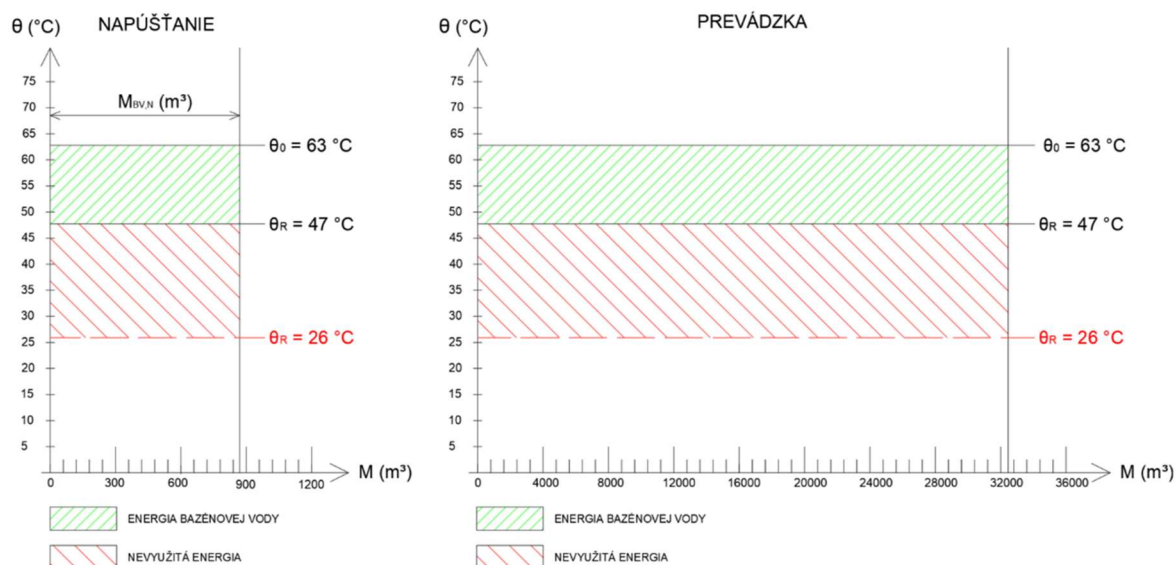
Tabuľka 4.1 Základné údaje o referenčnom krytom plaveckom bazéne

Názov bazéna	Typ bazéna			Vodná plocha	Objem	Hĺbka bazéna	Teplota vody
				A (m ²)	V (m ³)	H (m)	θ (°C)
Krytý plavecký (25 m)	celoročný	plavecký	cirkulačný	212,5	297,5	1,0 až 1,8	28

Krytý plavecký bazén bol zvolený z dôvodu, že je krytý, preto sú eliminované vplyvy vonkajšieho prostredia ako je počasie, tepelné straty do okolitého vonkajšieho ovzdušia, ktoré nie je možné matematicky vyjadriť v plnom rozsahu. V prípade krytého bazéna je možné zanedbať straty do okolitého ovzdušia vzhľadom na to, že interiér je vykurovaný. Vybraný bazén vykazoval neuspokojivé hodnoty vychladenia využitej termálnej vody. Technické zázemie bazéna je situované v suteréne priamo pod bazénom. Technologické zariadenia, ktoré sú tu situované sú vyrovnávacia nádrž, dva pieskové filtre, chemická úprava vody, dve čerpadlá, výmenník tepla a príslušné potrubné rozvody. Vzhľadom na to, že sa jedná o plavecký bazén, na jeho napúšťanie nie je využívaná priamo termálna voda. Termálna a studená voda sú privádzané do výmenníka tepla. Termálna voda zabezpečuje ohrev studenej vody, ktorá je následne napúšťaná do bazéna. Bazénový systém je cirkulačný a využíva vyrovnávaciu nádrž. Časť bazénovej vody z pripadov bazéna je odvádzaná do vyrovnávacej nádrže s objemom 1/10 objemu bazéna. Po preplnení vyrovnávacej nádrže zo systému odteká odpadová bazénová voda. Teplota bazénovej vody v plaveckom bazéne je maximálne 28 °C. Táto voda preto nie je až tak významná z energetického hľadiska. Čo je však problémom tohto bazénového systému, je termálna voda. Do výmenníka tepla vstupuje termálna voda s teplotou 68 °C. V prípade, že prietok nie je postačujúci, je systém napojený aj na druhý geotermálny vrt. Zo systému odteká využitá termálna voda, ktorá je však ochladená len na 50 °C. Je zrejmé, že využívanie energie termálnej vody nie je postačujúce.

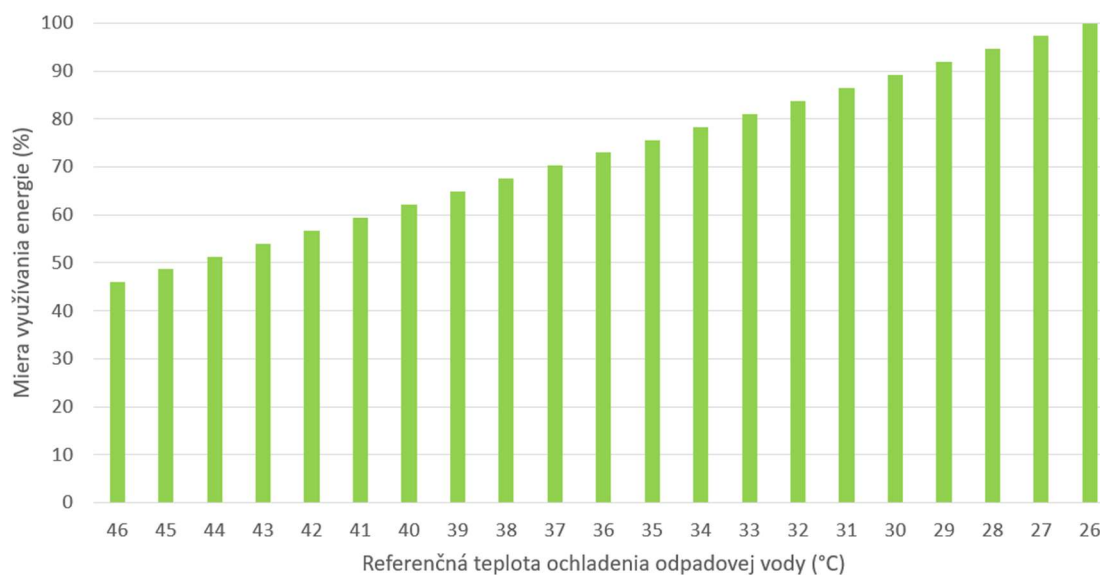
Výpočet ukázal, že objem bazénovej vody, ktorý je potrebný na napustenie riešeného bazéna trikrát počas jeho prevádzkovej doby 362 dní, je potrebných 892,5 m³. Bazénový systém je cirkulačný, čo znamená, že počas jedného dňa sa v bazéne vymení približne 30 % jeho objemu. Preto počas prevádzky 362 dní v roku, je potrebných 32 308,5 m³ bazénovej vody. Celkový objem bazénovej vody potrebnej na napustenie aj prevádzku bazéna je 33 201 m³. Tieto hodnoty ďalej vstupujú do výpočtu energetickej bilancie referenčného bazéna. Z výsledkov výpočtu využívania energie termálnej vody je zrejmé, že miera využitia nie je dostatočná. Energia termálnej vody je využívaná len na 43,2 %. Tento fenomén nastáva z dôvodu, že z geotermálneho zdroja sa čerpá termálna voda s teplotou 63 °C. Tá je privedená do výmenníka tepla v technologickom zázemí riešeného bazéna. Tu odovzdáva svoje teplo studenej vode, ktorá je následne napúšťaná do bazéna. Merania ukázali, že z výmenníka tepla odchádza ochladená termálna voda s teplotou až 47 °C. Teplotný rozdiel medzi čerpanou a využitou termálnou vodou je len 16 °C, čoho následkom je práve nedostatočné využívanie energie termálnej vody. Výsledky výpočtu sú znázornené aj graficky, pričom Obrázok 3 znázorňuje energiu bazénovej vody, alebo

užitočne využítu energiu počas napúšťania a počas prevádzky, ktorá je interpretovaná zelenou farbou. Červenou farbou je znázornená nevyužitá energia až po hranicu požadovanej referenčnej teploty ochladenia odpadovej bazénovej vody, ktorá v riešenom prípade nie je dodržaná.



Obrázok 3 Grafické znázornenie využívania energie bazénovej vody

Cieľom dizertačnej práce je dosiahnuť požadovanú teplotu ochladenej odpadovej vody. Ak budú ponechané všetky pôvodné vstupné údaje, ktoré vstupovali do predchádzajúceho výpočtu energetickej bilancie a bude variované len s referenčnou teplotou ochladenej odpadovej vody, je možné vyjadriť závislosť zvyšovania miery využívania energie termálnej vody od znižovania referenčnej teploty ochladenia odpadovej vody tak, ako je to znázornené na Obrázku 4.



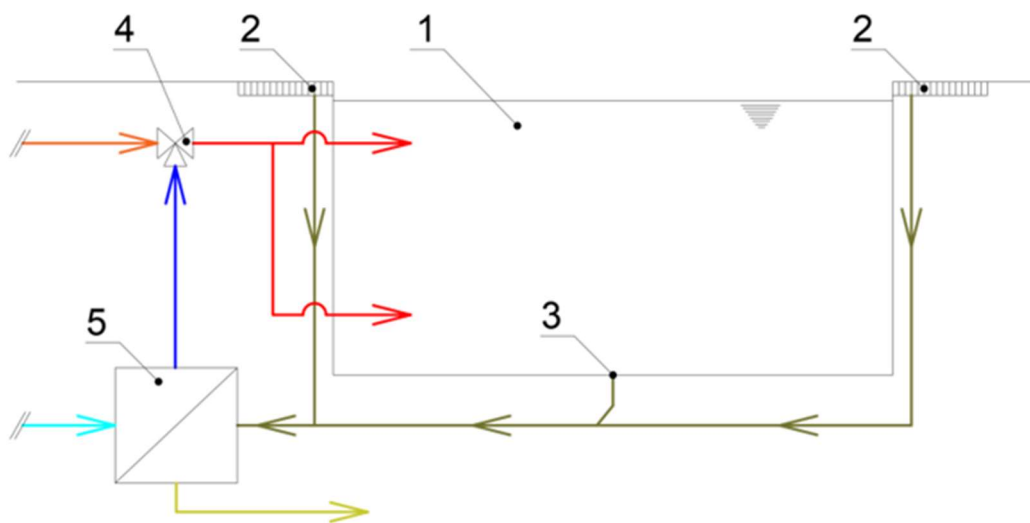
Obrázok 4 Závislosť zvyšovania miery využívania energie termálnej vody od znižovania referenčnej teploty ochladenia odpadovej vody

Z grafu je zrejmé, že pri znižovaní referenčnej teploty ochladenia odpadovej vody dochádza k zvyšovaniu miery využívania energie termálnej vody. V pôvodnom výpočte energetickej bilancie riešeného bazéna bola miera využívania energie termálnej vody 43,2 % pri ochladení odpadovej vody

na teplotu 47,0 °C. Ak by bolo zabezpečené dostatočné využívanie energie termálnej vody v prevádzke riešeného termálneho kúpaliska, teplota odpadovej vody by dosahovala teplotu približne 30 °C, prípadne predpísaných 26 °C a energia termálnej vody by bola využitá takmer na 100 %, čo predstavuje ideálny stav.

4.1 Aplikácia systému spätného získavania tepla

Systém spätného získavania tepla je možné riešiť na úrovni jednotlivých bazénov, alebo na úrovni celého termálneho kúpaliska. Táto kapitola bude venovaná SSZT na úrovni jednotlivých bazénových systémov, kedy je výmenník tepla osadený v strojovni každého bazéna zvlášť a zabezpečuje predohrev studenej vody, ktorá sa využíva na napúšťanie a prevádzku daného bazéna. SSZT je založený na osadení výmenníku tepla do okruhu odpadovej bazénovej vody. SSZT je znázornený na Obrázku 5. Výmenníkom tepla preteká odpadová bazénová voda a studená voda. Studená voda sa predhreje na vyššiu teplotu vďaka teplu odpadovej bazénovej vody. Následne je predhriata studená voda privedená do zmiešavacieho uzla v prípade prietokového bazénového systému, alebo do vyrovnávacej nádrže v prípade cirkulačného bazénového systému. Miešanie predhriatej studenej a termálnej vody je zabezpečené v takom pomere, aby boli dosiahnuté požadované parametre bazénovej vody.



Obrázok 5 Schéma prietokového bazénového systému s miešaním termálnej a studenej vody v trojcestnom zmiešavacom ventile s využitím SSZT

Cieľom systému spätného získavania tepla je znížiť teplotu odpadovej bazénovej vody a zároveň užitočne využívať energetický potenciál. Na overenie, či má SSZT pozitívny vplyv na bazénový systém, bol vytvorený výpočet, ktorý je zameraný na vyčíslenie objemových prietokov bazénovej, termálnej a studenej vody potrebnej na napúšťanie a prevádzku bazéna, ktoré ďalej vstupujú do výpočtu energetickej bilancie. Výpočet je potrebné spraviť zvlášť pre stav napúšťania a prevádzky bazéna. Počas napúšťania nie je SSZT využiteľný z dôvodu, že z bazéna neodteká žiadna odpadová voda. SSZT je možné využívať počas prevádzky bazéna, kedy z bazéna odtieká odpadová bazénová voda. Výpočet v programe Excel je znázornený na Obrázku 6. Výpočet bol aplikovaný na referenčný krytý plavecký

bazén, ktorému bola venovaná kapitola s výpočtom energetickej bilancie. Z výpočtu je zrejmé, že objemový prietok bazénovej vody musí ostať nemenný v prípade ak sa jedná o bazénový systém bez SSZT, ale aj ak ide o ten istý bazénový systém, ktorý využíva SSZT. Taktiež objemové prietoky studenej a termálnej vody počas napúšťania bazéna ostávajú nemenné bez ohľadu na to, či je, alebo nie je využívaný SSZT. Zmena objemových prietokov však nastáva počas prevádzky bazéna, kedy je z výsledkov zrejmé, že s využívaním SSZT dochádza k zníženiu objemového prietoku termálnej vody a k zvýšeniu objemového prietoku studenej vody, ktoré sú potrebné na prevádzku riešeného bazéna.

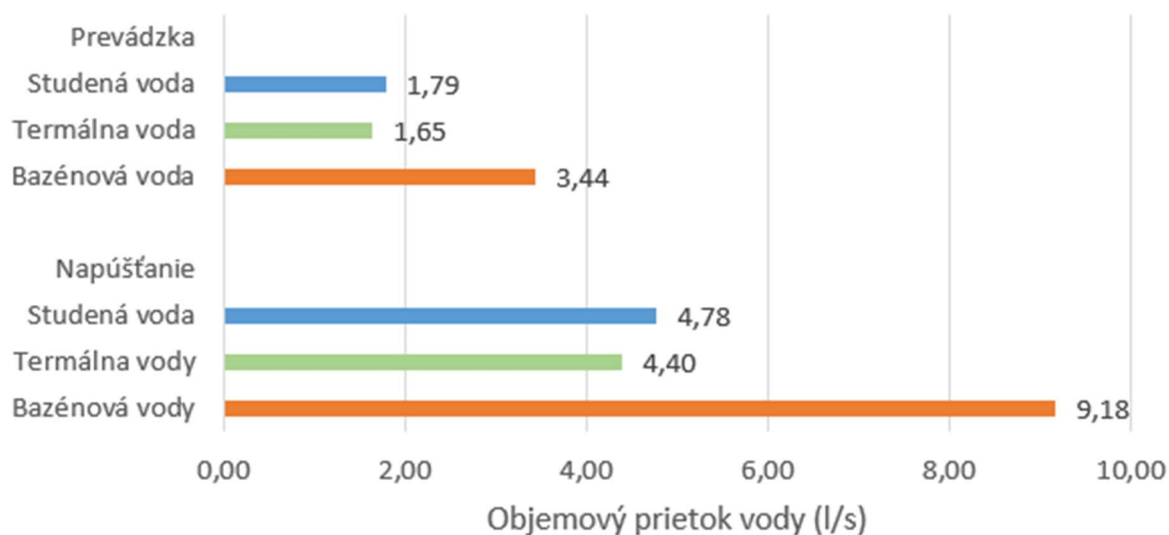
Výsledky výpočtu objemových prietokov bazénovej, termálnej a studenej vody v bazénovom systéme bez využívania SSZT sú znázornené na Obrázku 7. Výsledky výpočtu objemových prietokov bazénovej, termálnej a studenej vody v tom istom bazénovom systéme s využívaním SSZT sú znázornené na Obrázku 8. Z výsledkov je zrejmý pokles objemového prietoku termálnej vody a nárast objemového prietoku studenej predhriatej vody, v riešenom prípade o približne 36,4 %. Vo výpočte bolo uvažované s teplotou studenej vody 15 °C v prípade ak nie je využívaný SSZT a s teplotou studenej predhriatej vody 27 °C v prípade, ak je predhriata pomocou SSZT.

Vstupné údaje			
Objem bazéna	V_B	297,5	m^3
Teplota BV	θ_{BV}	38	$^{\circ}C$
Teplota SV	θ_{SV}	15	$^{\circ}C$
Teplota GTV	θ_{GTV}	63	$^{\circ}C$
Čas napúšťania	t_{nap}	9	hod
Čas prevádzky	t_{prev}	24	hod
Výmena vody	n	0,3	x/24hod

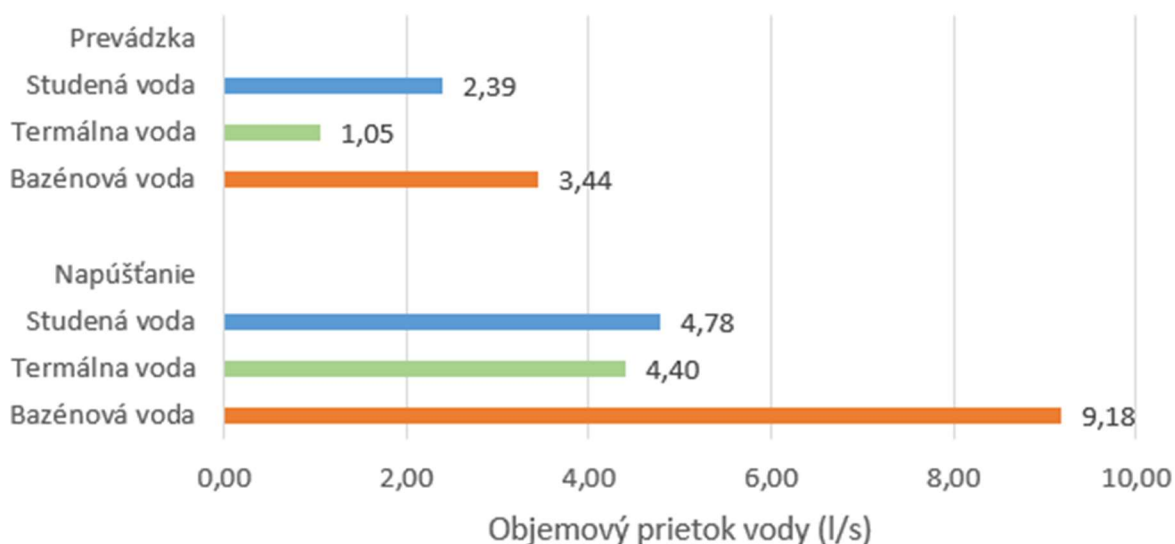
Výpočet objemových prietokov bazénovej, geotermálnej a studenej vody BEZ systému spätného získavania tepla

NAPÚŠŤANIE			PREVÁDZKA		
Objemový prietok bazénovej vody			Objemový prietok bazénovej vody		
$m_{BV} = \frac{V_B \cdot 1000}{3600 \cdot t_{nap}}$	9,18	l/s	$m_{BV} = \frac{V_B \cdot 1000}{3600 \cdot t_{prev}}$	3,44	l/s
Objemový prietok geotermálnej vody			Objemový prietok geotermálnej vody		
$m_{GTV} = \frac{m_{BV} \cdot (\theta_{BV} - \theta_{SV})}{(\theta_{GTV} - \theta_{SV})}$	4,40	l/s	$m_{GTV} = \frac{m_{BV} \cdot (\theta_{BV} - \theta_{SV})}{(\theta_{GTV} - \theta_{SV})}$	1,65	l/s
Objemový prietok studenej vody			Objemový prietok studenej vody		
$m_{SV} = m_{BV} - m_{GTV}$	4,78	l/s	$m_{SV} = m_{BV} - m_{GTV}$	1,79	l/s

Obrázok 6 Tabuľkový výpočet objemových prietokov bazénovej, termálnej a studenej vody počas napúšťania a prevádzky bazéna bez využívania SSZT

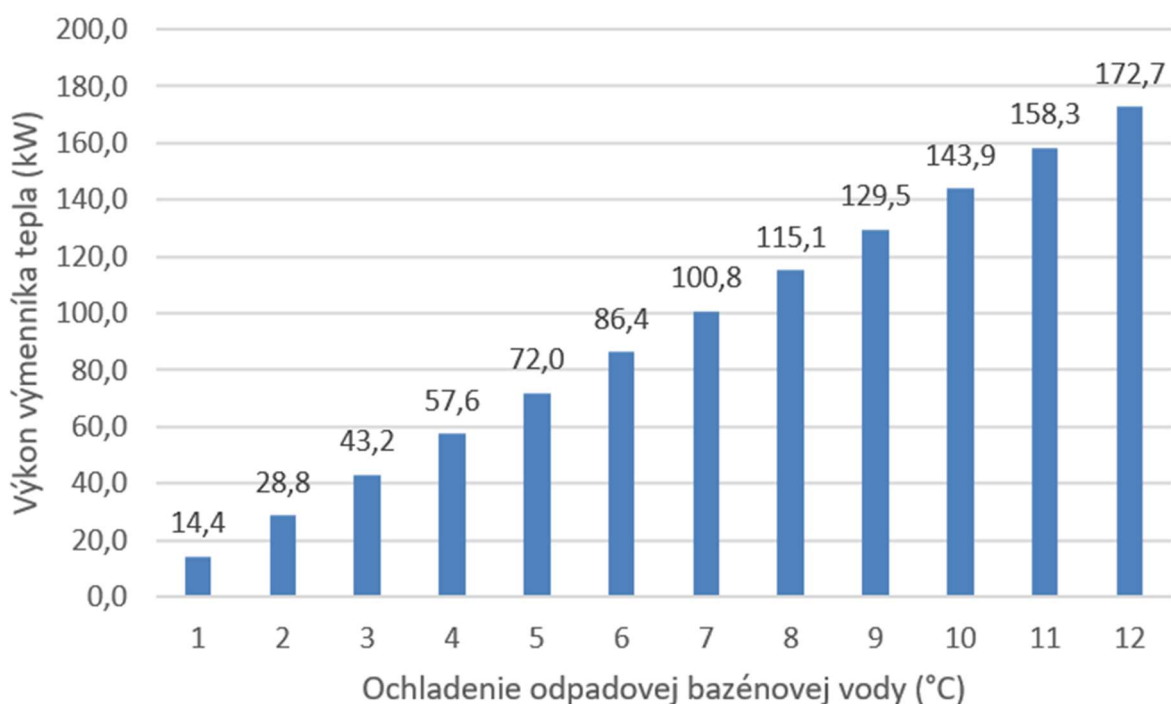


Obrázok 7 Objemový prietok bazénovej, termálnej a studenej vody počas napúšťania a prevádzky bez využívania SSZT



Obrázok 8 Objemový prietok bazénovej, termálnej a studenej vody počas napúšťania a prevádzky s využívaním SSZT

Je potrebné zistiť potrebný výkon výmenníka tepla na to, aby bola odpadová bazénová voda ochladená na požadovanú teplotu. Na tento účel bol vytvorený tabuľkový výpočet, ktorý uvažuje s postupným znižovaním teploty odpadovej bazénovej vody, od ktorého je závislé postupné zvyšovanie teploty predhriatej studenej vody privádzanej do zmiešavacieho uzla. Vo výpočte bolo uvažované s teplotou studenej vody 15 °C. Princípom tabuľkového výpočtu je, že ak bude odpadová bazénová voda ochladená o 1 °C, studená voda s teplotou 15 °C bude ohriata o 1,1 °C, pričom bude potrebný výkon výmenníka tepla 14,4 kW. V prípade, ak bude odpadová bazénová voda ochladená o 10 °C, studená voda s teplotou 15 °C bude ohriata o 11,3 °C, pričom bude potrebný výmenník tepla s výkonom 143,9 kW. Závislosť výkonu výmenníka tepla od ochladzovania odpadovej bazénovej vody je znázornená na Obrázku 9.



Obrázok 9 Závislosť výkonu výmenníka tepla od ochladzovania odpadovej bazénovej vody

5 EXPERIMENTÁLNE MERANIE OBJEMOVÉHO PRIETOKU A TEPLoty ODPADOVEJ BAZÉNOVEJ VODY V STROJOVNI BAZÉNA

Využívanie termálnej vody v prevádzke riešeného termálneho kúpaliska vo všeobecnosti nie je dostatočné. Tento problém je možné riešiť na úrovni celého bazénového hospodárstva, alebo na úrovni jednotlivých bazénov. V dňoch od 29. 4. 2022 do 25. 5. 2022 (27 dní), bolo v technickom zázemí krytého plaveckého bazéna vykonané experimentálne meranie. Cieľom meraní bolo zistiť dve základné veličiny – teplotu a objemový prietok bazénovej, studenej a termálnej vody. Dôvodom meraní je, že prevádzkovateľ termálneho kúpaliska neeviduje objemové prietoky vody do jednotlivých bazénov. Jedná sa o veličinu, ktorá je okrem iných potrebná na výpočet energetickej bilancie referenčného bazéna. Súčasne s objemovým a hmotnostným prietokom boli merané aj teploty termálnej, studenej a bazénovej vody. Potrubie termálnej vody je vyhotovené zo závitového potrubia z čiernej ocele s vonkajším priemerom 33,5 mm, vnútorným priemerom 27,0 mm a hrúbkou steny 3,25 mm. Potrubie bazénovej vody je vyhotovené z materiálu PVC s vonkajším priemerom 75,0 mm, vnútorným priemerom 67,8 mm a hrúbkou steny 3,6 mm.

Na meranie teploty bazénovej, studenej a termálnej vody boli použité príložené snímače teploty na potrubie Comet, ktoré boli prepojené s jednotným datalogerom, v ktorom boli merané dáta ukladané. Osadených bolo osem snímačov teploty tak, aby na každom meranom

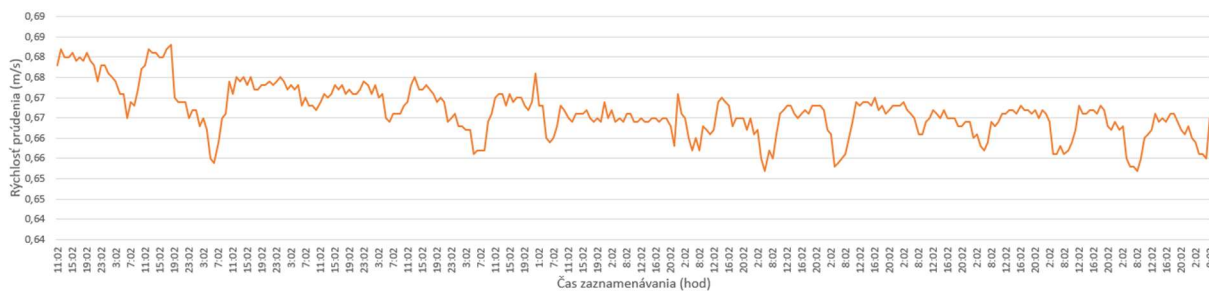
potrubí boli osadené dva snímače pre prípad, že by jeden z nich nezaznamenával. Na meranie objemového prietoku vody bol použitý prenosný ultrazvukový prietokomer Flexim Fluxus F601, ktorý bol osadený na potrubí termálnej vody. Na potrubí bazénovej vody bol osadený stacionárny ultrazvukový prietokomer Flexim Fluxus ADM 5107. Interval zaznamenávania prietoku vody bol nastavený na každých 10 minút na oboch prietokomeroch. Na osadenie snímačov na potrubie slúži tzv. clamp-on metóda, kedy sa príložné snímače osadia svojou plochou na povrch potrubia a uchytia sa pomocou svoriek. Použité prietokomery sú znázornené na Obrázku 10.



Obrázok 10 Prenosný ultrazvukový prietokomer Flexim Fluxus F601 (vľavo) a stacionárny ultrazvukový prietokomer Flexim Fluxus ADM 5107 (vpravo)

Z merania rýchlosti prúdenia termálnej vody v potrubí je zrejmé, že hodnota kolísala len minimálne v rozmedzí od 0,67 m/s do 0,71 m/s. Priemerná rýchlosť prúdenia termálnej vody v potrubí je 0,69 m/s. Priebeh rýchlosti prúdenia termálnej vody je znázornený na Obrázku 11. Objemový prietok termálnej vody čerpanej zo zdroja sa pohyboval od 1,37 m³/h do 1,49 m³/h. Priemerný objemový prietok termálnej vody čerpanej z geotermálneho vrtu je 1,43 m³/h.

Priebeh rýchlosti prúdenia a objemového prietoku bazénovej vody je znázornený na Obrázku 12. Z priebehu je zrejmé, že hodnota kolísala len minimálne v rozmedzí od 1,64 m/s do 1,71 m/s. Priemerná rýchlosť prúdenia bazénovej vody v potrubí je 1,68 m/s. Objemový prietok bazénovej vody sa pohyboval v rozmedzí od 21,98 m³/h do 22,25 m³/h. Priemerný objemový prietok bazénovej vody je 22,12 m³/h. Výsledky meraní sú sumarizované v Tabuľke 5.1.



Obrázok 11 Priebeh rýchlosti prúdenia termálnej vody



Obrázok 12 Priebeh rýchlosti prúdenia bazénovej vody

Tabuľka 5.1 Sumarizácia výsledkov merania objemového prietoku a rýchlosti prúdenia bazénovej a termálnej vody

Merané miesto	Rýchlosť prúdenia (m/s)			Objemový prietok (m ³ /h)		
	minimálna	maximálna	priemerná	minimálny	maximálny	priemerný
Bazénová voda	1,64	1,71	1,68	21,98	22,25	22,12
Termálna voda	0,67	0,71	0,69	1,37	1,49	1,43

Cieľom experimentálnych meraní bolo zistiť objemový a hmotnostný prietok a teplotu termálnej, bazénovej, studenej a odpadovej bazénovej vody v strojovni referenčného bazéna. Počas experimentálnych meraní boli používané ultrazvukové prietokomery firmy Flexim, vďaka ktorým bolo možné presne zistiť objemový a hmotnostný prietok termálnej a bazénovej vody prúdiacej v potrubíach strojovne referenčného bazéna. Súbežne s prietokom bola zaznamenávaná aj teplota termálnej, bazénovej, studenej a odpadovej vody. Z výsledkov meraní je zrejmé, že prevádzka bazéna prebiehala bez problémov. Z výsledkov experimentálnych meraní sú zrejmé značné nedostatky na primárnej strane, t. j. na strane termálnej vody. Pri ochladení termálnej vody na 47 °C je dosiahnutá miera využívania energie termálnej vody len 43 %. Pri prevádzke referenčného bazéna 362 dní v roku by bolo potrebné dosiahnuť vyššiu mieru využívania minimálne o 40 – 45 %, dôsledkom čoho by zároveň došlo k zníženiu objemového prietoku termálnej vody. Merané údaje vstupovali do výpočtov energetickej bilancie referenčného bazéna, vďaka čomu bolo možné vyčíslit' skutočnú energetickú bilanciu referenčného bazéna.

6 ANALÝZA TEPLOTY ODPADOVEJ BAZÉNOVEJ VODY V CHLADIACOM KANÁLI

Táto kapitola je venovaná návrhu metodiky analýzy a matematicko-fyzikálneho modelu chladiaceho kanála, ktorý je vo väčšine bazénových hospodárstiev využívaný na dochladenie odpadovej bazénovej vody na vyhovujúcu teplotu pred tým, ako bude vypustená do povrchového vodného toku. Mnohé termálne, ale aj netermálne kúpaliská na Slovensku čelia práve týmto problémom, že spôsoby dochladenia odpadovej bazénovej vody nie sú postačujúce. Preto jedným z cieľov dizertačnej práce je navrhnúť opatrenia na úrovni jednotlivých bazénov, alebo na úrovni celého bazénového hospodárstva, vďaka ktorým by bolo možné zabezpečiť vyhovujúcu teplotu odpadovej bazénovej vody.

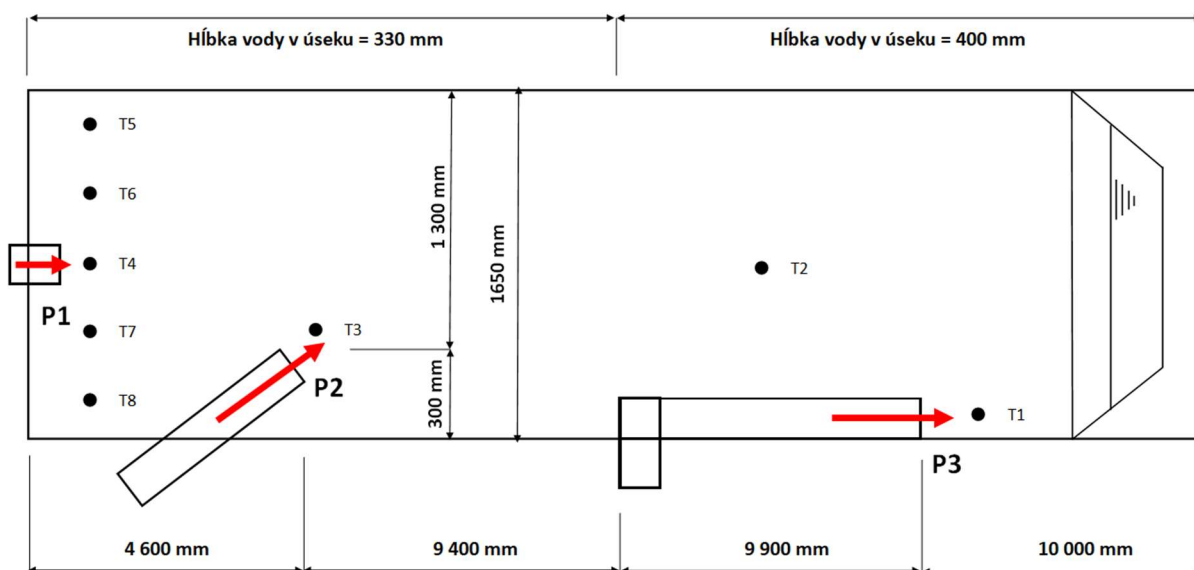
Vzhľadom na to, že z referenčného bazéna odteká odpadová voda s teplotou 43 °C, došlo k overeniu teploty v chladiacom kanáli. Chladiaci kanál sa nachádza v areáli termálneho kúpaliska. Do chladiaceho kanála je odvádzaná odpadová voda zo všetkých 13 bazénov termálneho kúpaliska a odpadová voda z geocentrály, ktorá zabezpečuje vykurovanie a prípravu teplej vody pre obytný okrsok v meste Veľký Meder.

Schéma chladiaceho kanála okrem iného znázorňuje miesta prítokov vody do chladiaceho kanála. Priemery prítokov a teploty odpadovej vody merané priamo v jednotlivých prítokoch sú sumarizované v Tab. 6.1.

Tabuľka 6.1 Parametre prítokov do chladiaceho kanála

Prítok	Poznámka	DN, uhol prítoku	Teplota odpadovej vody
P1 (T4)	Prítok z referenčného krytého plaveckého bazéna	250 x 2,5 mm 90°	39,0 °C
P2 (T3)	Prítok z ostatných bazénov termálneho kúpaliska	450 x 5,5 mm 30°	35,1 °C
P3 (T1)	Prítok z geocentrály mesta Veľký Meder	250 x 2,5 mm 90°	51,0 °C

Chladiaci kanál má dĺžku 33,9 m a šírku 1,65 m. Hĺbka vody v chladiacom kanáli sa mení. V úseku prvých dvoch prítokov je hĺbka vody 0,33 m, pričom v druhom úseku kanála za tretím prítokom je hĺbka vody 0,4 m. Schéma chladiaceho kanála s vyznačenými rozmermi a prítokmi je znázornená na Obrázku 13.



Experimentálne meranie ukázalo, že teplota odpadovej vody pritekajúcej do chladiaceho kanála prítokom P1 je 39,0 °C. Jedná sa o prítok, ktorým priteká odpadová voda z referenčného krytého plaveckého bazéna. Teplota odpadovej vody meranej v technologickom zázemí referenčného bazéna bola 43 °C a teplota tej istej odpadovej vody v prítoku chladiaceho kanála bola 39 °C. Je možné konštatovať, že teplota klesla len o 4 °C, pričom tento pokles je možné považovať za tepelné straty v potrubí medzi strojovňou bazéna a prítokom P1. Ďalším miestom merania teploty odpadovej vody bol prítok P2, ktorým priteká odpadová voda z ostatných bazénov termálneho kúpaliska. Teplota v tomto mieste bola 35,1 °C. Najkritickejším miestom bol prítok s označením P3, ktorým priteká odpadová voda z geocentrály. V tomto mieste bola odmeraná teplota až 51,1 °C.

Z meraní teploty odpadovej vody v chladiacom kanáli termálneho kúpaliska je zrejmé, že teplota odpadovej vody na konci chladiaceho kanála dosahuje kritickú teplotu až 51,1 °C. Vypúšťanie odpadovej vody s takto vysokou teplotou je nie len ekologicky, ale aj energeticky neakceptovateľné. Prevádzkovateľ termálneho kúpaliska je povinný zabezpečiť zákonmi požadovanú teplotu odpadovej vody na hranici svojho pozemku, ktorá je v riešenom prípade 10 m za posledným prítokom P3. Údaje z experimentálneho merania budú vstupovať do výpočtov popísaných v nasledujúcich kapitolách a budú podkladom pre počítačové simulácie.

Na zabezpečenie vyhovujúcej teploty odpadovej bazénovej vody sa v mnohých termálnych kúpaliskách využíva chladiace jazierko, prípadne chladiaci kanál. Ich funkciou je hromadenie odpadovej bazénovej vody z celého bazénového hospodárstva a jej dochladenie na nižšiu teplotu. Vo väčšine prípadov nie je takýto spôsob dochladenia odpadovej bazénovej vody dostatočný, čoho dôkazom sú prevádzkovatelia termálnych kúpalísk, ktorý musia čeliť sankciám za znečisťovanie životného prostredia. Jednou z možností, ako zvýšiť efektivitu chladiaceho kanála, je využitie SSZT na úrovni celého bazénového hospodárstva v podobe osadenia výmenníka tepla v chladiacom kanáli. Chladiace kanále môžu mať rôzny prierez a materiálové vyhotovenie. Často sa využívajú chladiace kanále

trojuholníkového, alebo lichobežníkového prierezu, ktorých dno je vyhotovené z betónových blokov. Najčastejšie však majú chladiace kanále neurčitý tvar v podobe prírodného potôčika [77].

Cieľom SSZT na úrovni bazénového hospodárstva je ochladiť odpadovú bazénovú vodu na požadovanú teplotu a užitočne využiť jej energetický potenciál v prevádzke bazénového hospodárstva. Existuje niekoľko možností, ako je možné využiť tento energetický potenciál. Jednou z nich je využívanie odpadového tepla vo vzduchotechnickej jednotke na absorpčné chladenie, v systémoch aktívnej tepelnej ochrany budov, ktoré sú súčasťou termálneho kúpaliska, predohrev teplej vody pre prípravu teplej vody, alebo rozmrazovanie chodníkov počas zimy.

Pre tento systém bol vytvorený tabuľkový výpočet v programe Excel, ktorý je zameraný na vyčíslenie výkonu, ktorý je možné využiť vo výmenníku tepla osadenom v chladiacom kanáli s odpadovou bazénovou vodou. Súčasťou výpočtu je taktiež výpočet tepelného toku odparovaním a konvekciou z hladiny odpadovej vody a tepelného toku odvedeného do zeminy. Výpočtom je taktiež možné zistiť teplotu odpadovej bazénovej vody na konci chladiaceho kanála a tiež výkon výmenníka tepla, ktorý je potrebný na ochladenie odpadovej bazénovej vody na zákonmi požadovanú maximálnu teplotu 26 °C.

Výpočet je založený najmä na prestupe tepla pri obtekaní telies, keďže sa jedná o rúrový výmenník tepla ponorený v odpadovej bazénovej vode, ktorá obteká jeho potrubia. Konštrukcia výmenníka tepla môže mať rôzne prevedenie. Dôležitou premennou pre nasledujúci výpočet je, či budú potrubia výmenníka tepla pozdĺžne, alebo priečne vzhľadom na smer prúdenia odpadovej bazénovej vody. Značná zmena vo výpočte nastáva najmä pri voľbe kritériálnych rovníc prúdenia tekutiny a následne pri nadväzujúcom výpočte súčiniteľa prestupu tepla. Od tejto veličiny je následne závislý tepelný tok, ktorý odvedie výmenník tepla, tepelný tok odparovaním a konvekciou z hladiny odpadovej bazénovej vody a tepelný tok prenesený do zeminy. Pre zdĺhavosť a náročnosť výpočtu sú jeho výsledky uvedené v Tabuľke 6.2. Vstupné hodnoty a podrobné výsledky výpočtu sú uvedené v dizertačnej práci v kapitole 6.4.

Tabuľka 6.2 Výsledky tabuľkového výpočtu prestupu tepla pri priečnom obtekaní rúrového výmenníka tepla v chladiacom kanáli

Výkon prenesený výmenníkom tepla	Q_{VT}	865 184,0	W
Výkon odparovaním, konvekciou	Q_{odpar}	59 994,6	W
Výkon odvedený do zeminy	Q_{zemina}	6 780,0	W
Výkon potrebný na ochladenie vody na požadovanú teplotu 26 °C	Q_{potr}	1 888 321,0	W

Výpočet bol zameraný na konkrétny chladiaci kanál v riešenom termálnom kúpalisku, ktorým prúdi odpadová bazénová voda riešeného bazénového hospodárstva. Chladiaci kanál má lichobežníkový prierez. Jeho dĺžka je 33,9 m. Horná šírka kanála je 1,65 m a jeho dolná šírka je 1,25 m. Výška vody v kanáli je 0,4 m, čomu zodpovedá šírka vodnej hladiny 1,45 m. Teplota vody pritekajúcej do chladiaceho kanála je 47 °C. Výpočet ukázal, že na danej dĺžke kanála a pri uvažovaných okrajových

podmienkach, by ochladenie odpadovej bazénovej vody na konci kanála malo dosiahnuť 36,6 °C. Stredná teplota odpadovej bazénovej vody je v tomto prípade 41,8 °C. Uvažovalo sa, že do chladiaceho kanála bude ponorený rúrový výmenník tepla z ocelových potrubí. Výsledkom výpočtu je stanovenie výkonu, ktorý môže byť odvedený výmenníkom tepla v uvedenom materiálovom a konštrukčnom vyhotovení. Výpočet ukázal, že výmenník tepla dokáže odviezť 865,2 kW tepelného výkonu, ktorý bude užitočne využívaný, avšak teplota odpadovej bazénovej vody klesne len na 36,6 °C. Toto platí, ak je výmenník tepla osadený v chladiacom kanáli tak, že obtekanie potrubí výmenníka tepla odpadovou vodou je priečne.

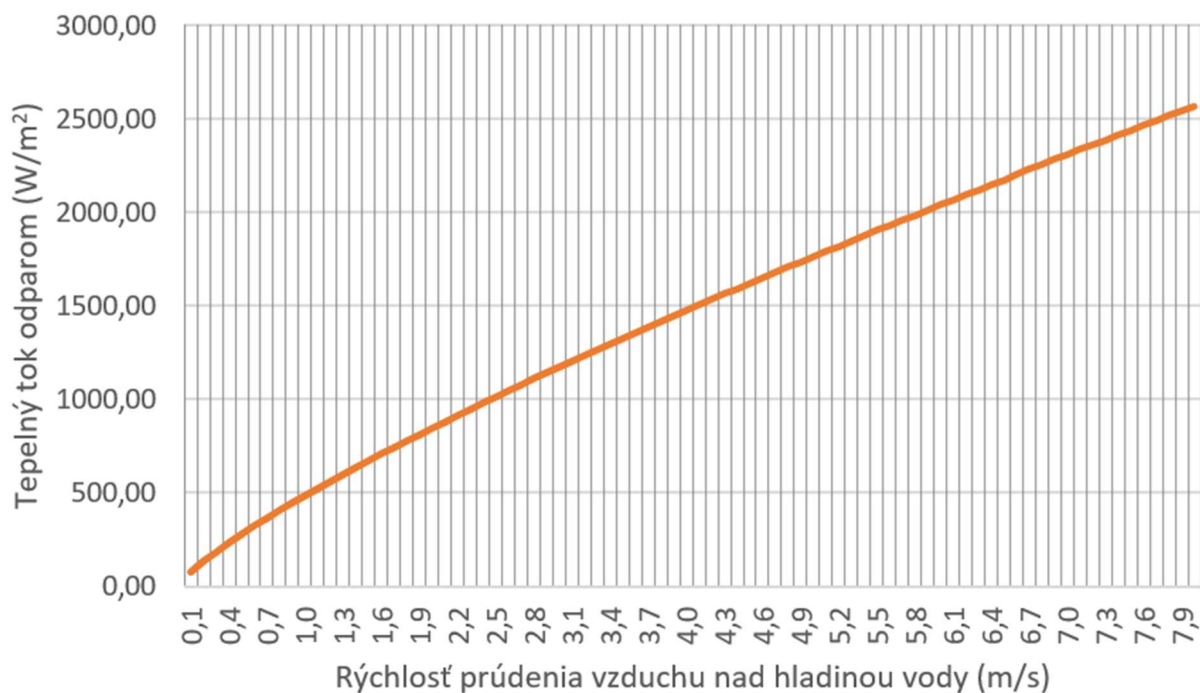
Maximálna teplota odpadovej vody, ktorá môže byť vypustená do recipientu bez poškodenia životného prostredia je 26 °C. Ak by výmenník tepla osadený v chladiacom kanáli mal ochladiť odpadovú bazénovú vodu na túto teplotu, bol by potrebný výkon 1 888,3 kW. Výmenník tepla s takto vysokým výkonom vo väčšine prípadov nie je efektívny. Výhodnejšou voľbou je viacero výmenníkov tepla s menšími výkonmi, ktoré sú zapojené sériovo. Ďalšou možnosťou je viacstupňové ochladenie odpadovej vody v podobe výmenníka tepla a tepelného čerpadla. Ak nie je možné využívať SSZT v strojovni bazénov, ani SSZT v chladiacom kanáli, je potrebné pristúpiť k iným možnostiam ochladenia odpadovej bazénovej vody.

6.1 Umelé dochladenie odpadovej bazénovej vody

Vo väčšine prípadov dochádza k neochote prevádzkovateľov termálnych kúpalísk pristúpiť k značným zmenám a zásahom vo svojich prevádzkach. Aj napriek tomu sú prevádzkovatelia povinní nájsť taký spôsob, ktorý umožní dosiahnuť maximálnu požadovanú teplotu odpadovej bazénovej vody vypúšťanej do povrchových tokov. Ak nie je možné užitočne využívať energetický potenciál odpadovej bazénovej vody, je možné ju umelo dochladiť. Akým spôsobom, závisí od možností termálneho kúpaliska. Ak termálne kúpalisko využíva chladiace jazierko, alebo kanál, je možné variovať s ich rozmermi a tak zväčšovať plochu odparovania. Ak je to technicky možné, teplotu odpadovej bazénovej vody ovplyvňuje taktiež rýchlosť prúdenia vzduchu nad hladinou odpadovej bazénovej vody.

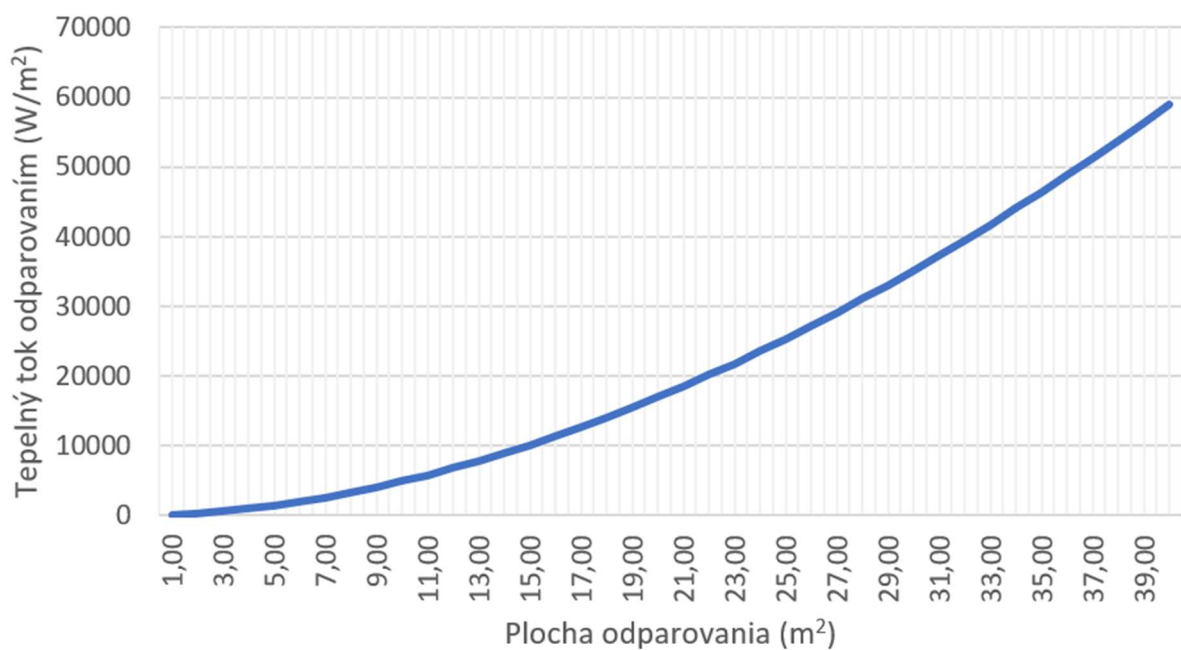
Bola vypracovaná závislosť tepelného toku odparovaním do ovzdušia v závislosti od rýchlosti prúdenia vzduchu nad vodnou hladinou pre maximálnu hodnotu prúdenia vzduchu 4 m/s. Rozsah hodnôt rýchlosti prúdenia vzduchu nad vodnou hladinou, pre ktorý je vytvorená grafická závislosť, je v rozmedzí 0,1 až 4,0 m/s. Sleduje sa zmena toku tepla odparovaním pri postupnom zvyšovaní rýchlosti prúdenia vzduchu. Závislosť toku tepla odparovaním od rýchlosti prúdenia vzduchu nad hladinou vody je znázornené na Obrázku 14. Z grafu je zrejmé, že so zvyšujúcou rýchlosťou prúdenia vzduchu nad hladinou vody sa zvyšuje aj tepelný tok odparovaním. Výpočet ukázal, že ak je rýchlosť prúdenia vzduchu nad hladinou vody 0,1 m/s, tepelný tok odparovaním dosahuje hodnotu 36,3 W/m². Zvýšením rýchlosti prúdenia vzduchu na 0,2 m/s sa tepelný tok zvýši na hodnotu 63,2 W/m², čo predstavuje nárast

o približne 42 %. Je teda zrejmé, že pri vyšších rýchlostiach prúdenia vzduch nad hladinou odpadovej bazénovej vody, dochádza k zvyšovaniu tepelného toku odparovaním do ovzdušia.



Obrázok 14 Závislosť toku tepla odparovaním od rýchlosti prúdenia vzduchu nad hladinou vody

Ďalšou premennou, ktorá má výrazný vplyv na tepelný tok odparovaním do okolitého ovzdušia, je plocha odparovania. Výpočet ukázal, že zväčšovanie odparovacej plochy má podstatne výraznejší vplyv na tepelný tok odparovaním, ako zvyšovanie rýchlosti prúdenia vzduchu nad hladinou odpadovej vody.



Obrázok 15 Závislosť tepelného toku odparovaním do okolitého ovzdušia od plochy odparovania

Výsledkom výpočtu je najmä celkový tepelný tok z hladiny odpadovej bazénovej vody prúdiacej v chladiacom kanáli termálneho kúpaliska. Ten je zložený z tepelného toku konvekciou, odparovaním a radiáciou. Z výpočtu je zrejmé, že najväčší tepelný tok nastáva práve odparovaním, čo je dôkazom toho, že najväčší vplyv na ochladenie odpadovej bazénovej vody má práve zväčšovanie odparovacej plochy. Tepelný tok radiáciou je pomerne malý, ale tepelný tok konvekciou do stien chladiaceho kanála môže taktiež ovplyvniť ochladenie odpadovej bazénovej vody, avšak najmä v zimných mesiacoch. V nadväznosti na uvedený výpočet bola vytvorená závislosť znázornená na Obrázku 15, ktorá zobrazuje závislosť tepelného toku odparovaním do okolitého ovzdušia od plochy odparovania. Variovalo sa s plochou odparovania v rozmedzí od 1 m do 40 m. Z grafu je zrejmé, že nárast tepelného toku odparovaním pri zväčšovaní plochy odparovania je významný v porovnaní s nárastom tepelného toku odparovaním pri zvyšovaní rýchlosti prúdenia vzduchu nad hladinou odpadovej bazénovej vody.

7 MATEMATICKO-POČÍTAČOVÁ SIMULÁCIA OCHLADENIA ODPADOVEJ BAZÉNOVEJ VODY V CHLADIACOM KANÁLI

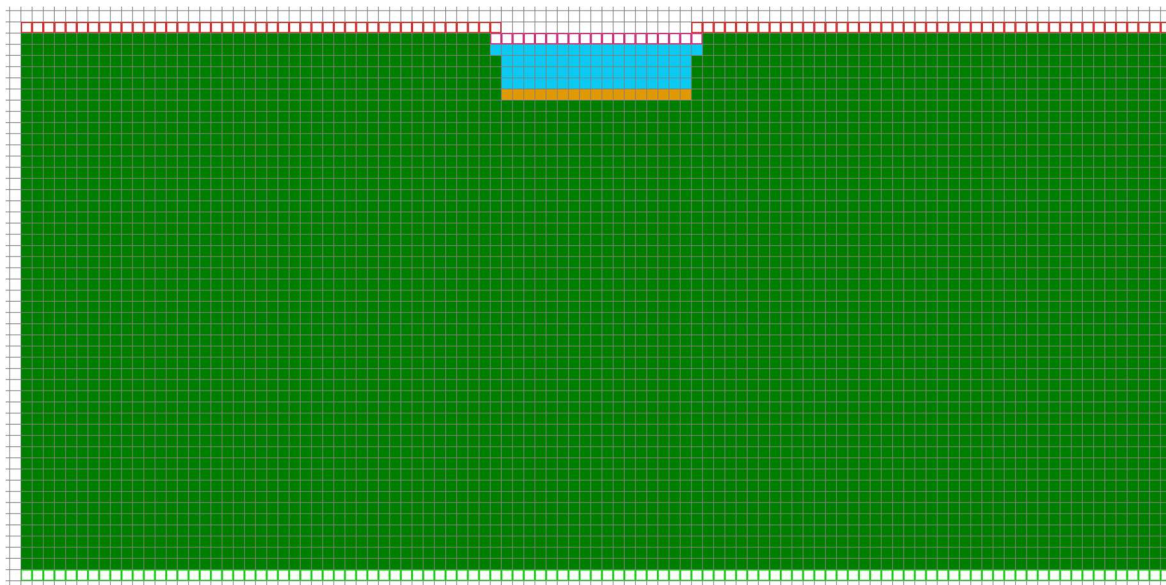
Zväčšovanie plochy odparovania má výrazný vplyv na tepelný tok odparovaním do okolitého ovzdušia, čoho následkom dochádza k znižovaniu teploty odpadovej bazénovej vody. V mnohých prípadoch využívajú termálne kúpaliská na ochladenie odpadovej bazénovej vody chladiaci kanál, ktorého odparovacia plocha je závislá od jeho dĺžky. Zväčšovaním dĺžky dochádza k zväčšovaniu plochy odparovania tak, ako to bolo uvedené vo výpočte predchádzajúcej kapitoly.

Táto kapitola je zameraná na matematicko-počítačovú simuláciu riešeného chladiaceho kanála. Jej cieľom je potvrdiť výsledok predchádzajúceho výpočtu, ktorý hovorí, že ak je dĺžka riešeného chladiaceho kanála 33,9 m a prúdi v ňom odpadová bazénová voda so strednou teplotou približne 41 °C, nie je táto dĺžka postačujúca a teplota odpadovej bazénovej vody na konci kanála klesne len na 36 °C.

Na vytvorenie matematicko-počítačovej simulácie bol použitý program CalA (Calculation Area) verzie 3, ktorý je založený na numerickom riešení diferenciálnych rovníc popisujúcich transport všeobecnej veličiny W s koeficientmi c pomocou metódy kontrolných objemov. Program CalA je vytvorený odborníkmi z VUT v Brně – prof. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D. a Ing. Josef Plášek, Ph.D.

Matematicko-počítačová simulácia je zameraná na chladiaci kanál riešeného termálneho kúpaliska, ktorý je lichobežníkového tvaru. Šírka dna chladiaceho kanála je 1,25 m a horná šírka kanála je 1,65 m. Výška hladiny vody od dna kanála je 0,4 m, čomu zodpovedá šírka vodnej hladiny 1,45 m. Následne bol vytvorený geometrický model pre 2D simuláciu v programe CalA. Doména riešená programom je znázornená na Obr. 7.1 a detail riešenej domény je znázornený na Obrázku 16. Doména 2D geometrického modelu bola vymedzená pomocou súčiny $2,5 \cdot b$, pričom za veličinu b je považovaná šírka hornej hrany chladiaceho kanála. Typ geometrického modelu 2D simulácie je CalA 2D Classic, pričom

zvolená súradnicová os je $dx = 25 \text{ mm}$, $dy = 25 \text{ mm}$ a $dz = 1\,000 \text{ mm}$, pričom súradnicová os dz nie je pre 2D simuláciu podstatná.



Obrázok 16 Doména 2D simulácie riešeného chladiaceho kanála

Dôležitou časťou matematicko-počítačovej simulácie je definovanie materiálov. Dno chladiaceho kanála je vytvorené z betónu. Kanál je zapustený v teréne, ktorý je zo zeminy. Vo výpočte je uvažované so zeminou s prirodzenou vlhkosťou. Ďalším definovaným materiálom je prúdiaca odpadová voda v chladiacom kanáli. Materiály použité v matematicko-počítačovej simulácii sú definované v Tabuľke 7.1.

Tabuľka 7.1 Definovanie materiálov použitých v 2D a 3D doméne matematicko-počítačovej simulácie

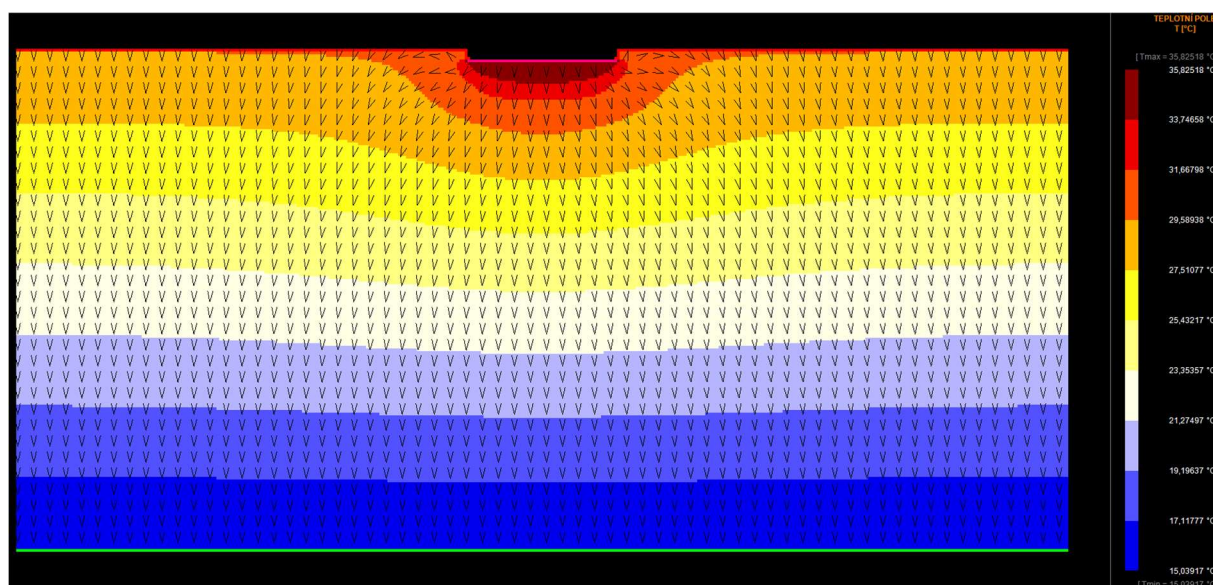
Farebné označenie	Materiál	Objemová hmotnosť	Súčiniteľ tepelnej vodivosti
		$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\lambda \text{ (J/s.m.K)}$
	Zemina s prirodzenou vlhkosťou	1 200	1,4
	Betón	1 350	1,23
	Prúdiaca voda	1 000	10 000 (3D) 0,637 (2D)

V rámci matematicko-počítačovej simulácie je potrebné definovať taktiež okrajové podmienky. Tie je potrebné definovať na povrchu zeminy pri styku s exteriérovým vzduchom, na povrchu prúdiacej vody pri styku s exteriérovým vzduchom a na okraji diskretizovanej domény v zemine v hĺbke 2,5.b. Ďalej sú definované okrajové podmienky, ktoré charakterizujú prítoky do chladiaceho kanála. Prvou okrajovou podmienkou je definovaný prítok odpadovej bazénovej vody do chladiaceho kanála, ktorým priteká voda s teplotou $39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Druhou okrajovou podmienkou je definovaný prítok odpadovej bazénovej vody do chladiaceho kanála, ktorým priteká voda s teplotou $35,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poslednou okrajovou podmienkou je definovaný prítok vzdialený $19,3 \text{ m}$ od predchádzajúceho prítoku, ktorým priteká odpadová voda z geocentrály s teplotou $51\text{ }^{\circ}\text{C}$. Okrajové podmienky sú definované v Tabuľke 7.2.

Tabuľka 7.2 Definovanie okrajových podmienok v 2D a 3D doméne matematicko-počítačovej simulácie

Farebné označenie	Okrajová podmienka	Typ okrajovej podmienky	Teplota	Súčiniteľ prestupu tepla
			θ (°C)	α (J/s.m ² .K)
	Povrch zeminy pri styku s exteriérovým vzduchom	Robin-Newtonova okrajová podmienka	30,0	11,18*
	Povrch prúdiacej vody pri styku s exteriérovým vzduchom	Robin-Newtonova okrajová podmienka	36,0	132,1*
	Zemina v predpísanej hĺbke 2,5.b	Dirichletova okrajová podmienka	12,0	-
Označenie	Okrajová podmienka		Teplota θ (°C)	Tlak vodnej pary M (Pa)
P1	Prítok 1 do chladiaceho kanála		39,0	1 950,0
P2	Prítok 2 do chladiaceho kanála		35,1	
P3	Prítok 3 do chladiaceho kanála		51,0	

Výsledkom 2D simulácie je vykreslenie teplotného poľa, ktoré vzniká prenosom tepla z odpadovej bazénovej vody prúdiacej v chladiacom kanáli do okolitej zeminy. Najvyššia teplota teplotného poľa je v samotnej prúdiacej odpadovej bazénovej vode. Smer pôsobenia teplotného poľa je znázornený šípkami. Teplotné pole je okrem iného ovplyvňované okrajovou podmienkou na povrchu zeminy pri styku s exteriérovým vzduchom, kde bolo uvažované s letným obdobím a teplotou vzduchu 30 °C. Z priebehu teplotného poľa je zrejmé, že s narastajúcou hĺbkou zeminy teplota klesá. Tepelný tok však nie je významný tak, ako to je pri tepelnom toku do ovzdušia. Tepelný tok do zeminy dosahuje 54,83 J/s. Teplotné pole 2D simulácie chladiaceho kanála s prúdiacou odpadovou bazénovou vodou je znázornený na Obrázku 17.

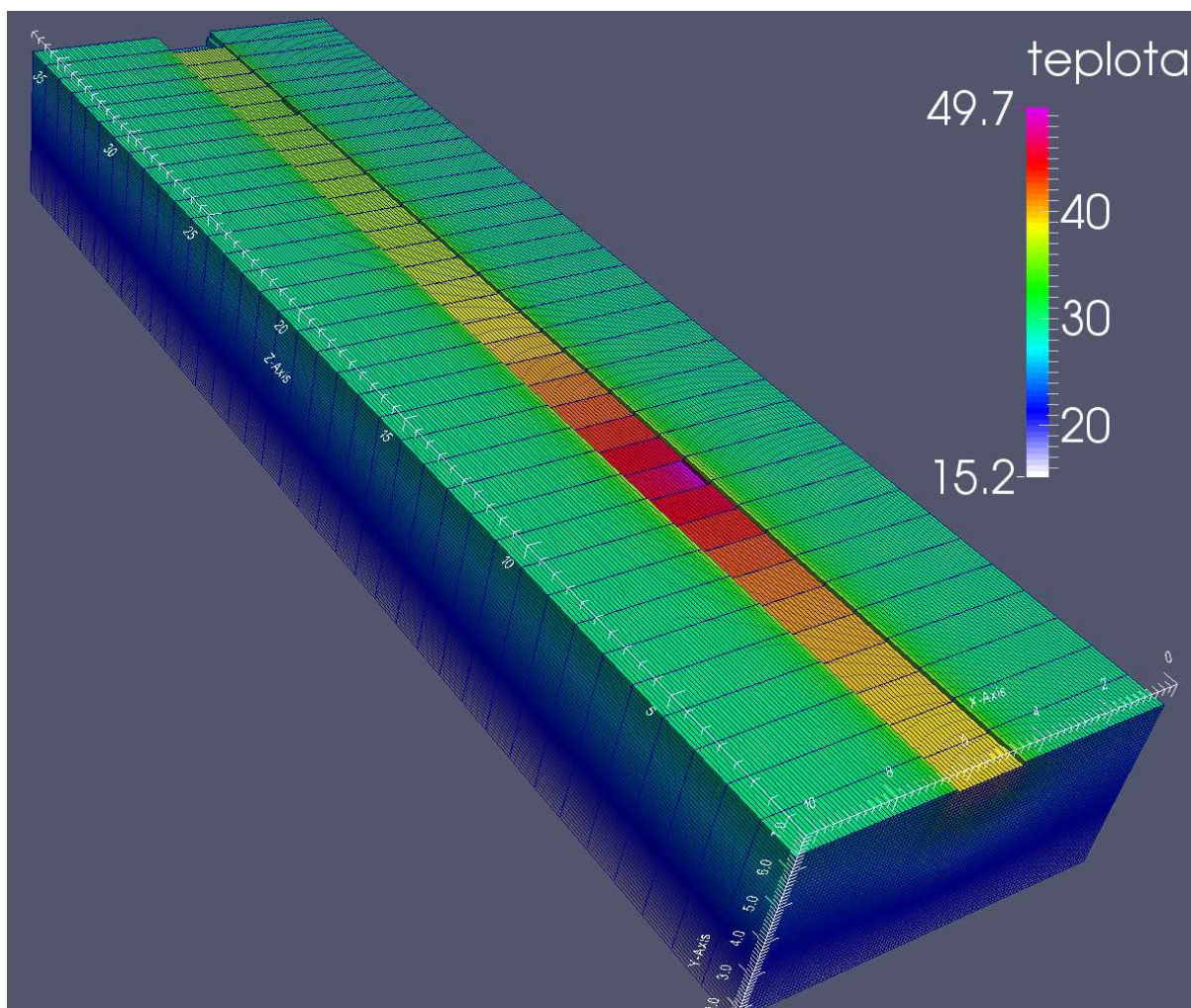


Obrázok 17 Priebeh teplotného poľa 2D simulácie chladiaceho kanála

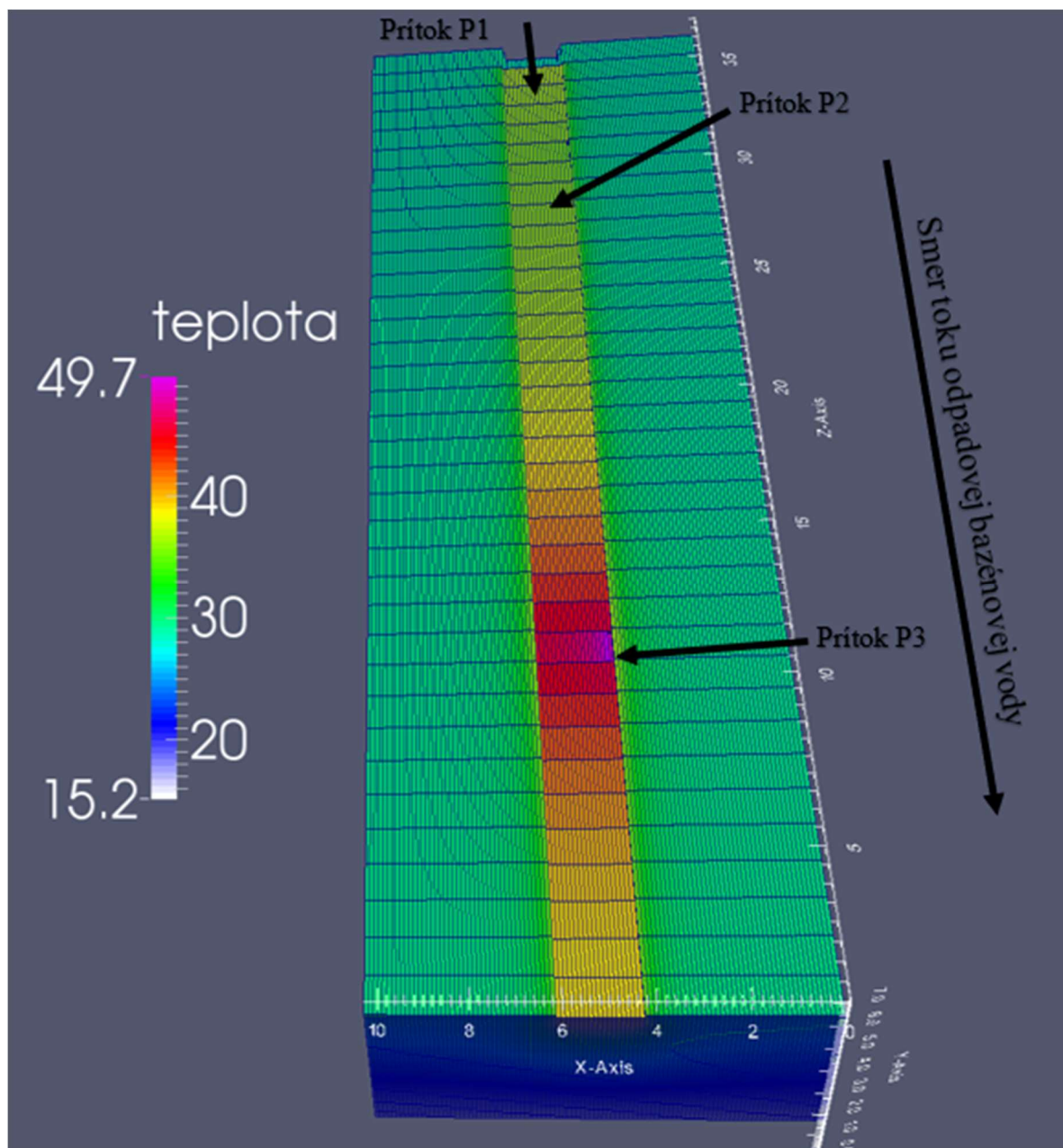
Výsledkom 3D simulácie je vývin teplotného poľa vznikajúceho v zemi pre definovaný prierez chladiaceho kanála so zadanými materiálovými parametrami a okrajovými podmienkami. 3D simulácia bola vytvorená pre 34 m dlhý chladiaci kanál, pričom bola rozdelená na 2D prierezy v každom metri kanála. Celkovo bolo vypracovaných 34 prierezov chladiaceho kanála. Vývin teplotného poľa v 34 prierezoch chladiaceho kanála je uvedený v Prílohe č. 3.

Výstup 3D simulácie z programu CalA je možné konvertovať do programu ParaView, ktorý slúži ako vizualizačný nástroj na zobrazovanie 3D výstupov. Je prispôsobený na prepojenie s 2D simulačnými programami. Umožňuje vizualizovať a analyzovať údaje v 3D užívateľskom rozhraní. V programe ParaView bol vizualizovaný 3D výstup, ktorý bol modelovaný v programe CalA zvlášť po jednom metri dĺžky chladiaceho kanála. Vývin teplotného poľa na 3D modeli je znázornený na Obrázkoch 18 a 19.

Z výsledku predošlých výpočtov, 2D a 3D simulácie je zrejmé, že teplota vody na konci chladiaceho kanála dosahuje hodnotu približne 40 °C, čo je environmentálne neakceptovateľné. So zvyšovaním dĺžky chladiaceho kanála dochádza k zvyšovaniu tepelného toku odparovaním do okolitého ovzdušia vzhľadom na to, že sa zväčšuje plocha odparovania.



Obrázok 18 Priebeh teplotného poľa v 3D modeli chladiaceho kanála



Obrázok 19 Priebeh teplotného poľa v 3D modeli chladiaceho kanála pri pohľade zhora

8 PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

8.1 Prínosy pre rozvoj vedy

Prínosy dizertačnej práce pre rozvoj vedy sú definované nasledovne:

- 1) **Definovanie výpočtového postupu na vyčíslenie miery využívania energie termálnej vody bazéna a bazénového hospodárstva.** Výpočet je stanovený v logicky nadväzujúcich krokoch. Výpočtom je možné vyčíslieť objemový prietok a objem termálnej, studenej, bazénovej a odpadovej bazénovej vody, pričom veličiny ďalej vstupujú do výpočtu miery využívania energie termálnej vody v bazéne, alebo bazénovom hospodárstve. Výpočtovým postupom je možné vyčíslieť teoreticky

využitelnú energiu, ktorú poskytuje termálny zdroj, užitočne využitú energiu termálnej vody a nevyužitú, alebo odpadovú energiu. Výpočet je možné aplikovať na akýkoľvek bazén a termálne kúpalisko.

- 2) **Energetické aspekty aplikácie systému spätného získavania tepla a zvýraznenie potreby aplikácie SSZT.** V dizertačnej práci je kladený dôraz na aplikáciu SSZT, vďaka ktorému je možné zabezpečiť zníženie teploty odpadovej bazénovej vody odtekajúcej z bazéna, alebo z celého bazénového hospodárstva na hodnotu predpísanú zákonmi a nariadením vlády. Energetickým aspektom aplikácie SSZT je, že teplota odpadovej bazénovej vody je znížená na požadovanú teplotu a zároveň je odpadová energia využitá v prevádzke termálneho kúpaliska, alebo v jeho bezprostrednej blízkosti.
- 3) **Ekologické aspekty aplikácií ochladenia odpadovej bazénovej vody.** Skúmanie spôsobov umelého dochladenia odpadovej bazénovej vody na maximálnu požadovanú teplotu v prípade, že nie je možná aplikácia SSZT. Toto je možné dosiahnuť predovšetkým zvyšovaním rýchlosti prúdenia vzduchu nad hladinou vody a zväčšovaním plochy odparovania, pričom dochádza k výraznému zväčšovaniu tepelného toku odparovaním. Táto časť ponúka veľké možnosti ďalšieho podrobného skúmania zväčšovania plochy odparovania.
- 4) **Spracovanie výpočtového modelu chladiaceho kanála.** Skúmanie aplikácie SSZT na úrovni celého bazénového hospodárstva s umiestnením rúrového výmenníka tepla v chladiacom kanáli termálneho kúpaliska. Výpočet je možné aplikovať na chladiaci kanál akéhokoľvek prierezu a dĺžky. Výpočtom je možné stanoviť energetický potenciál, ktorý má odpadová bazénová voda odtekajúca z celého bazénového hospodárstva a predbežne navrhnuť materiálové a konštrukčné vyhotovenie rúrového výmenníka tepla v chladiacom kanáli.
- 5) **Spracovanie matematicko-počítačovej simulácie chladiaceho kanála** a grafické znázornenie vývinu teplotného poľa vznikajúceho pri ochladzovaní odpadovej bazénovej vody pretekajúcej chladiacim kanálom, ktorá slúži najmä na overenie správnosti predchádzajúceho výpočtového postupu. Vďaka 3D matematicko-počítačovej simulácii je možné sledovať vývin teplotného poľa na hladine odpadovej bazénovej vody, najmä však na konci chladiaceho kanála. Týmto je potvrdený fakt, že ochladenie odpadovej bazénovej vody v chladiacom kanáli nie je dostatočné a nie je možné dosiahnuť zákonmi požadovanú maximálnu teplotu odpadovej bazénovej vody na hranici pozemku termálneho kúpaliska. Odchýlka medzi vypočítanými a simulovanými veličinami bola v riešenom prípade 8 %. Táto časť prináša ďalšie možnosti vypracovania matematicko-počítačových simulácií v podrobnejších a vhodnejších programoch.

8.2 Prínosy pre spoločenskú prax

Prínosy dizertačnej práce pre technickú a spoločenskú prax sú definované nasledovne:

- 1) **Energetická bilancia bazénového hospodárstva.** Vďaka definovaniu presného výpočtového postupu v logicky nadväzujúcich krokoch, je možné pomerne jednoducho vyčíslieť objemový prietok a objem termálnej, studenej, bazénovej a odpadovej

bazénovej vody v termálnom kúpalisku. Vďaka týmto hodnotám je ďalej možné vyčíslieť mieru využívania energie termálnej vody. V riešenom prípade bolo zistené, že miera využívania energie termálnej vody v bazénovom hospodárstve dosahuje len 43 %. Z energetického, ale aj ekologického hľadiska je to neakceptovateľné. Je potrebné dosahovať mieru využívania energie termálnej vody minimálne 60 %, ideálne 85 %, pričom so zvyšovaním miery využívania energie termálnej vody dochádza k znižovaniu teploty odpadovej bazénovej vody odtekajúcej z termálneho kúpaliska. Zároveň je zabezpečená znížená spotreba termálnej vody čerpanej zo zdroja, čím dochádza k predĺženiu životnosti geotermálneho zdroja. Vzhľadom na fakt, že tento problém má väčšina termálnych, ale aj netermálnych kúpalísk, je možné výpočtový postup aplikovať na akékoľvek z nich.

- 2) **Potreba aplikácie SSZT v bazénových hospodárstvach.** Apelovanie na aplikáciu SSZT najmä v strojojni bazénov v podobe doskového výmenníka osadeného do okruhu odpadovej bazénovej vody daného bazéna. Primárny spôsob využívania SSZT v strojojni bazéna slúži na predohrev studenej vody, ktorá sa ďalej mieša s termálnou vodou v takom pomere, aby boli zabezpečené požadované parametre bazénovej vody. Vyzdvihnutie aplikácie SSZT na úrovni bazénového hospodárstva v podobe uloženia rúrového výmenníka tepla do chladiaceho kanála, ktorým prúdi odpadová voda z celého bazénového hospodárstva. SSZT či už na úrovni bazéna, alebo bazénového hospodárstva, je možné využívať ďalšími spôsobmi, ktorým je predohrev pre prípravu teplej vody, ktorá sa následne už len dohreje v zásobníkovom ohrievači a využije v spotrebných miestach, ktorými sú najmä hygienické miestnosti v budovách termálneho kúpaliska. Ďalšou možnosťou je využívanie odpadového tepla na vytváranie chladu v podobe absorpčného chladenia, ktoré je taktiež možné využívať v budovách termálneho kúpaliska. Inými možnosťami sú ohrev veľkopriestorových skleníkov a fóliovníkov, ak sa tieto nachádzajú v blízkosti termálneho kúpaliska, prípadne vybudovanie malého skleníku na pestovanie zeleniny priamo v areáli termálneho kúpaliska a využívanie týchto surovín v stravovacích zariadeniach termálneho kúpaliska.
- 3) **Absencia monitorovacieho a riadiaceho systému.** Počas spracovania dizertačnej práce boli vykonané experimentálne merania, ktoré boli zamerané na monitorovanie a zaznamenávanie objemového prietoku a teploty termálnej a bazénovej vody. Zistiť tieto veličiny bolo potrebné z toho dôvodu, že vstupovali do výpočtu skutočnej energetickej bilancie referenčného bazéna. Zároveň bolo počas tohto kroku zistené, že v termálnom kúpalisku úplne absentuje monitorovací a riadiaci systém v strojojniach väčšiny bazénov. V monitorovacom a riadiacom systéme sú definované vstupné a výstupné parametre sledovaných veličín – objemový prietok termálnej, studenej, bazénovej a odpadovej bazénovej vody, ako aj príslušné teploty, s dôrazom na maximálnu účinnosť využívania energie termálnej vody. V prípade, ak nie sú dodržané vstupné parametre, monitorovací a riadiaci systém automaticky zabezpečí potrebné zásahy na dosiahnutie požadovaných výstupných parametrov a odstránenie nežiaducich stavov.

9 ZÁVER

Podľa údajov odborníkov v oblasti geotermálnej energie, je Slovensko krajinou s pomerne veľkým geotermálnych energetickým potenciálom. Teoreticky využiteľný energetický potenciál geotermálnej energie na Slovensku predstavuje viac ako 5 000 MW_t za predpokladu, že termálna voda bude vrátená do geologického podložia cez injektážne vrty. V najväčšej miere až 60 % z celkového inštalovaného tepelného výkonu, je geotermálna energia využívaná v rekreačných zariadeniach, nemôže byť použitá voda vrátená do geologického podložia, pretože prišla do styku s okolitým ovzduším, ale najmä s ľudskou pokožkou. Preto je táto voda považovaná za odpadovú a je odvádzaná do kanalizácie, alebo častejšie povrchových tokov. Tie sú vplyvom odpadovej vody s vysokou teplotou znečisťované a znehodnocované.

V dizertačnej práci bol potvrdený fakt, že termálne kúpaliská vypúšťajú odpadovú bazénovú vodu s príliš vysokými teplotami na to, aby mohla byť vypustená do povrchového toku bez znečistenia životného prostredia. Toto je predpísané Zákonom č. 364/2004 o vodách a Nariadením vlády SR 269/2010, ktoré predpisujú maximálnu teplotu odpadovej vody na teplotu 26 °C. Počas experimentálnych meraní, ktoré boli vykonané v riešenom termálnom kúpalisku bolo zistené, že teplota odpadovej bazénovej vody dosahuje až 50 °C, čo je environmentálne neakceptovateľné. Prevádzkovateľ termálneho kúpaliska musí vynaložiť nemalé financie na zaplatenie sankcií za znečisťovanie životného prostredia.

Cieľom dizertačnej práce bolo definovať finančne dostupné spôsoby, vďaka ktorým je možné zabezpečiť zníženie teploty odpadovej bazénovej vody na vyhovujúcu teplotu. Definovaných bolo niekoľko spôsobov, ktoré je možné aplikovať v termálnych kúpaliskách. Primárna vízia bola využívať systém spätného získavania tepla, ktorý spočíva v aplikácii výmenníka tepla do okruhu odpadovej bazénovej vody. Vďaka tomuto systému by bolo možné využívať energetický potenciál odpadovej bazénovej vody užitočným spôsobom. Otázkou však ostáva, akým. Podrobné výpočty energetickej bilancie bazénového hospodárstva ukázali prekvapivý výsledok, že energetický potenciál je podstatne väčší, ako sa predpokladalo. Pri existujúcom bazénovom hospodárstve je pomerne náročné presvedčiť prevádzkovateľov, aby boli ochotní spraviť väčšie zásahy do prevádzky a aplikovať rôzne opatrenia. Jednou možnosťou využívania energie odpadovej bazénovej vody je využívanie priamo v bazénovom hospodárstve na predohrev studenej vody, ktorá sa využíva na napúšťanie a prevádzku bazénov. Toto je najjednoduchšia možnosť, pričom nevyžaduje radikálne zásahy na úrovni bazénového hospodárstva. Ďalšou možnosťou je predohrev pre prípravu teplej vody, ktorá je využívaná v hygienických miestnostiach termálneho kúpaliska.

Počas komunikácie s riešeným termálnym kúpaliskom bol vyslovený názor prevádzkovateľa, ktorý popisoval vysokú náročnosť zasahovania do fungujúcej prevádzky bazénového hospodárstva. Preto ak zo strany termálneho kúpaliska nie je možné z rôznych dôvodov robiť zásadné úpravy, je potrebné definovať iné spôsoby, vďaka ktorým je možné zabezpečiť požadovanú teplotu odpadovej vody aj bez využitia energetického potenciálu. Tieto spôsoby boli teoreticky definované v dizertačnej práci, avšak ich podrobný návrh a aplikácia vyžadujú ďalší výskum. Cieľom dizertačnej práce bolo definovať spôsoby, vďaka ktorým je možné dosiahnuť požadovanú teplotu odpadovej bazénovej vody s užitočným využitím energetického potenciálu, alebo bez neho.

Zoznam publikácií autora dizertačnej práce

V2 Vedecký výstup publikačnej činnosti ako časť editovanej knihy alebo zborníka

- V2_01 PREDAJNIAŇSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Recuperation of waste heat produced by public pools. 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. 195-202. ISBN 978-80-89878-55-0. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_02 PREDAJNIAŇSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Ako ďalej s nízko teplotnou energiou z termálnych kúpalísk? In *Vykurovanie 2020 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 28. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie na tému - Klimatické zmeny a inovácie pri zásobovaní budov teplotom. Podbanské, Vysoké Tatry, 10. - 14. február 2020*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2020, CD-ROM, s. 147-150. ISBN 978-80-89878-58-1. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_03 PREDAJNIAŇSKA, Anna - SÁŇKA, Imrich. Energetické hodnotenie obnoveného rodinného domu. In *Facility management 2020. Covid-19 a bezpečné prostredie budov [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 18. vedecko-odbornej konferencie so zahraničnou účasťou. 28. - 29. 9. 2020, Štrbské Pleso, SR*. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2020, USB kľúč, s. 109-112. ISBN 978-80-89878-63-5. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_04 PREDAJNIAŇSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Recuperation of waste heat produced by public pools and low-enthalpy energy utilization. In *E-nova 2020 [elektronický zdroj] : Internationale Konferenz. Technologie- und Klimawandel. Energie-Gebäude-Umwelt. 26. und 27. November 2020*. 1. vyd. Graz : Leykam Buchverlagsgesellschaft, 2020, USB kľúč, s. 501-507. ISBN 978-3-7011-0460-4. Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_05 PREDAJNIAŇSKA, Anna. Spätné získavanie tepla z odpadovej bazénovej vody a využitie nízko teplotnej energie. 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, SCD-ROM, s. 305-312. ISBN 978-80-227-5052-3. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_06 PREDAJNIAŇSKA, Anna. Možnosť využitia nízko teplotnej energie v termálnych kúpaliskách. In *Zborník abstraktov z 31. ročníka vedeckej konferencie Vnútorňa klíma budov 2020 : vnútorné prostredie budov, 1.-2. december 2020, online*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2020, S. 65-66. ISBN 978-80-89878-68-0. Kategória publikácie do 2021: AFH
- V2_07 PREDAJNIAŇSKA, Anna - ILKO, Ján. Kontinuálne monitorovanie koncentrácie trietylenglykolu v technologickom procese dehydratácie zemného plynu pomocou neinvazívnej Clamp-on metódy merania so simultánnou kvantifikáciou prietoku. In *Globálne existenciálne riziká 2020 : recenzovaný zborník príspevkov z X. medzinárodnej vedeckej konferencie. 10. september 2020, Bratislava = Global Existential Risks 2020*,

proceedings. 1. vyd. Žilina : Strix, 2020, S. 237-260. ISBN 978-80-973460-4-1.
Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_08 PREDAJNIAANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Výmenníky tepla pre rekuperáciu odpadového tepla z termálnych kúpalísk. In *Vykurovanie 2021 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 29. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie na tému - Alternatívne zdroje energie pre budovy s takmer nulovou potrebou energie. Horný Smokovec, Vysoké Tatry, 21. - 25. jún 2021*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2021, CD-ROM, s. 215-218. ISBN 978-80-89878-72-7.
Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_09 PREDAJNIAANSKA, Anna - SÁNKA, Imrich - PETRÁŠ, Dušan. Technika prostredia pre budovy s takmer nulovou potrebou energie - Velux RenoActive. In *Vykurovanie 2021 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 29. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie na tému - Alternatívne zdroje energie pre budovy s takmer nulovou potrebou energie. Horný Smokovec, Vysoké Tatry, 21. - 25. jún 2021*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2021, CD-ROM, s. 423-426. ISBN 978-80-89878-72-7.
Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_10 PREDAJNIAANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. The Possibility of Using the Energy Potential of Waste Pool Water. In *GEOLINKS 2021. Book 1, volume 3, extended version: Air Pollution and Climate Change, Biotechnologies, Environmental Geology, Soil Science, Water Resources [elektronický zdroj] : conference proceedings. 17-18 May 2021, online*. 1. vyd. Sofia : SAIMA Consult, 2021, USB kľúč, s. 481-487. ISSN 2603-5472. ISBN 978-619-7495-17-1. V databáze: DOI: 10.32008/GEOLINKS2021/B1/V3/53.
Kategória publikácie do 2021: AFC

- V2_11 PREDAJNIAANSKA, Anna - PETRÁŠ, Dušan - KRAJČÍK, Michal - SÁNKA, Imrich. Trendy v obnove rodinných domov na Slovensku. In *Facility management 2021. Energetické úspory verzus zdravie a bezpečnosť [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 19. vedecko-odbornej konferencie so zahraničnou účasťou. 27. - 28. 9. 2021, Štrbské Pleso, SR*. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2021, USB kľúč, s. 53-58. ISBN 978-80-89878-78-9.
Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_12 PREDAJNIAANSKA, Anna. Využívanie odpadového tepla z bazénovej vody a systémy spätného získavania tepla. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 31st Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, 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 13th 2021, Bratislava, Slovakia*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 257-264. ISBN 978-80-227-5150-6.
Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_13 PREDAJNIAANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Single-step and double-step heath recuperation of waste water from thermal baths. In *Young Scientist 2021 (YS21) [elektronický zdroj] : proceedings of the 13th International Scientific Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD. Students and Young Scientists. 13th-15th October 2021, High Tatras, Slovakia*. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2021, online, [8] s., art. no. 012023. ISSN 1757-899X. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/1209/1/012023.
Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_14 PREDAJNIANSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - PETRÁŠ, Dušan - SÁNKA, Imrich. Renovácia rodinných domov postavených medzi rokmi 1950 až 1970. In *Komplexná obnova bytových domov 2021. Zelené a environmentálne akceptovateľné bytové domy [elektronický zdroj]* : zborník zo XV. medzinárodnej odbornej konferencie. 18. - 19. november 2021, Podbanské, online. 1. vyd. Bratislava : Združenie pre podporu obnovy bytových domov, 2021, USB kľúč, s. 40-43. ISBN 978-80-973813-3-2.
Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_15 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Rúrový výmenník tepla v systéme spätného získavania tepla z odpadovej vody. In *Vnútorná klíma budov 2021 [elektronický zdroj]* : zborník prednášok z 32. ročníka vedeckej konferencie na tému COVID-19 je stále tu. On-line konferencia, 6. - 7. december 2021. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2021, USB kľúč, s. 159-164. ISBN 978-80-89878-86-4.
Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_16 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Odpadová voda z rekreačných zariadení a možnosti jej dostatočného ochladenia. In *Obnoviteľné zdroje energie 2022 [elektronický zdroj]* : zborník prednášok z 20. vedecko-odbornej konferencie na tému "Znižovanie emisií skleníkových plynov". 16. - 17. máj 2022, Nový Smokovec. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2022, USB kľúč, s. 93-104. ISBN 978-80-89878-92-5.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_17** PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján - ŠIKULA, Ondřej. Influence of Air Flow Rate and Evaporation Surface on Cooling of Waste Pool Water Produced by Thermal Baths. In *8th International Youth Conference on Energy (IYCE'22) [elektronický zdroj]* : proceeding. 6th - 9th July 2022, Eger, Hungary. 1. vyd. [s.l.] : IEEE, 2022, online, [5] s. ISBN 978-1-6654-8721-4. V databáze: DOI: 10.1109/IYCE54153.2022.9857543 ; **SCOPUS**: 2-s2.0-85137817520.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_18 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Heath recovery from waste recreational pools water of thermal baths and medical sanatoriums. In *CLIMA 2022 [elektronický zdroj]* : proceedings of the 14th REHVA HVAC World Congress, 22-25 May 2022, Rotterdam. 1. vyd. Delft : TU Delft OPEN Publishing, 2022, online, s. 1117-1122. ISBN 978-94-6366-564-3. V databáze: DOI: 10.34641/mg.33.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_19 PREDAJNIANSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - SÁNKA, Imrich - PETRÁŠ, Dušan. Nearly zero energy buildings as a standard of 21st century - Velux RenovActive. In *CLIMA 2022 [elektronický zdroj]* : proceedings of the 14th REHVA HVAC World Congress, 22-25 May 2022, Rotterdam. 1. vyd. Delft : TU Delft OPEN Publishing, 2022, online, s. 35-40. ISBN 978-94-6366-564-3. V databáze: DOI: 10.34641/mg.33.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_20 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Overview of wastewater cooling options. In *Indoor Climate of Buildings 2022 [elektronický zdroj]* : Healthy Built Environment and Energy Security. Nový Smokovec, Slovakia, 4. - 6. December 2022. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2022, USB kľúč, s. 231-237. ISBN 978-80-8284-004-2.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_21 PREDAJNIANSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - PETRÁŠ, Dušan - SÁNKA, Imrich. Evaluation of the indoor climate of a renovated family house - Velux RenovActive. In *Indoor Climate of Buildings 2022 [elektronický zdroj] : Healthy Built Environment and Energy Security. Nový Smokovec, Slovakia, 4. - 6. December 2022*. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2022, USB kľúč, s. 15-26. ISBN 978-80-8284-004-2.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_22 PREDAJNIANSKA, Anna. Experimentálne meranie a analýza prevádzky bazéna termálneho kúpaliska. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 32nd Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, 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 26th 2022, Bratislava, Slovakia*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 235-243. ISBN 978-80-227-5251-0.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_23 PREDAJNIANSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - PETRÁŠ, Dušan. Energetická efektívnosť rodinných domov na Slovensku. In *Vykurovanie 2023 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 31. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie na tému - Energetické koncepcie a bezpečnosť zásobovania teplom. 20. - 24. marec 2023, Horný Smokovec*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2023, USB kľúč, s. 411-416. ISBN 978-80-8284-006-6.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_24 PREDAJNIANSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - SÁNKA, Imrich - PETRÁŠ, Dušan. Reconstruction Possibilities to Achieve a Nearly Zero Energy Building. In *YRSB22 - iiSBE Forum of Young Researchers in Sustainable Building 2022 [elektronický zdroj] : conference proceedings. 4th July 2022, Prague, Czech Republic*. 1. vyd. Praha : Czech Technical University in Prague, 2022, online, s. 92-100. ISBN 978-80-01-07107-6.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_25 SÁNKA, Imrich - PREDAJNIANSKA, Anna. Možnosti zlepšenia energetickej hospodárnosti rodinných domov. 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. 439-446.
- V2_26 SÁNKA, Imrich - PREDAJNIANSKA, Anna - PETRÁŠ, Dušan. Komplexná obnova rodinného domu na úroveň štandardu 21. storočia. In *Komplexná obnova bytových domov 2019. Energetická náročnosť a kvalita vnútorného prostredia budov : zborník prednášok z XIII. medzinárodnej odbornej konferencie. Podbanské, SR, 22. - 22. 11. 2019*. 1. vyd. Bratislava : Združenie pre podporu obnovy bytových domov, 2019, S. 33-37. ISBN 978-80-972493-8-0.
Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_27 ŠVARCOVÁ, Eva - PREDAJNIANSKA, Anna - PETRÁŠ, Dušan. Výsledky ročného merania vnútorného prostredia rodinného domu po komplexnej energetickej obnove. In *Energetický manažment 2023. Energetický manažment ako nástroj efektívneho využívania energie [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 9. vedecko-odbornej konferencie so zahraničnou účasťou. 13. - 14. apríl 2023, Vysoké Tatry, Podbanské*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2023, USB kľúč, s. 93-98. ISBN 978-80-

8284-008-0.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_28 TAKÁCS, Ján - PREDAJNIA NSKA, Anna. Rekuperácia tepla v bazénových hospodárstvach termálnych kúpalísk. In *Sanhyga 2019 [elektronický zdroj] : zborník prednášok z 24. medzinárodnej vedecko-technickej konferencie. Piešťany, SR, 10. - 11. 10. 2019*. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2019, CD-ROM, s. 145-151. ISBN 978-80-89878-49-9. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_29 TAKÁCS, Ján - PREDAJNIA NSKA, Anna. Rekuperácia tepla z odpadovej vody cirkulačného bazéna. In *Sanhyga 2020 : zborník prednášok z 25. medzinárodnej vedecko-technickej konferencie. 12. - 13. november 2020, Piešťany*. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2020, S. 152-159. ISBN 978-80-89878-66-6. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_30 TAKÁCS, Ján - PREDAJNIA NSKA, Anna - MUDRÁ, Martina. A termálfürdők szennyvízéből történő hőviszanyerés lehetőségéi hőcserélők és hőszivattyúk alkalmazásával. In *ÉPKO 2021 [elektronický zdroj] : XXV Nemzetközi építéstudományi konferencia. Online, 2021. június 5*. Cluj : Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2021, online, s. 188-191. ISSN 2734-4525. Kategória publikácie do 2021: AFC

V3 Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu

- V3_01 PREDAJNIA NSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - PETRÁŠ, Dušan. Indoor Climate After Energy Renovation of Family house. In *REHVA European HVAC Journal*. Vol. 60, iss. 1 (2023), s. 25-30. ISSN 1307-3729. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADE
- V3_02 PREDAJNIA NSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Odpadová bazénová voda - problém alebo využiteľný zdroj? In *Eurostav*. Roč. 29, č. 3 (2023), s. 29-31. ISSN 1335-1249. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF
- V3_03 PREDAJNIA NSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - PETRÁŠ, Dušan. Rekonštrukcia rodinných domov na Slovensku z pohľadu energetickej efektívnosti budov. In *Plynár - vodár - kúrenár + klimatizácia*. Roč. 21, č. 2 (2023), s. 44-46. ISSN 1335-9614. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF
- V3_04 PREDAJNIA NSKA, Anna - ŠVARCOVÁ, Eva - PETRÁŠ, Dušan. Projekt RenovActive ukazuje návod na rekonštrukciu rodinného domu s dôrazom na zdravé bývanie. In *TZB Haustechnik*. Roč. 31, č. 2 (2023), s. 18-21. ISSN 1210-356X. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF

O2 Odborný výstup publikačnej činnosti ako časť knižnej publikácie alebo zborníka

- O2_01 MUDRÁ, Martina - PREDAJNIA NSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Koncepcia spätného získavania tepla z odpadovej vody termálnych kúpalísk s aplikáciou výmenníkov tepla a tepelných čerpadel. In *Komplexná obnova bytových domov 2020. Bezpečnosť a zdravie v domácnostiach : zborník zo XIV. medzinárodnej odbornej konferencie. Bratislava, SR, 19. - 20. 11. 2020*. 1. vyd. Bratislava : Združenie pre podporu obnovy bytových domov, 2020, S. 44-47. ISBN 978-80-973813-1-8. Kategória publikácie do 2021: BEF
- O2_02 PREDAJNIA NSKA, Anna - TAKÁCS, Ján - KALÚS, Daniel. Využitie odpadového tepla z termálnych kúpalísk v aktívnej tepelnej ochrane budov. In BAŠTA, Jiří. *Vytápění Třeboň*

2021 : sborník přednášek. Třeboň, 9. až 11. listopadu 2021. 1. vyd. Praha : Společnost pro techniku prostředí, 2021, S. 181-186. ISBN 978-80-02-02942-7.

Kategória publikácie do 2021: BEE

- O2_03 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Materiálové a konštrukčné vyhotovenie rúrového výmenníka tepla a jeho využitie v systéme spätného získavania tepla. In *Vykurovanie 2022 [elektronický zdroj]* : zborník prednášok z 30. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie na tému - Čistá energia pre modrý vzduch a zelenú prírodu. Horný Smokovec, 14. - 18. február 2022. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2022, USB kľúč, s. 261-264. ISBN 978-80-89878-88-8.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BEF
- O2_04** PREDAJNIANSKA, Anna - PETRÁŠ, Dušan - KRAJČÍK, Michal - SÁNKA, Imrich. Energy Efficiency Trends for Houses in Slovakia. In *AEE World Energy Conference and Expo 2021 [elektronický zdroj]*. 1. vyd. New Orleans : [s.n.], 2021, USB kľúč, s. 1706. ISBN 978-17-13838-65-4. V databáze: **SCOPUS**: 2-s2.0-85120735359.
Typ výstupu: poster z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFK
- O2_05 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Chladenie odpadovej vody z termálnych kúpalísk pomocou odparu do ovzdušia. In *Sanhyga 2022 [elektronický zdroj]* : zborník prednášok z 26. medzinárodnej vedecko-technickej konferencie. 13. - 14. október 2022, Piešťany. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2022, USB kľúč, s. 151-154. ISBN 978-80-89878-99-4.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BEF
- O2_06 PREDAJNIANSKA, Anna - PETRÁŠ, Dušan. Obnova rodinných domov na Slovensku. In *Facility management 2022. Podpora BIM pre správu budov [elektronický zdroj]* : zborník prednášok z 20. vedecko-odbornej medzinárodnej konferencie. 29. - 30. 9. 2022, Nový Smokovec. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2022, USB kľúč, s. 65-69. ISBN 978-80-89878-98-7.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BEF
- O2_07 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Spätné získavanie tepla z odpadovej vody a jeho využitie v prevádzke kúpaliska. In *Obnoviteľné zdroje energie 2023 [elektronický zdroj]* : zborník prednášok z 21. vedecko-odbornej konferencie na tému "Čo škodí a čo pomáha OZE na Slovensku". 15. - 16. máj 2023, Nový Smokovec. 1. vyd. Bratislava : SSTP, 2023, USB kľúč, s. 169-173. ISBN 978-80-8284-010-3.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BEF
- O2_08 ŠVARCOVÁ, Eva - SÁNKA, Imrich - PREDAJNIANSKA, Anna - PETRÁŠ, Dušan. Renovation of a Family House with Achievement of a Nearly Zero Energy Building Requirement. In *ISHVAC 2021 and 2021 KIAEBS Autumn Conference [elektronický zdroj]* : Healthy, Smart and Interactive Built Environment. November 24 to 26, 2021, Virtual (Seoul, Korea). 1. vyd. Seoul : Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2021, USB kľúč, s. 718-723. ISBN 979-11-965368-1-7.
Kategória publikácie do 2021: BEE

O3 Odborný výstup publikačnej činnosti z časopisu

- O3_01 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Využívanie geotermálnej energie vo svete a na Slovensku. In *TZB Haustechnik*. Roč. 28, č. 3 (2020), s. 14-17. ISSN 1210-356X.
Kategória publikácie do 2021: BDF
- O3_02 PREDAJNIANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Využití nízkoteplotní energie z termálních koupališť. In *TZB Haustechnik*. Roč. 14, č. 3 (2020), s. 22-25. ISSN 1803-4802.
Kategória publikácie do 2021: BDE

- O3_03 PREDAJNIAANSKA, Anna - SÁNKA, Imrich - PETRÁŠ, Dušan. Budovy s takmer nulovou potrebou energie ako štandard 21. storočia - VELUX RenovActive. In *TZB Haustechnik*. Roč. 29, č. 4 (2021), s. 34-36. ISSN 1210-356X.
Kategória publikácie do 2021: BDF
- O3_04 PREDAJNIAANSKA, Anna - TAKÁCS, Ján. Termálne kúpaliská a balneologické zariadenia. In *TZB Haustechnik*. Roč. 29, č. 4 (2021), s. 40-42. ISSN 1210-356X.
Kategória publikácie do 2021: BDF
- O3_05 PREDAJNIAANSKA, Anna. Aké sú možnosti využívania odpadového tepla z bazénovej vody? In *Plynár - vodár - kúrenár + klimatizácia*. Roč. 20, č. 4 (2022), s. 10-13. ISSN 1335-9614.
Typ výstupu: článok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BEF