



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

SEZÓNNÍ AKUMULÁTOR TEPLA

ROCK HEAT ACCUMULATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Hoang Nguyen Khac

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Hoang Nguyen Khac
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Sezónní akumulátor tepla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na problematiku sezónní akumulace tepelné energie. Pozornost bude věnována především akumulaci do horninových vrstev. Pro tento typ akumulace bude sestaven základní matematický model pro výpočet dynamiky přenosu tepla v akumulátoru. Pro konkrétní výkon akumulátoru bude realizován výpočet a návrh možného provedení. Pro konkrétní návrh bude zpracována studie vlivu změny provozních parametrů a základní technicko–ekonomické posouzení.

Cíle diplomové práce:

1. Rešeršním způsobem představte problematiku sezónní akumulace tepelné energie s detailnějším zaměřením na horninové akumulátory.
2. Pro akumulátor využívající akumulaci v hornině vytvořte výpočtový model založený na analytických vztazích přenosu tepla.
3. Pro zadané parametry navrhnete provedení sezónního akumulátoru s požadovanou kapacitou.
4. Realizujte výpočtovou studii hodnotící vliv změny provozních parametrů na kapacitu akumulátoru a efektivnost akumulace.
5. Uveďte technicko–ekonomické zhodnocení akumulace v navrženém akumulátoru.

Seznam doporučené literatury:

JÍCHA, Miroslav. Přenos tepla a látky. Brno: CERM, 2001, 160 s. ISBN 80-214-2029-4.

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s., ISBN 978-80-214-4300-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom diplomovej práce je priblížiť problematiku sezónnej akumulácie tepla s detailnejším zameraním na horninový akumulátor. Na základe projektu v nemeckom Attenkirchene sa pripraví výpočtový model. Po vykonaní technickej analýzy modelu sa pripraví ekonomické zhodnotenie akumulačného systému. Na záver práce sa vyhodnotí výhodnosť použitia akumulačného systému oproti tradičným systémom.

Kľúčové slová

Horninový akumulátor tepla, sezónna akumulácia tepla, hlbinné vrty, vodná nádrž

ABSTRACT

The aim of the thesis to explain the functionality of seasonal accumulation with an in-depth view on rock bed accumulator. The computational model is based on the project located in Attenkirchen, Germany. After the technical analysis of the model is carried out an economical review can be realized. To conclude the thesis an evaluation is made comparing an accumulation system with a more traditional one.

Key words

Rock bed heat accumulator, seasonal heat accumulation, boreholes, water tank

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

NGUYEN KHAC, Hoang. *Sezónní akumulátor tepla* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124776>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému **Sezónny akumulátor tepla** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

.....
25.6.2020

Dátum

.....
Bc. Hoang Nguyen Khac

Meno a priezvisko

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D. za cenné pripomienky a rady, ktoré mi poskytol pri vypracovaní záverečnej práce.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Skladovanie tepla	12
1.1 Rozdelenie skladovania tepelnej energie	12
2 Sezónna akumulácia tepla	14
2.1 Veľkokapacitné nádrže	14
2.2 Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)	15
2.3 Jamový zásobník	17
2.4 Solárny bazén	17
2.5 Borehole Thermal Energy Storage (BTES) - Horninový akumulátor tepla ..	18
3 Popis konceptu	24
3.1 Rodinné domy	24
3.2 Fototermický kolektor	25
3.3 Tepelné čerpadlo zem - voda	25
3.4 Dimenzovanie vodnej nádrže a okolitých vrtov	26
4 Návrh výpočtu a vzťahy	28
4.1 Zjednodušená bilancia solárneho kolektoru	28
4.2 Tepelné straty potrubia	28
4.3 Zmena teploty nádrže vplyvom strát	30
4.4 Teplotné zóny	31
4.4.1 Prvá zóna	32
4.4.2 Druhá zóna	33
4.4.3 Tretia zóna	34
4.4.4 Štvrtá zóna	35
4.5 Vykurovanie a vetranie	35
4.5.1 Zmena teploty vplyvom odberu energie	36
4.6 Skutočná teplota teplotonosnej kvapaliny do nádrže	37
4.7 Súčiniteľ prestupu tepla na strane vody	38
4.8 Dĺžka tepelného výmenníku	39
5 Hodnoty	40
5.1 Teoretické zisky energie kolektorov	40
5.2 Tepelné straty	43
5.3 Systém bez odberu	51
5.3.1 Teplota v nádrži	51
5.3.2 Teplota v prvej zóne	52
5.3.3 Teplota v druhej zóne	53
5.3.4 Teplota v tretej zóne	54
5.3.5 Teplota v štvrtej zóne	54
5.4 Systém s odberom tepla na vykurovanie	56
5.5 Systém s odberom tepla na vykurovanie a ohrev TÚV	58
5.6 Zmena teplôt vplyvom odberu energie	59
5.7 Skutočná teplota teplotonosnej kvapaliny do výmenníku	61

5.8	Délka tepelného výměníku	62
6	Ekonomické zhodnotenie	64
6.1	Investícia - akumulčný systém	64
6.2	Investícia - priamo výhrevný systém	67
6.3	Spotreba elektrickej energie - akumulčný systém.....	67
6.4	Spotreba elektrickej energie - priamo výhrevný systém.....	70
6.5	Finančná návratnosť.....	73
	ZÁVER.....	75
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK	82

ÚVOD

Zvyšujícími sa nárokmi modernej spoločnosti po energii, nedostatok fosílnych palív a obavy ohľadom životného prostredia nás nútia po vyhľadani nových alternatív vo svete energetiky. Je všeobecne známe, že obnoviteľné zdroje ako samostatná náhrada stačiť nebudú, preto je nutné ich lepšie zužitkovať, zefektívniť.

Jednou z možností je sezónna akumulácia, ktorou sa diplomová práca zaoberá. V teoretickej časti sa priblíži koncept sezónnej akumulácie citeľným teplom a detailne sa popíše koncept horninového akumulátoru tepla na konkrétnom príklade.

V praktickej časti diplomová práca aplikovala získané teoretické poznatky na modelové domy a bola vykonaná dôkladná technicko-ekonomická analýza. Keďže sa jedná o mladú technológiu vo svojom vývine, nie všetky existujúce projekty dosiahli svojho potenciálu. Niektoré projekty zlyhali až pri výstavbe a boli vyčíslené státisícové straty. Preto je analýza veľmi dôležitá, aby predikovala priebeh funkcie systému.

Na konci práce je zhrnutie vo forme záveru, kedy sa stručne popíše obsah diplomovej práce a vyvodí sa odporúčenie akumuláčného projektu budúcim stavbám.

1 Skladovanie tepla

Skladovanie tepla je možné uskutočniť: ohrevom (chladením), roztavením alebo odparením. Skladovanie energie zmenou teploty je pomocou citelného tepla a pri zmene skupenstva látky ide o metódu využívajúcu latentné teplo.

Kompletný proces skladovania tepla spočíva aspoň v troch fázach, ako je na Obr. 1.1. Procesy môžu fungovať simultánne (nabíjanie a skladovanie) alebo pracovať viackrát za jeden cyklus. [1]



Obr. 1.1 časové úseky skladovanie tepelnej energie [1]

1.1 Rozdelenie skladovania tepelnej energie

Medzi spôsoby skladovania sa dá rozdeliť aktívne a pasívne úložisko (Obr. 1.2). Aktívne úložisko je charakterizované tepelným prenosom s nútenou konvekciou do skladovaného materiálu. Môže byť priame či nepriame. V priamom systéme je teplotné médium zároveň aj skladovanou látkou. Zatiaľ čo v nepriamom systéme sú dve médiá, jedno teplotné a druhé skladovacie. Pasívne systémy sú tiež dvojmédiové, kde teplotná tekutina nabíja alebo vybíja tuhé teleso. [2]



Obr. 1.2 schéma rozdelenia skladovacích konceptov [2]

Ďalšou významnou kategóriou rozdelenia je: [2]

- **citeľným teplom:** akumulácia v takomto type sa prejavuje vo zvyšovaní či znižovaní teploty média. Skladované teplo závisí od tepelnej kapacity média a zmeny teploty. Medzi najpoužívanejšie materiály skladovania patrí voda, horniny, zem či podzemné

vodonosné látky. Všetky majú svoje výhody a nevýhody a vyberajú sa podľa tepelnej kapacity a dostupného miesta ku skladovaniu.

- **latentným teplom:** tepelná energia využívajúca latentné teplo spočíva v zmene skupenstva látky pri konštantnej teplote. Súvisia s odovzdaným či prijatým teplom počas zmeny skupenstva, zvyčajne medzi tuhými a kvapalnými fázami. Medzi používané materiály patrí voda, parafín alebo solné hydráty. Hoci existuje mnoho komerčných využití, existencia praktických problémov spomaľuje vývoj tejto metódy.

Rozdelenie podľa doby skladovania: [2]

- **denné:** tepelná energia je skladovaná počas jednej časti dňa a v druhej je využívaná. Tento cyklus sa môže opakovať niekoľkokrát za deň.
- **týždenné:** tepelná energia sa skladuje počas niekoľkých dní a vybíja sa v ostatných napr. nabíjanie sa môže uskutočniť počas pracovných dní k využitiu na víkend.
- **sezónne:** tepelná energia je akumulovaná počas jedného či viacerých ročných období a skladuje sa niekoľko mesiacov napr. skladovanie solárnej energie v letných mesiacoch

Rozdelenie podľa použitého média: [1]

V nasledujúcej tabuľke sa nachádzajú média prerozdelené do predchádzajúcich kategórií.

Tab. 1.1 média použité na skladovanie energie

Citeľným teplom Krátkodobo	Citeľným teplom Dlhodobo	Latentným teplom Krátkodobo
Horninový akumulátor	Horninový akumulátor	Anorganické materiály
Vodné nádrže	Veľkokapacitné vodné nádrže	Organické materiály
-	Vodonosná vrstva	Mastné kyseliny
-	Solárne nádrže	Aromáty

2 Sezónna akumulácia tepla

Sezónna akumulácia tepla je skladovanie tepelnej energie, ohrev alebo chladenie, k budúcemu využitiu. Systémy na sezónnu akumuláciu tepla slúžia k dlhodobému uskladneniu tepelnej energie v časoch, keď dostupnosť a dopyt po energii sú v nesúlade. Nesúlad vzniká ako prebytok dostupného tepla v letných mesiacoch s nízkou či nulovou potrebou tepelnej energie k obdobiu s vyššími nárokmi na tepelnú energiu. To umožňuje zbieranie a skladovanie nadbytočnej energie, ktorá typicky vzniká zo solárnych panelov v časoch intenzívnejšieho slnečného žiarenia alebo ako odpadné teplo produkované klimatickými zariadeniami. V opačnom prípade skladovanie chladiwa v zimných mesiacoch, kedy sa skladuje chladný zimný vzduch. [3]

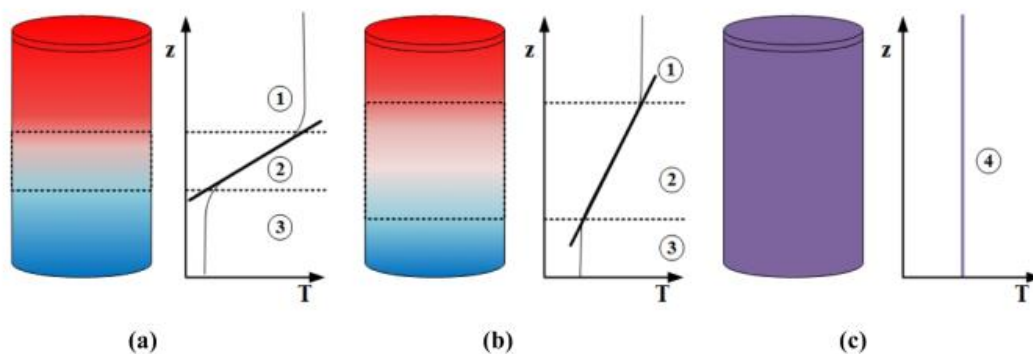
Sezónne skladovanie energie je často použité v kombinácii s tepelnými čerpadlami. Skoro všetky voda-voda čerpadlové systémy zahŕňajú sezónnu akumuláciu tepla, kde zdrojová energia je vytiahnutá zo skladovaného média počas zimnej vykurovacej sezóny, je premenená na použiteľnú tepelnú energiu pomocou tepelného čerpadla. Energia je potom využitá na ohrev miestnosti či vody. [3]

Sezónne skladovanie tepla je možné dosiahnuť rôznymi metódami za použitia rôznych médií. Nutnosťou je dbať na možnosti okolitého prostredia a celkovú cenu daného mechanizmu. [3]

2.1 Veľkokapacitné nádrže

Skladovanie tepelnej energie do nádrže z predpätého železobetónu či nerezovej ocele, najčastejšie naplnenou vodou. Z dôvodu sezónnej akumulácie má nádrž veľký povrch a musí sa izolovať hrubými vrstvami izolácie. Kvôli veľkosti systému a dostupnosti priestorov sa nádrže väčšinu času zakopávajú úplne alebo aspoň čiastočne, avšak existujú aj voľne stojace zásobníky. [7]

Akumulácia v takýchto nádržiach využíva stratifikáciu to znamená, že teplejšie médium je vo vrchných častiach z dôvodu tepelného vztlaku. Chladnejšia voda má väčšiu hustotu a preto sa zdržiava na spodku nádrže. Tvorí sa termoklina, neviditeľná prechodová vrstva na rozmedzí vody s rozdielnou teplotou. Musí sa udržiavať čo najmenšia, k zmenšeniu zmiešavacieho efektu a vďaka tomu menšie tepelné straty a vyššia účinnosť systému. [7]

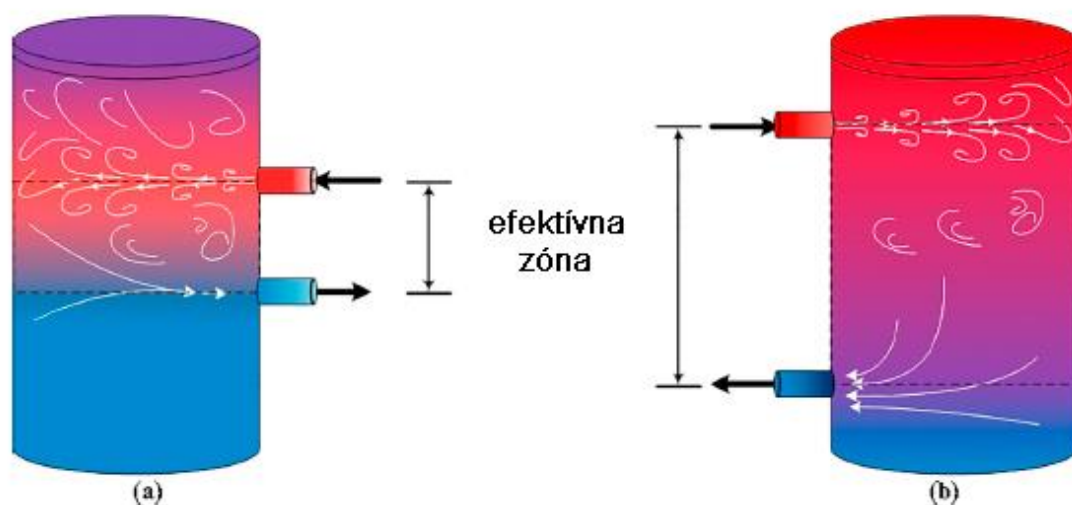


Obr. 2.1 stratifikácia a teplotný gradient [7]

Na obrázku 2.1 je zobrazená termoklina a rôzne úrovne stratifikácie s rovnakou veľkosťou uskladneného tepla. Typ a) je vysoko stratifikovaná oblasť s malou termoklinou oproti typu b),

z toho dôvodu je veľký teplotný gradient. Kým typ b) je mierne stratifikovaná oblasť s veľkou termoklinou a z toho dôvodu je aj teplotný gradient menší. Typ c) je úplne zmiešané médium, nemá žiadnu termoklinu a ide o nestratifikované uloženie. Ďalšie značenie na obrázku znázorňuje teploty (1) Horúca časť (2) termoklina (3) studená časť a (4) jednotná teplota. [7]

Dôležitým faktorom pre dobrú tepelnú stratifikáciu sú vstupné a výstupné ventily a to hlavne ich uloženie a geometria. Obzvlášť pri zle navrhnutých vstupných ventiloch môže vzniknúť lokálna turbulencia a dôsledkom toho mixovanie média. Turbulencia vzniká z dôvodu rýchlosti vstupujúcej vody, ktorá je väčšia ako tá v zásobníku a následne sa vytvorí prúd vody, ktorý strháva okolitú vodu, ilustrácia na obr. 2.2. Na druhú stranu, keď voda opúšťa zásobník odoberá sa voda z rôznych úrovní a dochádza k zmiešavaniu pri výstupnom ventile. Preto je dôležité umiestniť ventily čo najbližšie k vrchu a spodku nádrže. [7]



Obr. 2.2 geometria zásobníkov a zmiešavanie prúdov [7]

- Výhody a nevýhody: [7]
 - + vysoká tepelná kapacita (voda)
 - + dobré operačné vlastnosti
 - + použitie ako zbernica
 - + voľnosť v dizajne (geometria)
 - + možnosť opravy a údržby (v niektorých prípadoch)
 - vysoká konštrukčná cena
 - veľké objemy

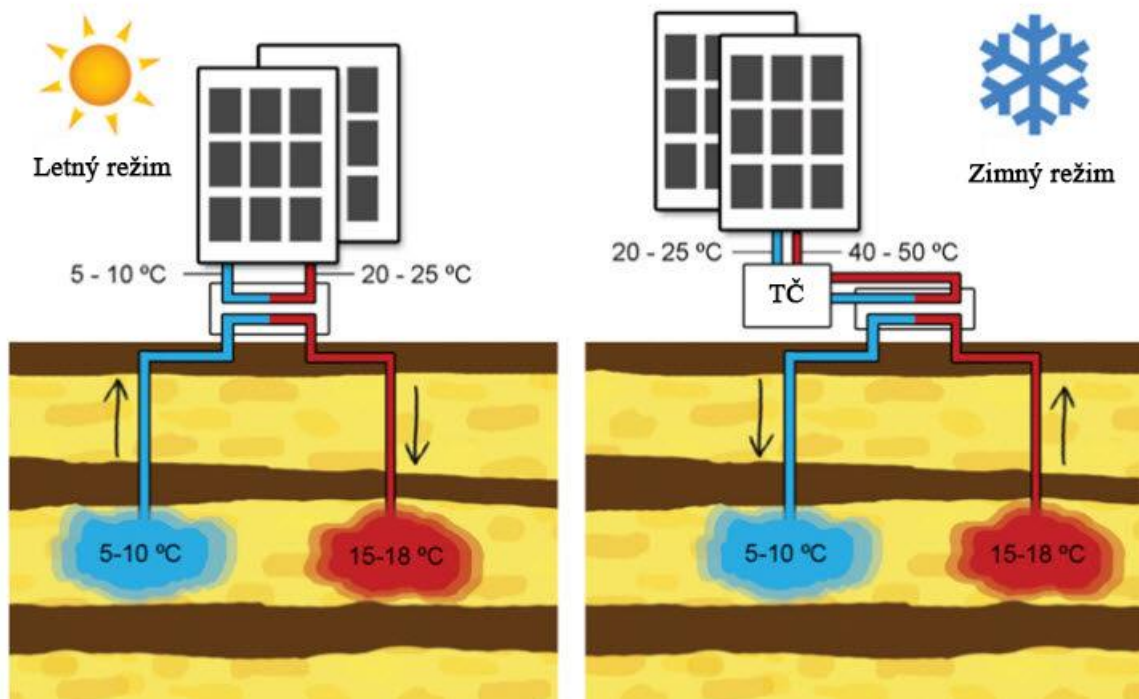
2.2 Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)

Metóda využívajúca podzemnú vodu ako médium skladovania energie. Postup, ktorý sa používa prevažne v Európe a najmä v Holandsku, v roku 1995 bolo použitých len 29 systémov a v roku 2012 ich stúplo cez 1800. ATES systémy prichádzajú v rôznych formách a nastaveniach podľa požiadavky a možnostiach lokality. Všeobecne môžu byť otvorené alebo zavreté. [3]

V otvorenom systéme má v zime podzemná voda väčšiu teplotu ako okolité prostredie. Tá potom putuje cez vyvrtanú studňu do tepelného výmenníku a následne do tepelného čerpadla a končí na povrchu. Hoci táto metóda používa podzemnú vodu ako zdroj tepla, nie je to úplne

pravá metóda skladovania tepla, pretože energiu zo zeme len berie a nevracia spoliehajúc sa na prebytočné množstvo energie spod zeme. [3]

Na druhú stranu pri uzavretom systéme sa podzemná voda čerpá v potrebnom období, v lete na chladenie a v zime na ohrev, a vracia späť do zeme, obnovujúc tým tepelnú energiu sústavy. Uzavretý ATEs sa môže nachádzať v 200 metroch pod zemou s najvyššou teplotou vody do 20°C a najnižšou 5°C. To znamená, že táto metóda sa musí používať s tepelným čerpadlom, pretože prevádzkové teploty by boli príliš nízke na vykurovanie. [3]



Obr. 2.3 uzavretý ATEs systém [4]

ATEs čelí mnohým prekážkam, napríklad neznalosť podložia a jeho charakteristík, dizajn a výstavba nekvalifikovanými firmami, dôsledkom malého rozšírenia technológie existuje málo predpisov, čo vedie k zdĺhavým úradným procesom, styk so znečistenou vodou v mestách. Avšak aj tieto bariéry sa dajú zložiť, dôkladnou podpovrchovou analýzou, skúsení holandskí odborníci konzultujú a poukazujú na pokročilosť metódy, zvýšenie pozornosti prednáškami a vedeckými publikáciami, prečistenie vody a neustále monitorovanie. [6]

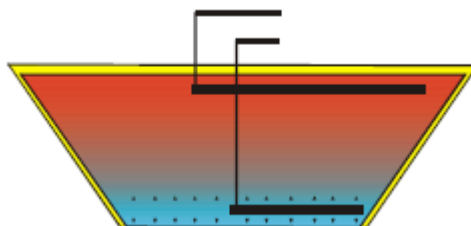
K zvýšeniu povedomia sa uchopila firma Climate-KIC a ich projekt E-use (aq). Projekty v Belgicku, Španielsku, Taliansku, Dánsku či aj v Holandsku. V Holandsku je už je mnoho vedomostí a skúseností. Legálne predpisy a zákonitosti sú vo funkcii už od roku 2014, preto bola dôležitá spolupráca medzi Holandskom a ostatnými krajinami, aby sa položili základy pre ATEs. [6]

- Výhody a nevýhody: [7]
 - + malé konštrukčné náklady
 - + stredne vysoká tepelná kapacita
 - nutnosť použitia s tepelným čerpadlom
 - málo vyhovujúcich lokalít na výstavbu
 - bez tepelnej izolácie, vysoké tepelné straty do okolia

2.3 Jamový zásobník

Existujú dva typy jamových zásobníkov. Buď vo vyhlúbenej zemi opatrenými vodotesnými vložkami alebo umelo vytvorený podzemný priestor zo železobetónu či nerezovej ocele. Pri druhom spôsobe vznikajú ďalšie finančné záťaže pri konštrukcii. Oba typy zásobníkov sú konštruované so sklonom, teda ako geometria sa používa skosený kužeľ alebo pyramída, s uložením hore nohami. Podobne ako pri veľkokapacitných nádržiach uplatňujú spôsob stratifikácie. [7]

Často sa ako médium používa voda, avšak už v existujúcich jamách ide o zmes vody a hornín najčastejšie štrku. Okrem toho, ak ide o zmes tak je nutné zvýrazniť to, že celková tepelná kapacita je menšia a z toho dôvodu budú jamové zásobníky tohto druhu vyžadovať väčší objem a to aspoň o 50%. [7]

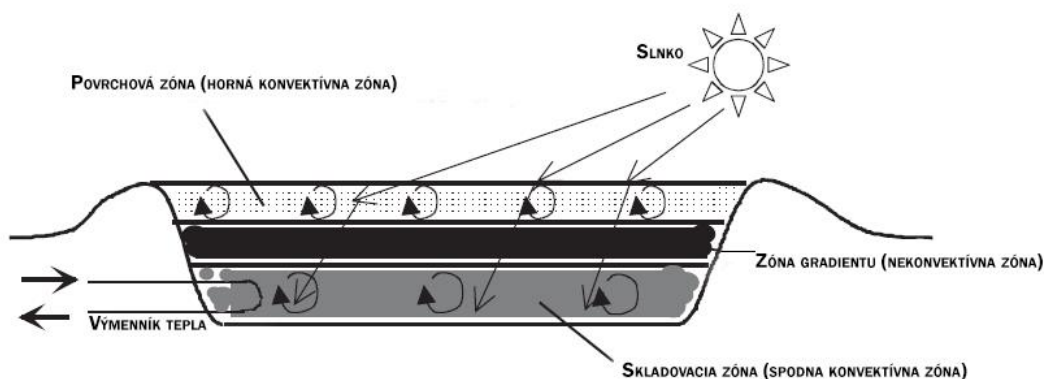


Obr. 2.4 schéma jamového zásobníku [7]

- Výhody a nevýhody: [7]
 - + dostupné konštrukčné náklady
 - + stredná (štrk+voda) až vysoká tepelná kapacita (voda)
 - + skoro nekonečné úložisko
 - nemožnosť údržby a opravy
 - v prípade použitia vody, komplexné a drahé veko
 - len jeden typ geometrie

2.4 Solárny bazén

Na rozdiel od obyčajného bazénu, kedy slnečné lúče ohrejú vodu a zvýši sa jej teplota, je ľahšia, stúpa na hladinu a odovzdáva teplo do okolia. V konečnom dôsledku voda v bazéne má teplotu blízku okoliu. Solárne bazény fungujú na báze soľných gradientov, soľný koncentrát stúpa s hĺbkou. Soľ sťažuje vodu a znemožňuje ohriatej vode stúpať k povrchu. Užitočnú energiu odoberáme vo forme horúcej soľanky, vodný roztok soli. Predpoklady k výstavbe solárneho bazéna je veľká časť neúrodnej zeme, veľa slnečného svitu a veľké množstvo soli. [1]



Obr. 2.5 rez solárnym bazénom [1]

Dno bazéna sa zatmavuje, aby sa zvýšila absorpcia slnečného žiarenia. Chladnejšia voda na vrchu slúži ako izolácia a zabraňuje odparovaniu. Slanú vodu možno zohriať na teploty vyššie ako je bod varu pri sladkej vode. [1]

Na obr. 2.5 je zobrazený rez solárnym bazénom. Rozdeľuje sa do troch zón podľa množstva soľného koncentrátu. Spodná zóna sa nazýva skladovacou alebo spodnou konvektívnou zónou, homogénny soľný roztok sa vo vrstve pohybuje konvektívne. Nad ňou sa nachádza zóna gradientu alebo aj nekonvektívna zóna funguje ako izolačná vrstva, v ktorej sa nachádza soľný gradient tzn. voda bližšia k povrchu je menej koncentrovaná ako pod ňou. Povrchová zóna, či horná konvektívna zóna je homogénna s malým obsahom soli alebo sladká voda. [1]

Ak je soľný gradient dost' veľký, tak v zóne gradientu sa ani počas prijímania tepla v spodnej zóne netvorí konvektívny pohyb, pretože slanšia a teplejšia voda na dne má väčšiu hustotu. Pretože voda je priehľadná viditeľnému svetlu, ale pre infračervené je nepriehľadné, energia vo forme slnečného žiarenia, ktorá sa dostane až do spodnej zóny a je pohltená môže utiecť len vedením. Tepelná vodivosť vody je celkom malá a ak je zóna gradientu hrubá, teplo zo spodnej zóny uniká veľmi pomaly. Z toho dôvodu sa solárny bazén označuje ako tepelný kolektor a dlhodobý akumulátor tepla. [1]

- Výhody a nevýhody: [1]

- | | |
|-----------------------------------|--|
| + neovplyvňuje životné prostredie | - nutnosť slnečného žiarenia k funkcií |
| + možnosť výstavby, kdekoľvek | - lokácia daná miestom s dlhým slnečným svitom |
| + bez nákladná prevádzka | - veľká výstavbová plocha |

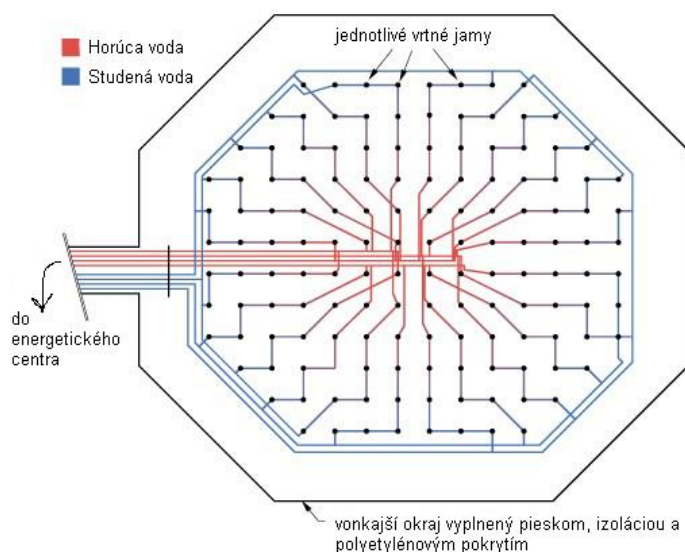
2.5 Borehole Thermal Energy Storage (BTES) - Horninový akumulátor tepla

Skladovanie energie do vrtných jám, BTES systém používa horniny ako skladovací materiál. Horniny môžu byť nespevnené či spevnené, suché alebo s obsahom podzemnej vody. Pre suché horniny je nutné používať tepelné výmenníky k odberu a skladovaniu tepelnej energie. Na druhú stranu pórovité horniny obsahujúce podzemnú vodu majú vyššiu objemovú tepelnú kapacitu ako suché horniny. Problém však nastáva, ak v blízkosti BTES je prúdiaca podzemná voda, a to z dôvodu konvektívneho odvodu tepla. [1]

Podľa princípu funkcie horninový akumulátor je potrebné izolovať len vo vrchnej časti, aby sa zabránilo stratám do okolia. Nie je nutné ho izolovať zo strán a v dolnej časti, keďže tepelné straty vedením v horninách sú pomerne malé, od 1-5 W/m·K, tepelné straty sa dajú zmenšiť, ak je objem akumulátoru dostatočne veľký a dosahuje nízky pomer povrchu ku objemu. Zatiaľ čo tepelné straty sú priamo úmerné povrchu, tak skladovacie vlastnosti sú priamo úmerné objemu zásobníku. [1]

Teplotné rozdelenie v povrchových častiach môže viesť rôznym druhom tepelných prenosov, vedenie v horninách, konvekcia v prúdiacej podzemnej vode celé v kombinácii s tepelnými vlastnosťami daných materiálov. Povrch zeme je v tepelnej rovnováhe medzi prichádzajúcim slnečným žiarením, geotermálnym tepelným tokom z jadra Zeme a uvoľňovanie tepelnej radiácie do okolia. Slnečná tepelná energia je v rádoch 1000 W/m² s výraznými zmenami v cykle deň a noc. Geotermálna energia je celoročne konštantná a v strednej Európe je približne rovná 0,05-0,12 W/m². [1]

Vo svojich počiatkoch BTES systémy sa používali len na skladovanie energie, ktorá sa neskôr používala na vykurovanie. Pionierske projekty započali vo Švédsku v 80. rokoch minulého storočia, kedy sa skladovala slnečná energia alebo odpadné teplo. Drvivá väčšina systémov pracovala spoločne s tepelným čerpadlom k prečerpaniu tepla zo zásobníkov na požadovanú teplotu. Postupom času pribúdali požiadavky na chladenie budov v letných mesiacoch a teda nutnosť prispôbiť technológiu z čisto ohrievacej na kombinovanú za použitia reverzného tepelného čerpadla. Typickým príkladom sú dobre zaizolované kancelárske budovy, ktoré je treba chladiť v letných mesiacoch v kombinácii s odberom odpadného tepla. Vďaka dualite systému a celkovej finančnej nenáročnosti je tento systém najpoužívanejší vo svete. [1]



Obr. 2.6 Horninový akumulátor [5]

Tab. 2.1 tepelné vlastnosti hornín [1]

Materiál	Tepelná vodivosť [W/m.K]	Objemová tepelná kapacita [MJ/m ³ .K]	Hustota [10 ³ kg/m ³]
Nespevnené			
hlina, bahno – suché	0,4 - 1,0	1,5 - 1,6	1,8 - 2,0
hlina, bahno – nasýtené vodou	1,1 - 3,1	2,0 - 2,8	2,0 - 2,2
piesok – suchý	0,3 - 0,9	1,3 - 1,6	1,8 - 2,2
piesok – nasýtené vodou	2,0 - 3,0	2,2 - 2,8	1,9 - 2,3
štrk, kamene – suchý	0,4 - 0,9	1,3 - 1,6	1,8 - 2,2
štrk, kamene – nasýtené vodou	1,6 - 2,5	2,2 - 2,6	1,9 - 2,3
tillit, íl	1,1 - 2,9	1,5 - 2,5	1,8 - 2,3
Sedimentačné kamene			
hlinená kamenina	1,1 - 3,4	2,1 - 2,4	2,4 - 2,6
Pieskovec	1,9 - 4,6	1,8 - 2,6	2,2 - 2,7
zlepenec, brekcia	1,3 - 5,1	1,8 - 2,6	2,2 - 2,7
Slieňovec	1,8 - 2,9	2,2 - 2,3	2,3 - 2,6
Vápenec	2,0 - 3,9	2,1 - 2,4	2,4 - 2,7
Dolomit	3,0 - 5,0	2,1 - 2,4	2,4 - 2,7

Magmatické a vyvreté horniny			
Čadič	1,3 - 2,3	2,3 - 2,6	2,6 - 3,2
Žula	2,1 - 4,1	2,1 - 3,0	2,4 - 3,0
Gabro	1,7 - 2,9	2,6	2,8 - 3,1
Bridlica	1,5 - 2,6	2,2 - 2,5	2,4 - 2,7
Mramor	2,1 - 3,1	2,0	2,5 - 2,8
Kremenec	5,0 - 6,0	2,1	2,5 - 2,7
Rula	1,9 - 4,0	1,8 - 2,4	2,4 - 2,7
Ostatné materiály			
Bentonit	0,5 - 0,8	~3,9	
Voda	0,59	4,15	0,999

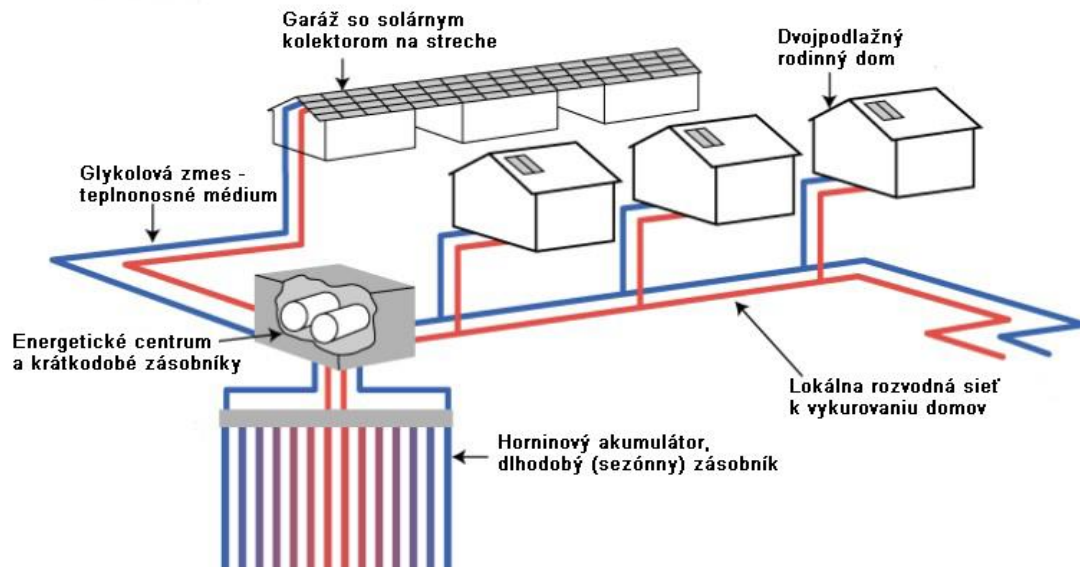
Dôležitým faktorom pri stavbe horninového akumulátoru je geologický a hydrogeologický posudok. Geologický posudok vo forme výberu vhodného podložia s dobrými tepelnými vlastnosťami viz. Tab. 2.2. Ako hydrogeologický posudok sa rozumie narušenie vrstiev, ktoré sú citlivé na vodu, anhydridy, s podzemnou vodou. Prepojenie vrstiev vody s rôznymi kvalitami a tlaku, čo môže viesť k znečisteniu vody alebo aj k zosuvu pôdy. Medzi ďalšie stavebné opatrenia patrí zamaltovanie vrtných jám a zabránenie úniku pracovných tekutín tepelných výmenníkov, nemrznúce zmesi či korozívne inhibítory. [1]

Cieľom geometrie je dosiahnuť najväčšie množstvo vrtných tepelných výmenníkov (VTV) v najkompaktnejšom zoskupení. Podmienkou je dodržať maximálny objem a minimálny povrch. Výstavba guľovitej geometrie by bola veľmi náročná preto sa volí valcová alebo kubická geometria. Najväčšie tepelné straty sú v horných častiach, bližšie k povrchu, z toho dôvodu sa tento priestor robí čo najmenším. Šesťuholníkové usporiadanie, kde jednotlivé VTV majú od seba rovnako ďaleko, má o 25% menší vrchný priestor ako kubické usporiadanie, ktoré je jednoduchšie k výstavbe. K dosiahnutiu optimálnej kompaktnosti, hĺbka a priemery vrtov by mali byť rovnaké. Vzdialenosť VTV je daná časom medzi nabíjaním a vybíjaním, tepelnými vlastnosťami formácie a hustoty vrtov podľa návrhu. Ďalším faktorom je upevnenie techniky k samotnému procesu vrtania, z toho dôvodu je táto vzdialenosť poväčšine medzi 2 a 5 metrami. Z hydraulického hľadiska sa VTV ukladajú sériovo, pri nabíjaní sa teplo presúva najprv zo stredu do okrajových častí a pri vybíjaní zase naopak. Preto stredná časť dosahuje vyšších teplôt ako obvodové časti. [1]

Zemské podložie môže obsahovať rôzne, často nepoznané minerály a horniny, ktoré spoločne s vodou alebo vysokou vlhkosťou v póroch a úlomkoch, tvoria vysoko korozívne prostredie nehovoriac o stúpajúcej teplote. Preto sa ako materiál pre trubky VTV volí plast. Vďaka svojej proti korozívnej vlastnosti a pomerne nízkej cene. Ak by teplota okolia a tlak dosahovali vysokých hodnôt je nutné sa obzrieť po inom materiály, najčastejšie kovové potrubie. Materiál sa volí pre najvyššie dosiahnuteľné pracovné podmienky. Dodatočne sa materiál kontroluje voči znečisteniu podložia. [1]

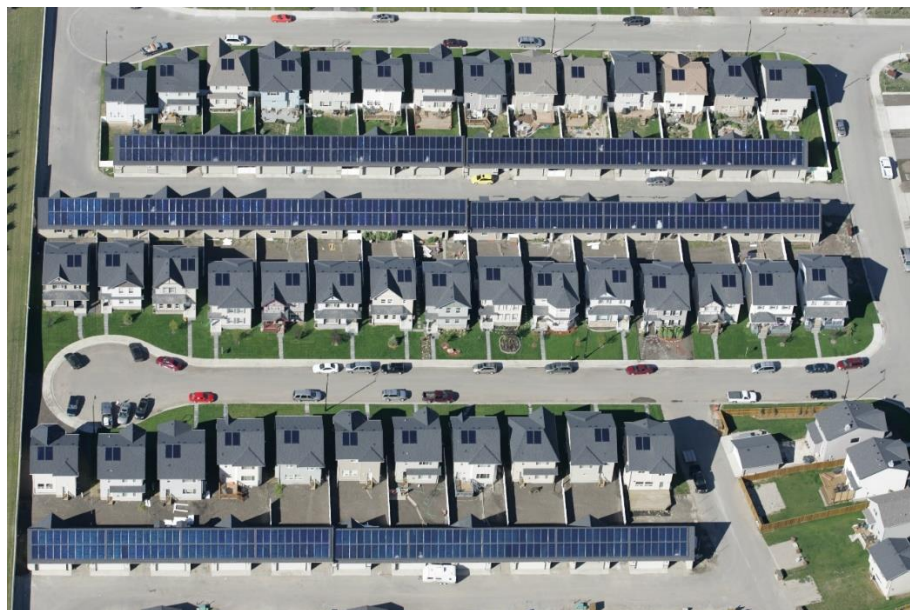
Konkrétnym prípadom je Drake Landing Solar Community (DLSC) v Okotoks v Kanade. Tento projekt je prvou lokálnou solárnou rozvodnou sieťou v Severnej Amerike a taktiež aj technicky najvyspelejším systémom svojho druhu na svete. Zameriava sa na ohrev vody a vykurovanie pre 52 domácností s využitím až 90% solárneho podielu. Pole solárnych panelov o rozlohe približne 2300 m² zachytávajúce 1785 kWh/m² solárneho žiarenia dodáva teplo najskôr do krátkodobých vodných nádrží o objeme 230 m³, ktoré sa nachádzajú v energetickom

centre. Slúžia ako médium k vykurovaniu a ohrevu vody alebo nabíjanie dlhodobej nádrže, horninového akumulátoru. [1],[5]



Obr. 2.7 schéma DLSC [5]

V letných mesiacoch sa glykolová zmes ohrieva pomocou solárnych panelov, umiestnených na strechách garáží, a ďalej prúdi do energetického centra. Energetické centrum je tzv. srdcom lokálnej rozvodnej siete, zastrešuje krátkodobé nádrže a väčšinu mechanického ústrojenstva, čerpadlá, tepelné výmenníky a regulačno-riadiace centrum. Slučky slnečných kolektorov, lokálnej rozvodnej siete či horninového akumulátoru ním prechádzajú. [5]

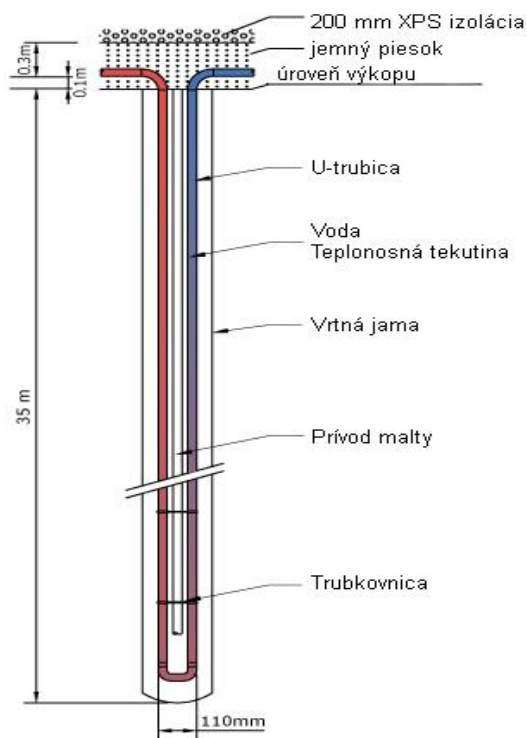


Obr. 2.8 DLSC letecký záber [5]

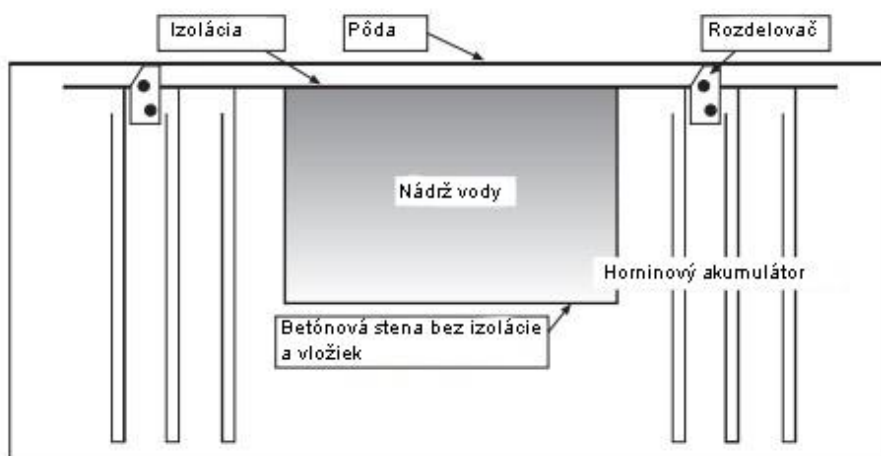
Horninový akumulátor pozostáva z 144 vrtných jam. Každá má priemer 150 mm a siaha 35 m do hĺbky. Vzďalenosť medzi jednotlivými jamami je 2,25 m. Vo vnútri sa nachádza jednoduchá U-trubica z polyetylénu. Ako malta sa používa cement (CEM III), jemný piesok a voda. 144 vrtov je spojených do 24 paralelných prúdov, každý z nich pozostáva zo 6 sériovo zapojených VTV. Prúdy sú zapojené v zmysle od stredu do okrajových častí. Zvršok je izolovaný 20 cm XPS penou zakrytou zeminou. [5]

Projekt bol navrhnutý len pre vykurovanie, kedy na konci leta dosahovali jamy 80°C. Tieto nízke teploty sú dôvodom vysokého solárneho podielu. K ohrevu vody sa používa samostatný solárny systém inštalovaný na strechách jednotlivých budov, ktoré zabezpečia 50% dopytu. Preto sa inštalujú spoločne s bojlerom. [5]

Ďalším príkladom tentokrát v Európe je lokálna solárna rozvodná sieť v Attenkirchen v Nemecku. Tu sa využíva hybridné riešenie, valcovitá vodná nádrž použitá spoločne s horninovým akumulátorom. Nádrž je inštalovaná v strede a používa sa ako krátkodobé skladovanie energie, okolo nej rozmiestnené vrty horninového zásobníku ako dlhodobé riešenie. Tepelné straty nádrže sú teda ziskom pre dlhodobý zásobník. Nádrže sú opatrené oceľovými vložkami k zabráneniu úniku vodnej pary pomocou difúzie cez steny. Dôvodom je zabránenie znižovaniu vodnej hladiny, ale aj latentný prenos tepla, ktorý je častokrát väčší ako ten vedením. Vodná nádrž bola pripravená na mieste a to z predpäťého betónu, priemer nádrže je 9 m a je zasadená do hĺbky 8,5 m. Okolo nej pole s 90 VTV v troch radoch. Zemské podložie sa skladá z ílu a hliny bez prúdiacej podzemnej vody. Ako povrchová izolácia sa použil XPS polystyrén o 20 cm hrúbke. Celkový objem systému je 10500 m³. Priemerná nameraná objemová tepelná kapacita je 2,7 MJ/m³/K. [1]



Obr. 2.9 Bočný pohľad na vrtnú jamu [5]



Obr. 2.10 hybridná nádrž [1]

- Výhody a nevýhody: [7]

- + nízké konstrukčné náklady
- + jednoducho rozšíriteľný

- nízka tepelná kapacita
- nutnosť použitia zbernice a tepelného čerpadla
- bez tepelnej izolácie na spodku a bokoch
- nemožnosť uskutočniť údržbu či opravu
- limitácia vo výbere výstavnej lokácie

3 Popis konceptu

Inšpiráciou je hybridná nádrž, podobná ako je použitá aj v Nemeckom Attenkirchen tzn. vodná nádrž s horninovými vrtmi naokolo. Nádrž bude valcovitého charakteru a vrty budú v kruhovom rozostavení. Výpočet je vykonávaný pre desať modelových rodinných domov opatrenými fototermickými kolektormi v ktorých prúdi glykolová zmes. Energia z fototermických kolektorov prúdi do vodnej nádrže. Použitie tepelného čerpadla k zvýšeniu akumuláčnej kapacity.

3.1 Rodinné domy

K účelom diplomovej práce bude slúžiť 10 identických rodinných domov v oblasti Podunajskej roviny. Táto oblasť na Slovensku sa pýši veľkým množstvom slnečných dní a žiarenia. Domy sú vo forme projektov a tým pádom sa reálne nenachádzajú na danom mieste, avšak k teoretickému výpočtu to nie je nutné.



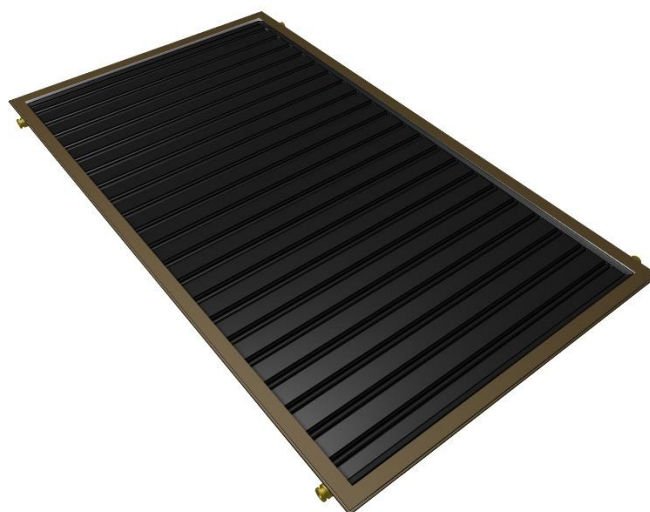
Obr. 3.1 modelový rodinný dom [8]

Tab. 3.1 technické parametre rodinného domu. [8]

Zastavaná plocha	124.44 m ²
Úžitková plocha	96.24 m ²
Obytná plocha	71.04 m ²
Objem objektu	259.8 m ³
Vonkajšie rozmery domu (š x d)	7.67 x 16.6 m
Plocha strechy	155.43 m ²
Sklon strechy	35°
Primárna energia	A1
Počet obytných miestností	4
Typ vykurovania	podlahové v celom dome
Súčiniteľ tepelných strát	101.6 W/K

3.2 Fototermický kolektor

Hlavným kritériom pri výbere termického kolektoru bolo vziať osvedčený lokálny produkt. Tomuto hľadaniu vyhovuje spoločnosť THERMO|SOLAR Žiar s.r.o. a ich produkt s názvom TS300, pričom v ponuke je aj solárna kvapalina THESOL. Solárna kvapalina je netoxická, nemrznúca, ekologicky neškodná a tuhne pri -32°C . Je roztokom monopropylén-glykolu a obsahuje inhibítory korózie. Nevhodná do okruhov s pozinkovanými materiálmi. Obsahuje horkú prísadu k zisteniu pri požití popri úniku do okruhu s pitnou vodou. [9]



Obr. 3.2 plochý termický kolektor TS300 [9]

Tab. 3.2 údaje o kolektore [9]

Rozmer	2009x1009x75 mm
Pôdorysná plocha	2.031 m ²
Absorpčná plocha	1.78 m ²
Apertúrna plocha	1.78 m ²
Spájacia plocha	1040 mm
Hmotnosť	36,1 kg
Kvapalinový obsah	1.57 l
Teplonosná kvapalina	Vodný roztok glykolu
Odporúčaný prietok teplonosnej kvapaliny	30-100 l/h na jeden kolektor
Max. výkon kolektora (1000 W/m ²)	1444 W

3.3 Tepelné čerpadlo zem - voda

Najvýhodnejším spôsobom zužitkovania energie z vrtovej je použitie tepelného čerpadla zem-voda. To sa volilo podľa spôsobu využitia. Regulus EcoPart 406 len na podlahové vykurovanie a Regulus EcoHeat 406 s akumulácnou nádržou na podlahové vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody. Okrem akumuláčnej nádrže sú rozdielne vo svojej cenovej kategórii. Za tepelné čerpadlo EcoHeat 406 sa platí o približne 1.5krát viac. [10]

Tab. 3.3 technické údaje tepelného čerpadla EcoPart 406 [10]

Menovitý výkon	5,9 kW
Menovitý príkon	1,29 kW
Typ	zem-voda
Teplonosná kvapalina	nemrznúca zmes - soľanka

Min. a max. teplota nemrznúcej zmesi	-5°C/20°C
Max. výstupná teplota vykurovacej vody	65°C
Minimálny prietok nemrz. zmesi $\Delta T=5K$	790 l/h
Menovitý prietok nemrz. zmesi $\Delta T=3K$	1330 l/h

Tab. 3.4 technické údaje tepelného čerpadla EcoHeat 406 [11]

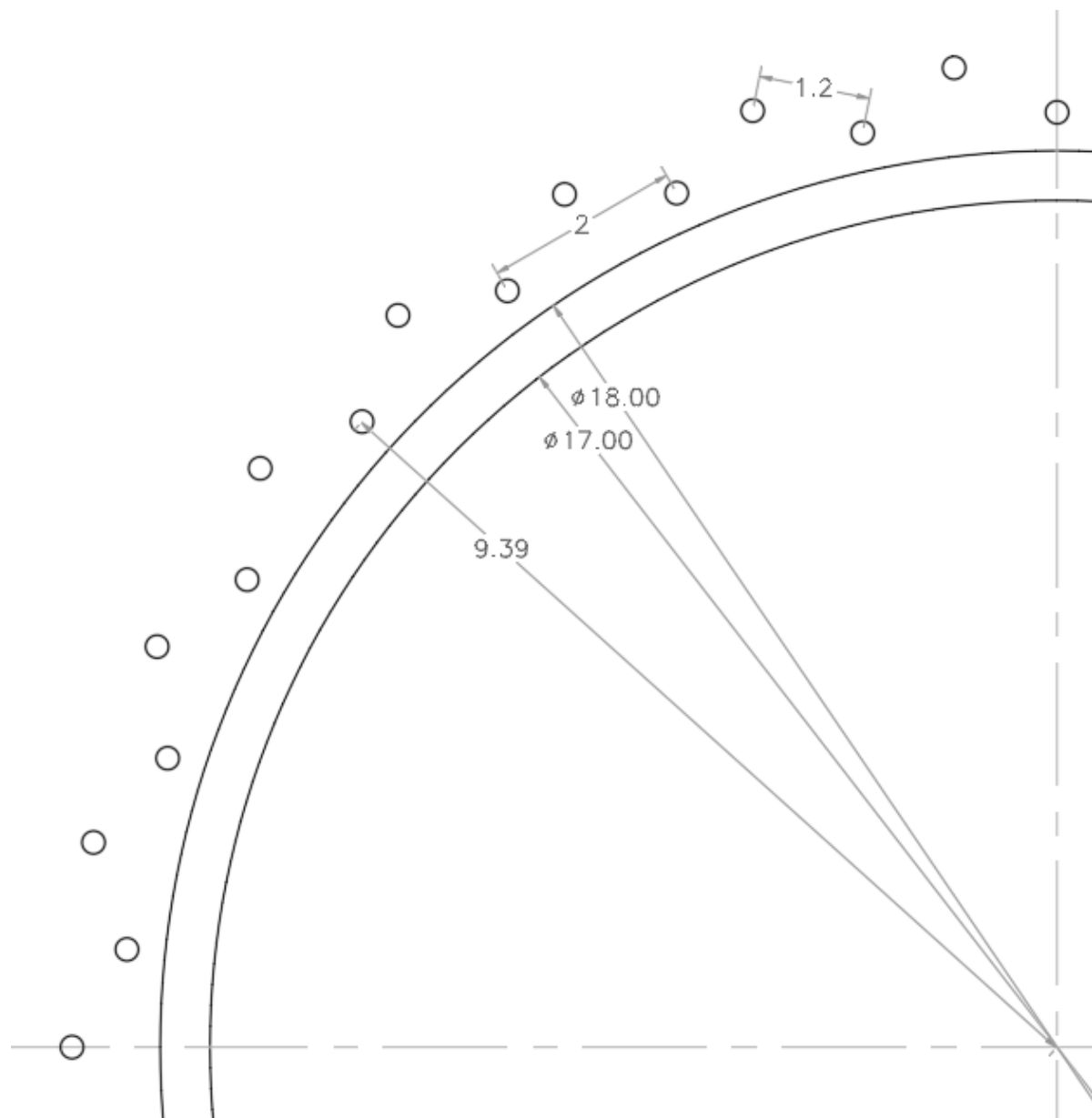
Menovitý výkon (35/55)	7/6 kW
Menovitý príkon	1,17 kW
Typ	zem-voda
Teplonosná kvapalina	nemrznúca zmes - soľanka
min. a max. teplota nemrznúcej zmesi	-5°C/20°C
max. výstupná teplota vykurovacej vody	65°C
Minimálny prietok nemrz. zmesi $\Delta T=5K$	790 l/h
Menovitý prietok nemrz. zmesi $\Delta T=3K$	1330 l/h
Objem akumuláčnej nádrže	232 l

Tab. 3.5 výkonové parametre oboch TČ [10][11]

Teplota nemrznúcej zmesi v zemnom okruhu [°C]	Výstupná teplota [°C]	Výkon [kW]	Príkon [kW]	Vykurovací faktor [-]
5	35	6,81	1,30	5,24
	45	6,49	1,56	4,15
	55	6,08	1,91	3,18
0	25	6,10	1,20	5,10
	35	5,90	1,29	4,57
	45	5,48	1,55	3,54
-5	55	5,17	1,87	2,76
	35	4,99	1,28	3,90
	45	4,68	1,52	3,09

3.4 Dimenzovanie vodnej nádrže a okolitých vrtov

Vodná nádrž je zasadená do zeme v hĺbke 2,2 metra. Priemer nádrže má 17 metrov a hrúbka steny je 0.5 metra. Výška valcovej nádrže je 20 metrov. Stena nádrže je z predpätého betónu a na vrchu opatrená extrudovaným polystyrénom a betónovým poklopom. Prvý rad vrtov je vo vzdialenosti 0.5 metra. Jednotlivé vrty majú 230 mm priemer a siahajú do hĺbky 50 metrov, vo vnútri sa nachádza jednoduchá U trubica z polyetylénu. Celkový počet vrtov je 60 rozdelených do dvoch radov.



Obr. 3.3 výsek betonovej nádrže a okolitých vrtov

4 Návrh výpočtu a vzt'ahy

V kapitole návrh výpočtu a vzt'ahy sa popíšu teoretické výpočtové vzt'ahy, ktoré boli použité k určení hodnôt. Popisujú sa použité veličiny a ich jednotky.

4.1 Zjednodušená bilancia solárneho kolektoru

Podstatou zjednodušenej bilancie je metóda určenia reálne využiteľných ziskov solárnej sústavy $Q_{ss,u}$ na základe porovnania teoreticky využiteľných ziskov solárnych kolektorov $Q_{k,u}$ a celkovej potreby tepla $Q_{p,c}$, ktoré majú byť pokryté. Celý výpočet možno popísať pre každý mesiac ako: [12]

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,c}) \quad (4.1)$$

Pre teoreticky využiteľné zisky solárnych kolektorov na každý mesiac platí rovnica:

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[\eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \right] \cdot H_{T,deň} \cdot n \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (4.2)$$

η_0, a_1, a_2 - konštanty krivky účinnosti solárneho kolektoru;

$t_{k,m}$ - stredná denná teplota teplotosnej kvapaliny v solárnom kolektore v °C;

$t_{e,s}$ - stredná vonkajšia teplota v dobe slnečného svitu v °C;

$G_{T,m}$ - stredné denné slnečné ožiarenie pre daný sklon a orientáciu vo W/m^2 ;

$H_{T,deň}$ - skutočná denná dávka slnečného ožiarenia v $kWh/(m^2 \cdot deň)$;

n - počet dní v mesiaci;

A_k - plocha apertury solárnych kolektorov v m^2 ;

p - hodnota poklesu tepelných ziskov solárnych kolektorov vplyvom tepelných strát solárnej sústavy (rozvody, solárny zásobník).

4.2 Tepelné straty potrubia

Teplotosná kvapalina nesúca energiu vyprodukovanou kolektormi je ovplyvnená faktormi ako je tepelná vodivosť potrubia či izolácie ale taktiež teplotami okolitého vzduchu, konvektívnym prenosom tepla. Tieto straty boli určené nasledujúcimi vzt'ahmi: [13]

$$Q_{straty_1} = \frac{T_{m,h} - 278.15}{R_{celk_1}} \cdot n \cdot \frac{t}{3.6 \cdot 10^6} \quad (4.3)$$

Q_{straty_1} - tepelné straty potrubia uložené v zemi v kWh;

$T_{m,h}$ - teplota média na teplejšej strane v K;

R_{celk_1} - započítané všetky odpory tepelného prenosu v K/W;

n - počet domov;

t - počet dní v danom mesiaci v sekundách.

Jednotlivé tepelné odpory sa potom zapíšu ako:

$$R_A = \frac{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L_z \cdot \lambda_A} \quad (4.4)$$

$$R_B = \frac{\ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L_z \cdot \lambda_B} \quad (4.5)$$

d_1 - vnútorný priemer trubky v m;

d_2 - vonkajší priemer trubky v m;

d_3 - priemer trubky s izoláciou v m;

L_z - dĺžka potrubia v zemi do centrálného potrubia v m;

λ - súčiniteľ tepelnej vodivosti vo W/m.K, kde index A značí trubku a B izoláciu.

$$R_{celk1} = R_A + R_B \quad (4.6)$$

Ak ide o prenos tepla vo vzduchu je nutné vypočítať súčiniteľ prestupu tepla na strane teplonosnej látky a na strane vzduchu. V prvom rade je nutné určiť stav prúdenia z bezrozmerných čísel. Na strane teplonosnej látky boli použité tieto vzťahy: [14]

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \quad (4.7)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot l_{char} \cdot v}{\mu} \quad (4.8)$$

$$Nu = 4.364 \quad (4.9)$$

μ - dynamická viskozita v kg/m.s;

c_p - merná tepelná kapacita v J/kg.K;

ρ - hustota média v kg/m³;

l_{char} - charakteristický rozmer v m;

v - rýchlosť prúdenia média v m/s.

Na strane vzduchu bola jediná zmena a to v Nusseltovom čísle: [14]

$$Nu = 0.193 \cdot Re^{(0.618)} \cdot Pr^{\left(\frac{1}{3}\right)} \quad (4.10)$$

Ďalej sa z nusseltovho čísla určoval súčiniteľ prestupu tepla α pre obe médiá.:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l_{char}} \quad (4.11)$$

Podobne ako pri stratách potrubia do zeminy, sa tepelné straty zapíšu pomocou tepelných odporov: [13]

$$Q_{straty3} = \frac{T_{m,h} - T_{o,vzd}}{R_{celk2}} \cdot n \cdot \frac{t}{3.6 \cdot 10^6} \quad (4.12)$$

$Q_{straty3}$ - tepelné straty potrubia ovplyvnené vonkajším vzduchom v kWh;

$T_{o,vzd}$ - teplota vzduchu v danom období v K;

R_{celk2} - započítané všetky odpory tepelného prenosu v K/W;

n - počet domov;

$$R_{celk2} = R_1 + R_A + R_B + R_4 \quad (4.13)$$

$$R_1 = \frac{1}{\pi \cdot d_1 \cdot L_d \cdot \alpha_1} \quad (4.14)$$

$$R_4 = \frac{1}{\pi \cdot d_3 \cdot L_d \cdot \alpha_2} \quad (4.15)$$

α_1 - súčiniteľ prestupu tepla na strane teplonosnej látky vo $W/m^2 \cdot K$,

α_2 - súčiniteľ prestupu tepla na strane vzduchu vo $W/m^2 \cdot K$.

Celkové reálne zisky zo solárnych kolektorov sú teda rozdielom teoretických ziskov a všetkých strát.

$$Q_{zisk} = Q_{k,u} - \sum_{i=1}^3 Q_{straty_i} \quad (4.16)$$

Q_{zisk} - reálne zisky zo solárnych kolektorov v kWh;

$Q_{k,u}$ - teoretické zisky zo solárnych kolektorov v kWh;

Q_{straty} - tepelné straty potrubia v kWh.

4.3 Zmena teploty nádrže vplyvom strát

Voda v nádrži je vystavená stratám vedením do troch rôznych častí. Na povrch cez betónový poklop, izolačnú vrstvu a zásypom zeminy. Strata sa označí ako strata top. Ďalšou v poradí je strata cez betónové dno nádrže označenou ako bot. Poslednou zo strát je strata do okolia cez betónovú stenu. [15]

K správneému určenieu teplôt je nutné zadefinovať si zrozumiteľné indexovanie, pretože denné teploty a zmeny na seba nadväzujú. Preto sa vo vzorcoch dolným indexom označuje deň (x.d označuje akýkoľvek deň merania; a (x-1).d označuje deň, ktorý predchádza dňu x) a horným indexom sa označuje miesto pre ktorý bol výpočet vykonávaný.

$$Q_{x.d}^{top} = \frac{(T_{(x-1).d}^{nádrž} - T_{x.m}^{povrch})}{\frac{L_{izolácia}}{\lambda_{izolácia} \cdot S_{poklop}} + \frac{L_{zemina}}{\lambda_{zemina} \cdot S_{poklop}} + \frac{L_{betón_p}}{\lambda_{betón} \cdot S_{poklop}}} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6} \quad (4.17)$$

$Q_{x.d}^{top}$ - denná strata energie na povrch v daný deň v kWh;

$T_{(x-1).d}^{nádrž}$ - teplota vody v nádrži, predchádzajúci deň v K;

$T_{x.m}^{povrch}$ - povrchová teplota v danom mesiaci v K;

L - hrúbka izolácie/zeminy/betónového poklopu nad nádržou v m;

λ - súčiniteľ tepelnej vodivosti izolácie/zeminy/betónu v $W/m \cdot K$.

$$S_{poklop} = \pi \cdot \frac{d_{vn}^{nádrž}^2}{4} \quad (4.18)$$

S_{poklop} - kruhový obsah poklopu v m^2 ;

$d_{vn}^{nádrž}$ - vnútorný priemer nádrže v m.

$$Q_{x.d}^{bot} = \frac{(T_{(x-1).d}^{nádrž} - 278.15)}{\frac{L_{betón_d}}{\lambda_{betón} \cdot S_{dno}}} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6} \quad (4.19)$$

$Q_{x.d}^{bot}$ - denná strata energie cez dno nádrže v daný deň v kWh;

$L_{betón,d}$ - hrúbka betónového dna v m.

$$S_{dno} = S_{poklop} \quad (4.20)$$

S_{dno} - kruhový obsah dna nádrže v m^2 .

$$Q_{x.d}^{okolie,n} = \frac{(T_{(x-1).d}^{nádrž} - T_{r,(x-1).d}^{1zona}) \cdot 86400}{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{nádrž}}{d_{vnut}^{nádrž}}\right) \cdot \lambda_{betón} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{nádrž}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \quad (4.21)$$

$Q_{x.d}^{okolie,n}$ - denná strata energie vody v nádrži do okolia cez stenu v daný deň v kWh;

$T_{r,(x-1).d}^{1zona}$ - reálna teplota vonkajšej steny nádrže, predchádzajúci deň v K;

d - vonkajší a vnútorný priemer nádrže v m;

$h_{nádrž}$ - výška nádrže v m.

Zmena teploty v nádrži je ovplyvnená ziskom zo solárnych kolektorov, stratami v 3 častiach a vlastnosťami vody.

$$\Delta T_{x.d}^{nádrž} = \frac{\left(\frac{Q_{x.m}^{zisk}}{n} - Q_{x.d}^{top} - Q_{x.d}^{bot} - Q_{x.d}^{okolie,n}\right) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{cp_w \cdot \rho_w \cdot V_{nádrž}} \quad (4.22)$$

$\Delta T_{x.d}^{nádrž}$ - zmena teploty vody v nádrži daný deň v K;

$Q_{x.m}^{zisk}$ - zisk energie zo solárnych kolektorov v daný mesiac v kWh;

n - počet dní v mesiaci;

ρ_w - hustota vody pri danej teplote v kg/m³;

cp_w - hmotnostná tepelná kapacita vody pri danej teplote v J/kg.K;

$$V_{nádrž} = \pi \cdot \frac{d_{vn}^{nádrž}^2}{4} \cdot h_{nádrž} \quad (4.23)$$

$V_{nádrž}$ - objem nádrže v m³.

V prvý deň spustenia (1.5.2015) má celý systém jednotnú teplotu 5°C. Teplota na konci prvého dňa sa definuje teda vzťahom (4.24) a pre každý nasledujúci deň platí vzťah (4.25).

$$T_{1.d}^{nádrž} = 278.15 + \Delta T_{1.d}^{nádrž} \quad (4.24)$$

$T_{1.d}^{nádrž}$ - teplota nádrže na konci prvého dňa v K;

$\Delta T_{1.d}^{nádrž}$ - teplotná bilancia za celý prvý deň v K;

$$T_{x.d}^{nádrž} = T_{(x-1).d}^{nádrž} + \Delta T_{x.d}^{nádrž} \quad (4.25)$$

$T_{x.d}^{nádrž}$ - teplota v daný deň v K;

$T_{(x-1).d}^{nádrž}$ - teplota v predchádzajúci deň ako je daný v K;

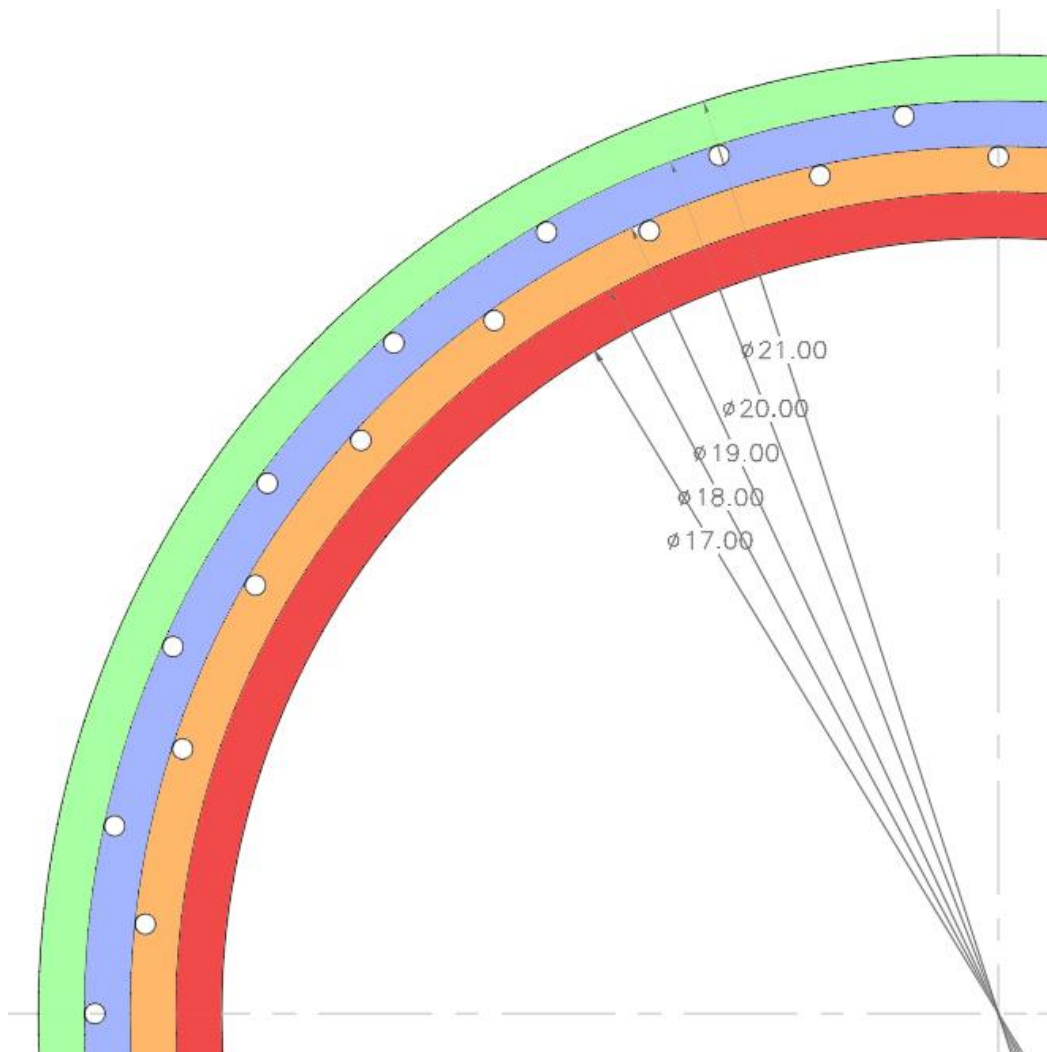
$\Delta T_{x.d}^{nádrž}$ - teplotná bilancia v daný deň v K.

4.4 Teplotné zóny

K výpočtu teplôt vo vrtoch sa určili štyri teplotné zóny. Zóny tvoria duté valcovité obálky, ktoré na seba naväzujú. Všetky zóny majú definovanú hrúbku 0.5 metra a premenlivú teplotu. Na okraji štvrtej zóny sa predpokladá celoročne jedna teplota 5°C. Pre zjednodušenie sa pripravila tabuľka a grafické znázornenie. V grafickom znázornení je výrez nádrže farebne rozdelený.

Tab. 4.1 priemery a farebné označenie zón

	vnútorný priemer [m]	vonkajší priemer [m]	farba v schéme
prvá zóna	17	18	červená
druhá zóna	18	19	oranžová
tretia zóna	19	20	modrá
štvrtá zóna	20	21	zelená



Obr. 4.1 grafické znázornenie zón

Teploty sa rozdeľujú na dve časti ideálnu a reálnu. Ideálne teploty sú ovplyvnené stratami do okolia predchádzajúcich zón, zatiaľčo reálne teploty upresňujú ideálne hodnoty teplôt o straty vo vlastnej zóne.

4.4.1 Prvá zóna

Ideálna teplota sa získava stratami nádrže do okolia. Reálna teplota sa určuje k upresneniu ideálnej teploty na každý nasledujúci deň. Je ovplyvnená stratami do príľahlej zeminy resp. do druhej zóny.

$$\Delta T_{id,x,d}^{1zóna} = \frac{Q_{x,d}^{okolie,n} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{betón} \cdot \rho_{betón} \cdot V_{1zóna}} \quad (4.26)$$

$\Delta T_{id,x,d}^{1zóna}$ - zmena ideálnej teploty v 1.zóne daný deň v K.

$$V_{1zóna} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{1zóna^2} - d_{vn}^{1zóna^2}) \cdot h_{nádrž} \quad (4.27)$$

$V_{1zóna}$ - objem valcového výseku 1.zóny v m³;

d - vonkajší a vnútorný priemer 1. zóny v m.

$$T_{id,x,d}^{1zóna} = T_{r,(x-1),d}^{1zóna} + \Delta T_{id,x,d}^{1zóna} \quad (4.28)$$

$T_{id,x,d}^{1zóna}$ - ideálna teplota na okraji nádrže v daný deň v K;

$T_{r,(x-1),d}^{1zóna}$ - reálna teplota na okraji nádrže v predchádzajúci deň v K.

K výpočtu reálnej teploty sa najskôr zadefinuje strata do okolia a teplotná zmena

$$Q_{x,d}^{okolie,1z} = \frac{(T_{id,x,d}^{1zóna} - T_{r,(x-1),d}^{2zóna}) \cdot 86400}{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{1zóna}}{d_{vn}^{1zóna}}\right) \cdot \lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{nádrž}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \quad (4.29)$$

$Q_{x,d}^{okolie,1z}$ - strata energie 1.zóny do okolitej zeminy v daný deň v kWh;

$T_{r,(x-1),d}^{2zóna}$ - reálna teplota v 2. zóne predchádzajúci deň v K.

$$\Delta T_{r,x,d}^{1zóna} = \frac{Q_{x,d}^{okolie,1z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{1zóna}} \quad (4.30)$$

$\Delta T_{r,x,d}^{1zóna}$ - odchýlka ideálnej teploty od reálnej v 1. zóne daný deň v K;

$$T_{r,x,d}^{1zóna} = T_{id,x,d}^{1zóna} - \Delta T_{r,x,d}^{1zóna} \quad (4.31)$$

$T_{r,x,d}^{1zóna}$ - reálna teplota na okraji nádrže v daný deň v K.

4.4.2 Druhá zóna

Pre druhú zónu platia obdobné vzťahy ako v prvej. Koncept rozdelenia teplôt stále platí. Pre druhú zónu, avšak platí jedna výnimka, keďže sú vrty vo väčšej hĺbke ako je samotná nádrž tak určitá časť energie sa získava aj stratami dnom nádrže.

$$\Delta T_{id,x,d}^{2zóna} = \frac{(Q_{x,d}^{okolie,1z} + 0.3 \cdot Q_{x,d}^{bot}) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{2zóna}} \quad (4.32)$$

$\Delta T_{id,x,d}^{2zóna}$ - zmena ideálnej teploty v 2.zóne daný deň v K.

$$V_{2zóna} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{2zóna^2} - d_{vn}^{2zóna^2}) \cdot h_{vrt} \quad (4.33)$$

$V_{2zóna}$ - objem valcového výseku 2.zóny v m³;

d - vonkajší a vnútorný priemer 2. zóny v m;

h_{vrt} - výška vrtu v m.

$$T_{id,x,d}^{2zóna} = T_{r,(x-1),d}^{2zóna} + \Delta T_{id,x,d}^{2zóna} \quad (4.34)$$

$T_{id,x,d}^{2zóna}$ - ideálna teplota 2.zóny v daný deň v K;

$T_{r,(x-1),d}^{2zóna}$ - reálna teplota 2.zóny v predchádzajúci deň v K.

$$Q_{x.d}^{okolie,2z} = \frac{(T_{id,x.d}^{2z} - T_{r,(x-1),d}^{3z}) \cdot 86400}{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{2z}}{d_{vn}^{2z}}\right) \cdot \lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{vrt}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \quad (4.35)$$

$Q_{x.d}^{okolie,2z}$ - strata energie 2.zóny do okolitej zeminy v daný deň v kWh;
 $T_{r,(x-1),deň}^{3z}$ - reálna teplota v 3. zóne predchádzajúci deň v K.

$$\Delta T_{r,x.d}^{2z} = \frac{Q_{x.d}^{okolie,2z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{2z}} \quad (4.36)$$

$\Delta T_{r,x.d}^{2z}$ - odchýlka ideálnej teploty od reálnej v 2. zóne daný deň v K.

$$T_{r,x.d}^{2z} = T_{id,x.d}^{2z} - \Delta T_{r,x.d}^{2z} \quad (4.37)$$

$T_{r,x,d}^{2z}$ - reálna teplota 2.zóny v daný deň v K.

4.4.3 Tretia zóna

Pre tretiu a štvrtú zónu platia skoro identické vzťahy. Jediným rozdielom je, že pre štvrtú zónu platí teplotná podmienka na okraji, ktorá je nemenná po celú dobu výpočtu 278.15 K.

$$\Delta T_{id,x.d}^{3z} = \frac{Q_{x.d}^{okolie,2z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{3z}} \quad (4.38)$$

$\Delta T_{id,x,d}^{3z}$ - zmena ideálnej teploty v 3.zóne daný deň v K.

$$V_{3z} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{3z}{}^2 - d_{vn}^{3z}{}^2) \cdot h_{vrt} \quad (4.39)$$

V_{3z} - objem valcového výseku 3.zóny v m³;
 d - vonkajší a vnútorný priemer 3. zóny v m.

$$T_{id,x,d}^{3z} = T_{r,(x-1),d}^{3z} + \Delta T_{id,x,d}^{3z} \quad (4.40)$$

$T_{id,x,d}^{3z}$ - ideálna teplota 3.zóny v daný deň v K;

$T_{r,(x-1),d}^{3z}$ - reálna teplota 3.zóny v predchádzajúci deň v K.

$$Q_{x.d}^{okolie,3z} = \frac{(T_{id,x,d}^{3z} - T_{r,(x-1),d}^{4z}) \cdot 86400}{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{3z}}{d_{vn}^{3z}}\right) \cdot \lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{vrt}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \quad (4.41)$$

$Q_{x,d}^{okolie,3z}$ - strata energie 3.zóny do okolitej zeminy v daný deň v kWh;

$T_{r,(x-1),d}^{4z}$ - reálna teplota 4.zóny v predchádzajúci deň v K.

$$\Delta T_{r,x,d}^{3z} = \frac{Q_{x,d}^{okolie,3z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{3z}} \quad (4.42)$$

$\Delta T_{r,x,d}^{3z}$ - odchýlka ideálnej teploty od reálnej v 3. zóne daný deň v K.

$$T_{r,x,d}^{3z} = T_{id,x,d}^{3z} - \Delta T_{r,x,d}^{3z} \quad (4.43)$$

$T_{r,x,d}^{3z}$ - reálna teplota 3.zóny v daný deň v K.

4.4.4 Štvrtá zóna

$$\Delta T_{id,x,d}^{4zóna} = \frac{Q_{x,d}^{okolie,3z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{4zóna}} \quad (4.44)$$

$\Delta T_{id,x,d}^{4zóna}$ - zmena teploty v 4.zóne daný deň v K.

$$V_{3zóna} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{4zóna^2} - d_{vn}^{4zóna^2}) \cdot h_{vrt} \quad (4.45)$$

$V_{4zóna}$ - objem valcového výseku 4.zóny v m³;
d - vonkajší a vnútorný priemer 4. zóny v m.

$$T_{id,x,d}^{4zóna} = T_{r,(x-1),d}^{4zóna} + \Delta T_{id,x,d}^{4zóna} \quad (4.46)$$

$T_{id,x,d}^{4zóna}$ - ideálna teplota 4.zóny v daný deň v K;
 $T_{r,(x-1),d}^{4zóna}$ - reálna teplota 4.zóny v predchádzajúci deň v K.

$$Q_{x,d}^{okolie,4z} = \frac{(T_{id,x,d}^{4zóna} - 278.15) \cdot 86400}{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{4zóna}}{d_{vn}^{4zóna}}\right) \cdot \frac{\lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{vrt}}{3.6 \cdot 10^6}} \quad (4.47)$$

$Q_{x,d}^{okolie,4z}$ - strata energie 4.zóny do okolitej zeminy v daný deň v kWh;
d - vonkajší a vnútorný priemer 4.zóny v m;

$$\Delta T_{r,x,d}^{4zóna} = \frac{Q_{x,d}^{okolie,4z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{4zóna}} \quad (4.48)$$

$\Delta T_{r,x,d}^{4zóna}$ - odchýlka ideálnej teploty od reálnej v 4. zóne daný deň v K.

$$T_{r,x,d}^{4zóna} = T_{id,x,d}^{4zóna} - \Delta T_{r,x,d}^{4zóna} \quad (4.49)$$

$T_{r,x,d}^{4zóna}$ - reálna teplota 4.zóny v daný deň v K.

4.5 Vykurovanie a vetranie

Návrhové tepelné straty objektu sa počítajú pomocou výpočtovej vonkajšej teploty v danej oblasti. Pre oblasť Podunajskej nížiny je táto hodnota stanovená na -11°C. Pre teploty v objekte sa počíta s teplotou 20°C. Súčiniteľ tepelných strát pre daný objekt je 101.6 W/K.

$$Q_{návrh} = H_S \cdot (t_{int} - t_{výp}^{vonk}) \quad (4.50)$$

H_S - súhrnný súčiniteľ tepelnej straty vo W/K;
 t_{int} - návrhová teplota v interiéri v K;
 $t_{výp}^{vonk}$ - výpočtová vonkajšia teplota v K.

Tepelné straty, ktoré pokrývalo tepelné čerpadlo sa však počítalo s minimálnou vonkajšou teplotou pre každý mesiac pre oblasť Podunajská nížina. Súhrnný súčiniteľ strát tepla prestupom a vetraním zostáva rovnaký. Teplota vo vnútri domu taktiež zostáva na 20°C. K výpočtu celkových strát a teda prácu, ktorú musí vykonať tepelné čerpadlo, sa určili minimálne teploty v danom období pomocou NASA Powertool. Upravený vzťah teda vyzerá nasledovne. [8],[18]

$$W_{x.m}^{1T\check{c}} = H_S \cdot (t_{int} - t_{min,x.m}^{vonk}) \quad (4.51)$$

$W_{x.m}^{1T\check{c}}$ - práca jedného tepelného čerpadla vo W;
 $t_{x.m}^{vonk}$ - minimálna vonkajšia teplota v danom mesiaci v K.

Ďalej bolo nutné určiť dĺžku doby akú tepelné čerpadlo bude pracovať pri danej výkonnostnej hladine. Pretože pri klesajúcej teplote teplotonosného média sa znižuje výkon tepelného čerpadla a tým sa predlžuje jeho pracovná doba. Hodnoty výkonov pre rôzne teploty sa interpolovali zo známych hodnôt dodaných od výrobcu (tab. 3.5), ktoré sú overené normou a technickým úradom. Tabuľka sa upraví len na hodnoty, ktoré sa používajú v systéme. Známe hodnoty boli teplota na vstupe $-5,0$ a 5°C pričom na výstupe sa počítalo s teplotou 35°C . [11],[12]

$$V_{x^\circ\text{C}} = V_{-5^\circ\text{C}} + \frac{V_{0^\circ\text{C}} - V_{-5^\circ\text{C}}}{t_{0^\circ\text{C}} - t_{-5^\circ\text{C}}} \cdot (t_{x^\circ\text{C}} - t_{-5^\circ\text{C}}) \quad (4.52)$$

$$P_{x^\circ\text{C}} = P_{-5^\circ\text{C}} + \frac{P_{0^\circ\text{C}} - P_{-5^\circ\text{C}}}{t_{0^\circ\text{C}} - t_{-5^\circ\text{C}}} \cdot (t_{x^\circ\text{C}} - t_{-5^\circ\text{C}}) \quad (4.53)$$

$$COP_{x^\circ\text{C}} = \frac{V_{x^\circ\text{C}}}{P_{x^\circ\text{C}}} \quad (4.54)$$

V - výkon pri príslušnej teplote vo W;
P - príkon z elektrickej siete pri príslušnej teplote vo W;
COP - vykurovací faktor pri príslušnej teplote.

$$\tau_{x.m}^{vav} = \frac{W_{x.m}^{1T\check{c}}}{V_{x^\circ\text{C}}} \quad (4.55)$$

$\tau_{x.m}^{vav}$ - doba práce tepelného čerpadla na vykurovanie a vetranie v hod.

Keďže celá práca je prepočítaná v jednotkách kWh je nutné aj potreby na vetranie a kúrenie prepočítať na kWh.

$$Q_{x.m}^{1T\check{c}} = \frac{V_{x^\circ\text{C}} \cdot \tau_{x.m}^{vav}}{1000} \quad (4.56)$$

$Q_{x.m}^{1T\check{c}}$ - energia odoberaná 1 tepelným čerpadlom z hlbinných vrtov v kWh.

$$Q_{x.m}^{10T\check{c}} = \frac{V_{x^\circ\text{C}} \cdot \tau_{x.m}^{vav}}{1000} \cdot n_{domov} \quad (4.57)$$

$Q_{x.m}^{10T\check{c}}$ - energia odoberaná 10 tepelnými čerpadlami z hlbinných vrtov v kWh.

n_{domov} - počet domov odoberajúci energiu.

4.5.1 Zmena teploty vplyvom odberu energie

V tejto kapitole sú v prevažnej väčšine použité rovnaké vzťahy ako z kapitol 4.5.2 či 4.5.3. Pri odbere energie zo systému na vykonanie práce tepelného čerpadla k pokrytiu strát sa zmena prejaví na teplote. Rozdiel medzi bez odberovou teplotou v hlbinných vrtoch a odberovou teplotou popisujú nasledujúce vzťahy. Odber energie sa vždy vykonával len v jednej zóne v danom dni. Popis y zóna značí zóny obsahujúce hlbinné vrty tzn. druhá alebo tretia zóna.

$$V_{vrt}^{yzona} = \pi \cdot \frac{d_{Utrub}^2}{4} \cdot h_{vrt} \cdot 2 \cdot n_{vrt}^{yzona} \quad (4.58)$$

V_{vrt}^{yzona} - súhrnný objem všetkých hlbinných vrtov v y zóne v m^3 .

d_{Utrub} - priemer U-trubky zasadenej v hlbinnom vrte v m;
 n_{vrt}^{yzona} - počet hlbinných vrto v y zóne.

$$\Delta T_{odb,x.d}^{yzona} = \frac{Q_{x.d}^{okolie,yz} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{yzona}} - \frac{Q_{x.m}^{10T\check{C}} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{pGL} \cdot \rho_{GL} \cdot V_{vrt}^{yzona}} \quad (4.59)$$

V_{yzona} - objem zeminy v y zóne v m^3 ;

$Q_{x.d}^{okolie,yz}$ - strata energie v daný deň do susednej zóny, napr. z 2. zóny do 3. v kWh;

c_{pGL} - hmotnostná tepelná kapacita teplotonosnej látky v hlbinnom vrte v J/kg.K;

ρ_{GL} - hustota teplotonosnej látky v hlbinnom vrte v kg/m^3 ;

$$T_{odb,x.d}^{yzona} = T_{id,x.d}^{yzona} - \Delta T_{odb,x.d}^{yzona} \quad (4.60)$$

$T_{odb,x.d}^{yzona}$ - teplota v y zóne po odbere energie v daný deň v K;

$T_{id,x.d}^{yzona}$ - ideálna teplota v y zóne v daný deň v K;

$\Delta T_{odb,x.d}^{yzona}$ - zmena teploty v y zóne vplyvom odberu energie v daný deň v K.

Ďalším vplyvom zmeny teploty vody v akumuláčnej nádrži je odber energie k ohrevu teplej úžitkovej vody. Energia sa odoberá celoročne priamo z vodnej nádrže, ktorá prúdi do menších zásobníkov jednotlivých domov. Ohrev sa uskutočňuje na teplotu $45^\circ C$, kde sa ďalej dohreje elektrinou na $55^\circ C$.

$$E_{TUV} = V_w \cdot \rho_w \cdot \frac{c_{wh}}{3600} \cdot (t_{výstup} - t_{vstup}) \quad (4.61)$$

E_{TUV} - energia potrebná k ohrevu teplej na požadovanú hodnotu vo W.h;

V_w - objem daného množstva vody v m^3 ;

ρ_w - hustota daného množstva vody v kg/m^3 ;

c_{wh} - merná tepelná kapacita vody vo W.h/kg.K;

t - teplota vody na výstupe/vstupe v K.

$$\tau_{TUV} = \frac{E_{TUV}}{V_{x^\circ C}^{T\check{C}}} \quad (4.62)$$

τ_{TUV} - doba potrebná na ohrev vody pomocou tepelného čerpadla v hod.

$$Q_{TUV} = \frac{E_{TUV}}{1000} \quad (4.63)$$

Q_{TUV} - energia odoberaná z akumuláčného systému v kWh.

4.6 Skutočná teplota teplotonosnej kvapaliny do nádrže

Teplotu teplotonosnej kvapaliny vstupujúcej do nádrže je nutné určiť z dôvodu dimenzovania tepelného výmenníku. Určuje sa len pre mesiac s najväčšími ziskmi energie, pretože výmenník sa dimenzuje v mesiaci s najväčšími príjmami. Avšak samotná teplota sa určuje zo strát v danom mesiaci.

$$Q_{\Delta T}^W = \sum_{i=1}^3 Q_{straty,i}^{mesiac,rok} \cdot \frac{3.6 \cdot 10^6}{t} \quad (4.64)$$

$Q_{\Delta T}^W$ - suma tepelných strát v danom mesiaci vo W;

t - počet dní v danom mesiaci v sekundách.

$$\Delta T_m = \frac{Q_{\Delta T}}{\dot{m}_{GL} \cdot c_{p,GL}} \quad (4.65)$$

ΔT_m - zmena teploty teplotnosného média v K;

$c_{p,GL}$ - merná tepelná kapacita teplotnosného média v J/kg.K.

\dot{m}_{GL} - hmotnostný prietok teplotnosného média v kg/s.

$$\dot{m}_{GL} = (\dot{V}_{GL} \cdot n_{kolektorov} \cdot n_{domov}) \cdot \rho_{GL} \quad (4.66)$$

\dot{V}_{GL} - objemový prietok teplotnosného média v m³/s;

$n_{kolektorov}$ - počet kolektorov na jednom dome;

ρ_{GL} - hustota teplotnosného média v kg/m³.

$$T_{m,r} = T_{m,id} - \Delta T_m \quad (4.67)$$

$T_{m,r}$ - reálna teplota teplotnosného média vstupujúca do výmenníku v °C;

$T_{m,id}$ - návrhová teplota teplotnosného média vstupujúca do výmenníku v °C.

Na odber energie k ohrevu TUV sa použije upravený vzťah (4.22), ktorý popisuje zmenu teploty pomocou energetickej bilancie v nádrži. Do bilancie sa pridá odber energie k ohrevu vody.

$$\Delta T_{x,d}^{nádrž} = \frac{\left(\frac{Q_{x,m}^{zisk}}{n} - Q_{x,d}^{top} - Q_{x,d}^{bot} - Q_{x,d}^{okolie,n} - Q_{TUV} \right) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{p,w} \cdot \rho_w \cdot V_{nádrž}} \quad (4.68)$$

4.7 Súčiniteľ prestupu tepla na strane vody

Prúdenie vody v nádrži je dané len teplotným rozdielom, preto sa súčiniteľ prestupu tepla počíta pomocou prirodzeného prúdenia, ktoré sa vyjadří Grashofovým bezrozmerným číslom. [15]

$$Gr = \frac{D_{char}^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \Delta T \cdot \beta}{\mu^2} \quad (4.69)$$

Gr - Grashofovo bezrozmerné číslo;

D_{char} - charakteristický rozmer v m;

ρ - hustota kvapaliny v kg/m³;

g - gravitačné zrýchlenie v m/s²;

ΔT - teplotný rozdiel v K;

β - súčiniteľ teplotnej objemovej rozťažnosti kvapaliny v 1/°C;

μ - súčiniteľ dynamickej viskozity v kg/m.s.

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (4.70)$$

Ra - Rayleighovo bezrozmerné číslo;

Pr - Prandtlovo bezrozmerné číslo viz. (4.7).

$$Nu = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (4.71)$$

4.8 Dĺžka tepelného výmenníku

Dĺžka výmenníku zasadeného do vodnej nádrže na prenos energie sa dimenzuje podľa mesiaca s najvyšším prenosom energie po stratách.

$$T_{2,out} = T_{2,in} + \frac{Q_{zisk}^{max} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{\rho_w \cdot V_{nádrž} \cdot c_{p,w}} \quad (4.72)$$

$T_{2,out}$ - teplota vody po ohreve v K;

$T_{2,in}$ - teplota vody pred ohrevom v K;

ρ_w - hustota vody v kg/m³;

Q_{zisk}^{max} - maximálny príjem tepla z kolektorov po stratách v kWh;

c_p - merná tepelná kapacita vody v J/kg.K;

$V_{nádrž}$ - objem nádrže v m³.

$$T_{1,out} = T_{1,in} - \frac{Q_{zisk}^{max} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{\dot{m}_{GL} \cdot c_{p,GL}} \quad (4.73)$$

$T_{1,out}$ - teplota teplotnosného média po ohreve v K;

$T_{1,in}$ - teplota teplotnosného média pred ohrevom v K;

t - počet dní v mesiaci v sekundách;

c_p - merná tepelná kapacita teplotnosného média v J/kg.K.

$$L = \frac{Q_{zisk}^{max} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{k \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \Delta T_{ln}} \quad (4.74)$$

k - celkový súčiniteľ prenosu tepla vo W/m.K;

ΔT_{ln} - logaritmickej teplotný spád v K.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \cdot \lambda_{tr}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} \quad (4.75)$$

index 1 popisuje vnútornú stranu trubky (glykol);

index 2 popisuje vonkajšiu stranu trubky (voda).

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{in} - \Delta T_{out}}{\ln \frac{\Delta T_{in}}{\Delta T_{out}}} \quad (4.76)$$

index in popisuje teploty médií na začiatku tepelného prenosu;

index out popisuje teploty na konci tepelného prenosu.

5 Hodnoty

V kapitole hodnoty sa aplikujú vzťahy z predchádzajúcej kapitoly. S použitím spoľahlivých online databáz sa dohľadali vonkajšie teploty vzduchu, slnečné ožiarenie, stredné denné ožiarenie atp. pre danú oblasť výstavby. Tabuľkové hodnoty pre média sa prevzali zo softvéru EES. Pre teplotné médium sa použili tabuľky od firmy dowtherm, ktoré poskytli informácie pre rôzne percentá roztokov. [18], [19]

Vyhodnotením tepelných strát v každom mieste systému vedie k číselným hodnotám skutočných ziskov solárnych kolektorov, podľa ktorých sa určí energia predaná podzemnej akumuláčnej nádrže. V podzemnom systéme sa energia presúva cez valcovité zóny pomocou vedenia. Výstupnými veličinami sú teploty systému v priebehu každého dňa.

5.1 Teoretické zisky energie kolektorov

K výpočtu ziskov pre solárne kolektory bol použitý vzorec (4.2). Konštanty kolektorov boli uvedené od výrobcu [9] a všetky meteorologické údaje sú z nasledujúcich zdrojov [18]. Z jednotlivých priemerných denných teplôt a slnečných ožiarení, ktoré sa určili pomocou softwaru Meteororm v7.3, boli ďalej určené mesačné priemery.

Tab. 5.1 priemerné teploty v jednotlivých mesiacoch v °C [18]

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	-1.47	-5.72	2.01	-1.82
Február	x	4.15	1.70	-1.56	2.94
Marec	x	6.89	7.67	2.47	7.48
Apríl	x	10.21	9.12	14.20	11.85
Máj	14.68	14.92	15.86	18.13	12.87
Jún	19.53	19.99	21.91	20.42	22.98
Júl	24.26	22.21	22.53	22.37	22.47
August	24.38	20.06	23.17	24.17	23.47
September	16.91	19.11	15.50	17.68	17.13
Október	9.89	9.15	11.40	13.13	12.55
November	6.75	3.77	4.85	6.54	7.48
December	2.57	-0.84	0.40	0.48	2.27

Pre stredné denné ožiarenie boli získané len priemerné hodnoty minulej dekády pre každý mesiac. Hodnoty sú pre 45°sklon otočené na juh.

Tab. 5.2 stredné denné ožiarenie pre daný sklon vo W/m^2

Január	164	Júl	554
Február	228	August	476
Marec	342	September	395
Apríl	487	Október	276
Máj	534	November	155
Jún	561	December	121

Tab 5.3 priemerné slnečné ožiarenie v jednotlivých mesiacoch v kWh/m².deň [18]

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	6.511	6.260	5.722	6.769	6.233
Február	6.252	6.873	6.561	6.165	6.219
Marec	6.655	6.886	6.780	6.648	6.830
Apríl	6.935	7.157	7.190	7.463	7.269
Máj	8.091	7.879	7.885	8.138	7.941
Jún	8.430	8.489	8.504	8.838	8.763
Júl	9.031	8.959	8.867	8.788	8.798
August	8.971	8.403	8.733	8.853	8.995
September	8.225	8.090	8.080	8.040	8.046
Október	7.621	7.505	7.426	7.468	7.469
November	6.885	6.707	6.897	6.987	7.302
December	6.697	6.215	6.390	6.623	6.588

Stredná návrhová teplota média bola pevne daná ako funkcia vonkajšej teploty. Zatiaľčo od marca do septembra bola stredná teplota média o 25°C vyššia od teploty vzduchu. V novembri, decembri a januári to bolo len o 17°C, pričom vo februári a októbri to bolo o 20°C viac.

Tab 5.4 stredná teplota média prúdiaceho v trubkách v °C

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	15.53	11.28	19.01	15.18
Február	x	24.15	21.70	18.44	22.94
Marec	x	31.89	32.67	27.47	32.48
Apríl	x	35.21	34.12	39.20	36.85
Máj	39.68	39.92	40.86	43.13	37.87
Jún	44.53	44.99	46.91	45.417	47.98
Júl	49.26	47.21	47.53	47.37	47.47
August	49.38	45.05	48.17	49.17	48.47
September	41.91	44.11	40.50	42.68	42.13
Október	29.90	29.15	31.40	33.13	32.55
November	26.76	23.77	24.85	26.54	27.48
December	19.57	17.84	17.40	17.48	19.27

Tab 5.5 konštanty pre vzťah (4.2) - výpočet teoretických ziskov kolektorov [9]

počet kolektorov na dom	n_k	6	-
plocha jedného kolektoru	A_k	1.78	m ²
pokles tepelnej energie skrz rozvody	p	0.1	-
súčiniteľ tepelných strát	a_1	3.63	W/m ² .K
teplotne závislý koeficient	a_2	0.011	W/m ² .K ²
účinnosť závislá od plochy kolektorov	η_{0a}	0.8117	-

Po zadefinovaní všetkých premenných sa mohli vypočítať teoretické zisky pre jednotlivé domácnosti. Zisk pre celú komunitu domácností je len násobok ziskov pre jeden dom. Vzorový výpočet k určení teplôt a strát v kolektoroch bol prevedený pre máj 2015.

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[\eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \right] \cdot H_{T,deň} \cdot n \cdot A_k \cdot (1 - p)$$

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[0.8117 - 3.63 \cdot \frac{39.676 - 14.676}{534} - 0.011 \cdot \frac{(39.676 - 14.676)^2}{534} \right] \cdot 8.091 \cdot 31$$

$$\cdot (6 \cdot 1.78) \cdot (1 - 0.1)$$

$$Q_{k,u} = 1364.54 \text{ kWh}$$

Tab 5.6 tepelné zisky pre 1 dom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	698.3935	698.39	638.40	755.26
Február	x	755.3439	755.34	721.13	654.16
Marec	x	971.7672	971.77	956.79	938.22
Apríl	x	1135.269	1135.27	1140.50	1183.81
Máj	13645.43	1328.746	1328.75	1329.89	1372.49
Jún	13950.54	1404.818	1404.82	1407.30	1462.63
Júl	15390.04	1526.745	1526.74	1511.19	1497.66
August	14593.64	1367.006	1367.01	1420.64	1440.16
September	12051.25	1185.296	1185.30	1183.78	1177.92
Október	10281.34	1012.555	1012.55	1001.89	1007.55
November	7023.649	684.1393	684.14	703.59	712.70
December	4946.892	459.092	459.09	471.96	489.16
SUMA	126175.6	12529.17	12529.17	12487.05	12691.71

Výpočet pre danú komunitu modelových domov sa výsledky z jednotlivých mesiacov násobili počtom domov.

$$Q_{k,u_{10}} = Q_{k,u} \cdot n_{domov} = 1137.12 \cdot 10 = 11371.2 \text{ kWh}$$

Tab. 5.7 tepelné zisky pre 10 domov v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	5819.95	5319.98	6293.82	5795.05
Február	x	5528.68	6294.53	6009.4	5451.3
Marec	x	8098.6	7973.25	7818.46	8032.05
Apríl	x	9460.57	9504.2	9865.08	9609.07
Máj	11371.2	11072.88	11082.4	11437.4	11160.8
Jún	11625.4	11706.82	11727.5	12188.6	12085.2
Júl	12825	12722.87	12593.2	12480.5	12494.7
August	12161.4	11391.71	11838.6	12001.3	12193.3
September	10042.7	9877.47	9864.85	9816.02	9823.34
Október	8567.79	8437.96	8349.1	8396.25	8396.61
November	5853.04	5701.16	5863.24	5939.18	6207.52
December	4122.41	3825.77	3932.99	4076.34	4055.3
SUMA	103650	103026	102598	104232	103735

5.2 Tepelné straty

Po výpočte teoretických ziskov sa vypočítajú straty potrubnej siete a reálne zisky zo solárnych kolektorov. Straty sa počítajú podľa vzťahov z kapitoly 4.2. Najskôr sa vypočítajú straty potrubia, zasadeného v zemi putujúceho do centrálného potrubia. Následne sa vypočítajú straty centrálného potrubia a po vypočítaní súčiniteľa prestupu tepla na strane vzduchu a média sa môže dopočítať strata potrubia vedúceho zo strechy domu až do zeme.

Tab. 5.8 konštanty potrubia

vnútorný priemer trubky	d_1	0.0163	m
vonkajší priemer trubky	d_2	0.0213	m
priemer trubky s izoláciou	d_3	0.0373	m
dĺžka potrubia v zemi do centrálného	L_d	4	m
súčiniteľ tepelnej vodivosti oceľovej trubky	λ_A	14.4	W/m.K
súčiniteľ tepelnej vodivosti izolácie	λ_B	0.2	W/m.K

$$R_A = \frac{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L_z \cdot \lambda_A} = \frac{\ln\left(\frac{0.0213}{0.0163}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 14.4} = 7.39 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}$$

$$R_B = \frac{\ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L_z \cdot \lambda_B} = \frac{\ln\left(\frac{0.0373}{0.0213}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 0.2} = 0.11147 \text{ K/W}$$

$$R_{celk1} = R_A + R_B = 7.39 \cdot 10^{-4} + 0.11147 = 0.11221 \text{ K/W}$$

Tab. 5.9 tepelné odpory potrubia

tepelný odpor ocelevej trubky	R_A	$7.39 \cdot 10^{-4}$	K/W
tepelný odpor izolácie	R_B	0.11147	K/W
sériový tepelný odpor trubka+izolácia	R_{celk1}	0.11221	K/W

Pre tepelné straty je nutné počítať s teplotou prúdiacej tekutiny na teplejšej strane. Pre jednotlivé mesiace sú teplotné rozdiely nasledovné:

Tab. 5.10 teploty teplonosného média na teplejšej strane v °C

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	18.53	14.28	22.01	18.18
Február	x	27.15	24.70	21.44	22.94
Marec	x	28.89	29.67	24.47	29.48
Apríl	x	35.21	34.12	39.20	36.85
Máj	43.68	43.92	44.86	47.13	41.87
Jún	48.53	48.99	50.91	49.42	51.98
Júl	53.26	51.21	51.53	51.37	51.47
August	53.38	49.06	52.17	53.17	52.47
September	45.91	49.11	43.50	46.68	46.13
Október	34.90	34.15	36.40	38.13	37.55
November	26.76	23.77	24.85	26.54	27.48
December	21.57	19.84	19.40	19.48	21.27

Potrubie sa nachádza v nezámrznej hĺbke v ktorej bola stanovená teplota 5°C. Preto platí rozdiel teplôt teplejšieho média s hodnotou teploty zeme 5°C. Hodnoty sa potom prepočítavali na kWh, preto je nutné ich násobiť časom v sekundách a predeliť konštantou.

$$Q_{straty_1}^{1dom} = \frac{T_{m,h} - 5}{R_{celk_1}} \cdot \frac{dni}{3.6 \cdot 10^6} = \frac{43.676 - 5}{0.11221} \cdot \frac{31 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{3.6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{straty_1} = 256.450 kWh$$

Podobne ako pri ziskoch je nutné straty prepočítať na množstvo modelových domov. Pre ďalšie výpočty strát sa nebude predpokladať strata pre jeden dom, ale už pre všetkých desať.

$$Q_{straty_1} = \frac{T_{m,h} - 5}{R_{celk_1}} \cdot n_{domov} \cdot \frac{dni}{3.6 \cdot 10^6} = \frac{43.676 - 5}{0.11221} \cdot 10 \cdot \frac{31 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{3.6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{straty_1} = 2564.503 kWh$$

Tab. 5.11 tepelné straty potrubia pre celú komunitu v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	897.1072	615.4664	1127.734	873.9317
Február	x	1374.013	1179.721	984.3388	1254.333
Marec	x	1782.728	1834.646	1489.911	1822.261
Apríl	x	2195.171	2125.158	2450.92	2300.439
Máj	2564.503	2580.695	2642.864	2793.248	2444.519
Jún	2793.173	2822.771	2946.193	2850.192	3014.624
Júl	3199.685	3064.21	3085.102	3074.642	3081.15
August	3207.755	2921.141	3127.405	3194.183	3147.297
September	2625.404	2766.479	2534.702	2674.483	2639.436
Október	1982.255	1932.701	2081.876	2196.551	2158.114
November	1396.129	1204.399	1273.648	1381.932	1442.475
December	1098.73	984.2907	955.1048	960.3719	1079.057
SUMA	18867.63	24525.7	24401.89	25178.51	25257.64

Potrubie vedúce od každého domu do jednotného centrálného vedúce ho až do vodnej nádrže má taktiež svoje straty. Predpokladaná dĺžka tohto potrubia je 60 metrov a priemer trubiek sa zväčšil desaťnásobne z dôvodu konštantného toku média.

Tab. 5.12 konštanty centrálného potrubia

vnútorný priemer trubky	d_1	0.163	m
vonkajší priemer trubky	d_2	0.213	m
priemer trubky s izoláciou	d_3	0.373	m
dĺžka centrálného potrubia	L_{cent}	60	m
súčiniteľ tepelnej vodivosti oceľovej trubky	λ_A	14.4	W/m.K
súčiniteľ tepelnej vodivosti izolácie	λ_B	0.2	W/m.K

$$R_{A_{spot}} = \frac{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L_{cent} \cdot \lambda_A} = \frac{\ln\left(\frac{0.213}{0.163}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 14.4} = 4.95 \cdot 10^{-5} \text{ K/W}$$

$$R_{B_{spot}} = \frac{\ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L_{cent} \cdot \lambda_B} = \frac{\ln\left(\frac{0.373}{0.213}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 0.2} = 0.00743 \text{ K/W}$$

$$R_{spot_{celk}} = R_A + R_B = 4.95 \cdot 10^{-5} + 0.00743 = 0.00748 \text{ K/W}$$

Tab. 5.13 tepelné odpory centrálného potrubia

tepelný odpor oceľovej trubky	$R_{A_{spot}}$	$4.95 \cdot 10^{-5}$	K/W
tepelný odpor izolácie	$R_{B_{spot}}$	0.00743	K/W
sériový tepelný odpor trubka+izolácia	$R_{spot_{celk}}$	0.00748	K/W

Teplota zeminy sa znova berie 5°C ako v predchádzajúcom výpočte. Kumulatívne straty centrálného potrubia pre jednotlivé mesiace sa nachádzajú v nasledujúcej tabuľke.

$$Q_{\text{straty}_2} = \frac{T_{m,h} - 5}{R_{\text{spolcelk}}} \cdot n_{\text{domov}} \cdot \frac{\text{dni}}{3.6 \cdot 10^6} = \frac{43.676 - 5}{0.00748} \cdot 10 \cdot \frac{31 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{3.6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{\text{straty}_2} = 3864.755 \text{ kWh}$$

Tab. 5.14 tepelné straty centrálného potrubia v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	1345.661	923.1997	1691.601	1310.897
Február	x	1989.949	1769.582	1476.508	1881.499
Marec	x	2674.092	2751.969	2234.867	2733.392
Apríl	x	3292.756	3187.737	3676.38	3450.659
Máj	3846.755	3871.043	3964.295	4189.872	3666.778
Jún	4189.759	4234.156	4419.29	4275.288	4521.935
Júl	4799.528	4596.315	4627.653	4611.964	4621.725
August	4811.632	4381.711	4691.107	4791.274	4720.946
September	3938.107	4149.718	3802.053	4011.724	3959.154
Október	2973.382	2899.051	3122.814	3294.826	3237.17
November	2094.194	1806.599	1910.472	2163.712	2094.194
December	1648.095	1476.436	1432.657	1440.558	1618.585

Tab. 5.15 vlastnosti teplonosnej látky [19]

t [°C]	20	25	30	35	40	45	50	55
λ_{GL} [W/m.K]	0.404	0.408	0.412	0.415	0.419	0.422	0.425	0.427
c_{pGL} [J/kg.K]	3460	3486	3503	3520	3537	3554	3560	3587
μ_{GL} [Pa.s]	0.00296	0.00257	0.00226	0.00199	0.00177	0.00159	0.00143	0.00129
ρ_{GL} [kg/m ³]	1060.9	1058.8	1056.6	1054.2	1051.8	1049.2	1046.5	1043.7
charakteristický rozmer				0.0163 m				
prietok teplonosnej kvapaliny				0.015 kg/s				
v_{GL} [m/s]	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.069	0.069	0.069
L_d	7 m							

Teplonosné médium neprekráča turbulентnú medzu a z toho dôvodu je Nusseltovo bezrozmerné číslo určené len konštantou.

$$Pr_{GL} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{0.00177 \cdot 3537}{0.419} = 14.942$$

$$Re_{GL} = \frac{\rho \cdot l_{char} \cdot v}{\mu} = \frac{1051.8 \cdot 0.0163 \cdot 0.27}{0.00177} = 2618.47$$

$$Nu_{GL} = 4.364$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{l_{char}} = \frac{4.634 \cdot 0.419}{0.0163} = 112.179 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_1 = \frac{1}{\pi \cdot d_1 \cdot L_d \cdot \alpha_1} = \frac{1}{\pi \cdot 0.0163 \cdot 7 \cdot 112.179} = 0.0249 \text{ K/W}$$

Tab. 5.16 veličiny k výpočtu súčiniteľa prestupu tepla a teplotný odpor

t	20	25	30	35	40	45	50	55
Pr _{GL}	25.351	21.9584	19.2155	16.8791	14.942	13.3907	11.9784	10.8366
Re _{GL}	1565.78	1803.38	2050.75	2328.99	2618.47	2914.90	3241.05	3592.79
Nu _{GL}	4.364							
α _{GL}	108.163	109.234	110.305	111.108	112.179	112.982	113.785	114.321
R ₁	0.0258	0.0255	0.0253	0.0251	0.0249	0.0247	0.0245	0.0244

Tab. 5.17 vlastnosti vzduchu

t	-5	0	5	10	15	20	25	30
λ _{AIR}	0.02397	0.02436	0.02474	0.02512	0.0255	0.02587	0.02624	0.02662
c _{pAIR}	1006							
μ _{AIR} · 10 ⁻⁶	16.9	17.15	17.4	17.64	17.89	18.13	18.37	18.6
ρ _{AIR}	1.316	1.292	1.268	1.246	1.225	1.204	1.184	1.164
charakteristický rozmer				0.0344				
L	7							

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{17.89 \cdot 10^{-6} \cdot 1006}{0.0255} = 0.70578$$

Tab. 5.18 prandtlovo číslo pre prúdenie vzduchu okolo trubiek

t	-5	0	5	10	15	20	25	30
Pr _{AIR}	0.70928	0.70825	0.70753	0.70644	0.70578	0.70502	0.70428	0.70292

Rýchlosť vetru bola určená pomocou online databáz od NASA pod označením power tool. Boli zadané denné hodnoty rýchlosti vetra, z nich sa spravili mesačné priemery a z každých mesačných priemerov sa následne spravil 5 ročný priemer pre daný mesiac. Reynoldsovo bezrozmerné číslo prekročilo turbulentnú medzu. [18]

$$Re_{AIR} = \frac{\rho_{AIR} \cdot l_{char} \cdot v_{AIR}}{\mu_{AIR}} = \frac{1.225 \cdot 0.0344 \cdot 4.022}{0.00177} = 9188.91$$

$$Nu_{AIR} = 0.193 \cdot Re^{(0.618)} \cdot Pr^{(\frac{1}{3})} = 0.193 \cdot 9188.91^{0.618} \cdot 0.70578^{\frac{1}{3}} = 48.9006$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{l_{char}} = \frac{48.9006 \cdot 0.0255}{0.0344} = 36.775 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_4 = \frac{1}{\pi \cdot d_3 \cdot L \cdot \alpha_2} = \frac{1}{\pi \cdot 0.0344 \cdot 7 \cdot 36.775} = 0.03595 \text{ K/W}$$

Tab. 5.19 priemerné hodnoty vzduchu pre výpočet súčiniteľa prestupu tepla

	ν_{AIR}	Re_{AIR}	Nu_{AIR}	α_2
Január	4.352	11657.1	56.7486	39.5426
Február	4.318	11189.6	55.307	39.1651
Marec	4.420	11080	54.9551	39.5229
Apríl	4.440	10459.2	52.9918	39.2817
Máj	4.022	9188.91	48.9006	36.775
Jún	3.497	7753.92	44.0154	33.5745
Júl	3.479	7490.54	43.0603	33.3217
August	3.211	6912.77	40.9763	31.709
September	3.638	8311.39	45.9595	34.5632
Október	3.910	9499.9	49.9471	36.473
November	4.227	10596.6	53.4608	38.4482
December	3.888	10076.2	62.0832	43.9636

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda_A} = \frac{\ln\left(\frac{0.0213}{0.0163}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 7 \cdot 14.4} = 0.00042 \text{ K/W}$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda_B} = \frac{\ln\left(\frac{0.0373}{0.0213}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 7 \cdot 0.2} = 0.06369 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{celk}_2} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 0.0247 + 0.00042 + 0.06369 + 0.03595 = 0.12475 \text{ K/W}$$

Tab. 5.20 tepelné odpory pre potrubie

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_{celk_2}
Január	0.0255			0.03343	0.12341
Február	0.0253			0.03375	0.12316
Marec	0.0251			0.03345	0.12267
Apríl	0.0251			0.03365	0.12288
Máj	0.0247			0.03595	0.12475
Jún	0.0245	0.00042	0.06369	0.03937	0.12801
Júl	0.0244			0.03967	0.12819
August	0.0244			0.04169	0.12819
September	0.0247			0.03825	0.12475
Október	0.0253			0.03624	0.12306
November	0.0253			0.03438	0.12285
December	0.0255			0.03007	0.12341

Po výpočte všetkých tepelných odporov je možné dopočítať tepelné straty vedením v potrubí a prúdením medzi teplotnou kvapalinou a vonkajšími vplyvmi. Referenciou je vzorec (4.12).

$$Q_{\text{straty}_3} = \frac{T_{m,h} - T_{o,vzd}}{R_{\text{celk}_2}} \cdot n \cdot \frac{\text{dni}}{3.6 \cdot 10^6} = \frac{43.676 - 14.676}{0.12475} \cdot 10 \cdot \frac{31 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{3.6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{\text{straty}_3} = 1729.48 \text{ kWh}$$

Tab. 5.21 tepelné straty medzi potrubím a vonkajším vzduchom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	1205.76	1205.76	1205.76	1205.76
Február	x	1299.77	1254.96	1254.96	1254.96
Marec	x	1516.25	1516.25	1516.25	1516.25
Apríl	x	1699.26	1699.26	1699.26	1699.26
Máj	1729.48	1729.48	1729.48	1729.48	1729.48
Jún	1631.17	1631.17	1631.17	1631.17	1631.17
Júl	1683.12	1683.12	1683.12	1683.12	1683.12
August	1683.12	1683.12	1683.12	1683.12	1683.12
September	1673.69	1673.69	1673.69	1673.69	1673.69
Október	1511.46	1511.46	1511.46	1511.46	1511.46
November	1172.12	1172.12	1172.12	1172.12	1172.12
December	1024.9	1024.9	1024.9	1024.9	1024.9

K nasledujúcej tabuľke 5.22 sa viaže výpočet zo vzorca 4.16, v ktorom sa uvádza reálny zisk solárnych kolektorov. Popisuje skutočne teplo vedúce do tepelného výmenníku k prenosu energie.

$$Q_{zisk} = Q_{k,u} - \sum_{i=1}^3 Q_{straty_i} = 13645.43 - 2564.50 - 1729.5 - 3846.8 = 5504.69 \text{ kWh}$$

Tab. 5.22 reálné zisky solárnych kolektorov jednotlivých mesiacov v kWh

	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október	November	December
2015												
Q _{k,u_10}	x	x	x	x	13645.43	13950.54	15390.04	14593.64	12051.25	10281.34	7023.65	4946.89
Q _{straty1}	x	x	x	x	2564.50	2793.17	3199.69	3207.75	2625.40	1982.25	1396.13	1098.73
Q _{straty2}	x	x	x	x	1729.48	1631.17	1683.12	1683.12	1673.69	1511.46	1172.12	1145.47
Q _{straty3}	x	x	x	x	3846.75	4189.76	4799.53	4811.63	3938.11	2973.38	2094.19	1648.09
Q _{zisk}	x	x	x	x	5504.69	5336.44	5707.70	4891.13	3814.04	3814.24	2361.20	1054.60
2016												
Q _{k,u_10}	6983.93	7553.44	9717.67	11352.69	13287.46	14048.18	15267.45	13670.06	11852.96	10125.55	6841.39	4590.92
Q _{straty1}	897.11	1374.01	1782.73	2195.17	2580.70	2822.77	3064.21	2921.14	2766.48	1932.70	1204.40	984.29
Q _{straty2}	1205.76	1299.77	1516.25	1699.26	1729.48	1631.17	1683.12	1683.12	1673.69	1511.46	1172.12	1145.47
Q _{straty3}	1345.66	1989.95	2674.09	3292.76	3871.04	4234.16	4596.31	4381.71	4149.72	2899.05	1806.60	1476.44
Q _{zisk}	3535.41	2889.70	3744.61	4165.50	5106.24	5360.08	5923.80	4684.08	3263.08	3782.33	2658.27	984.72
2017												
Q _{k,u_10}	6383.97	7211.27	9567.90	11405.03	13298.89	14073.00	15111.87	14206.36	11837.83	10018.92	7035.89	4719.59
Q _{straty1}	615.47	1179.72	1834.65	2125.16	2642.86	2946.19	3085.10	3127.40	2534.70	2081.88	1273.65	955.10
Q _{straty2}	1205.76	1254.96	1516.25	1699.26	1729.48	1631.17	1683.12	1683.12	1673.69	1511.46	1172.12	1145.47
Q _{straty3}	923.20	1769.58	2751.97	3187.74	3964.30	4419.29	4627.65	4691.11	3802.05	3122.81	1910.47	1432.66
Q _{zisk}	3639.55	3007.02	3465.04	4392.88	4962.24	5076.35	5715.99	4704.73	3827.38	3302.77	2679.65	1186.35
2018												
Q _{k,u_10}	7552.58	6541.56	9382.16	11838.10	13724.86	14626.30	14976.63	14401.58	11779.22	10075.50	7127.02	4891.61
Q _{straty1}	1127.73	984.34	1489.91	2450.92	2793.25	2850.19	3074.64	3194.18	2674.48	2196.55	1381.93	960.37
Q _{straty2}	1205.76	1254.96	1516.25	1699.26	1729.48	1631.17	1683.12	1683.12	1673.69	1511.46	1172.12	1145.47
Q _{straty3}	1691.60	1476.51	2234.87	3676.38	4189.87	4275.29	4611.96	4791.27	4011.72	3294.83	2072.90	1440.56
Q _{zisk}	3527.49	2825.76	4141.13	4011.53	5012.26	5869.65	5606.90	4732.99	3419.32	3072.66	2500.07	1345.21
2019												
Q _{k,u_10}	6954.06	6598.79	9638.46	11530.88	13393.00	14502.18	14993.67	14631.95	11788.01	10075.93	7449.03	4866.36
Q _{straty1}	873.93	1254.33	1822.26	2300.44	2444.52	3014.62	3081.15	3147.30	2639.44	2158.11	1442.47	1079.06
Q _{straty2}	1205.76	1254.96	1516.25	1699.26	1729.48	1631.17	1683.12	1683.12	1673.69	1511.46	1172.12	1145.47
Q _{straty3}	1310.90	1881.50	2733.39	3450.66	3666.78	4521.94	4621.73	4720.95	3959.15	3237.17	2163.71	1618.59
Q _{zisk}	3563.47	2208.00	3566.56	4080.52	5552.22	5334.45	5607.67	5080.58	3515.73	3169.19	2670.72	1023.24

5.3 Systém bez odberu

Tento systém sa určuje len z dôvodu predstavy funkcie celého systému. Návrhový výpočet sa tentokrát vykonáva pre mesiac január v roku 2017. Dôvodom je ustálenie teplôt v systéme a prehľad teplôt v ďalších systémoch, kde sa odoberala energia na kúrenie či TUV.

5.3.1 Teplota v nádrži

V prvom rade je nutné si určiť teplotu vody v nádrži. Rozmery nádrže a vrtov sú prevzaté z kapitoly 3.4.

Tab. 5.23 rozmery nádrže a vrtov

	Nádrž	Vrt
vnútorný priemer	17 m	0.25 m
vonkajší priemer	18 m	0.25 m
hĺbka	20 m	50 m

$$S_{poklop} = \pi \cdot \frac{d_{vn}^{nádrž^2}}{4} = \pi \cdot \frac{17^2}{4} = 226.98 \text{ m}^2$$

Tab. 5.24 hrúbka vrstiev a tepelná vodivosť [17]

Materiál	hrúbka [m]	tepelná vodivosť [W/m.K]
Izolácia	1	0.04
Zemina	1	1.00
Betónový poklop	0.2	1.58
Betónové dno	2	1.58

$$Q_{15.1.17}^{top} = \frac{(T_{14.1.17}^{nádrž} - T_{január.17}^{povrch})}{\frac{L_{izolácia}}{\lambda_{izolácia} \cdot S_{poklop}} + \frac{L_{zemina}}{\lambda_{zemina} \cdot S_{poklop}} + \frac{L_{betón_p}}{\lambda_{betón} \cdot S_{poklop}}} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{15.1.17}^{top} = \frac{(281.157 - 267.432)}{\frac{1}{0.04 \cdot 226.98} + \frac{1}{1 \cdot 226.98} + \frac{0.2}{1.58 \cdot 226.98}} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6} = 2.86 \text{ kWh}$$

$$S_{dno} = S_{poklop} = \pi \cdot \frac{d_{vn}^{nádrž^2}}{4} = \pi \cdot \frac{17^2}{4} = 226.98 \text{ m}^2$$

$$Q_{15.1.17}^{bot} = \frac{(T_{14.1.17}^{nádrž} - 278.15)}{\frac{L_{betón_d}}{\lambda_{betón} \cdot S_{dno}}} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6} = \frac{(281.157 - 278.15)}{1.58 \cdot 226.98} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6} = 25.89 \text{ kWh}$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,n} = \frac{(T_{14.1.17}^{nádrž} - T_{r,14.1.17}^{zona})}{\frac{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{nádrž}}{d_{vnút}^{nádrž}}\right)}{\lambda_{betón} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{nádrž}}} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6} = \frac{(281.157 - 280.168)}{\frac{\ln\left(\frac{18}{17}\right)}{1.58 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 20}} \cdot \frac{86400}{3.6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,n} = 83.101 \text{ kWh}$$

Kolektorové zisky sú z tab. 5.22 na strane. 51. Je nutné si zadefinovať vlastnosti vody pre teploty 0.01 až 10°C pri atmosférickom tlaku. Pričom z tabuliek pre vlastnosti vody sú uvedené vlastnosti len pre 0.01, 5 a 10°C vodu. Z toho dôvodu je nutné ostatné hodnoty interpolovať.

$$cp_{3^{\circ}C} = cp_{0.01^{\circ}C} + \frac{cp_{5^{\circ}C} - cp_{0.01^{\circ}C}}{5 - 0.01} \cdot (3 - 0.01) = 4217 + \frac{4205 - 4217}{4.99} \cdot 2.99$$

$$cp_{3^{\circ}C} = 4209.81 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Tab. 5.25 hmotnostná tepelná kapacita a hustota vody [12]

	cp [J/kg.K]	ρ [kg/m ³]
0.01°C	4217	999.8
1°C	4214.62	999.82
2°C	4212.21	999.84
3°C	4209.81	999.86
4°C	4207.4	999.88
5°C	4205	999.9
6°C	4202.8	999.86
7°C	4200.6	999.82
8°C	4198.4	999.78
9°C	4196.2	999.74
10°C	4194	999.7

$$V_{nádrž} = \pi \cdot \frac{d_{vn}^{nádrž^2}}{4} \cdot h_{nádrž} = \pi \cdot \frac{17^2}{4} \cdot 20 = 4539.60 \text{ m}^3$$

$$\Delta T_{15.1.17}^{nádrž} = \frac{\left(\frac{Q_{január,2017}^{zisk}}{31} - Q_{15.1.17}^{top} - Q_{15.1.17}^{bot} - Q_{15.1.17}^{okolie,n} \right) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{cp_w \cdot \rho_w \cdot V_{nádrž}}$$

$$\Delta T_{15.1.17}^{nádrž} = \frac{\left(\frac{3639.55}{31} - 2.86 - 25.89 - 83.101 \right) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{4202.8 \cdot 999.86 \cdot 4539.6}$$

$$\Delta T_{15.1.17}^{nádrž} = 0.001 \text{ K}$$

$$T_{15.1.17}^{nádrž} = T_{14.1.17}^{nádrž} + \Delta T_{15.1.17}^{nádrž} = 281.157 + 0.001 = 281.157 \text{ K}$$

Teplota predstavuje o koľko sa zahriala nádrž vody od prvého dňa spustenia, najmä vplyvom termických kolektorov. Teplota v nádrži v úplne prvý deň spustenia mala 278.15 K. Dôvodom malej zmeny je veľký objem samotnej nádrže a strata do okolia, pričom sa ohrievajú okolité hlbinné vrty a zemina.

5.3.2 Teplota v prvej zóne

Teplota v prvej zóne sa určuje pre prehľad teploty na vonkajšej stene vodnej nádrže. Uľahčujú a upresňujú určenie teplôt v druhom rade. Udáva o koľko sa zmení teplota vplyvom vedením tepla cez betónovú stenu o danej hrúbke. Je nutné si určiť hmotnostnú tepelnú kapacitu a hustotu pre materiály nachádzajúce sa v tejto a nasledujúcich teplotných zónach.

Tab. 5.26 vlastnosti materiálov v teplotných zónach

Materiál	hustota [kg/m ³]	hmotnostná tepelná kapacita [J/kg. K]
Betón	2300	1020
Zemina	1700	800

Priemery jednotlivých zón sú uvedené v tab. 4.1

$$V_{1zóna} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{1zóna2} - d_{vn}^{1zóna2}) \cdot h_{nádrž} = \frac{\pi}{4} \cdot (18^2 - 17^2) \cdot 20 = 549.78 \text{ m}^3$$

$$\Delta T_{15.1.17}^{1zóna} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,n} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{betón} \cdot \rho_{betón} \cdot V_{1zóna}} = \frac{83.101 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{1020 \cdot 2300 \cdot 549.78} = 0.231 \text{ K}$$

$$T_{id,15.1.17}^{1zóna} = T_{r,14.1.17}^{1zóna} + \Delta T_{15.1.17}^{1zóna} = 280.160 + 0.231 = 280.392 \text{ K}$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,1z} = \frac{(T_{id,15.1.17}^{1zóna} - T_{r,14.1.17}^{2zóna}) \cdot 86400}{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{1zóna}}{d_{vn}^{1zóna}}\right) \cdot \lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{nádrž}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 = \frac{(280.392 - 279.526) \cdot 86400}{\ln\left(\frac{18}{17}\right) \cdot 1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 20} \cdot 3.6 \cdot 10^6$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,1z} = 48.32 \text{ kWh}$$

$$\Delta T_{r,15.1.17}^{1zóna} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,1z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{1zóna}} = \frac{48.32 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 549.78} = 0.233 \text{ K}$$

$$T_{r,15.1.17}^{1zóna} = T_{id,15.1.17}^{1zóna} - \Delta T_{r,15.1.17}^{1zóna} = 280.392 - 0.233 = 280.159 \text{ K}$$

Zatiaľčo teplota vo vnútri nádrže stúpla o 3 K. Teplota na vonkajšej stene nádrže vplyvom vedenia stúpla v danom období o 2 K. Rozhodujúcim faktorom je hrúbka a materiál steny.

5.3.3 Teplota v druhej zóne

Druhá zóna predstavuje zónu prvého radu vrtov. Prvý rad vrtov čerpá energiu nielen z bočnej steny nádrže, ale čiastočne dnom nádrže. Predpokladaná zmena teploty bude dosahovať maximálne 2 K.

$$V_{2zóna} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{2zóna2} - d_{vn}^{2zóna2}) \cdot h_{vrt} = \frac{\pi}{4} \cdot (19^2 - 18^2) \cdot 50 = 1452.99 \text{ m}^3$$

$$\Delta T_{id,15.1.17}^{2zóna} = \frac{(Q_{15.1.17}^{okolie,1z} + 0.3 \cdot Q_{15.1.17}^{bot}) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{2zóna}} = \frac{(48.32 + 0.3 \cdot 25.88) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 1452.99}$$

$$\Delta T_{id,15.1.17}^{2zóna} = 0.170 \text{ K}$$

$$T_{id,15.1.17}^{2zóna} = T_{r,14.1.17}^{2zóna} + \Delta T_{id,15.1.17}^{2zóna} = 279.526 + 0.170 = 279.696 \text{ K}$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,2z} = \frac{(T_{id,15.1.17}^{2z} - T_{r,14.1.17}^{3z})}{\frac{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{2z}}{d_{vn}^{2z}}\right)}{\lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{vrt}}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 = \frac{(279.696 - 279.055)}{\frac{\ln\left(\frac{19}{18}\right)}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}} \cdot 3.6 \cdot 10^6$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,2z} = 56.52 \text{ kWh}$$

$$\Delta T_{r,15.1.17}^{2z} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,2z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{2z}} = \frac{56.52 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 1452.99} = 0.172 \text{ K}$$

$$T_{r,15.1.17}^{2z} = T_{id,15.1.17}^{2z} - \Delta T_{r,15.1.17}^{2z} = 279.696 - 0.172 = 279.524 \text{ K}$$

Teplota v prvom rade vrtov sa príliš nezmenila. Zmena o 1.3°C pri nulovom odbere energie napovedá, že energia z vodnej nádrže nie je rozhodujúca. Avšak akákoľvek teplota nad -5°C je na vykurovanie s použitím tepelného čerpadla dostatočujúca.

5.3.4 Teplota v tretej zóne

$$V_{3z} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{3z}{}^2 - d_{vn}^{3z}{}^2) \cdot h_{vrt} = \frac{\pi}{4} \cdot (20^2 - 19^2) \cdot 50 = 1531.53 \text{ m}^3$$

$$\Delta T_{id,15.1.17}^{3z} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,2z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{3z}} = \frac{56.52 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 1531.53} = 0.163 \text{ K}$$

$$T_{id,15.1.17}^{3z} = T_{r,14.1.17}^{3z} + \Delta T_{id,15.1.17}^{3z} = 279.055 + 0.163 = 279.217 \text{ K}$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,3z} = \frac{(T_{id,15.1.17}^{3z} - T_{r,14.1.17}^{4z})}{\frac{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{3z}}{d_{vn}^{3z}}\right)}{\lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{vrt}}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 = \frac{(279.217 - 278.604)}{\frac{\ln\left(\frac{20}{19}\right)}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}} \cdot 3.6 \cdot 10^6$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,3z} = 56.93 \text{ kWh}$$

$$\Delta T_{r,15.1.17}^{3z} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,3z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{3z}} = \frac{56.93 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 1531.53} = 0.164 \text{ K}$$

$$T_{r,15.1.17}^{3z} = T_{id,15.1.17}^{3z} - \Delta T_{r,15.1.17}^{3z} = 279.218 - 0.164 = 279.054 \text{ K}$$

Nepatrný rozdiel teplôt medzi druhou a treťou zónou značí rovnováhu v systéme. Ďalším poznatkom je, že sa reálna teplota medzi dňami nezmenila a toľko energie čo prijala tretia zóna aj odovzdala.

5.3.5 Teplota v štvrtej zóne

Posledná zóna podobne ako prvá slúži na bližšie určenie teplôt. Narozdiel od prvej sa však nachádza v grafoch z dôvodu možnosti inštalácie hlbinných vrtov pri zväčšovaní systému.

$$V_{4z} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{vonk}^{4z}{}^2 - d_{vn}^{4z}{}^2) \cdot h_{vrt} = \frac{\pi}{4} \cdot (21^2 - 20^2) \cdot 50 = 1610.07 \text{ m}^3$$

$$\Delta T_{id,15.1.17}^{4zona} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,3z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{4zona}} = \frac{56.93 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 1610.07} = 0.164 K$$

$$T_{id,15.1.17}^{4zona} = T_{r,14.1.17}^{4zona} + \Delta T_{id,15.1.17}^{4zona} = 278.604 + 0.164 = 278.768 K$$

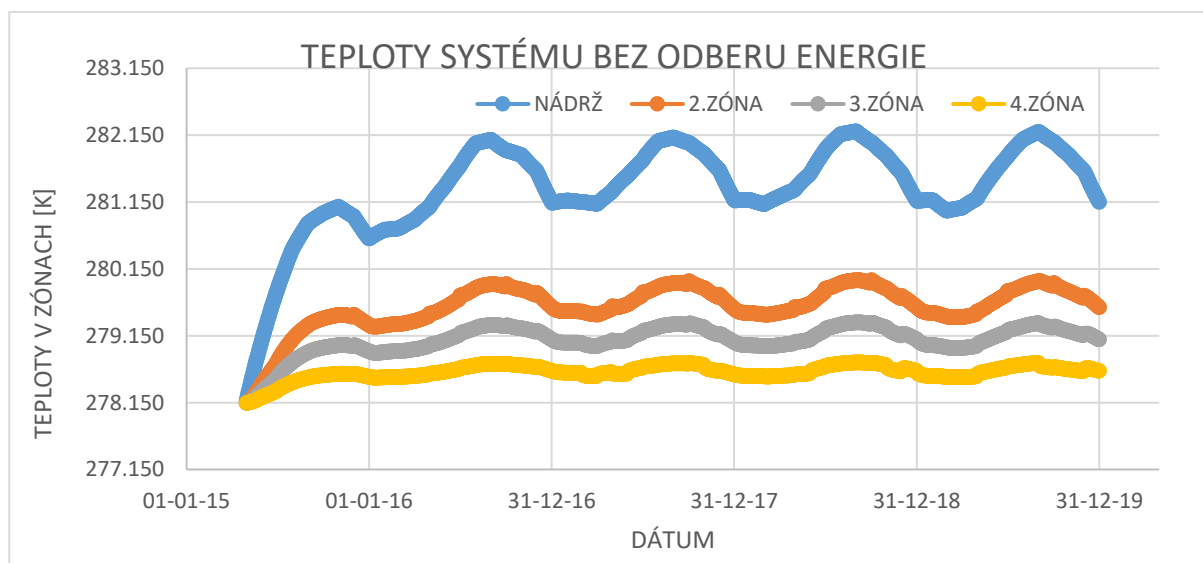
$$Q_{15.1.17}^{okolie,4z} = \frac{(T_{id,15.1.17}^{4zona} - 278.15)}{\frac{\ln\left(\frac{d_{vonk}^{4zona}}{d_{vn}^{4zona}}\right)}{\lambda_{zemina} \cdot 2 \cdot \pi \cdot h_{vrt}}} \cdot 3.6 \cdot 10^6 = \frac{(278.768 - 278.15)}{\frac{\ln\left(\frac{21}{20}\right)}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}} \cdot 3.6 \cdot 10^6$$

$$Q_{15.1.17}^{okolie,4z} = 60.10 kWh$$

$$\Delta T_{r,15.1.17}^{4zona} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,4z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{4zona}} = \frac{60.10 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 1610.07} = 0.165 K$$

$$T_{r,15.1.17}^{4zona} = T_{id,15.1.17}^{4zona} - \Delta T_{r,15.1.17}^{4zona} = 278.768 - 0.165 = 278.603 K$$

Tým, že je štvrtá zóna celkom vzdialená od vodnej nádrže nesúca väčšinu časti energie systému, tak sa teplota príliš nezmenila. Podobne ako v tretej zóne denná teplota sa nemenila a energetická bilancia zostala nulová.



Obr. 5.1 Graf teplôt v systéme bez odberu

V systéme bez odberu sa teploty v nádrži po prvom roku ustálili a sezónne predstavovali sínusoidu. Po ustálení teplotné maximum bolo približne 9°C a minimálna hodnota okolo 7°C. Teploty v hlbinných vrtoch vyzerali veľmi podobne. Zatiaľčo v prvom rade maximum dosahovalo 6.8°C tak minimálne hodnoty boli približne 6.3°C. Teplota v druhom rade kolísala ešte menej s hodnotami medzi 6.2°C a 5.9°C. Štvrtá zóna bola podľa očakávaní najmenej ovplyvnená kolísaním teplôt a teploty sa pohybovali v rozmedzí 5.6°C a 5.3°C.

5.4 Systém s odberom tepla na vykurovanie

Predstavuje približnú predstavu ako by systém fungoval. Odber tepla sa využíva len na pokrytie tepelných strát prenosom cez obvodové steny a vetraním objektu. Podobne ako v predchádzajúcej kapitole sa bude výpočet vykonávať pre mesiac október 2015, kedy sa začal prvý odber tepla z akumuláčného systému.

Tab. 5.27 minimálne namerané teploty vo vykurovacom období v °C [18]

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	-11.22	-16.44	-6.97	-10.58
Február	x	-3.52	-6.79	-14.59	-6.03
Marec	x	-3.36	-2.11	-12.97	-2.34
Apríl	x	-1.79	-3.76	1.7	1.06
Máj	x	3.38	0.74	8.33	1.91
September	x	5.9	5.26	2.46	4.16
Október	-0.68	0.46	-1.11	1.22	0.23
November	-4.04	-4.58	-3.58	-5.75	-2.65
December	-6.1	-7.88	-11.66	-6.51	-4.97

$$W_{Jan.2017}^{1T\check{C}} = H_S \cdot (t_{int} - t_{min,Jan.2017}^{vonk}) = 101.6 \cdot (293.15 - (273.15 + (-16.44)))$$

$$W_{x.m}^{1T\check{C}} = 3702.3 \text{ W}$$

$$W_{x.m}^{10T\check{C}} = W_{Jan.17}^{1T\check{C}} \cdot n_{domov} = 3702.3 \cdot 10 = 37023 \text{ W}$$

K pokrytiu strát jedného domu v januári 2017 je nutné vykonať prácu 3702.3 W. Pre desať domov, ktoré celý akumuláčny systém pokrýva je práca rovná desaťnásobku, 37023 W.

Tab. 5.28 tepelné straty v jednotlivých mesiacoch podľa min. teploty pre 1 dom vo W

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	3171.95	3702.30	2740.15	3106.93
Február	x	2389.63	2721.86	3514.34	2644.65
Marec	x	2373.38	2246.38	3349.75	2269.74
Apríl	x	2213.86	2414.02	1859.28	1924.30
Máj	x	1688.59	1956.82	1185.67	1837.94
September	x	1432.56	1497.58	1782.06	1609.34
Október	2101.09	1985.26	2144.78	1908.05	2008.63
November	2442.46	2497.33	2395.73	2616.20	2301.24
December	2651.76	2832.61	3216.66	2693.42	2536.95

Vzorový výpočet výkonnostných parametrov pre B3W35, teplota pracovného média 3°C a výstupná teplota vody 35°C.

$$V_{3^{\circ}C} = V_{0^{\circ}C} + \frac{V_{5^{\circ}C} - V_{0^{\circ}C}}{t_{5^{\circ}C} - t_{0^{\circ}C}} \cdot (t_{3^{\circ}C} - t_{0^{\circ}C}) = 5,90 + \frac{6,81 - 5,90}{5 - 0} \cdot (3 - 0) = 6446 \text{ W}$$

$$P_{3^{\circ}C} = P_{0^{\circ}C} + \frac{P_{5^{\circ}C} - P_{0^{\circ}C}}{t_{5^{\circ}C} - t_{0^{\circ}C}} \cdot (t_{3^{\circ}C} - t_{0^{\circ}C}) = 1,29 + \frac{1,30 - 1,29}{5 - 0} \cdot (3 - 0) = 1296 \text{ W}$$

$$COP_{3^{\circ}C} = \frac{V_{3^{\circ}C}}{P_{3^{\circ}C}} = \frac{6446}{1296} = 4.97$$

Tab. 5.29 výkonnostné parametre tepelného čerpadla pri vykurovaní

Teplota nemrznúcej zmesi v zemnom okruhu [°C]	Výstupná teplota [°C]	Výkon [kW]	Príkion [W]	Vykurovací faktor [-]
-5	35	4.99	1.28	3.90
0	35	5.90	1.29	4.57
5	35	6.81	1.30	5.24
-2	35	5.54	1.29	4.30
-1	35	5.72	1.29	4.43
1	35	6.08	1.29	4.71
2	35	6.26	1.29	4.84
3	35	6.45	1.30	4.70
4	35	6.63	1.30	5.10

$$\tau_{okt,2015}^{vav} = \frac{W_{jan,2017}^{1T\check{C}}}{V_{-1^{\circ}C}} = \frac{3702.3}{5718} = 0.65 \text{ hod}$$

Tab. 5.30 dĺžka pracovnej doby TČ pri kúrení v hod

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	0.55	0.65	0.48	0.54
Február	x	0.42	0.48	0.61	0.46
Marec	x	0.40	0.38	0.59	0.37
Apríl	x	0.38	0.37	0.31	0.32
Máj	x	0.29	0.30	0.19	0.29
September	x	0.23	0.24	0.28	0.25
Október	0.34	0.33	0.35	0.31	0.32
November	0.40	0.41	0.41	0.44	0.38
December	0.44	0.50	0.56	0.47	0.43

Tepelné čerpadlo by teda pracovalo každý deň v januári 2017 na pokrytie strát vykurovaním a vetraním 39 minút.

K zisteniu teplôt v celom systéme je nutné zaviesť rovnaké jednotky. Keďže už je známy čas práce tepelného čerpadla a potrebný výkon na pokrytie strát je možné previesť prácu tepelného čerpadla na odoberanú energiu zo systému. A prepočet na odber desiatimi domami resp. desiatimi tepelnými čerpadlami.

$$Q_{jan,2017}^{10T\check{C}} = \frac{V_{-1^{\circ}C} \cdot \tau_{jan,2017}^{vav}}{1000} \cdot n_{domov} = \frac{5718 \cdot 0.65}{1000} \cdot 10 = 37.02 \text{ kWh}$$

Prehľad odberu energie pre ostatné mesiace sa zapísali do tabuľky. Odber energie sa vykonával len v mesiacoch, stanovené ako vykurovacie obdobie.

Tab. 5.31 denná energia odobratá zo systému za účelom kúrenia v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	31.72	37.02	27.40	31.07
Február	x	23.90	27.22	35.14	26.45
Marec	x	23.73	22.46	33.50	22.70
Apríl	x	22.14	24.14	18.59	19.24
Máj	x	16.89	19.57	11.86	18.38
September	x	14.33	14.98	17.82	16.09
Október	21.01	19.85	21.45	19.08	20.09
November	24.42	24.97	23.96	26.16	23.01
December	26.52	28.33	32.17	26.93	25.37

5.5 Systém s odberom tepla na vykurovanie a ohrev TUV

Podstata systému zostáva rovnaká, odber energie na vykurovanie sa stále vykonáva z hlbinných vrtov. Ohrev úžitkovej vody sa vykonáva prostredníctvom odberom energie z podzemnej vodnej nádrže. Voda sa zohrieva na 45°C, kde sa ďalej pomocou elektriny zohreje na potrebných 55°C. Množstvo vody bolo stanovené na 180 l/dom. Technické parametre tepelného čerpadla je nutné interpolovať. Výkon bol stanovený pri použití nemrznúcej zmesi, nakoľko výrobca nedodal údaje pri použití systému voda/voda. Výpočet je len informatívny.

Tab. 5.32 výkonnostné parametre tepelného čerpadla pri ohreve TUV

Teplota vody v zemnom okruhu [°C]	Výstupná teplota [°C]	Výkon [kW]	Príkon [W]	Vykurovací faktor [-]
0.01	45	5.48	1.55	3.54
5	45	6.49	1.56	4.15
1	35	5.68	1.55	3.66
2	35	5.88	1.55	3.79
3	35	6.09	1.56	3.91
4	35	6.29	1.56	4.04

Vzorový výpočet je vykonávaný pre dni, kedy sa simultánne odoberala energia na vykurovanie a ohrev TUV.

$$E_{TUV}^{1dom} = V_w \cdot \rho_w \cdot \frac{c_{wh}}{3600} \cdot (t_{vystup} - t_{vstup}) = \frac{180}{1000} \cdot 999.86 \cdot \frac{4209.81}{3600} \cdot (45 - 2)$$

$$E_{TUV}^{1dom} = 9022.67 \text{ W} \cdot \text{hod}$$

$$\tau_{TUV} = \frac{E_{TUV}^{1dom}}{V_{2^\circ C}^{T\check{C}}} = \frac{9022.67}{5880} = 1.53 \text{ hod}$$

$$Q_{TUV} = \frac{E_{TUV}^{1dom}}{1000} \cdot n_{domov} = \frac{9022.67}{1000} \cdot 10 = 90.22 \text{ kWh}$$

Pre mesiace kedy sa odoberá energia na vykurovanie a ohrev TUV voda v nádrži klesla na 2°C. Predĺži sa tým čas práce tepelného čerpadla a spotrebovaná energia sa rovná 90.22 kWh. Zatiaľčo mimo vykurovacích dní voda v nádrži dosiahla 4°C, na ohrev TUV stačilo 86.3 kWh energie.

Tab. 5.33 dĺžka pracovnej doby TČ pri ohreve TÚV v hod

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	1.44	1.44	1.44	1.44
Február	x	1.52	1.52	1.52	1.52
Marec	x	1.52	1.52	1.52	1.52
Apríl	x	1.52	1.52	1.52	1.52
Máj	x	1.44	1.44	1.44	1.44
Jún	x	1.44	1.44	1.44	1.44
Júl	x	1.44	1.44	1.44	1.44
August	x	1.36	1.36	1.36	1.36
September	x	1.36	1.36	1.36	1.36
Október	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
November	1.36	1.44	1.44	1.44	1.44
December	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44

Tab. 5.34 denná energia odobratá zo systému za účelom ohrevu TÚV v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	87.58	87.58	87.58	87.58
Február	x	89.67	89.67	89.67	89.67
Marec	x	89.67	89.67	89.67	89.67
Apríl	x	89.67	89.67	89.67	89.67
Máj	x	87.58	87.58	87.58	87.58
Jún	x	87.58	87.58	87.58	87.58
Júl	x	87.58	87.58	87.58	87.58
August	x	85.50	85.50	85.50	85.50
September	x	85.50	85.50	85.50	85.50
Október	85.50	85.50	85.50	85.50	85.50
November	85.50	87.58	87.58	87.58	87.58
December	87.58	87.58	87.58	87.58	87.58

5.6 Zmena teplôt vplyvom odberu energie

Vplyvom odberu energie sa zmení teplota v celom systéme. Vzťahy na výpočty teplôt z predchádzajúcej kapitoly sú stále platné a keďže celý systém a vzťahy na seba nadväzujú stačí pri zmene teplôt v druhej a tretej zóne, kde sa hlbinné vrty nachádzajú, pripočítať odber k už existujúcim stratám.

K výpočtu objemov U-trubiek v jednotlivých zónach je nutné si zadefinovať priemery trubiek. Podľa prieskumu normovaných trubiek vyhovuje trubka s priemerom 110 mm. Ostatné parametre sú prevzaté z kapitoly 3.4.

$$V_{vrt}^{2zona} = V_{vrt}^{3zona} = \pi \cdot \frac{d_{Utrub}^2}{4} \cdot h_{vrt} \cdot 2 \cdot n_{vrt}^{3zona} = \pi \cdot \frac{0.110^2}{4} \cdot 50 \cdot 2 \cdot 20 = 27.24 \text{ m}^3$$

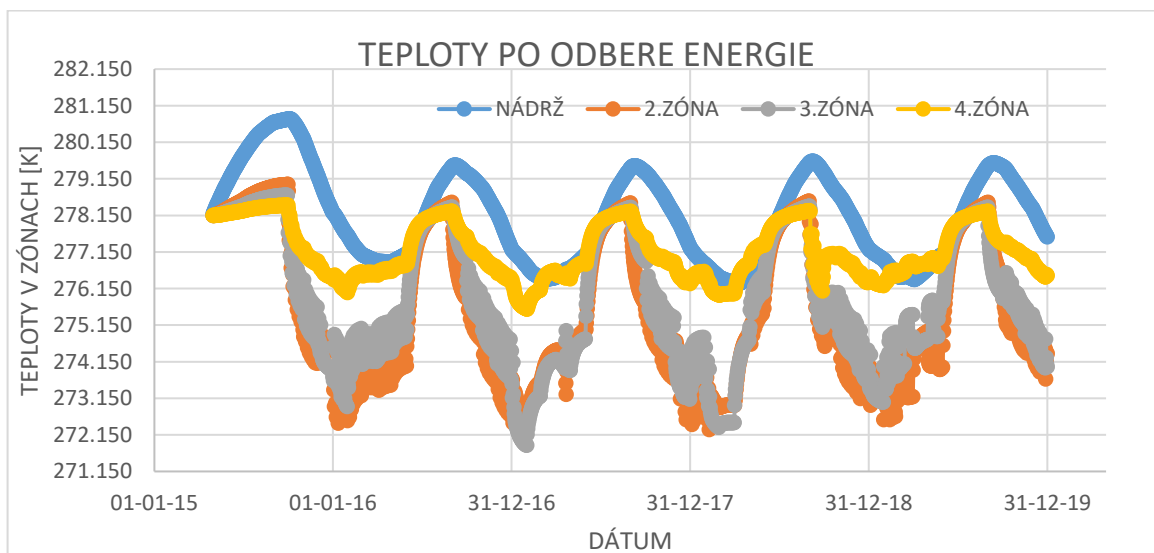
Tab. 5.35 vlastnosti pre nemrznúcu zmes [19]

	ρ_{GL}	cp_{GL}
0°C	1053	3771
1°C	1052.7	3773.2
2°C	1052.4	3775.4
3°C	1052.1	3777.6
4°C	1051.8	3779.8
5°C	1051.5	3782

$$\Delta T_{odb,15.1.17}^{3zóna} = \frac{Q_{15.1.17}^{okolie,3z} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{c_{zemina} \cdot \rho_{zemina} \cdot V_{3zóna}} - \frac{Q_{jan.2017}^{10T\check{c}} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{cp_{GL} \cdot \rho_{GL} \cdot V_{vrt}^{3zóna}}$$

$$\Delta T_{odb,2.10}^{3zóna} = \frac{(-477.11) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{800 \cdot 1700 \cdot 1610.07} - \frac{34.81 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{3779.8 \cdot 1051.8 \cdot 27.24} = 0.278 K$$

$$T_{odb,15.1.17}^{3zóna} = T_{id,15.1.17}^{3zóna} - \Delta T_{odb,15.1.17}^{3zóna} = 272.865 - 0.278 = 272.587 K$$



Obr. 5.2 Graf teplôt po odbere energie za účelom kúrenia

Predpokladané zníženie teplôt v celom systéme sa naplnilo. Teplota v nádrži dosahuje maximálne 6.5°C a minimum kleslo na 4.3°C. Teploty v hlbinných vrtoch klesli najvýraznejšie, maximálna hodnota 5.2°C sa dosiahla v letných mesiacoch, kedy nebol stanovený odber energie najnižšia teplota približne -1°C, pričom záporné hodnoty pretrvávajú počas celého zimného obdobia. V štvrtej zóne sa teploty pohybovali v rozmedzí 2.5 až 5°C.

Pri dodatočnom odbere energie k ohrevu TUV sa mení najmä teplota v podzemnej nádrži vody. Pričom sa sleduje aj vplyv na ostatné teploty v systéme.

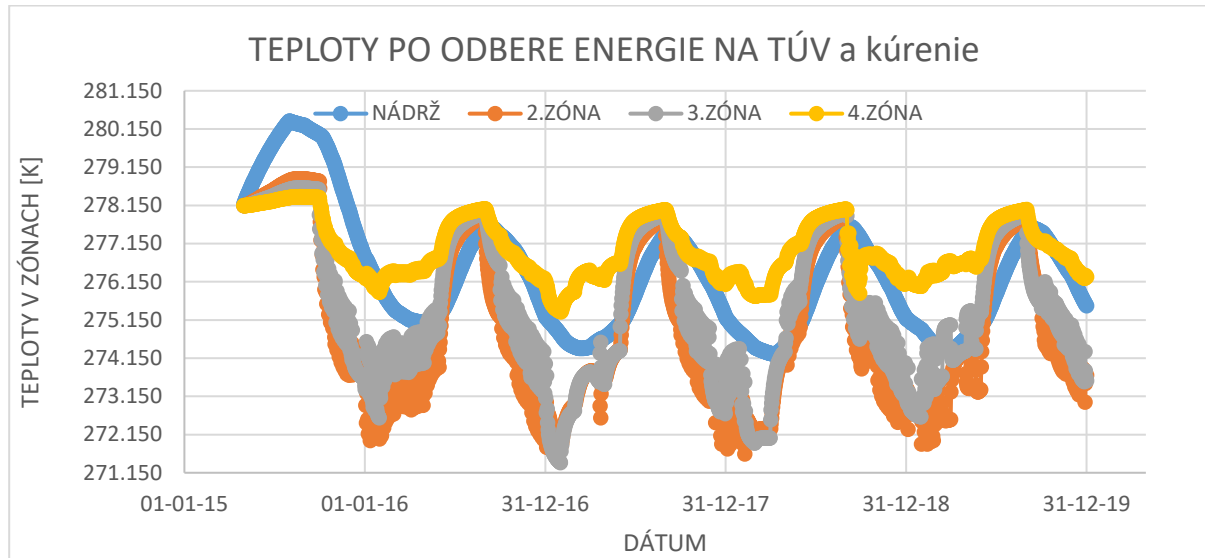
$$\Delta T_{15.1.17}^{nádrž} = \frac{\left(\frac{Q_{jan.2017}^{zisk}}{31} - Q_{15.1.17}^{top} - Q_{15.1.17}^{bot} - Q_{15.1.17}^{okolie,n} - Q_{TUV} \right) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{cp_w \cdot \rho_w \cdot V_{nádrž}}$$

$$\Delta T_{15.1.17}^{nádrž} = \frac{\left(\frac{3639.55}{31} - 2 - (-9.65) - 201.029 - 90.22 \right) \cdot 3.6 \cdot 10^6}{4207.4 \cdot 999.88 \cdot 4539.601}$$

$$\Delta T_{15.1.17}^{nádrž} = -0.031 K$$

$$T_{15.1.17}^{n\acute{a}dr\acute{z}} = T_{14.1.17}^{n\acute{a}dr\acute{z}} + \Delta T_{15.1.17}^{n\acute{a}dr\acute{z}} = 275.280 - 0.03 = 275.25 \text{ K}$$

Pre porovnanie teplota v bez odberovom systéme v rovnaký deň dosiahla 281.158 K, v systéme v odbere energie len na kúrenie bola v daný deň 279.465 K.



Obr. 5.3 Graf teplôt po odbere energie za účelom kúrenia a ohrevu TÚV

Teplota v nádrži pochopiteľne klesla od predchádzajúceho systému a vo vykurovacom období klesá na približne 2°C a v lete kedy sa vykonáva len ohrev TÚV stúpa na 4°C. Teplota vo vrtoch zostáva pomerne rovnaká, jediná výraznejšia zmena je teplota v období zimy, kedy teplota klesla približne o 0.7°C. Z toho plynie, že vplyv nádrže vody na okolité vrty nie je tak veľký a predchádzajúci systém sa nevyužíva na plný potenciál, čo bude mať vplyv na finančnú náročnosť systému.

5.7 Skutočná teplota teploty kvapaliny do výmenníku

Pre zjednodušenie sa zadefinuje prúdenie teploty kvapaliny, to je konštantné a rovné 0.014 l/s na jeden kolektor, čo je približne 50 l/h (optimálna hodnota zadaná od výrobcu). Vlastnosti média boli určené pre 45°C z tab. 5.15. Skutočná teplota sa určuje pre mesiac s najväčšími príjmami energie z dôvodu prenosu tepla do vodnej nádrže a dimenzovaní tepelného výmenníku. Podľa tabuľky 5.22 je týmto mesiacom júl v roku 2016.

$$Q_{\Delta T}^W = \sum_{i=1}^3 Q_{straty,i}^{júl,2016} \cdot \frac{3.6 \cdot 10^6}{t} = (3064.21 + 1683.12 + 4596.31) \cdot \frac{3.6 \cdot 10^6}{2678400}$$

$$Q_{\Delta T}^W = 12558.67 \text{ W}$$

$$\dot{m}_{GL} = \frac{\dot{V}_{GL}}{1000} \cdot \rho_{GL} = \frac{0.014 \cdot 5 \cdot 10}{1000} \cdot 1049.2 = 0.734 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta T_m = \frac{Q_{\Delta T}}{\dot{m}_{GL} \cdot c_{p,GL}} = \frac{12558.67}{0.734 \cdot 3554} = 4.81 \text{ K}$$

$$T_{m,r} = T_{m,id} - \Delta T_m = 322.567 - 4.81 = 317.76 = 44.607^\circ\text{C}$$

Skutočná teplota teplotonosnej látky vstupujúcej do tepelného výmenníku v podzemnej vodnej nádrži je 44.607°C.

5.8 Dĺžka tepelného výmenníku

K určení dĺžky tepelného výmenníku je nutné si zadefinovať súčiniteľ prestupu tepla na strane vody. Prúdenie vody v nádrži je dané len rozdielom teplôt z toho dôvodu pôjde o prirodzenú konvekciu. Tá sa počíta pomocou Grashofovho bezrozmerného čísla, ktoré je definované mimo iného aj charakteristickým rozmerom, ktorý je v prípade trubky vnútorný priemer. Ďalej prirodzenú konvekciu určuje Rayleighovo bezrozmerné číslo, ktoré je produktom Prandtľovho a Grashofovho čísla. Charakteristický rozmer je 0.213 metru, teda vonkajší priemer trubky tepelného výmenníku.

Tab. 5.36 vlastnosti vody pri rôznych teplotách [17]

t [°C]	cp [J/kg.K]	λ [W/m.K]	μ [10 ⁻³ kg/m.s]	ρ [kg/m ³]	β [10 ⁻³ 1/K]
0.01	4217	0.561	1.792	999.80	-0.068
1	4215	0.563	1.738	999.82	-0.052
2	4212	0.565	1.683	999.84	-0.035
3	4210	0.567	1.628	999.86	-0.018
4	4207	0.569	1.574	999.88	-0.002
5	4205	0.571	1.519	999.90	0.015
6	4203	0.573	1.477	999.86	0.159
7	4201	0.575	1.434	999.82	0.302
8	4198	0.576	1.392	999.78	0.446
9	4196	0.578	1.349	999.74	0.589
10	4194	0.580	1.307	999.70	0.733

Pri odbere energie na pokrytie ohrevu TUV sa teplota vody v danom mesiaci pohybovala okolo 4°C, pričom po ohreve dosahovala teplotu 5.5°C. Prietok nemrznúcej zmesi zostáva konštantný a to 0.014 l/s na jeden kolektor.

$$Pr_w = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{0.001519 \cdot 4205}{0.571} = 11.19$$

$$T_{2,out} = T_{2,in} + \frac{Q_{zisk}^{max}}{\rho_w \cdot V \cdot c_{p,w}} = 277.15 + \frac{5923.80 \cdot 3.6 \cdot 10^6}{999.02 \cdot 3404.7 \cdot 4199.7} = 278.643 \text{ K}$$

$$Gr_w = \frac{D_{char}^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \Delta T \cdot \beta}{\mu^2} = \frac{0.213^3 \cdot 999.9^2 \cdot 9.81 \cdot (278.643 - 277.15) \cdot 0.015 \cdot 10^{-3}}{0.001519^2}$$

$$Gr_w = 5.33 \cdot 10^8$$

$$Ra_w = Pr_w \cdot Gr_w = 11.19 \cdot 5.33 \cdot 10^8 = 5.96 \cdot 10^9$$

$$Nu_w = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 \cdot Ra_w^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 \cdot (5.96 \cdot 10^9)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{11.19} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 246.14$$

$$\alpha_w = \frac{Nu_w \cdot \lambda}{l_{char}} = \frac{246.14 \cdot 0.571}{0.163} = 659.84 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\dot{m}_{GL} = \frac{\dot{V}_{GL}}{1000} \cdot \rho_{GL} = \frac{0.014 \cdot 5 \cdot 10}{1000} \cdot 1046.5 = 0.73255 \frac{kg}{s}$$

$$T_{1,out} = T_{1,in} - \frac{\frac{Q_{zisk}^{max}}{t} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{\dot{m}_{GL} \cdot c_{p,GL}} = 317.757 - \frac{5923.80}{0.73255 \cdot 3560} \cdot 3.6 \cdot 10^6 = 314.703 K$$

Tab. 5.37 teploty médií v júli 2016 - ohrev vody a kúrenie

Teplota vody	chladnejšia strana	$T_{w,cold}$	4°C
	teplejšia strana	$T_{w,hot}$	5.5°C
Teplota teplosnej látky	chladnejšia strana	$T_{GL,cold}$	41.55 °C
	teplejšia strana	$T_{GL,hot}$	44.61°C

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{GL,hot} - T_{w,cold}) - (T_{GL,cold} - T_{w,hot})}{\ln \left(\frac{T_{GL,hot} - T_{w,cold}}{T_{GL,cold} - T_{w,hot}} \right)} = \frac{(44.61 - 4) - (41.55 - 5.5)}{\ln \left(\frac{44.61 - 4}{41.55 - 5.5} \right)}$$

$$\Delta T_{ln} = 38.28 K$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \cdot \lambda_{tr}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} = \frac{1}{\frac{1}{112.982 \cdot 0.163} + \frac{\ln \frac{0.213}{0.163}}{2 \cdot 14.4} + \frac{1}{659.84 \cdot 0.213}}$$

$$k = 44.43 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Po vypočítaní celkového súčiniteľu prestupu tepla je možné pokračovať s dĺžkou výmenníku. Reálna energia získaná z kolektorov je zadaná v kWh a je nutné ju previesť na watty. Preto sú zisky podelené časom v sekundách ekvivalentnému 31 dňom v mesiaci júl.

$$L = \frac{\frac{Q_{zisk}^{max}}{t} \cdot 3.6 \cdot 10^6}{k \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \Delta T_{ln}} = \frac{5923.80}{44.43 \cdot \pi \cdot 0.163 \cdot 38.28} \cdot 3.6 \cdot 10^6 = 9.14 m$$

6 Ekonomické zhodnotenie

S každým systémom využívajúci tepelné čerpadlo sa musí počítať s pomerne veľkou investíciou napred s cieľom zníženia nákladov na prevádzku v budúcnosti. Pre tepelné čerpadlo zem-voda to platí dvojnásobne. Zo všetkých radov tepelných čerpadiel, zemné čerpadlá potrebujú rôzne hĺbkové alebo plošné stavebné práce. Na druhú stranu tieto tepelné čerpadlá pracujú s vysokým vykurovacím faktorom aj pri nízkych teplotách. Cieľom kapitoly je zhodnotiť pomer investičných nákladov celého akumuláčného systému a nároky na jeho prevádzku s priamo výhrevným systémom ohrevu vody a kúrenia.

6.1 Investícia - akumuláčny systém

V prvom rade je nutné vykonať výkopové práce tzn. vyhlbiť jamu pre vodnú nádrž a zaliat' ju betónom. Následne vykonať hlbinné vrty. V hlbinných vrtoch sa nachádza jednoduchá U trubica obsahujúca teplonosnú kvapalinu. Materiál U potrubia tvorí polyetylén, ktorá spĺňa podmienky nezávadnosti a funkčnosti pri tepelnom rozsahu teplonosnej látky na oboch stranách systému. Výpočet zemných prác sa vykonal v programe CENKROS 4. Stavebný softvér zahŕňa nielen cenu práce, ale aj logistiku a manipuláciu s použitým materiálom. Cena potrubia bola prevzatá z firmy Campri.

Program CENKROS určil približnú hodnotu zemných prác na celkovo 178 631,43 €. Zahŕňa v nej vyhlbenie jamy pre vodnú nádrž, prípravu a použitie určitého množstva betónu na zhotovenie vodnej nádrže a prípravy okolitých vrto.

Popis	MJ	Množstvo	J. cena indexovaná	Index ceny	Celková cena
Odkopávka a prekopávka nezapažené v horninách 1 a 2 nad 1000 do 10000 m ³	m ³	4 539,000	100	1,23	5 582,97
Betón STN EN 206-1-C25/30-XC3 (SK)-CI 0,4-Dmax 22 - S2, priesak 50 mm, z cementu portlandského, vodostavebný	m ³	2 013,340		68,40	137 712,46
Odpaženie vrto pre injektáž na povrchu, priemeru nad 195 do 245 mm	m	2 800,000		12,62	35 336,00

Obr. 6.1 vypočítane náklady zemných prác v CENKROSe 4

Celá potrubná sieť bola vyhotovená vo firme Campri. Dĺžky a priemery jednotlivých potrubí sú prevzaté z kapitoly 5.2.

Tab. 6.1. cena potrubného systému

	celková dĺžka	priemer	cena za 1 m	celková cena
potrubie strecha-centrálne	70 m	0.02 m	0,35 €	24,50 €
centrálne potrubie	60 m	0.2 m	21,38 €	1282,80 €
U potrubie	2800 m	0.11 m	6,84 €	19152 €
rozvodné potrubie	240 m	0.063 m	2,39 €	573,60 €
			SUMA	21032,90 €

Nasledujú slnečné kolektory a tepelné čerpadlá. Ich výhodou je dotácia od štátu pomocou programu zelená domácnostiam II. Ceny technických zariadení boli prevzaté zo stránok výrobcov. [20]

Zelená domácnostiam prepočítava dotáciu podľa výkonu zariadenia. Tie sú zadané v kapitolách 3.2 pre solárny kolektor a 3.3 pre tepelné čerpadlo. Maximálny výkon jedného solárneho kolektora sa rovná 1444 W, pri použití piatich sa táto hodnota rovná 7220 W. Zelená domácnostiam má v sadzobníku maximálnu hodnotu dotácie a pokrýva solárne kolektory do výkonu 3500 W. Taktiež sa dotácie členia do troch stĺpcov podľa splnenia podmienok uprednostnenia. Realizáciu opatrení všetky novostavby spĺňajú a v oblasti sa bude nachádzať centralizované zásobovanie teplom. Z toho dôvodu sa príspevok bude orientovať podľa stredného stĺpčeku.

Druh nehnuteľnosti / zariadenie	Sadzby a maximálne hodnoty príspevku pri uplatnení uprednostnenia v zmysle článku E. odsek 5., Všeobecných podmienok					
slnečný kolektor v rodinnom dome	bez uprednostnenia		a) realizované opatrenia alebo b) v oblasti nie je CZT +10%		a) realizované opatrenia a zároveň b) v oblasti nie je CZT +25%	
	sadzba €/kW	max. príspevok	sadzba €/kW	max. príspevok	sadzba €/kW	max. príspevok
	400 €/kW	1 400 €	440 €/kW	1 540 €	500 €/kW	1 750 €

Obr. 6.2 sadzobník príspevku pre solárne kolektory [20]

Pre oba typy tepelných čerpadiel je stanovený výkon 5.9 kW. Maximálna hodnota príspevku je stanovená pre tepelná čerpadlá o veľkosti 10 kW. Podobne ako pri slnečných kolektoroch sa spĺňajú podmienky stredného stĺpčeku. Z toho vyplýva, že dotácia pre jedno čerpadlo v použitom systéme je 1764,1 €.

Druh nehnuteľnosti / zariadenie	Sadzby a maximálne hodnoty príspevku pri uplatnení uprednostnenia v zmysle článku E. odsek 5., Všeobecných podmienok					
tepelné čerpadlo v rodinnom dome	bez uprednostnenia		a) realizované opatrenia alebo b) v oblasti nie je CZT +10%		a) realizované opatrenia a zároveň b) v oblasti nie je CZT +25%	
	sadzba €/kW	max. príspevok	sadzba €/kW	max. príspevok	sadzba €/kW	max. príspevok
	272 €/kW	2 720 €	299 €/kW	2 992 €	340 €/kW	3 400 €

Obr. 6.3 sadzobník príspevku pre tepelné čerpadlá [20]

Tab. 6.2. cena technických zariadení

položka	cena za kus	počet kusov	celková cena	dotácia	Celkom
Solárny kolektor TS 300	425,76 €	60	25545,60 €	15400 €	10145,60 €
Príruby k TS 300	39,96 €	20	799,2 €	-	799,20 €
Rozširovací súbor k TS 300	10,082 €	100	1008,20 €	-	1008,20 €
EcoHeat 406	8760,00 €	10	87600 €	17641 €	69959 €
EcoPart 406	5528,45 €	10	55284,50 €	17641 €	37643,50€

Pre systém s vykurovaním a ohrevom TÚV by sa celková cena vypočítala nasledovným postupom. Investičné náklady pre jeden dom sú teda rovné desatine celkových nákladov.

Tab. 6.3 cena systému EcoHeat 406 (TÚV+ kúrenie)

položka	cena
Stavebné práce	178631,43 €
Potrubná sieť	21032,90 €
Kolektory+príruby	11953 €
EcoHeat 406	69959 €
SUMA	281576,33 €
pre 1 dom	28157,63 €

Tab. 6.4 cena systému EcoPart 406 (kúrenie)

položka	cena
Stavebné práce	178631,43 €
Potrubná sieť	21032,90 €
Kolektory+príruby	11953 €
EcoPart 406	37643,50 €
SUMA	249263,80 €
pre 1 dom	24926,38 €

Systém EcoHeat, ktorý slúži na ohrev TÚV a kúrenie je investične nákladnejší oproti EcoPart systému. EcoPart systém nemá akumuláciu nádrže a plyní z toho, že sa používa výhradne k vykurovaniu. Použitím systému bez ohrevu TÚV sa z kapitoly 5.5 zistilo, že vodná nádrž zostáva pomerne pri vysokej teplote, kdežto okolité vrty vo vykurovacej sezóne stále na teplote klesali. Cena stavebných prácí vodnej nádrže tvoria značnú časť investície a bolo by rozumnejšie použiť systém EcoPart 406 bez akumulácie nádrže s väčším množstvom vrto, kedy by sa ušetrila značná časť investičných financií. Solárne kolektory by sa dali ďalej použiť na predhrev TÚV. Práca sa ale zameriava na systém s použitím podzemnej vodnej akumulácie nádrže a hlbinných vrto. Z toho dôvodu sa bude finančná nákladnosť vyhodnocovať pre systém EcoHeat 406.

6.2 Investícia - priamo výhrevný systém

Pre priamo výhrevný systém (PVS) sa investuje len do akumuláčnej nádrže. Predpokladom pre podlahové vykurovanie je, že inštalácia a použitie by bolo pre oba systémy rovnaké a z toho dôvodu nie je treba investičné náklady rozdeľovať. Akumulačná nádrž sa volila podľa objemu. Príkonný zariadení je zhruba 1.8 kW. Pre porovnávacie účely sa vybral elektrický bojler Tatramat EOV 200 Trend. Objem nádrže činí 200 l, ale pre porovnávacie účely sa bude predpokladať len 180 l ohrev TÚV.

Tab. 6.5 parametre elektrického bojleru [21]

Príkonný výkon	1800 W
Objem akumuláčnej nádrže	200 l
Cena	295 €

6.3 Spotreba elektrickej energie - akumuláčny systém

Tepelné čerpadlo akumuláčného systému (AS) potrebuje k vykonaniu práce elektrickú energiu. Avšak oproti priamo výhrevnému vykurovaniu sa odoberá len zlomok energie. Odoberanú energiu popisuje vykurovací faktor, resp. príkon tepelného čerpadla a čas ktorý musí tepelné čerpadlo vykonávať prácu. Mesačnú spotrebu elektrickej energie za účelom kúrenia pre 1 dom sa vypočítala podľa dĺžky doby práce tepelného čerpadla z tab. 5.27 a príkonu tepelného čerpadla v daný mesiac. Na vypočítanie energie je nutné spraviť podiel príkonu v kW a času v hod. Rovnakým spôsobom sa počítala spotreba pre ohrev TÚV, kedy doba práce tepelného čerpadla je určená v tab. 5.30.

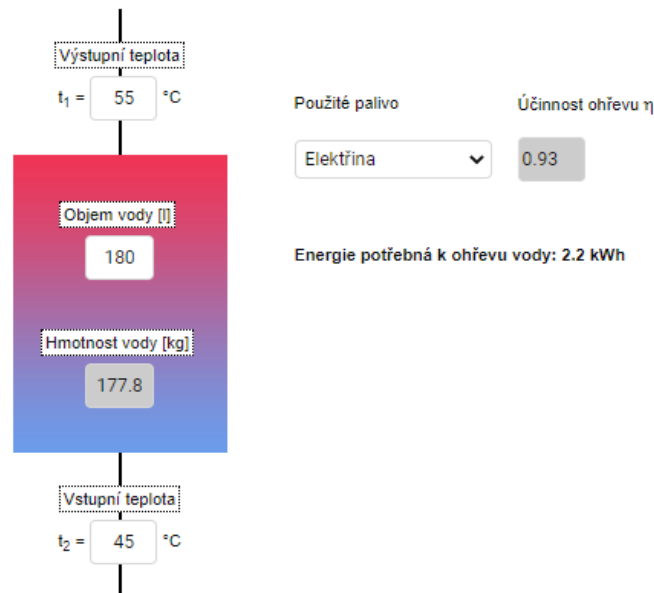
Tab. 6.6 mesačná spotreba el. energie AS za účelom kúrenia pre 1 dom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	22.15	25.85	19.13	21.70
Február	x	15.61	17.17	22.17	16.68
Marec	x	16.09	15.23	23.39	14.95
Apríl	x	14.52	14.54	11.85	12.26
Máj	x	11.45	12.18	7.59	11.77
September	x	9.17	9.59	11.41	10.02
Október	13.46	13.07	14.12	12.57	12.86
November	15.57	15.92	15.71	17.16	14.67
December	17.46	19.78	22.46	18.81	17.20

Tab. 6.7 mesačná spotreba el. energie AS za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	69.41	69.41	69.41	69.41
Február	x	68.68	66.31	66.31	66.31
Marec	x	73.41	73.41	73.41	73.41
Apríl	x	71.04	71.04	71.04	71.04
Máj	x	67.18	67.18	67.18	67.18
Jún	x	67.18	67.18	67.18	67.18
Júl	x	69.41	69.41	69.41	69.41
August	x	65.67	65.67	65.67	65.67
September	x	63.55	63.55	63.55	63.55
Október	65.67	65.67	65.67	65.67	65.67
November	63.55	67.18	67.18	67.18	67.18
December	69.41	69.41	69.41	69.41	69.41

Tepelné čerpadlo zohreje TUV len na teplotu 45°C kde sa následne musí dohriať pomocou elektriny. Množstvo kWh zostáva konštantných po celú dobu. K výpočtu sa použila kalkulačka doby ohrevu vody na portály tzb, kde sa vypočítala denná spotreba energie k dohrevu vody pri 93% účinnosti priamo výhrevného telesa. [22]



Obr. 6.4 prostredie kalkulačky na tzb [22]

Tab. 6.8 mesačná spotreba elektrickej energie za účelom dohrevu TUV pre 1 dom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	68.2	68.2	68.2	68.2
Február	x	63.8	61.6	61.6	61.6
Marec	x	68.2	68.2	68.2	68.2
Apríl	x	66.0	66.0	66.0	66.0
Máj	x	68.2	68.2	68.2	68.2
Jún	x	66.0	66.0	66.0	66.0
Júl	x	68.2	68.2	68.2	68.2
August	x	68.2	68.2	68.2	68.2
September	x	66.0	66.0	66.0	66.0
Október	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2
November	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
December	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2

Po určení množstva spotrebovanej elektrickej energie je možné dopočítať finančné náklady na prevádzku systému. Tie sa budú posudzovať pre jeden modelový dom. Cenník energií bol prevzatý zo stránok Západoslovenskej energetiky. Cena za kWh bola vybraná podľa sadzby pre tarif DomovAku. Zvolený tarif je pre elektrifikované miesta s pevne inštalovanými elektrickými akumuláčnými spotrebičmi na prípravu TUV alebo vykurovanie. Rozdeľuje sa na časové pásma vysokého a nízkeho tarifu. [23]

Tab. 6.9 sadzobník pre tarif DomovAku [23]

Sadzba	cena s DPH [€]
Mesačná platba za jedno odberné miesto [€/mes.]	0,9000 €
cena za odobratú elektrinu vo VT [€/kWh]	0,0784 €
cena za odobratú elektrinu vo NT [€/kWh]	0,0436 €

Ohrev TÚV sa vykonával v časoch nízkeho tarifu a výpočet pre kúrenie je vykonaný pre čas vo vysokom tarife. Z toho plynie, že mesačné náklady tvorí súčet fixnej ceny 0,90 € mesačne a variabilnej ceny podľa počtu odobraných kWh zo siete.

Tab. 6.10 mesačné náklady AS za elektrickú energiu za účelom kúrenia pre 1 dom v €

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	1.74	2.03	1.50	1.70
Február	x	1.22	1.35	1.74	1.31
Marec	x	1.26	1.19	1.83	1.17
Apríl	x	1.14	1.14	0.93	0.96
Máj	x	0.90	0.95	0.60	0.92
September	x	0.72	0.75	0.89	0.79
Október	1.06	1.02	1.11	0.99	1.01
November	1.22	1.25	1.23	1.35	1.15
December	1.37	1.55	1.76	1.47	1.35
SUMA	3.64	10.80	11.51	11.30	10.36

K výpočtu mesačných nákladov na ohrev TÚV sa sčítajú hodnoty z tabuliek 6.6 a 6.7 a získa sa celková hodnota spotrebovanej elektrickej energie na ohrev TÚV na hodnotu 55°C.

Tab. 6.11 celk. množstvo spotrebovanej el. energie za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	137.61	137.61	137.61	137.61
Február	x	132.48	127.91	127.91	127.91
Marec	x	141.61	141.61	141.61	141.61
Apríl	x	137.04	137.04	137.04	137.04
Máj	x	135.38	135.38	135.38	135.38
Jún	x	133.18	133.18	133.18	133.18
Júl	x	137.61	137.61	137.61	137.61
August	x	133.87	133.87	133.87	133.87
September	x	129.55	129.55	129.55	129.55
Október	133.87	133.87	133.87	133.87	133.87
November	129.55	133.18	133.18	133.18	133.18
December	137.61	137.61	137.61	137.61	137.61

Tab. 6.12 mesačné náklady AS za elektrickú energiu za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom v €

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	6.00	6.00	6.00	6.00
Február	x	5.78	5.58	5.58	5.58
Marec	x	6.17	6.17	6.17	6.17
Apríl	x	5.97	5.97	5.97	5.97
Máj	x	5.90	5.90	5.90	5.90
Jún	x	5.81	5.81	5.81	5.81
Júl	x	6.00	6.00	6.00	6.00
August	x	5.84	5.84	5.84	5.84
September	x	5.65	5.65	5.65	5.65
Október	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84
November	5.65	5.81	5.81	5.81	5.81
December	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
SUMA	17.48	70.76	70.56	70.56	70.56

Po zavedení celkových mesačných prevádzkových nákladov pre kúrenie a TÚV sa určia celkové náklady tzn. súčet súm z tabuliek 6.9 a 6.11. Celkové ročné náklady na prevádzku tvoria čiastku 93 € tzn. že pri počítaní finančnej návratnosti sa bude predpokladať pre každý nasledujúci rok (2020, 2021 atď.) pre systém s akumuláciou ročná platba 93 €.

Tab. 6.13 ročné prevádzkové náklady AS za jednotlivé položky v €

Položka	2015	2016	2017	2018	2019
Kúrenie	3.64	10.80	11.51	11.30	10.36
TÚV	17.48	70.76	70.56	70.56	70.56
Mesačná platba	2.70	10.80	10.80	10.80	10.80
SUMA	23.83	92.36	92.88	92.66	91.72

6.4 Spotreba elektrickej energie - priamo výhrevný systém

K navrhnutiu priamo výhrevného systému sa podlahové kúrenie dimenzovalo podľa mesiaca s najväčšími tepelnými stratami. Keďže tepelné straty sú ovplyvnené najmä teplotou vonkajšieho vzduchu tak podľa tab. 5.24 týmto mesiacom bol január v roku 2017, kedy teplotné minimum dosiahlo -16.44°C . Súčiniteľ tepelných strát je 101.6 W/K a teplota v interiéri bola určená 20°C .

$$Q_{straty} = H_S \cdot (t_{int} - t_{vyp}^{vonk}) = 101.6 \cdot (20 - (-16.44)) = 3702.3 \text{ W}$$

Priamo výhrevné podlahové kúrenie teda musí pokryť stratu 3702.3 W . Podlahové kúrenie má zvyčajne výkon podľa materiálu podlahy. Pre laminátovú podlahu je táto hodnota približne 75 W/m^2 . Pre výpočet potrebnej plochy podlahového kúrenia sa teda hodnota strát predelí výkonom. [24]

$$A_{PK} = \frac{Q_{straty}}{P_{PK}} = \frac{3702.3}{75} = 49.36 \text{ m}^2$$

Príkon priamo výhrevného podlahového kúrenia pre laminátovú podlahu bol určený od dodávateľa. Ten bol určený na hodnotu 80 W/m^2 pre daný materiál podlahy, čo by odpovedalo 93% účinnosti systému.

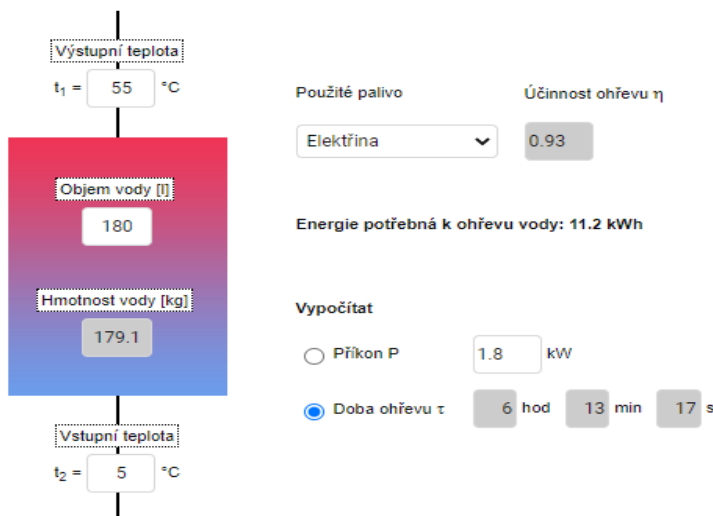
$$P_{0,PK} = A_{PK} \cdot 80 = 49.36 \cdot 80 = 3949.12 \text{ W}$$

Do modelového domu sa teda inštaluje 50 m² priamo výhrevného podlahového kúrenia z čoho plynie, že jeho výkon je 3750 W a príkon 4000 W. Tepelné straty jednotlivých mesiacov vykurovacej sezóny sú určené v tab. 5.25. Dĺžka práce sa určí pomocou výkonu a náklady na prevádzku príkonom.

Tab. 6.14 mesačná spotreba el. energie PVS za účelom kúrenia pre 1 dom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	104.89	104.89	90.61	102.74
Február	x	73.92	73.92	104.96	78.99
Marec	x	78.48	78.48	110.77	75.05
Apríl	x	70.84	70.84	59.50	61.58
Máj	x	55.84	55.84	39.21	60.77
September	x	47.37	49.52	58.93	53.22
Október	69.48	65.65	70.92	63.09	66.42
November	78.16	79.91	76.66	83.72	73.64
December	87.68	93.66	106.36	89.06	83.89

K výpočtu bola znova použitá tzb kalkulačka so vstupnou teplotou 5°C a ohrev sa uskutočňoval na 55°C. Príkon zariadenia je 1800 W pričom účinnosť sa predpokladala 93%. Doba ohrevu bola 6 hodín 13 minút. Denná spotreba energie pre 1 domácnosť je 11.2 kWh tzn. že mesačná spotreba el. energie sa potom len násobí počtom dní v danom mesiaci.



Obr. 6.4 potrebná energia k ohrevu TUV pomocou elektrického bojleru [22]

Tab. 6.15 mesačná spotreba el. energie PVS za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom v kWh

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	347.20	347.20	347.20	347.20
Február	x	324.80	313.60	313.60	313.60
Marec	x	347.20	347.20	347.20	347.20
Apríl	x	336.00	336.00	336.00	336.00
Máj	x	347.20	347.20	347.20	347.20
Jún	x	336.00	336.00	336.00	336.00
Júl	x	347.20	347.20	347.20	347.20
August	x	347.20	347.20	347.20	347.20
September	x	336.00	336.00	336.00	336.00
Október	347.20	347.20	347.20	347.20	347.20
November	336.00	336.00	336.00	336.00	336.00
December	347.20	347.20	347.20	347.20	347.20

Výpočet prevádzkových nákladov pre priamo výhrevný systém sa počítal podľa sadzobníku DomovVykurovanie. Mesačná platba za odberné miesto zostáva rovnaká, ale rozdiel medzi tarifmi prichádza v cene vo VT a NT. Cena za VT mierne klesla a naopak cena za NT trochu výraznejšie stúpila.[22]

Tab. 6.16 sadzobník pre tarif DomovVykurovanie [22]

Sadzba	cena s DPH [€]
Mesačná platba za jedno odberné miesto [€/mes.]	0,9000 €
cena za odobratú elektrinu vo VT [€/kWh]	0,0767 €
cena za odobratú elektrinu vo NT [€/kWh]	0,0493 €

Vykurovanie sa znova počítalo podľa cien vo VT a ohrev TÚV podľa cien v NT rovnako ako v akumuláčnom systéme. Rovnako funguje aj výpočet nákladov, fixná mesačná suma 90 centov mesačne a variabilná suma podľa množstva kWh.

Tab. 6.17 mesačné náklady PVS za elektrickú energiu za účelom kúrenia pre 1 dom v €

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	8.05	8.05	6.95	7.88
Február	x	5.67	5.67	8.05	6.06
Marec	x	6.02	6.02	8.50	5.76
Apríl	x	5.43	5.43	4.56	4.72
Máj	x	4.28	4.28	3.01	4.66
September	x	3.63	3.80	4.52	4.08
Október	5.33	5.04	5.44	4.84	5.09
November	5.99	6.13	5.88	6.42	5.65
December	6.73	7.18	8.16	6.83	6.43
SUMA	18.05	51.43	52.73	53.68	50.34

Tab. 6.18 mesačné náklady PVS za elektrickú energiu za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom v €

	2015	2016	2017	2018	2019
Január	x	17.12	17.12	17.12	17.12
Február	x	16.01	15.46	15.46	15.46
Marec	x	17.12	17.12	17.12	17.12
Apríl	x	16.56	16.56	16.56	16.56
Máj	x	17.12	17.12	17.12	17.12
Jún	x	16.56	16.56	16.56	16.56
Júl	x	17.12	17.12	17.12	17.12
August	x	17.12	17.12	17.12	17.12
September	x	16.56	16.56	16.56	16.56
Október	17.12	17.12	17.12	17.12	17.12
November	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56
December	17.12	17.12	17.12	17.12	17.12
SUMA	50.80	202.09	201.54	201.54	201.54

Ročné prevádzkové náklady priamo výhrevného systému na kúrenie a ohrevu TÚV činia približne 265 €, hodnota podľa ktorej sa bude vyhodnocovať finančná návratnosť.

Tab. 6.19 ročné prevádzkové náklady PVS za jednotlivé položky v €

Položka	2015	2016	2017	2018	2019
Kúrenie	18.05	51.43	52.73	53.68	50.34
TÚV	50.80	202.09	201.54	201.54	201.54
Mesačná platba	2.70	10.80	10.80	10.80	10.80
SUMA	71.55	264.32	265.06	266.02	262.68

6.5 Finančná návratnosť

K výpočtu finančnej návratnosti sa porovnávajú systémy EcoHeat 406, EcoPart 406 a priamo výhrevný systém. V prvom rade sa porovnajú investičné náklady akumuláčného a priamo výhrevného systému. Vo všetkých prípadoch sa inštaluje podlahové kúrenie a investičné rozdiely sa zanedbávajú. Na ohrev TÚV sa elektrický bojler použil v priamo výhrevnom systéme a taktiež aj v EcoPart 406 systéme z dôvodu, že EcoPart slúži len na vykurovanie priestorov. EcoHeat 406 má vlastnú akumuláčnú nádrž a plní funkciu kúrenia a ohrevu TÚV. Pre akumuláčny systém sa počíta s ďalšími investičnými výdavkami ako sú stavebné práce, rozvodná sieť a v neposlednom rade aj do technických zariadení. Výpočet je stavaný pre 1 modelový dom.

Tab. 6.20 nákladnosť systémov pre 1 dom

	EcoHeat 406	EcoPart 406+bojler	Priamo výhrevný systém
Investičné náklady	28157,63 €	25221,38 €	295 €
Kúrenie [€/rok]	11 €	11 €	52 €
Ohrev TÚV [€/rok]	70,50 €	201,50 €	201,50 €
Mesačné platby [€/rok]	10,80 €	10,80 €	10,80 €

Po porovnaní investičných a prevádzkových nákladov je možné zistiť finančnú návratnosť akumuláčného systému. Určenie rozdielov jednorázových investičných nákladov následne anuálnych prevádzkových nákladov. Návratnosť je potom podielom nákladov a úspor.

Tab. 6.21 výpočet finanční návratnosti pro akumulace systémy

	EcoHeat 406	EcoPart 406+bojler
Investičné náklady	27862,63 €	24926,38 €
Úspora na kúrení [€/rok]	41 €	41 €
Úspora na ohreve TUV [€/rok]	131 €	0 €
Mesačné platby [€/rok]	0 €	0 €
Celkové úspory [€/rok]	172 €	41 €
Návratnosť [rok]	162	608

Ak by sa použili navrhované akumulace systémy tak sa návratnosť vypočítala na 162 či 608 rokov. Na akumulacnom systéme je značne vidieť vplyv ohrevu TUV, avšak ani to nestačilo zmenšiť množstvo rokov, ktoré by trvalo splatiť daný systém. Dĺžka návratnosti je daná malými tepelnými stratami dobre zaizolovaného nízkoenergetického domu a taktiež veľká nákladnosť stavebných prác, ktoré tvoria značnú časť investičných nákladov. Systém by sa dal rozšíriť o chladenie v letných mesiacoch a rekuperáciu, ktoré by skrátili dobu návratnosti.

Existujúce aplikácie tepelných čerpadiel zem-voda sa používajú skôr s plošnými tepelnými výmenníkmi alebo hlbinné vrty siahajúce až 100 metrov do zeme bez použitia solárnych kolektorov. V tom prípade ohrev teplonosnej kvapaliny slúži energia zeme. Minimálna pracovná teplota teplonosnej látky stačí ,aby neklesla pod -5°C .

Akumulace systémy teda neplnia svoju úlohu úspory a pre daný modelový dom je vhodnejšie použiť zaužívané spôsoby ohrevu TUV a kúrenia.

ZÁVER

Cieľom práce bolo zhodnotiť sezónnu akumuláciu energie ako primárny zdroj energie ohrevu teplej úžitkovej vody a kúrenia pre komunitu modelových domov a porovnanie s konvenčnými zdrojmi energie. Ako porovnanie sa použil priamo výhrevný systém.

Prvá kapitola a druhá kapitola sa zaoberá teoretickým hľadiskom akumulácie s postupným prechodom k sezónnej akumulácii, ktorá je stredobodom celej diplomovej práce. Priblíži sa aspekt skladovania tepla citeľným teplom a popíšu sa najpoužívanejšie metódy akumulácie citeľným teplom. Popis sa uskutočňuje na reálnych projektoch, ktoré slúžia ako vzor pre mnohé nastávajúce projekty. Detailnejší opis kanadského projektu Drake Landing Solar Community, ktorý bol jedným z pilotných vo svete s použitím horninových akumulátorov.

Tretia kapitola popisuje vlastný koncept práce na ktorom je praktická časť diplomovej práce postavená. Výber technických zariadení a modelového domu na ktorom budú práce vykonané. Taktiež sa načrtne tvar sezónneho akumulátoru.

Štvrtá kapitola sa zaoberá teoretickými vzťahmi, ktoré sú použité v diplomovej práci. Popis veličín použitých vo vzťahoch s použitými jednotkami. Charakterizuje sa akumulačný systém s rozdelením do zón a čo jednotlivé zóny predstavujú.

V piatej kapitole sa aplikujú vzťahy z predchádzajúcej kapitoly a tým sa získavajú výpočtové hodnoty pre akumulačný systém modelového domu. Reálne zisky solárnych kolektorov, energia prenášaná z vodnej nádrže do okolitých zón a v neposlednom rade práca tepelného čerpadla po jednotlivých mesiacoch. Dosiagnuté výsledky potom viedli k predikcií funkcie systému po nasledujúce roky a možnosti ekonomického posudku projektu.

Posledná šiesta kapitola zhodnotila projekt z ekonomického hľadiska a porovnávala akumulačný systém s priamo výhrevným systémom. Porovnanie bolo zhodnotené na investičných nákladoch a následnom výpočte rozdielu prevádzkových nákladov. Po zhodnotení ročných úspor akumulačného systému bola určená návratnosť akumulačného systému pre daný projekt. Tá bola vypočítaná pri 162 rokoch.

Vysoká návratnosť je daná energetickou pasivitou domu a veľkosťou investičných nákladov. Najväčšia časť investičných nákladov tvoria stavebné práce, ktoré činia 178 000 €. Čiastka sa potom rozpočítava medzi 10 domov. Medzi ďalšie investičné výdavky patrí rozvodná sieť a technické zariadenia. Skrátenie návratnosti by sa dalo dosiahnuť pridaním chladenia, teda duality systému, kedy by sa v letných mesiacoch skladovalo odpadné teplo klimatizácie a v zime by sa skladoval chladný vzduch. Ďalšou možnosťou by bolo využiť starší, energeticky náročnejší dom, kedy by stúpili náklady na vykurovanie a tým by sa zväčšili úspory akumulačného systému.

Pre daný projekt sa neodporúča použitie zemného tepelného čerpadla a akumulačného systému z dôvodu vysokej finančnej investície, ktorá by sa nestihla splatiť v rozumnom čase.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. DINÇER, İbrahim a Marc ROSEN. *Thermal energy storage systems and applications*. New York: Wiley, c2002. ISBN 978-047-1495-734.
2. CABEZA, L F. *Advances in thermal energy storage systems: methods and applications*. Boston, MA: Elsevier, 2014. ISBN 978-178-2420-880.
3. LETCHER, T. M. *Storing energy: with special reference to renewable energy sources*. Amsterdam: Elsevier, [2016]. ISBN 978-012-8034-491.
4. *Aquifer Scheme: Analysis of the impact of storage conditions on the thermal recovery efficiency of low-temperature ATES systems* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: http://www.nielshartog.nl/publications/Bloemendal_Hartog_Geothermics_2017.pdf
5. *Drakes Landing Solar Community* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.dlsc.ca/>
6. *Deliverable Proof – Reports resulting from the finalisation of a project task, work package, project stage, project as a whole - EIT-BP2018* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.deltares.nl/app/uploads/2019/10/3.2.5-E-USE-Final-project-results-report-final.pdf>
7. DAHASH, Abdulrahman, Fabian OCHS, Michele BIANCHI JANETTI a Wolfgang STREICHER. *Applied energy: Advances in seasonal thermal energy storage for solar district heating applications: A critical review on large-scale hot-water tank and pit thermal energy storage systems*. Amsterdam, etc.: Elsevier [etc.]. ISBN 0306-2619.
8. *Rodinný dom* [online]. Bratislava [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.djsarchitecture.sk/projekt-i96>
9. *Termický kolektor* [online]. Žiar nad Hronom [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://thermosolar.sk/ts300/>
10. Technické parametre tepelného čerpadla EcoPart 406. *Regulus* [online]. Prešov [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.regulus.sk/download/tech-listy/sk/tl_sk_technicky-list_ep-406-v1.7-12647.pdf
11. Technické parametre tepelného čerpadla EcoHeat 406. *Regulus* [online]. Prešov [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.regulus.sk/download/tech-listy/sk/tl_sk_technicky-list_eh-406-v1.3--12_2017-13441.pdf
12. *TNI 73 0302 - Energetické hodnotení solárnych tepelných sústav - Zjednodušený výpočtový postup*. ÚNMZ, 2014.

13. JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, 2001, 160 s. ISBN 80-214-2029-4
14. *Konvektivny prenos tepla pri plne rozvinutom prúdení* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www3.nd.edu/~sst/teaching/AME60634/lectures/AME60634_F13_lecture23.pdf
15. BERGMAN, Theodore L., Adrienne S. LAVINE, Frank P. INCROPERA a David P. DEWITT. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 5th Edition. London: Wiley India Pvt. Limited, 2009. ISBN 0-471-20448-X.
16. ČSN EN 12831-1. Energetická náročnosť budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápěný prostor,. Praha: Český normalizační institut, 2018.
17. *Appendix 1: vlastnosti, tabulky a hodnoty (SI jednotky)* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: http://homepages.wmich.edu/~cho/ME432/Appendix1Updated_metric.pdf
18. *NASA Powertool* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/Meteonorm>
19. *Vlastnosti teplonosnej kvapaliny* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.dow.com/content/dam/dcc/documents/en-us/app-tech-guide/180/180-01190-01-engineering-and-operating-guide-for-dowtherm-sr1-and-dowtherm-4000.pdf?iframe=true>
20. *Zelená domácnostiam* [online]. Slovensko, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://zelenadomacnostiam.sk/sk/domacnosti/podporovane-zariadenia/>
21. *Elektrický bojler* [online]. Slovensko, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.tatramat.com/produkty/elektricke-ohrievace-vody/vertikalne-eov/eov-200-trend>
22. *Výpočet doby ohrevu teplej vody* [online]. Česká republika, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-vypocet-doby-ohrevu-teple-vody>
23. *Cenník elektrickej energie: Západoslovenská Energetika* [online]. Slovensko, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://www.zse.sk/documents/13897953/Cennik_domacnostiEE01012019.pdf
24. *Fenix - Podlahové kúrenie: Priamo výhrevné kúrenie* [online]. Slovensko, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.fenix.sk/sk/vykurovacie-rohoze-pre-priamovyhrevne-vykurovanie>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
a_1	konštanty účinnosti solárneho kolektoru	—
a_2	konštanty účinnosti solárneho kolektoru	—
A_k	plocha apertúry solárnych kolektorov	m^2
A_{PK}	plocha podlahového priamo výhrevného kúrenia	m^2
AS	akumulačný systém	
ATES	aquifer thermal energy storage	
atp	a tak podobne	
BTES	borehole thermal energy storage	
COP	vykurovací faktor	—
c_p	merná tepelná kapacita	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$
d_1	vnútorný priemer trubky	m
d_2	vonkajší priemer trubky	m
d_3	priemer trubky s izoláciou	m
DLSC	Drake Landing Solar Community	
EES	Engineering Equation Solver	
E_{TUV}	požadovaná energia na ohrev TUV	Wh
g	gravitačné zrýchlenie	$\frac{m}{s^2}$
Gr	Grashofovo bezrozmerné číslo	—
$G_{T,m}$	stredné denné slnečné ožiarenie	W/m^2
$h_{nádrž}$	výška akumuláčnej nádrže	m
H_s	súhrnný súčiniteľ tepelnej straty	$\frac{W}{K}$
$H_{T,deň}$	skutočná denná dávka slnečného ožiarenia	$\frac{kWh}{m^2 \cdot deň}$
k	súčiniteľ prenosu tepla	$\frac{W}{m \cdot K}$
$L_{betón}$	hrúbka betónovej vrstvy	m
l_{char}	charakteristický rozmer	m
L_{izo}	hrúbka izolácie	m
L_z	dĺžka potrubia v zemi do centrálného potrubia	m
L_{zem}	hrúbka zeminy	m
\dot{m}	hmotnostný prietok	$\frac{kg}{s}$
n_{domov}	počet domov	—
n_m	počet dní v mesiaci	deň
NT	nízky tarif	
Nu	Nusseltovo bezrozmerné číslo	—

n_{vrt}	hlbka vrtu	m
P	hodnota poklesu tepelných ziskov solárnych kolektorov vplyvom strát sústavy	—
P	príkion zariadenia	W
$P_{0,PK}$	príkion podlahového priamo výhrevného kúrenia	W
P_{PK}	výkon podlahového priamo výhrevného kúrenia	W
Pr	Prandtlovo bezrozmerné číslo	—
PVS	priamo výhrevný systém	
$Q_{k,u}$	celková potreba tepla	kWh
Q_{straty}	tepelné straty potrubia	kWh
$Q_{\text{straty}1}$	tepelné straty potrubia uložené v zemi	kWh
Q_{TUV}	energia odobráta z akumuláčného systému k ohrevu TUV	kWh
$Q_{x,d}$	denné straty energie	kWh
$Q_{x,m}$	odobratá energia zo zeme tepelným čerpadlom	kWh
Q_{zisk}	reálne zisky zo solárnych kolektorov	kWh
Ra	Rayleighovo bezrozmerné číslo	—
R_{celk}	započítané všetky odpory tepelného prenosu	$\frac{K}{W}$
S	kruhový obsah	m^2
t	počet dní v mesiaci	s
$t_{e,s}$	stredná vonkajšia teplota v dobe svitu	$^{\circ}C$
$T_{id,x,d}$	ideálne denné teploty v nádrži a zónach	K
t_{int}	návrhová teplota v interiéri	K
$t_{k,m}$	stredná denná teplota teplonosnej kvapaliny	$^{\circ}C$
$T_{m,h}$	teplota média na teplejšej strane	K
$T_{o,vzd}$	teplota vzduchu v danom období	K
$T_{r,x,d}$	reálne denné teploty v zónach	K
TUV	teplá úžitková voda	
t_{vstup}	vstupná teplota vody	K
$t_{\text{výp}}$	výpočtová vonkajšia teplota	K
$t_{\text{výstup}}$	výstupná teplota vody	K
tz_b	technické zariadenie budov	
tz_n	to znamená	
v	rýchlosť prúdenia média	m/s
V	výkon zariadenia	W
\dot{V}	objemový prietok	$\frac{m^3}{s}$
$V_{\text{nádrž}}$	objem akumuláčnej nádrže	m^3
VT	vysoký tarif	
VTV	vrtné tepelné výmenníky	

$V_{zóna}$	objem jednotlivých zón	m^3
$W_{x,m}$	práce vykonaná tepelným čerpadlom	W
α	súčiniteľ prestupu tepla	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
β	súčiniteľ teplotnej objemovej rozťažnosti	$1/^\circ C$
ΔT_{ln}	logaritmický teplotný spád	K
$\Delta T_{x,d}$	zmena teploty v nádrži a zónach	K
η_0	konštanty účinnosti solárneho kolektoru	–
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti	$\frac{W}{m \cdot K}$
μ	dynamická viskozita	$\frac{kg}{m \cdot s}$
ρ	hustota média	$\frac{kg}{m^3}$
τ_{TUV}	potrebný čas na ohrev TUV	hod
$\tau_{x,m}$	pracovná doba tepelného čerpadla	hod

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1 časové úseky skladovania tepelnej energie
- Obr. 1.2 schéma rozdelenia skladovacích konceptov
- Obr. 2.1 stratifikácia a teplotný gradient
- Obr. 2.2 geometria zásobníkov a zmiešavanie prúdov
- Obr. 2.3 uzavretý ATES systém
- Obr. 2.4 schéma jamového zásobníku
- Obr. 2.5 rez solárnym bazénom
- Obr. 2.6 horninový akumulátor
- Obr. 2.7 schéma DLSC
- Obr. 2.8 DLSC letecký záber
- Obr. 2.9 bočný pohľad na vrtnú jamu
- Obr. 2.10 hybridná nádrž
- Obr. 3.1 modelový dom
- Obr. 3.2 plochý fototermický kolektor TS300
- Obr. 3.3 výsek betónovej nádrže a okolitých vrtov
- Obr. 4.1 grafické znázornenie zón
- Obr. 5.1 graf teplôt v systéme bez odberu
- Obr. 5.2 graf teplôt po odbere energie za účelom kúrenia
- Obr. 5.3 graf teplôt po odbere energie za účelom kúrenia a ohrevu TÚV
- Obr. 6.1 vypočítané náklady zemných prác v CENKROSe 4
- Obr. 6.2 sadzobník príspevku pre solárne kolektory
- Obr. 6.3 sadzobník príspevku pre tepelné čerpadlá
- Obr. 6.4 prostredie kalkulačky na tzb
- Obr. 6.5 potrebná energia k ohrevu TÚV pomocou elektrického bojleru

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1.1 média použité na skladovanie energie
- Tab. 2.1 tepelné vlastnosti hornín
- Tab. 3.1 technické parametre rodinného domu
- Tab. 3.2 technické parametre kolektoru
- Tab. 3.3 technické parametre tepelného čerpadla EcoPart 406
- Tab. 3.4 technické parametre tepelného čerpadla EcoHeat 406
- Tab. 3.5 výkonové parametre oboch TČ
- Tab. 4.1 priemery a farebné označenie zón
- Tab. 5.1 priemerné teploty v jednotlivých mesiacoch
- Tab. 5.2 stredné denné ožiarenie pre daný sklon
- Tab. 5.3 priemerné slnečné ožiarenie v jednotlivých mesiacoch
- Tab. 5.4 stredná teplota média prudiaceho v trubkách
- Tab. 5.5 konštanty pre vzťah (4.2) - výpočet teoretických ziskov kolektorov
- Tab. 5.6 tepelné zisky pre 1 dom
- Tab. 5.7 tepelné zisky pre 10 domov
- Tab. 5.8 konštanty potrubia
- Tab. 5.9 tepelné odpory potrubia
- Tab. 5.10 teploty teplotnosného média na teplejšej strane
- Tab. 5.11 tepelné straty potrubia pre celú komunitu
- Tab. 5.12 konštanty centrálného potrubia
- Tab. 5.13 tepelné odpory centrálného potrubia
- Tab. 5.14 tepelné straty centrálného potrubia
- Tab. 5.15 vlastnosti teplotnosnej látky
- Tab. 5.16 veličiny k výpočtu súčiniteľa prestupu tepla a tepelný odpor
- Tab. 5.17 vlastnosti vzduchu
- Tab. 5.18 prandtlovo číslo pre prúdenie vzduchu okolo trubiek
- Tab. 5.19 priemerné hodnoty vzduchu pre výpočet súčiniteľa prestupu tepla
- Tab. 5.20 tepelné odpory pre potrubie
- Tab. 5.21 tepelné straty medzi potrubím a vonkajším vzduchom
- Tab. 5.22 reálne zisky solárnych kolektorov v jednotlivých mesiacoch
- Tab. 5.23 rozmery nádrže a vrtov
- Tab. 5.24 hrúbka vrstiev a tepelná vodivosť
- Tab. 5.25 hmotnostná tepelná kapacita a hustota vody
- Tab. 5.26 vlastnosti materiálov v teplotných zónach
- Tab. 5.27 minimálne namerané hodnoty vo vykurovacom období
- Tab. 5.28 tepelné straty v jednotlivých mesiacoch podľa min. teploty pre 1 dom
- Tab. 5.29 výkonnostné parametre tepelného čerpadla pri vykurovaní
- Tab. 5.30 dĺžka pracovnej doby TČ pri kúrení
- Tab. 5.31 denná energia odobratá zo systému za účelom kúrenia
- Tab. 5.32 výkonnostné parametre tepelného čerpadla pri ohreve TUV
- Tab. 5.33 dĺžka pracovnej doby TČ pri ohreve TUV
- Tab. 5.34 denná energia odobratá zo systému za účelom ohrevu TUV
- Tab. 5.35 vlastnosti nemrznúcej zmesi
- Tab. 5.36 vlastnosti vody pri rôznych teplotách
- Tab. 5.37 teploty médií v júli 2016 - ohrev vody a kúrenie
- Tab. 6.1 cena potrubného systému
- Tab. 6.2 cena technických zariadení

- Tab. 6.3 cena systému EcoHeat 406
- Tab. 6.4 cena systému EcoPart 406
- Tab. 6.5 parametre elektrického bojleru
- Tab. 6.6 mesačná spotreba el. energie AS za účelom kúrenia pre 1 dom
- Tab. 6.7 mesačná spotreba el. energie AS za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom
- Tab. 6.8 mesačná spotreba el. energie za účelom dohrevu TÚV pre 1 dom
- Tab. 6.9 sadzobník pre tarif DomovAku
- Tab. 6.10 mesačné náklady AS za elektrickú energiu za účelom kúrenia pre 1 dom
- Tab. 6.11 celk. množstvo spotrebovanej el. energie za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom
- Tab. 6.12. mesačné náklady AS za elektrickú energiu za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom
- Tab. 6.13 ročné prevádzkové náklady AS za jednotlivé položky
- Tab. 6.14 mesačná spotreba el. energie PVS za účelom kúrenia pre 1 dom v kWh
- Tab. 6.15 mesačná spotreba el. energie PVS za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom
- Tab. 6.16 sadzobník pre tarif DomovVyukurovanie
- Tab. 6.17 mesačné náklady PVS za elektrickú energiu za účelom kúrenia pre 1 dom
- Tab. 6.18 mesačné náklady PVS za elektrickú energiu za účelom ohrevu TÚV pre 1 dom
- Tab. 6.19 ročné prevádzkové náklady PVS za jednotlivé položky
- Tab. 6.20 nákladnosť systémov pre 1 dom
- Tab. 6.21 výpočet finančnej návratnosti pre akumulčné systémy