VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

TEPELNÉ ČERPADLO S AKUMULACÍ

HEAT PUMP WITH ACCUMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — ZBYNĚK PLUŠKE
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — DOC. ING. JIŘÍ POSPÍŠIL, PH.D.
SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pluške Zbyněk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

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 bakalářské práce:

Tepelné čerpadlo s akumulací

v anglickém jazyce:

Heat pump with accumulation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je posouzení topného systému rodinného domu využívajícího tepelné čerapdlo a střednědobou akumulací tepelné energie.

Cíle bakalářské práce:

1. Představte princip tepelných čerpadel a jejich základní rozdělení.
2. Uveďte možné způsoby akumulace tepelné energie.
3. Popište vybraný objekt a stanovte potřebu tepla.
4. Na základě dostupných meteorologických údajů proveďte studii vlivu kapacity akumulačního systému na střední roční topný faktor tepelného čerpadla.
5. Proveďte ekonomické zhodnocení významu akumulačního systému.

Seznam odborné literatury:

Brož: Alternativní zdroje energie, 2003
www.tzb-info.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 30.10.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace:

Práce pojednává o tepelném čerpadle a akumulaci vyrobené tepelné energie. Nejprve popisuje princip chodu tepelného čerpadla. Také jsou uvedeny druhy tepelných čerpadel podle toho, odkud odebírají nízkopotenciální teplo. Následující kapitola se věnuje akumulaci tepelné energie a opět jsou uvedeny její nejznámější druhy. V další části je uveden ukázkový objekt se známou tepelnou ztrátou, ke kterému je vypočítaná potřeba tepla na vytápění a na ohřev TUV. Také je navržen možný přenos tepelné energie z teplých dnů otopného období do studenějších dnů. Na závěr je provedeno ekonomické zhodnocení tepelného čerpadla s akumulací tepla.

Annotation:

Given bachelor thesis deals with the heat pump and the accumulation of heat energy produced. At first there is a description of the principle of heat pump operation. There are also distinguished types of heat pumps, depending on where taking low heat from. The following chapter deals with the accumulation of thermal energy, and again there is a list of the most popular types. In the next section is given a sample object with a known heat loss, which is calculated for heating and warming TUV. There is also proposed possible transfer of thermal energy from the warm days of heating period in the colder days. At the end, an economic evaluation of the heat pump with heat accumulation is done.

Klíčová slova:

Tepelné čerpadlo, akumulace tepelné energie, akumulační nádrž, zdroj tepla

Key words:

Heat pump, thermal energy storage, water storage tank, heat source

Pluške Z., *Tepelné čerpadlo z akumulací.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010 41s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Já, Zbyněk Pluške, prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně za pomoci uvedené literatury a konzultací vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne …….. ……
Zbyněk Pluške

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odbornou pomoc při psání této Bakalářské práce.

Obsah

1 Úvod....15
1.1 Statistika instalovaných čerpadel v roce 2009....15
2 Tepelné čerpadlo....17
2.1 Základní části chladicího okruhu....17
2.2 Princip funkce....17
2.3 Rozdělení a princip značení....18
2.4 Odkud lze odebírat teplo....18
2.4.1 Venkovní vzduch....19
2.4.2 Zemní plošný kolektor....20
2.4.3 Hloubkové vrty....21
2.4.4 Voda ze studny....21
2.4.5 Povrchová voda (rybníky, řeky)....21
3 Akumulace tepelné energie....23
3.1 Akumulace citelného tepla....24
3.2 Akumulace skupenského tepla....24
3.3 Sorpce vodní páry....25
3.4 Chemická sorpce vodní páry....26
4 Návrh TČ pro vybraný objekt a stanovení potřeby tepla....27
4.1 Popis vybraného objektu....27
4.1 Výpočet topného faktoru....28
4.2 Potřeba tepla pro vytápění....28
4.3 Potřeba tepla na ohřev teplé vody....28
4.4 Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody....29
5 Vliv kapacity akumulační nádoby na střední roční faktor....31
5.1 Dlouhodobá akumulace energie....31
6 Ekonomické zhodnocení akumulačního systému:....35
7 Závěr....39
8 Seznam použitých zdrojů....41
8.1 Internetové zdroje....41
9 Seznam použitých zkratek a symbolů....43
10 Seznam příloh....45

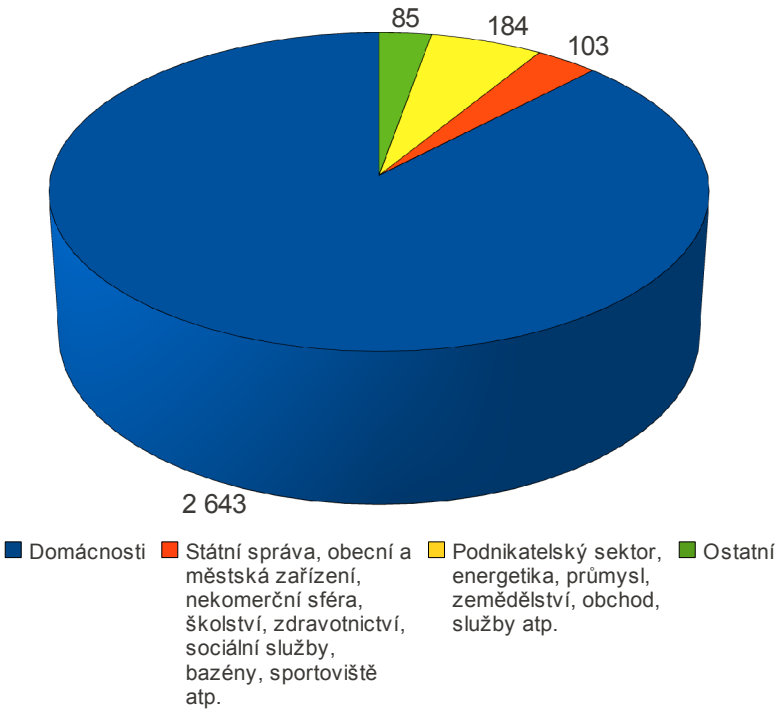
1 Úvod

V dnešní době, kdy slyšíme ze všech možných informačních zdrojů o stále klesajících zásobách fosilních paliv a o znečišťování ovzduší (o ochraně životního prostředí kolem nás) si začínáme uvědomovat, že na dnešním trhu jsou i jiné alternativní zdroje tepelné energie pro naše domy. Těchto tzv. alternativních zdrojů je na trhu mnoho.

V této bakalářské práci se budu zabývat především tepelnými čerpadly a akumulací tepelné energie. První využití této alternativy v topení u nás bylo na začátku 90. let minulého století. V té době, díky nízkým cenám energií pro domácnost, byla návratnost investic do tepelných čerpadel příliš malá. Návratnost dokonce v některých případech přesahovala životnost samotného zařízení. V té době se našlo pouze pár jedinců a firem, kteří se pustili do instalace tepelných čerpadel a to spíše ze zvědavosti, než kvůli uspoře financí. V dnešní době se při neustálému zvyšování cen energií, objevuje stále více a více nových žadatelů o tuto alternativu ve vytápění budov.

1.1 Statistika instalovaných čerpadel v roce 2009

Do této statistiky se zapojilo několik českých firem, jsou to například: Bosh Termotechnika s.r.o., KP Klima s.r.o., ETL-Ekotherm s.r.o., Regulus s.r.o., Viessmann s.r.o. a další.



Obrázek 1: *Graf instalovaný tep. čerpadel podle sektoru zákazníků*

Jsou zde uvedeny čtyři sektorů zákazníků, kteří si nechali nainstalovat TČ v roce 2009. Je zřejmé že nejčastěji se snaží ušetřit domácnosti, provoz takového TČ patří dnes mezi nejméně nákladové. Rodiny tak ušetří až 2/3 nákladu na energie za rok. Hned další v pořadí je podnikatelský sektor, který se tímto snaží snížit výdaje ve svých firmách. Také díky tomu že jsou TČ reverzibilní, používají je v letních měsících jako klimatizační jednotku.

2 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je považováno za alternativní zdroj tepelné energie, ale i přesto spotřebovává nezanedbatelné množství energie pro chod kompresoru. Z tohoto důvodu jej lze označit za alternativní zdroj pouze částečný. Pokud by však potřebná elektrická energie byla dodávána jiným obnovitelným zdrojem (např.: fotovoltaika) dalo by se říct že tepelné čerpadlo je alternativní zdroj úplný.

Tepelné čerpadlo se rozděluje na jednotku **venkovní** a **vnitřní**. Vnitřní část se podobá plynovým kotlům a není moc náročná na prostor. Velikost venkovní části se liší podle typu čerpadla. Tato část zajišťuje odebírání tepla se země, vzduch nebo vody a předává jí pracovní látce. Někteří prodejci tepelných čerpadel typu vzduch/voda, konstruují své čerpadla v kompaktním provedení. Tedy čerpadlo se skládá z jediné části, která se z pravidla umísťuje do venkovních prostor a je napojena přímo na topný systém domu (viz níže).

2.1 Základní části chladicího okruhu

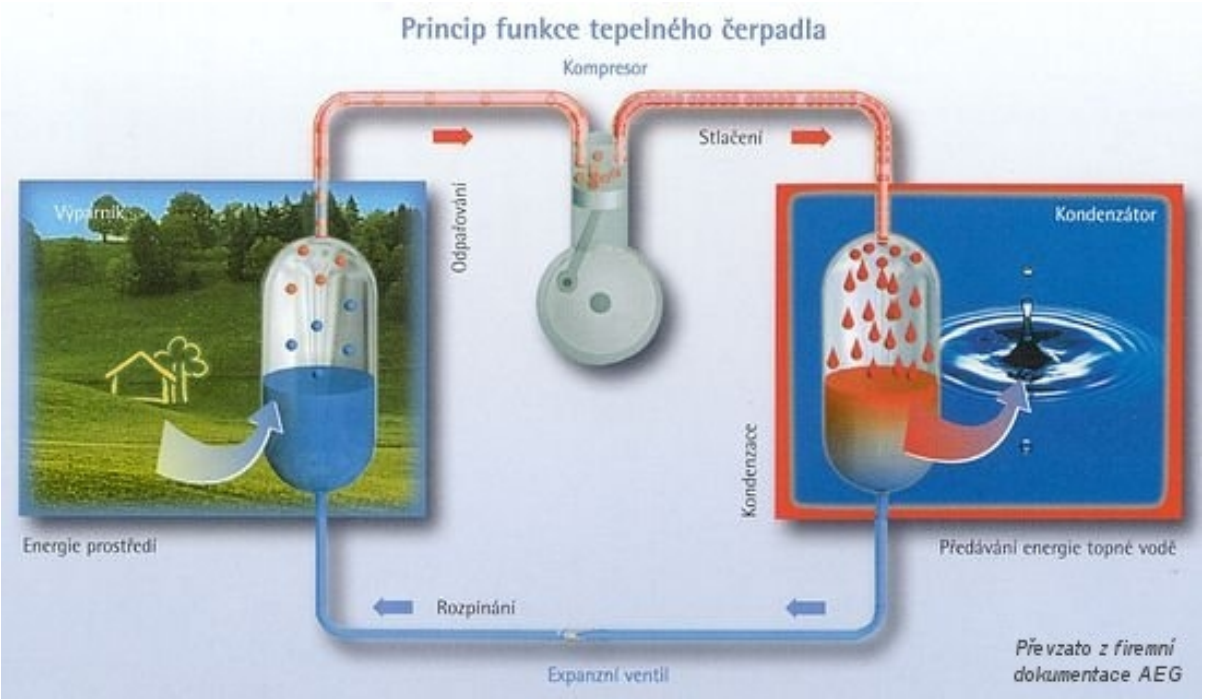
- výparník
- kompresor
- kondenzátor
- expanzní ventil

2.2 Princip funkce

Princip byl popsán v 19. století anglickým fyzikem lordem **Kelvinem.** Přesto, že se jednalo o chladicí zařízení, je princip naprosto stejný. TČ má na rozdíl od chladicího zařízení chod opačný. Odebírá nízkopotenciální teplo z okolního prostředí (voda, vzduch, země) a předává jej topnému systému a to přesně v tomto pořadí:

- pomocí výparníku ochladíme danou látku(země, vzduch, voda), například o 5°C, čímž odebereme teplo
- ve výparníku se předá teplo pracovní látce (chladivu), která se za relativně nízké teploty odpaří. Tyto páry se následně stlačí v kompresoru na vyšší tlak a tudíž i vyšší teplotu.
- stlačené chladivo je přiváděno do kondenzátoru, kde předává teplo do topné soustavy, což znamená, že se otopná soustava ohřeje z 40°C na 45°C
- expanzním ventilem je tento okruh uzavřen a dochází ke snížení tlaku na původní hodnotu ve výparníku
- slunce zajistí ohřátí látky na původní hodnotu

Na obrázku 2 je takový koloběh naznačen graficky.



Obrázek 2: Ukázka topného okruhu

2.3 Rozdělení a princip značení

TČ se zkráceně označují stylem **"odkud je teplo odebíráno / jaké pracovní látce je předáno"**.

- vzduch/voda, vzduch/vzduch
- země/voda
- voda/voda

2.4 Odkud lze odebírat teplo

V prvotní části projektu musíme zvážit, jaký zdroj nízkopotenciálního tepla si vybereme. Jaký je pro nás nejdostupnější, z hlediska umístění stavby.

Buďto:

- vzduch
- země
- voda

2.4.1 Venkovní vzduch

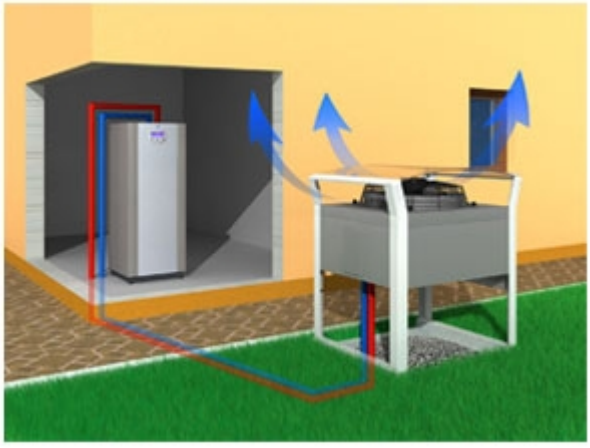
Tepelná čerpadla, odebírající teplo z okolního vzduchu, se konstruují ve třech variantách:

a) Samostatná venkovní a vnitřní část:

Malá venkovní jednotka, kterou lze umístit kdekoli – na střechu, betonový sokl nebo na zeď domu. Vzdálenost mezi jednotkami nesmí přesáhnout 10m.

b) Kompaktní provedení venkovní:

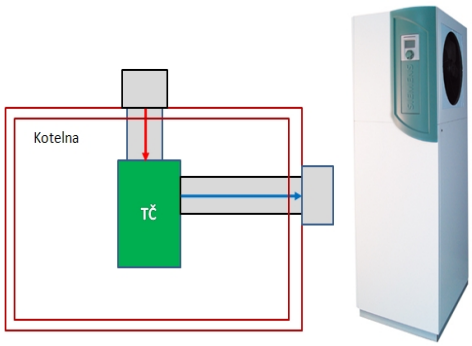
Tepelné čerpadlo je umístěno venku a připojeno přímo na topnou soustavu izolovaným potrubím, kde proudí topná voda. Výhodou tohoto typu je, že jednotka nezabírá žádný vnitřní prostor.



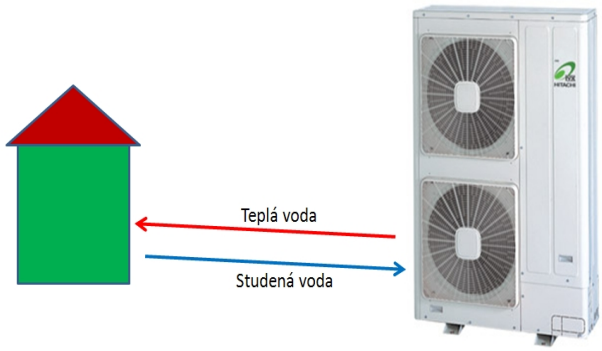
Obrázek 3: Ukázka samostané vnitřní a venkovní jednotky

c) Kompaktní provedení vnitřní:

Celá jednotka je umístěna uvnitř domu a je k němu přivedené vzduchové potrubí, které obstarává přívod venkovního vzduchu k výparníku jednotky. Potrubí má velikost asi 400mm a musí být od sebe dostatečně vzdálené aby nedocházelo k promíchávaní sacího a výfukového vzduchu. Nevýhodou je že zabírá mnoho prostoru, hlavně díky rozměrnému vzduchovému potrubí.



Obrázek 5: Kompaktní TČ - vnitřní a umístění v kotelně



Obrázek 4: Kompaktní TČ - venkovní

Výhody a nevýhody všech třech variant využívajících venkovního vzduchu jsou následovné.

Výhody:

- není zapotřebí velkého pozemku
- instalace nevyžaduje žádné zásahy do prostředí (vrty, drážky pro zemní kolektory)
- vyšší pořizovací cena TČ, ale nejsou zapotřebí jiné investice do např.: vrtů, výkopových prací, atd.

Nevýhody:

- jsou závislé na teplotě okolního vzduchu, při nižších teplotách = nižší topný faktor = sice stejná spotřeba elektřiny ale výsledné nižší vyrobené teplo.
- někdy je zapotřebí i bivalentního zdroje tepla (el. kotel nebo jiné kotle)
- hlučnost ventilátoru

2.4.2 Zemní plošný kolektor

Plošný kolektor jsou vlastně plastové potrubí, které je uloženo 1 metr pod zemí a vzdáleno od sebe 1 metr. Je zapotřebí udělat skrývku o velkých rozměrech nebo vybagrovat drážky. Vhodná je půda obsahující více vody.

Výhody:

- nižší pořizovací náklady než vrty
- topný faktor nejde tak prudce dolů z blížící se zimou, něž je to u okolního vzduchu.

Nevýhody:

- je zapotřebí velkého pozemku (10kW = 250-350m^2)
- na pozemku kde jsou zemní kolektory nelze stavět
- v zimně dochází k promrzání půdy a tím ke snižovaní výkonu TČ

Obrázek 6: Ukládání zemních plošných kolektorů a jejich připojení na TČ

2.4.3 Hloubkové vrty

Odebírá se teplo z hloubkových vrtů, ve kterých jsou uloženy plastové trubky v nichž koluje nemrznoucí směs. Pro 10kW je zapotřebí 120-160m^2 vrtů, které jsou hluboké až 150m a jsou vzdáleny od sebe nejméně 10m, aby nedocházelo k vzájemnému promrzání půdy.

Výhody:

- největší výhodou je stejná teplota uvnitř vrtu po celý rok, takže i topný faktor je po celý rok stejný (zhruba COP = 4)

Nevýhody:

- vysoké pořizovací náklady (testovací vrt, samotné zhotovení již konečných vrtů)
- nepořádek na pozemku při výstavbě vrtů

2.4.4 Voda ze studny

Při odebíraní tepla ze studny je zapotřebí dlouhých čerpacích zkoušek (dostatečný přítok, čistota vody, teplota vody). Voda se ze studny čerpá pomocí obyčejného oběhového čerpadla, které dopraví vodu k výparníku. Po ochlazení se studená voda odvádí do tzv. **vsakovací studny.** Ochlazená voda nesmí prosakovat do sací studny. Teplota vody musí být cca 6-7°C, aby nedocházelo k zamrznutí.

Výhody:

- nižší pořizovací náklady ve srovnání s vrty
- stabilnější topný faktor po celý rok, oproti čerpání okolního vzduchu

Nevýhody:

- požadovaná dobrá kvalita, teplota a dostatečné množství vody
- investice na výkop vsakovací studny + zkoušky kvality vody, přítoku, atd.
- pravidelná údržba venkovní jednotky (čistění filtrů), která je náchylná na poruchy sacího čerpadla

2.4.5 Povrchová voda (rybníky, řeky)

V některých případech je možné využít řeky, nebo rybník v blízkém okolí. V takovém případě se do vody pokládají kolektory z plastových trubek, ve kterých proudí nemrznoucí směs. Také je možné čerpat vodu z řeky přímo k čerpadlu. V tomto případě je zapotřebí platit stočné a pozorovat kvalitu vody.

Obrázek 7: Plastové kolektory pokládáné na dno řeky

Výhody:

- nižší pořizovací náklady než u vrtů
- stabilnější topný faktor po celý rok, oproti čerpání tepla z okolního vzduchu

Nevýhody:

- omezení na lokalitu s dostatkem povrchové vody
- problémy z povolením výstavby (pokud se jedná o území v CHKO)

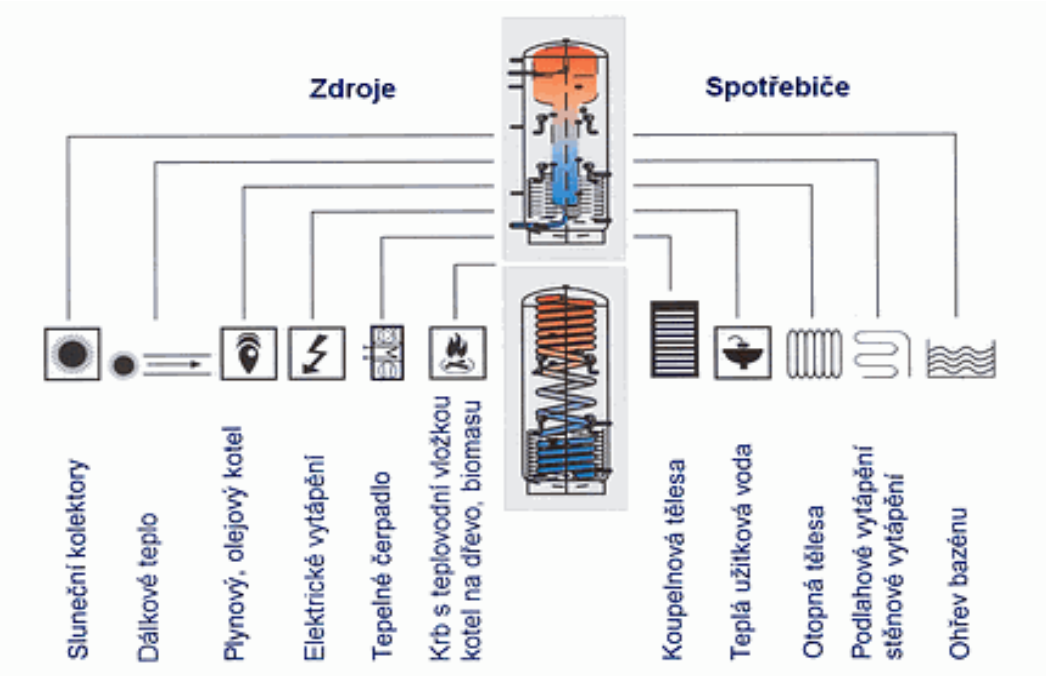
3 Akumulace tepelné energie

Akumulace tepelné energie se používá především k přenesení tepelné energie v čase, což znamená přenést teplo z období kdy je ho přebytek do období kdy je ho nejvíce zapotřebí (den-noc popřípadě zima-léto). Z toho důvodu částečně přispívá ke snižování energetické náročnosti budov.

Používané akumulační látky musí dodržovat určité podmínky, musí být levné, musí do sebe absorbovat pokud možno co největší množství tepelné energie a také by měly být v případě chemických látek ekologické .

V rozdělení akumulace tepelné energie především záleží na tom, do čeho chceme tepelnou energii akumulovat, jestli:

- **akumuluji teplo do stavební konstrukce**
- **akumuluji teplo do akumulačních prvků,** ty se dají dále rozdělit na:
  - Akumulace citelného tepla
  - Akumulace skupenského tepla
  - Sorpce vodní páry
  - Chemická sorpce vodní páry



Obrázek 8: Akumulace tepla v tepelném zásobníku

Na obrázku 8 jsou graficky znázorněny způsoby zapojení zdrojů tepla s akumulační nádobou a propojení do topného systému.

3.1 Akumulace citelného tepla

Tepelná energie se zde akumuluje pomoci ohřevu pracovní látky (využívá se měrného tepla pracovní látky), proto je zapotřebí velké tepelné kapacity. Pro větší množství akumulovaného tepla je zapotřebí většího objemu média. Tento způsob patří mezi nejednoduší a také je nejčastěji používán.

Akumulační látky se zde rozdělují na:

- **Pevnou pracovní látku** (kámen, štěrk, betonové konstrukce, cihlové zdivo)

Výhodou je vyšší rozsah teplot, jednoduší konstrukce akumulátoru a nedá se poškodit mrazem. Nevýhodou je výrazně nižší tepelná kapacita (0,8-1 kJ/kg.K)

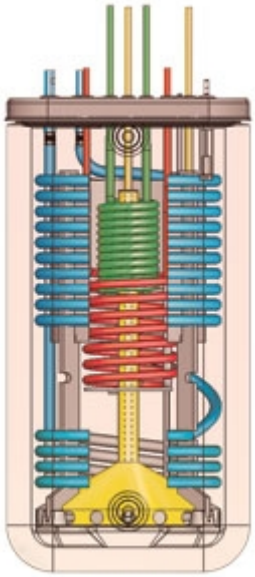
- **Kapalnou pracovní látku** (voda)

Zde je výhodou, že voda má největší tepelnou kapacitu (4,2 kJkg.K) a nízkou cenu. Nevýhodou je, že voda zabírá podstatně větší objem.

Obrázek 9: Akumulační nádrž od firmy DZ Dráždíce - pracovní látkou je voda

3.2 Akumulace skupenského tepla

Využívá se přeměn skupenství látek. Táni – tuhnutí je používáno nejčastěji, protože skladování páry by znamenalo připravit velkou nádobu, která by byla schopna odolávat velkým tlakům.



Obrázek 10: Akumulační nádrž od firmy Regulus - využívá změnu skupenství

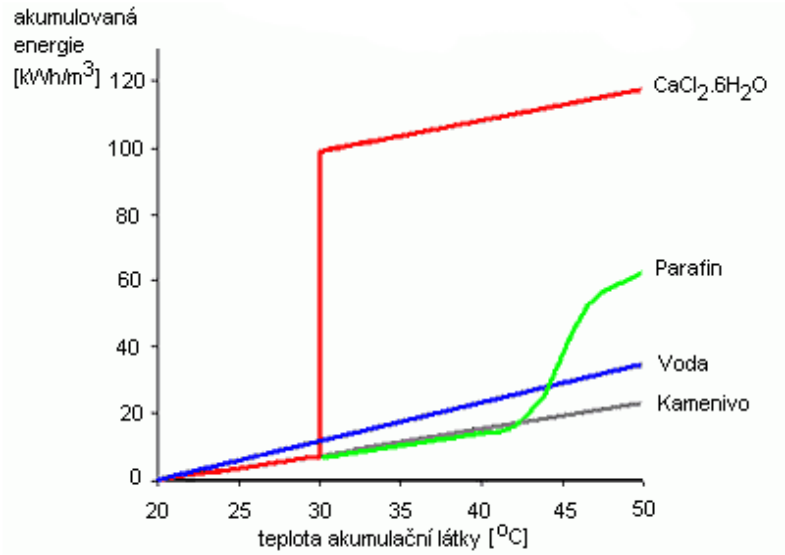
Tepelná energie se ukládá způsobem, kdy se při tání teplo spotřebovává a při jeho tuhnutí se teplo zase uvolňuje. Jakmile se dosáhne teploty tání, látka začne přijímat teplo za konstantní teploty. Jako pracovní látka se používají chemicky čisté látky jako je síran sodný $Na_2SO_4 \times 10H_2O$ (entalpie tání je 243 kJ/kg, taji při teplotě 30°C), tzv. PCM (Phase Change Material). Další možností je použít chemické směsi (parafin), ta však má nevýhodu v tom, že teplota taní je vždy v jistém rozmezí teplot.

Výhodou je:

- konstantní teplota nabíjení
- ve většině případu menší objem

Nevýhodou je:

- vysoká cena pracovní látky
- potřeba chemické čistoty látky



Obrázek 11: Porovnání akumulace latentního tepla s akm. citelného tepla

Na obrázku 11 lze vidět, že se energie akumuluje za konstantní teploty. Pro srovnání je uvedena i akumulace citelného tepla (voda, kamenivo).

3.3 Sorpce vodní páry

Zde je využita bilance tepla při sorpci – desorpci vlhkosti v pracovní látce. Funkce tohoto akumulátoru je závislá na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Při nabíjení snižujeme relativní vlhkost vzduchu jejím ohřevem, kdy dochází právě k sorpci vlhkosti do materiálu. Vybíjeni probíhá při konstantní teplotě a uvolňuje se energie, která je rovna výparné entalpii vody.

Jako pracovní látky se používají tzv.: **Hygroskopické materiály**, které dokáží absorbovat vodní páru až do 70% vzhledem ke své vlastní hmotnosti, ty pak zvlhnou, ale nerozpustí se (silikagel, jíl). Hygroskopické látky jsou také obsaženy ve většině stavebního materiálu, s výjimkou skla, polévané keramiky, hutných plastů a kovů. Sorpce vodní páry je zatím ve stádiu výzkumu.

Výhody:

- teplota skladování může být libovolná
- ztráty jsou nulové

Nevýhody:

- vyšší nabíjecí teplota
- během skladování tepelné energie, musí být zamezen přístup vlhkosti k pracovní látce

3.4 Chemická sorpce vodní páry

Funkce je podobná jako u sorpce vodní páry, využívá se výparné entalpie vlhkosti obsažené v pracovní látce, to znamená že při zahřáti látky uvolňují vodu, která je obsažena v jejich molekulární mřížce. Při ochlazovaní absorbují vodu zpět do sebe.

$CaCl_2 \times 2\,H_2O \Leftrightarrow CaCl_2 \times 6\,H_2O$ - příklad chemické reakce chloridu vápenatého s vodou

Akumulátory tohoto typu jsou stále ve stádiu experimentů, hlavně teplota nabíjení je příliš vysoká. Aby byla splněna podmínka správné pracovní látky, zkoušel se použít sádrovec, ale ukázal se jako nevyhovující. Je zapotřebí, aby látka tála a vytvářela roztok krystalové vody.

Při nabíjení akumulátoru, který je založen na procesu chemické sorpce vodní páry, se uvolňuje pára o vysoké teplotě. Tato pára, která má teplotu stejnou jako je nabíjecí teplota, se dá dále využít například na ohřev teplé užitkové vody.

Výhody:

- libovolná teplota skladování
- ztráty vznikají pouze při vybíjení akumulátoru
- při nabíjení uvolňuje vodní páru, která jde dále využívat

Nevýhody:

- vysoká nabíjecí teplota (velký rozdíl mezi nabíjecí a vybíjecí teplotou)
- při skladování musí být zamezen přístup vlhkosti k pracovní látce

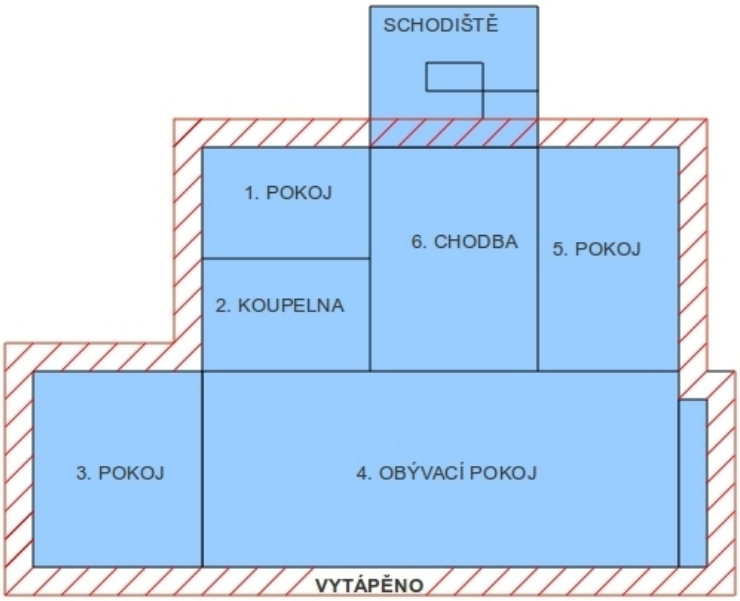
4 Návrh TČ pro vybraný objekt a stanovení potřeby tepla

4.1 Popis vybraného objektu

Objekt slouží jako obytná bytová jednotka, kde žije 3 členná rodina. Jedná se o novostavbu, která se nachází nedaleko Opavy, v obci Oldřišov. Jedná se o podkrovní byt.

Objekt je velký cca 122 m^2, zdivo je tvořeno pórobetonem Ytong. V objektu jsou použitá plastová okna, střecha je dřevěná, zateplená. Vytápěn je celý objekt, kromě schodiště. Topná soustava je tvořena podlahovým vytapěním.

Název	m2
1. Pokoj	16,05
2. Koupelna	15
3. Pokoj	17,8
4. Obývací pokoj	35
5. Pokoj	20
6. Chodba	18,75
CELKEM	**122,6**



Obrázek 12: Náčrt vybraného objektu

Tepelná ztráta objektu byla stanovena na Qz = 4,81 kW. Pro tuto ztrátu zvolím tepelné čerpadlo MasterTherm A2W35.

Název	Topný výkon	Příkon	Kompresor
MasterTherm A2W35	5,1 kW	1,6 kW	1-rotační

4.1 Výpočet topného faktoru

Topný výkon = 5,1 kW = 122,4 kWh

Příkon TČ = 1,6 kW = 38,4 kWh

$$COP = \frac{Qt}{P} = \frac{122{,}4}{38{,}4} = 3{,}2$$

Topný faktor tepelného čerpadla MasterTherm A2W32 je 3,2 za teploty venkovního vzduchu 2ºC a při výstupní vodě 35ºC.

4.2 Potřeba tepla pro vytápění

Vytápěcí denostupně: $D = d \cdot (tis - tes) = 3\,762\ K.dny$

tis = 20°C – průměrná vnitřní výpočtová teplota

tes = 3,5°C – průměrná teplota během otopného období

d = 228 dnů – délka otopného období

Opravné součinitele a účinnosti systému:

ei = 0,85 – nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem

et = 0,9 – snížení teploty během dne respektive noci

ed = 1 – zkrácení doby vytápění u objektů s přestávkami v provozu

ηo = 0,95 – účinnost obsluhy respektive možnosti regulace soustavy

ηr = 0,95 – účinnost rozvodu vytápění

Opravný součinitel ε:

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0{,}765$$

Potřeba tepla na vytápění:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3} = 10{,}3\ MWh/rok = 37{,}1\ GJ/rok$$

Celková roční potřeba energie na vytápění je tedy podle výsledku 10,5 MWh / rok.

4.3 Potřeba tepla na ohřev teplé vody

t_1 = 10ºC – teplota studené vody ρ = 1 000 kg / m^3

t_2 = 55ºC – teplota ohřáté vody c = 4 186 J / kg.K

z = 0,5 – koeficient energetických ztrát systému

Celková potřeba teplé vody za 1 den:

- na jednu osobu činí 0,082 m^3/den

v_{2p} = 3 osoby . 0,082 = 0,246 m^3/den

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody:

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot v_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3\,600} = 19{,}3\,kWh$$

Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody:

t_{svl} = 15ºC – teplota studené vody v létě

t_{svz} = 5ºC – teplota studené vody v zimě

N = 365 dní – počet pracovních dní soustavy v roce

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0{,}8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) = 6{,}1\,MWh/rok = 22\,GJ/rok$$

Celková potřeba tepla pro ohřev teplé vody je tedy 6,1 MWh / rok.

4.4 Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$$Q_{VYT,r} = 10{,}3\,MWh/rok$$

$$Q_{TUV,r} = 6{,}1\,MWh/rok$$

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = 16{,}4\,MWh/rok$$

Celková potřeba energie je tedy 16,6 MWh / rok.

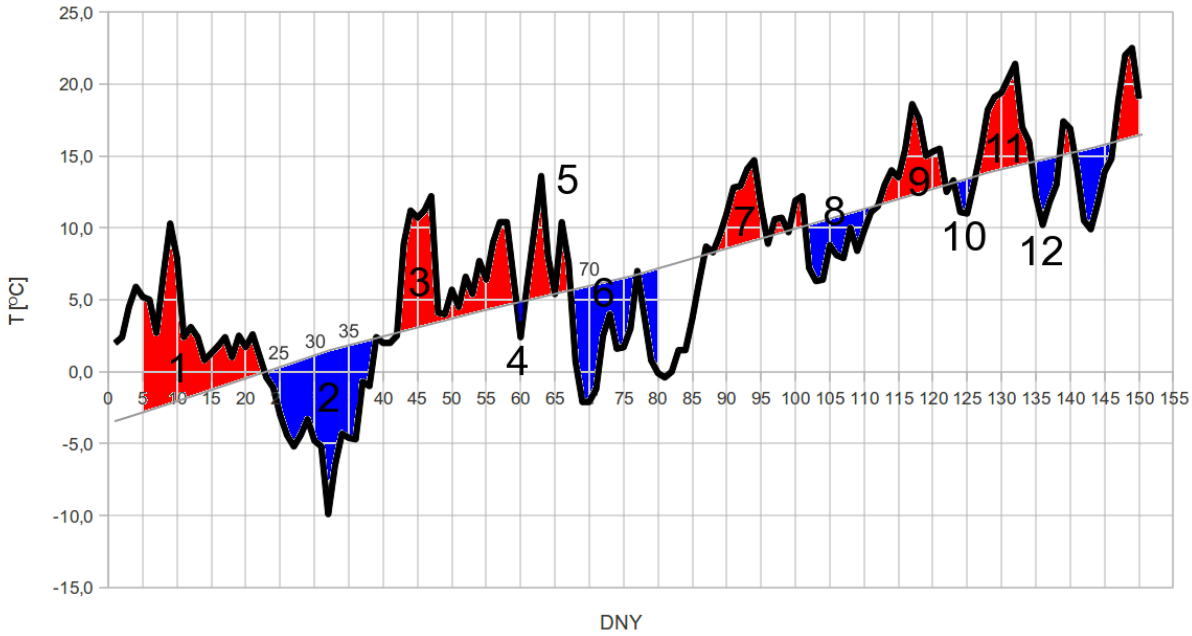
5 Vliv kapacity akumulační nádoby na střední roční faktor

Pro objekt řešený výše je vhodná velikost akumulační nádoby cca 300 l. Tato velikost zajistí, že čerpadlo nemusí dodávat teplo po celý den přímo do topné soustavy, ale nejdříve nabije akumulační nádobu. Nabitá tepelná energie v nádobě se při požadavku pro topení domu začne odebírat a TČ zařídí dobití zpět na původní teplotu. Tímto způsobem se šetří chod TČ (kompresor nemusí tak často spínat a tím se prodlouží jeho životnost). Takto navržená velikost AN by měla být schopná uchovat přebytek tepelné energie v noci a přes den jej dodat do topného systému.

Jinou variantou se stává přenesení tepelné energie nejen z noci na den, ale také z teplejších dnů do studenějších. Především v otopném období by byla tato možnost velice výhodná, protože by TČ nabíjelo AN za vyššího topného faktoru. K dispozici byly hodnoty teplot od roku 1998 až do roku 2008. Teplotní křivky byly téměř identické, proto byla zvolena jedna z nich a to z roku 1998 (viz **Příloha 1)**. V tomto roce nastaly v některých dnech maxima celkového měření teplot. Letní období lze z grafu vypustit, protože v tomto období není zapotřebí dům vytápět. Tepelná energie vyrobená v tomto období by se mohla využít na ohřev bazénu nebo teplé užitkové vody. Týká se to období od 150. dne roku (jak je vidět na x-ové složce grafu) do 273. dne v roce kdy teploty začnou klesat častěji pod průměrnou teplotu za celý rok (červená křivka v grafu).

5.1 Dlouhodobá akumulace energie

Pokud bychom zanedbali velikost AN, mohli bychom se pokusit přenést naakumulovanou energii v delším čase. K tomuto by bylo zapotřebí TČ s dvojnásobným topným výkonem. Nejprve je důležité rozdělit křivku za rok na dvě části. Na jedné části jsou vidět špičky teplejších dnů a na druhé propady teplot studenějších dnů, dnů kdy se bude AN nabíjet a kdy vybíjet.



Obrázek 13: graf teplot v otopném období - začátek roku

Týká se to období od začátku ledna do poloviny června. Tepelná energie, která bude v tomto období vyrobena za lepšího tepelného faktoru, což znamená s nižší spotřebou energie. Je to tím, že topný faktor se zvyšuje se zvyšující se teplotou, tak jak lze vidět na výpočtech níže.

Topný faktor 1. oblasti: - za nejvyšší teploty v první oblasti

$$t_1 = 10{,}3\,°C \rightarrow T_1 = 283{,}45\,°K \ldots \textit{okolní teplota}$$
$$t_2 = 55\,°C \rightarrow T_2 = 328{,}15\,°K \ldots \textit{požadovaná teplota}$$
$$\eta_k = 0{,}5 \ldots \textit{účinnost kompresoru}$$

$$\varepsilon = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}67$$

Topný faktor 9. oblasti:

$$t_1 = 21{,}4\,°C \rightarrow T_1 = 294{,}55\,°K \ldots \textit{okolní teplota}$$
$$t_2 = 55\,°C \rightarrow T_2 = 328{,}15\,°K \ldots \textit{požadovaná teplota}$$
$$\eta_k = 0{,}5 \ldots \textit{účinnost kompresoru}$$
$$\varepsilon = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 4{,}88$$

Takto naakumulovanou energii se snažíme za pomocí větší nádrže přenést z oblasti nabíjení 1 do oblasti vybíjení 2, kde by z AN bylo teplo poskytováno po 10 dní jak je znázorněno modrou barvou v grafu. To samé by se opakovalo z oblasti 3 do 4, z 5 do 6, z 7 do 8, a tak dále.

Vše by probíhalo pomocí regulace, která díky algoritmu, ve kterém je napsáno, že pokud venkovní teplota přejde přes hranici střední křivky (která je zakreslena v grafu), má začít nabíjet AN. Naopak by zase při poklesu venkovní teploty přes tuto křivku, začne dodávat nakumulované teplo do systému.

Obrázek 14: graf teplot v otopném období - konec roku

V období na konci roku (viz obrázek 14) je postupováno úplně stejně. Ve 13. oblasti dochází k nabíjení a ve 14. oblasti zase k vybíjení. Obdobně by to bylo i u ostatních oblastí, červená barva znázorňuje nabíjení, modra zase vybíjení. Od 320. dne již tato akumulace nemá smysl, topný faktor v této oblasti roku klesá dolů. Systém by byl provozován podobně jako je tomu dnes. Večer nabíjel a přes den dle potřeby dodával. Pokud teplota klesne až do velmi nízkých teplot, musí být použit bivalentní zdroj tepla. Za tento zdroj se považuje buď elektrokotel, který se dodává přímo s AN, nebo plynový kotel.

Topný faktor v teplotách pod nulou:

$$t_1 = -20\,°C \rightarrow T_1 = 253{,}15\,°K \ldots \textit{okolní teplota}$$
$$t_2 = 55\,°C \rightarrow T_2 = 328{,}15\,°K \ldots \textit{požadovaná teplota}$$
$$\eta_k = 0{,}5 \ldots \textit{účinnost kompresoru}$$
$$\varepsilon = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 2{,}18$$

Celá studie je založena na akumulaci citelného tepla, proto by nádrž potřebná k přenosu toho tepla vycházela obrovská (cca. 3 000 l). Pro dlouhodobou akumulaci by bylo nejvýhodnější použít akumulaci skupenského tepla. Ta využívá přeměny skupenství látek, tak jak je popsáno v kapitole ***3.2 Akumulace skupenského tepla*** (nosnou látkou jsou PCM materiály). V tomto případě by akumulační nádrž nevycházela až tak veliká, ale cena takovéto nádrže je podstatně vyšší.

6 Ekonomické zhodnocení akumulačního systému:

Akumulační systém šetří jak samotnou životnost TČ tak i výdaje elektrické energie, které čerpadlo pro svůj chod potřebuje. Je to dáno tím, že AN by se nabíjela při vyšších topných faktorech. Nejdříve si ukážeme kolik by stál provoz samotného čerpadla bez navrhovaného akumulačního systému, abychom je mohli na závěr porovnat.

Pro objekt zvolený v této práci je potřeba tepla na vytápění za rok 10,3 MW/rok, na TČ dostaneme sazbu od elektráren D56d pro jistič do 3x25A – nízký tarif 22 hodin denně. Průměrný roční faktor při variantě TČ vzduch/voda je COP = 3.

Spotřeba tepla	Průměrný roční faktor	Nízká sazba za elektřinu	Cena za rok
Spotřeba energie na vytápění			
10 300 kWh	3	2,20 Kč	7 553,30 Kč
Spotřeba energie na ohřev TUV			
6 100 kWh	3	2,20 Kč	2 035,50 Kč
Paušálně D56d – jistič do 3x25A			
x 12 měsíců			4 680,00 Kč
CELKEM			**14 268,80 Kč**

Při použití navrhovaného akumulačního systému bude průměrný roční faktor vyšší a tím by měla spotřeba energie klesnout. Nejdříve vypočteme topný faktor pro všechny oblasti nabíjení a z výsledku určíme průměrný roční faktor. Pro výpočet použijeme průměrnou teplotu jednotlivých oblastí.

Topný faktor 1. oblasti:

$$t_1 = 3{,}27\,°C \rightarrow T_1 = 276{,}15\,°K \ldots \textit{okolní teplota}$$
$$t_2 = 55\,°C \rightarrow T_2 = 328{,}15\,°K \ldots \textit{požadovaná teplota}$$
$$\eta_k = 0{,}5 \ldots \textit{účinnost kompresoru}$$
$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}17$$

Topný faktor 3. oblasti:

$$t_1 = 3{,}48\,°C \rightarrow T_1 = 276{,}63\,°K$$

$$\varepsilon_3 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}48$$

Topný faktor 5. oblasti:

$$t_1 = 8{,}7\,°C \rightarrow T_1 = 281{,}85\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}54$$

Topný faktor 7. oblasti:

$$t_1 = 10{,}59\,°C \rightarrow T_1 = 283{,}74\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}69$$

Topný faktor 9. oblasti:

$$t_1 = 14{,}8\,°C \rightarrow T_1 = 287{,}95\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 4{,}08$$

Topný faktor 11. oblasti:

$$t_1 = 18{,}36\,°C \rightarrow T_1 = 291{,}51\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 4{,}47$$

Topný faktor 13. oblasti:

$$t_1 = 13{,}12\,°C \rightarrow T_1 = 286{,}27\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}92$$

Topný faktor 15. oblasti:

$$t_1 = 10{,}66\,°C \rightarrow T_1 = 283{,}81\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}7$$

Topný faktor 17. oblasti:

$$t_1 = 8{,}9\,°C \rightarrow T_1 = 282{,}05\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}56$$

Topný faktor 19. oblasti:

$$t_1 = 9{,}2\,°C \rightarrow T_1 = 282{,}35\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}58$$

Topný faktor 22. oblasti:

$$t_1 = 5{,}6\,°C \rightarrow T_1 = 278{,}75\,°K$$

$$\varepsilon_1 = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{A} = \eta_k \cdot \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \approx \eta \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3{,}32$$

Průměrný roční topný faktor:

$$\varepsilon_{celkový} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3 + \ldots + \varepsilon_{22}}{11} = 3{,}74$$

Sestavíme novou tabulku spotřeby energie pro chod TČ s navrženou akumulací tepla a zjistíme, kolik jsme ušetřili. Průměrný roční faktor pro ohřev TUV zvolíme 3, protože teplou užitkovou vodu je zapotřebí vyrábět po celý rok.

Spotřeba tepla	Průměrný roční faktor	Nízká sazba za elektřinu	Cena za rok
Spotřeba energie na vytápění			
10 300 kWh	3,74	2,20 Kč	6 058,80 Kč
Spotřeba energie na ohřev TUV			
6 100 kWh	3	2,20 Kč	2 035,50 Kč
Paušálně D56d – jistič do 3x25A			
x 12 měsíců			4 680,00 Kč
CELKEM s akumulačním systémem			**12 774,30 Kč**
CELKEM bez akumulačního systému			**14 268,80 Kč**
UŠETŘENO			**1 494,50 Kč**

Z výsledku je zřejmé, že nám akumulace ušetří ročně 1 494,50 Kč. Není to mnoho, ale při neustálém zvyšování cen energie a při dlouhodobém používáni tohoto systému se může vyplatit. Z ekologického hlediska, šetří elektrickou energii oproti stálému chodu TČ po celý rok.

7 Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo vysvětlit, jak TČ fungují. Byli zde uvedeny jeho druhy a také druhy akumulačních jednotek, jejichž funkce byla rovněž popsána.

Zájem o TČ v dnešní době je obrovský, z důvodu neustálého zvyšování cen energie a hlavně také proto, že stát umožnil na instalaci těchto strojů obdržet dotaci. Při pořizování bychom neměli zapomenout, že je důležité snížit tepelnou ztrátu domu na co nejmenší hodnotu, pokud tomu tak je, pak je provoz TČ velmi levný.

Ve své práci jsem navrhl pro zvolený objekt spotřebu tepla pro vytápění a ohřev TUV. Na základě těchto výsledků a ze známé tepelné ztráty byl zvolen typ TČ. V ostatních kapitolách jsem se snažil přijít na dlouhodobější způsob akumulace tepla, kdy jsou v otopném období využity teplé dny pro nabití AN. Tepelná energie získaná v těchto dnech je přenesena do dnů studenějších. Akumulační systém jsem zhodnotil z ekonomického hlediska, výsledek ušetřených nákladů zdánlivě malý, ale v dlouhodobém měřítku výhodný, obzvláště pokud by bylo možné použít akumulaci skupenského tepla, ta je však prozatím ve stádiu výzkumu.

Dle mého názoru se tepelná čerpadla budou v budoucnu používat čím dál častěji a pokud se k tomuto systému navrhne i způsob získáváni elektrické energie z obnovitelných zdrojů, bude možné jej nazývat alternativním zdrojem tepelné energie úplným. Za zásadní výhodu tohoto systému považuji šetrnost k okolnímu prostředí a nepřispívá ke zvyšování produkce skleníkových plynů. Pro mnohé je důležité, že provoz takového čerpadla je bezobslužný (není zapotřebí přikládat, plnit zásobníky, předpřipravovat palivo, atd.). Další výhodou je možnost kombinace s fancoily, díky kterým je možné v létě také chladit.

8 Seznam použitých zdrojů

8.1 Internetové zdroje

[1] http://www.tzb-info.cz

[2] http://www.cez.cz

[3] http://www.mpo.cz/

[4] http://www.i-ekis.cz/

[5] http://www.enerfinplus.cz/

[6] http://www.topin.cz/

[7] http://www.mastertherm.cz/

[8] http://www.kpklima.cz/

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

[1] TČ – tepelné čerpadlo

[2] AN – akumulační nádoba

[3] CHKO – chráněná krajinná oblast

[4] TUV – teplá užitková voda

[5] t_1 – okolní teplota

[6] t_2 – požadovaná teplota systému

[7] T_1 – okolní teplota v ºK

[8] T_2 – požadovaná teplota systému v ºK

[9] η_k – účinnost kompresoru

[10] ε – topný faktor

[11] A – příkon kompresoru [kWh]

[12] Q_2 – vyrobené teplo [kWh]

[13] $Q_{VYT,\,R}$ – potřeba tepla na vytápění za rok

[14] $Q_{TUV,\,R}$ – potřeba tepla na ohřev teplé užitkové vody

10 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Graf naměřených teplot za rok 1998