

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Spolupráce solárních tepelných systémů  
s tepelnými čerpadly**

---

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal SOUKUP**  
Osobní číslo: **E10N0097P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Spolupráce solárních tepelných systémů s tepelnými čerpadly**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Teoreticky rozeberte vlastnosti solárních tepelných systémů a tepelných čerpadel.
2. Uveďte možnosti spolupráce solárních tepelných systémů s tepelnými čerpadly a akumulací energie.
3. Navrhněte praktickou aplikaci pro ohřev TUV s možností přitápění.
4. Proveďte zhodnocení navrženého systému z energetického, ekonomického a environmentálního hlediska.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


1. Poulek, V., Libra, M. : Solární systémy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 17. října 2011  
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2012

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

V první části této diplomové práce jsou popsány základní vlastnosti a principy solárních kolektorů a tepelných čerpadel a jejich kooperace. Dále jsou zde rozepsány různé typy těchto systémů a jejich příslušenství. V dalším bodě je popsána teorie akumulace tepla v zemi s výhodami a nevýhodami jednotlivých systémů.

Dále je popsán již samotný návrh zařízení, ve kterém je vypočítána potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV objektu. Po stanovení solárního potenciálu místa je počítán systém tepelného čerpadla v kooperaci se solárním systémem s ukládáním přebytků tepla do země. Pro srovnání je také navrhnut systém bez ukládání tepla do země a systém s elektrokotlem. Na závěr jsou všechny tyto 3 systémy zhodnoceny.

## **Klíčová slova**

Solární energie, solární záření, solární systém, solární kolektor, intenzita slunečního záření, tepelné čerpadlo, topný faktor, akumulace tepla, ekonomická a energetická bilance.

**Abstract**

The first section of this thesis describes the base characteristics and principles of solar collectors and heat pumps and their cooperation. Further the different types of these systems and their accessories are written out. The next part describes the theory of the heat accumulation to ground with the advantages and disadvantages of its individual systems.

Next the sole concept of the device is written out where the need of heat for heating and warm service water is calculated. After the solar potential is set the heat pump system is calculated in cooperation with the solar system which saves the excess heat to ground. For comparison also a system with no heat saving and system with electric boiler. In the end all of these systems are compared.

**Key words**

Solar energy, solar radiation, solar system, solar collector, intensity of solar radiation, heat pump, heating factor, accumulation of heat, economical and energy balance

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 2.5.2012

Michal Soukup

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>11</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>13</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>16</b>
<b>1 SOLÁRNÍ SYSTÉMY PRO OHŘEV UŽITKOVÉ VODY</b> .....	<b>17</b>
1.1 KOLEKTORY .....	18
1.1.1 Ploché kolektory.....	19
1.1.2 Ploché vakuové kolektory.....	20
1.1.3 Vakuové trubicové kolektory.....	21
1.2 SOLÁRNÍ ZÁSOBNÍKY .....	22
1.3 REGULACE SOLÁRNÍHO SYSTÉMU .....	23
1.4 OBĚHOVÉ ČERPADLO .....	24
1.5 TEPLONOSNÁ KAPALINA .....	24
<b>2 TEPELNÁ ČERPADLA</b> .....	<b>25</b>
2.1 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA.....	26
2.2 TOPNÝ FAKTOR.....	28
2.3 ČÁSTI TEPELNÉHO ČERPADLA .....	29
2.3.1 Kompresor .....	29
2.3.2 Kondenzátor.....	29
2.3.3 Expanzní ventil.....	30
2.3.4 Výparník.....	30
2.3.5 Chladivo.....	31
2.3.6 Regulace.....	31
2.3.7 Sběrač kondenzátu .....	32
2.3.8 Tepelná izolace .....	32
2.4 ROZDĚLENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL .....	32
2.4.1 Země/voda - plocha.....	33
2.4.2 Země/voda – vrt.....	34
2.4.3 Země/voda – větrací vzduch.....	36
2.4.4 Země/voda – vodní plocha .....	37
2.4.5 Voda/voda .....	38
2.4.6 Vzduch/voda.....	39
2.4.7 Vzduch/vzduch.....	41
2.5 DRUHÝ PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA .....	42



<b>3</b>	<b>AKUMULACE TEPLA V ZEMI .....</b>	<b>45</b>
3.1	VLASTNOSTI ZÁSOBNÍKŮ .....	46
3.2	ZÁSOBNÍK SE SVISLÝM VÝMĚNÍKEM TEPLA .....	48
3.3	ZÁSOBNÍK S VODOROVNÝM VÝMĚNÍKEM TEPLA .....	50
<b>4</b>	<b>NÁVRH SYSTÉMU PRO OHŘEV TUV S MOŽNOSTÍ PŘITÁPĚNÍ.....</b>	<b>51</b>
4.1	POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ .....	51
4.2	POTŘEBA TEPLA NA OHŘEV TUV A CELKOVÁ POTŘEBA TEPLA .....	53
4.3	SOLÁRNÍ POTENCIÁL MÍSTA.....	54
4.4	VÝPOČET ÚČINNOSTI KOLEKTORŮ.....	64
4.5	NÁVRH SYSTÉMU S UKLÁDÁNÍM TEPLA DO ZEMĚ.....	66
4.5.1	<i>Návrh solárních kolektorů pro systém s ukládáním tepla .....</i>	<i>66</i>
4.5.2	<i>Získaná energie ze solárních kolektorů pro systém s ukládáním tepla .....</i>	<i>67</i>
4.5.3	<i>Návrh tepelného čerpadla .....</i>	<i>68</i>
4.5.4	<i>Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla .....</i>	<i>69</i>
4.5.5	<i>Investiční náklady pro systém s ukládáním tepla .....</i>	<i>71</i>
4.6	NÁVRH SYSTÉMU BEZ UKLÁDÁNÍ TEPLA DO ZEMĚ.....	72
4.6.1	<i>Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla .....</i>	<i>73</i>
4.6.2	<i>Investiční náklady pro systém bez ukládání tepla .....</i>	<i>74</i>
<b>5</b>	<b>EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ SYSTÉMŮ.....</b>	<b>76</b>
5.1	VÝPOČET PRŮMĚRNÝCH ROČNÍCH NÁKLADŮ .....	76
5.2	DOTACE.....	78
5.3	NÁVRATNOST SYSTÉMŮ .....	79
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>81</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>82</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>84</b>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha A** – Tabulky ke kapitole 4.3 Solární potenciál místa

**Příloha B** – Solární kolektor TS 300

**Příloha C** – Tepelné čerpadlo WPC 7

**Příloha D** – Elektrokotel DALINE PTE 10

**Příloha E** – ceník skupiny ČEZ platný od 1.1.2012

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 2.1	Teplonosné látky používané v kompresorových a hybridních systémech	31
Tab. 2.2	Parametry půdního kolektoru	34
Tab. 2.3	Parametry pro dimenzování hloubky vrtu	36
Tab. 2.4	Průměrné teploty, vlhkost a obsah energie ve vzduchu	41
Tab. 3.1	Tepelné vlastnosti půdy	48
Tab. 3.2	Tepelná vodivost různých typů hornin	48
Tab. 4.1	Průměrný počet otopných dnů pro Plzeň	52
Tab. 4.2	Střední teplota vzduchu v Plzni v jednotlivých měsících	53
Tab. 4.3	Potřeba tepla v jednotlivých měsících	53
Tab. 4.4	Potřeba tepla na ohřev TUV v jednotlivých měsících	54
Tab. 4.5	Celková potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV v jednotlivých měsících	54
Tab. 4.6	Hodnoty pro určení solárního potenciálu	54
Tab. 4.7	Hodnoty intenzity přímého záření na plochu kolektoru ke směru paprsků	57
Tab. 4.8	Intenzita záření	57
Tab. 4.9	Hodnoty intenzity přímého záření na vodorovnou plochu v denní době	58
Tab. 4.10	Hodnoty intenzity difúzního záření na vodorovnou plochu v denní době	59
Tab. 4.11	Hodnoty intenzity difúzního záření v denní době	59
Tab. 4.12	Intenzita záření	60
Tab. 4.13	Teoretické množství dopadající energie v měsíci	61
Tab. 4.14	Teoretická doba slunečního svitu v jednotlivých měsících	62
Tab. 4.15	Skutečná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících	62
Tab. 4.16	Poměrná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících	62
Tab. 4.17	Teoretické množství dopadající difúzní energie v měsíci	63
Tab. 4.18	Celkové množství energie dopadající na osluněnou plochu během dne v jednotlivých měsících	63
Tab. 4.19	Celkové množství energie dopadající na osluněnou plochu v jednotlivých měsících	63
Tab. 4.20	Střední intenzita záření v jednotlivých měsících	64
Tab. 4.21	Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu	66
Tab. 4.22	Účinnost kolektorů v jednotlivých měsících	66
Tab. 4.23	Parametry solárního kolektoru Thermosolar TS300	67
Tab. 4.24	Energie získaná ze solárních kolektorů v jednotlivých měsících	68

Tab. 4.25	Parametry tepelného čerpadla	68
Tab. 4.26	Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla do země	69
Tab. 4.27	Krytí potřeby tepla jednotlivými zdroji pro systém s ukládáním tepla do země	69
Tab. 4.28	Energie získaná ze solárních kolektorů	73
Tab. 4.29	Energetická bilance pro systém bez ukládání tepla do země	73
Tab. 4.30	Krytí potřeby tepla jednotlivými zdroji pro systém s ukládáním tepla do země	74
Tab. 4.31	Celkové roční provozní náklady systému s ukládáním tepla do země	77
Tab. 4.32	Celkové roční provozní náklady systému bez ukládání tepla do země	77
Tab. 4.33	Celkové roční provozní náklady systému s elektrokotlem	77
Tab. 4.34	Náklady na vytápění v prvních 15ti letech provozu	79
Tab. 4.35	Porovnání průměrných ročních nákladů	80

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1.1	Solární systém s nuceným oběhem kapaliny	18
Obr. 1.2	Geometrické uspořádání potrubí kolektoru	19
Obr. 1.3	Řez plochým kolektorem	20
Obr. 1.4	Řez plochým vakuovým kolektorem	21
Obr. 1.5	Vakuové trubicové kolektory	22
Obr. 1.6	Srovnání výkonu na kolektoru během dne	22
Obr. 1.7	Srovnání účinnosti plochého kolektoru a vakuové trubice přes rok	22
Obr. 1.8	Solární zásobník	23
Obr. 2.1	Princip tepelného čerpadla	26
Obr. 2.2	PV diagram Carnotova cyklu	27
Obr. 2.3	TČ Země/voda – plocha	33
Obr. 2.4	TČ Země/voda – vrt	35
Obr. 2.5	Teplotní pole neporušené zeminy	36
Obr. 2.6	TČ Země/voda – větrací vzduch	37
Obr. 2.7	TČ Země/voda – vodní plocha	38
Obr. 2.8	TČ Voda/voda	39
Obr. 2.9	TČ Vzduch/voda	40
Obr. 2.10	TČ Vzduch/voda	42
Obr. 2.11	Monovalentní provoz	44
Obr. 2.12	Alternativně bivalentní provoz	44
Obr. 2.13	Paralelně bivalentní provoz	44
Obr. 2.14	Částečně paralelně bivalentní provoz	44
Obr. 2.15	Zjednodušené technologické schéma kombinovaného systému	45
Obr. 3.1	Tepelná vodivost vazných půd v závislosti na obsahu vody	47
Obr. 3.2	Zemní zásobník tepla se svislými sondami výměníku tepla	49
Obr. 3.3	Zásobník s vodorovným výměníkem tepla	50
Obr. 4.1	Model objektu	51
Obr. 4.2	Aktuální poloha slunce vůči kolektoru	55
Obr. 4.3	Jednotlivé intenzity záření během jasného červnového dne	60
Obr. 4.4	Průběh intenzity záření během jasného dne	61
Obr. 4.5	Celkové množství dopadající energie na osluněnou plochu v jednotlivých měsících	64
Obr. 4.6	Přehled ztrát v kolektoru	65
Obr. 4.7	Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla do země	70
Obr. 4.8	Energetická bilance pro systém bez ukládání tepla do země	74
Obr. 4.9	Návratnost jednotlivých systémů	80

**SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK**

$T_K$	kondenzační teplota	K
$T_O$	vypařovací teplota	K
K	korekční součinitel respektující skutečný oběh	-
Q	akumulované teplo	kW
c	měrná tepelná kapacita	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
$\rho$	hustota akumulací látky	kg.m <sup>-3</sup>
V	objem zásobníku tepla	m <sup>3</sup>
$t_1$	teplota na počátku nabíjení	°C
$t_2$	teplota na konci nabíjení	°C
D	denostupně	-
d	počet otopných dnů v roce	den
$t_{im}$	průměrná vnitřní teplota	°C
$t_{em}$	střední venkovní teplota v různých měsících	°C
$Q_c$	výpočtová tepelná ztráta	kW
$\varepsilon$	opravný součinitel vycházející z typu budovy	-
$t_e$	vnější výpočtová teplota	°C
$C_{H2O}$	měrná tepelná kapacita vody	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
$\rho_{H2O}$	hustota vody	kg.m <sup>-3</sup>
$\alpha$	sklon	°
$a_s$	azimut osluněné plochy	°
Z	znečištění atmosféry	-
H	nadmořská výška	m
$I_o$	solární konstanta	W.m <sup>-2</sup>
r	albedo	-
h	výška slunce nad obzorem	°
a	azimut slunce	°
$a_s$	azimut osluněné plochy	°
$\gamma$	rovinný úhel	°
$\varepsilon$	součinitel závisící na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce	-
$I_{pn}$	intenzita přímého záření na plochu kolektoru ke směru paprsků	W.m <sup>-2</sup>
$I_o$	solární konstanta	W.m <sup>-2</sup>
$I_{Ph}$	intenzita přímého záření na vodorovnou plochu	W.m <sup>-2</sup>
$I_{Dh}$	intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu	W.m <sup>-2</sup>
$q_a$	měrný tepelný tok	W.m <sup>-2</sup>

$k_1$	součinitel prostupu tepla vrstvou na přední straně absorbéru	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$k_2$	součinitel prostupu tepla na zadní straně absorbéru	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$t_a$	střední teplota absorpční plochy	$^{\circ}C$
$t_v$	střední teplota vzduchu v době slunečního svitu	$^{\circ}C$
$I_{STR}$	dopadající tepelný tok	$W \cdot m^{-2}$
$S_k$	absorpční plocha kolektoru	$m^2$
$n_k$	počet kolektorů	ks
$Q_{s \text{ den}}$	teoreticky možná energie dopadající na plochu za den	kWh
$n$	počet dní v měsíci	den
$\eta$	účinnost solárního systému v jednotlivých měsících	-
$Q_{spotř \text{ vyt rok}}$	celková roční potřeba tepla na vytápění	kWh
$b_{hv}$	celková doba využívání tepelného čerpadla za rok	h

## ÚVOD

Obnovitelný zdroj energie je označení některých vybraných forem energie dostupných na Zemi získané primárně především z jaderných přeměn v nitru Slunce. Mezi další zdroje patří teplo zemského nitra a setrvačnost soustavy Země-Měsíc. S neustálými hrozbami o změnách klimatu a globálním oteplováním se státy snaží snižovat emise skleníkových plynů. Mezi tyto plyny patří i oxid uhličitý, který vzniká spalováním dusíkatých paliv. Lidstvo se tedy začíná obracet k obnovitelným zdrojům energie, kterým je i například využívání sluneční energie pro výrobu tepla a elektrického proudu. Jako obnovitelný zdroj tepelné energie se může brát také tepelné čerpadlo. Nejedná se o klasický obnovitelný zdroj, jelikož část energie je tomuto systému dodávána. Tepelné čerpadlo je však zařízení, které je schopné odebírat nízkopotenciální teplo okolnímu prostředí a převádět ho na vyšší teplotní hladinu. Toto teplo se využívá především na vytápění a na ohřev vody.

Je všeobecně známo, že oba systémy, jak tepelné čerpadlo, tak solární systém, mohou pracovat zcela samostatně jako rovnocenné tepelné zdroje. Účinnost, (respektive topný faktor) obou systémů je závislá na vstupních parametrech. S ohledem na rostoucí význam těchto zdrojů je tato práce zaměřena na dva zdroje energie – solární systémy a tepelné čerpadlo, jejichž provoz je energeticky výhodný a je možné je účelně spojit do jednoho systému. Jako výhodné řešení se jeví možnost využívat v zimních měsících solární systém tak, aby pomáhal zvyšovat teplotu na vstupu do tepelného čerpadla. Na výstupu ze solárního systému by v takovém případě postačovala nižší teplota, ale účinnost celého systému by byla vyšší. Zvýšení vstupních parametrů je v této práci také počítáno pomocí akumulace přebytečné energie v letních měsících do zemních vrtů. V zimě pak tepelné čerpadlo využívá vyšší teplotu z těchto vrtů a pracuje s vyšším topným faktorem.



# **1 SOLÁRNÍ SYSTÉMY PRO OHŘEV UŽITKOVÉ VODY**

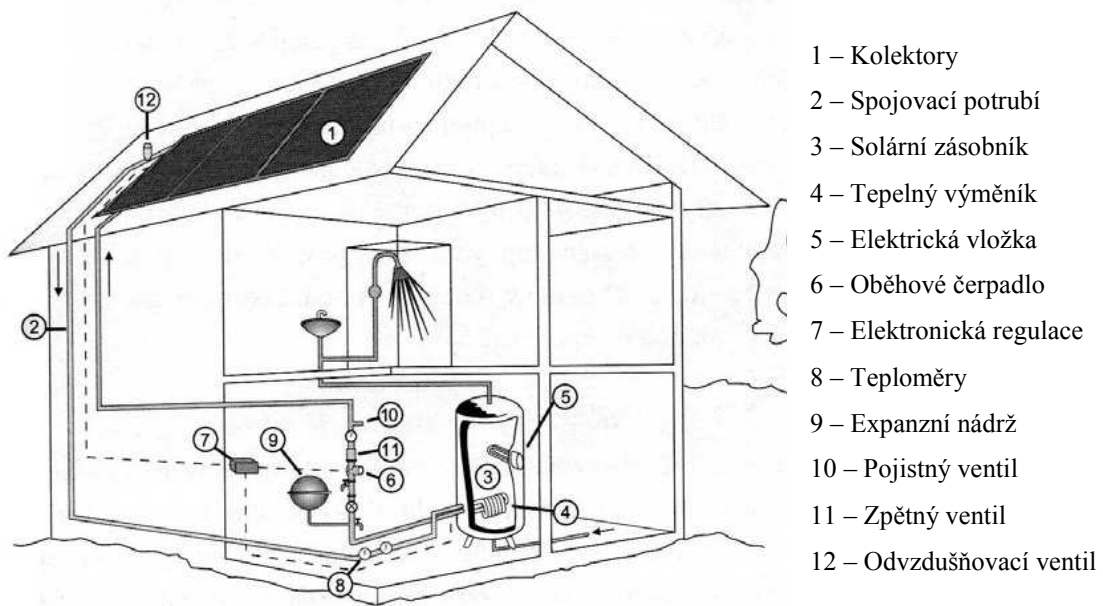
V našich klimatických podmínkách jsou solární systémy vhodnou alternativou pro sezónní ohřev vody a vhodným doplňkem pro celoroční ohřev vody. Instalováním a správným dimenzováním solárního systému se dá ročně ušetřit až 75 % nákladů na ohřev TUV. Z jednoho metru čtvereční kolektorové plochy se dá průměrně získat kolem 550 kWh za rok. Poté se počítá s metrem čtverečním kolektorové plochy na ohřev 40 až 50 l vody na teplotu 50 °C.

Před navržením solárního systému si můžeme vybrat buď otevřený nebo uzavřený kolektorový okruh. V otevřeném okruhu je teplonosnou kapalinou voda, která se mísí s vodou v zásobníku. Na rozdíl od uzavřeného okruhu, kde se teplonosná kapalina nemísí s vodou v zásobníku. U solárních systémů na ohřev TUV je zakázáno používat otevřený kolektorový okruh, ale výhodně se tento okruh používá v letních měsících na ohřev vody v bazénu nebo venkovních sprch.

Další možné rozdělení je podle cirkulace teplonosné kapaliny. Systémy, kde je cirkulace kapaliny přirozeně vyvolána rozdílem teplot, se nazývají samotížné. Systémy, kde se používá k pohybu kapaliny čerpadlo, jsou systémy s nuceným oběhem. V prvním případě je zásobník teplé vody nad úrovní solárních kolektorů. Zabezpečení proti přetlaku je řešeno otevřenou nádobou v horní části kolektorového okruhu. V druhém případě jsou kolektory nad zásobníkem vody a je zde pro bezpečnost přidána expanzní nádrž a pojišťovací ventil.

Další rozdělení je podle tepelných zdrojů, zde se solární systémy dělí na monovalentní nebo vícevalentní. U monovalentních systémů je jako zdroj tepla použit jen solární okruh u vícevalentních je k solárnímu okruhu přidán jeden nebo více dalších zdrojů tepla (plynový, kapalinový kotel, kotel na tuhá paliva, elektrokotel). Monovalentní systém nám ohřeje vodu jen za jasného počasí, většinou jen při sezónním ohřevu. Proto pro celoroční ohřev vody raději použijeme solární systém jako přehřev vody a systém doplníme kotlem na ohřev vody v zimním období nebo při déle zatažené obloze.

Solární systém skládáme z jednotlivých komponent primárního okruhu, jak je uvedeno na obr. 1.1



Obr. 1.1 Solární systém s nuceným oběhem kapaliny [13]

## 1.1 Kolektory

Kolektor je nejdůležitější prvek solárního systému. Množství absorbované a vyzářené energie záleží na konstrukci kolektoru. Slouží k zachycování energie a k převodu této energie na teplo, kterým se zahřívá teplotonosná tekutina. Kolektory by měly vykazovat vysokou absorpci slunečního záření, co nejnižší emisivitu dlouhovlnného záření a malou odrazivost. Musí být odolné proti špatným povětrnostním podmínkám, musí odolávat korozi a měly by umožnit snadnou montáž. Pracuje na principu tzv. skleníkového efektu, kdy sluneční záření které pronikne průhledným krytem, dopadá na absorbér. Ten záření pohlcuje a zahřívá teplotonosné médium. Absorbérem rozumíme většinou plochou desku, jež by měla mít vysokou schopnost absorpce (být co nejtmavší) a přitom co nejnižší koeficient emise. Sluneční záření se v něm mění na teplo a převádí se do teplotonosného média (voda, vzduch). Protože jsou kolektory umístěny venku v dosahu slunečního záření, jsou také vystaveny všem nepříznivým vlivům proměnlivého počasí. Velká pozornost a péče se tedy musí věnovat konstrukci, výrobě, montáži a údržbě. Konstrukce kolektorů je kompromisem mezi teoretickými poznatky, výrobními možnostmi a celkovou ekonomickou efektivností slunečních systémů. Někdy se většího výsledného efektu dosáhne s jednoduchými kolektory, které sice mají menší účinnost, ale jsou laciné, v provozu spolehlivé a mají dostatečně dlouhou životnost, než

s kolektory s největší účinností (např. koncentrující a vakuované kolektory), které jsou velmi drahé a navíc vyžadují složitá a drahá přídatná zařízení (např. natáčecí zařízení).

Kolektory můžeme dělit do třech základních skupin:

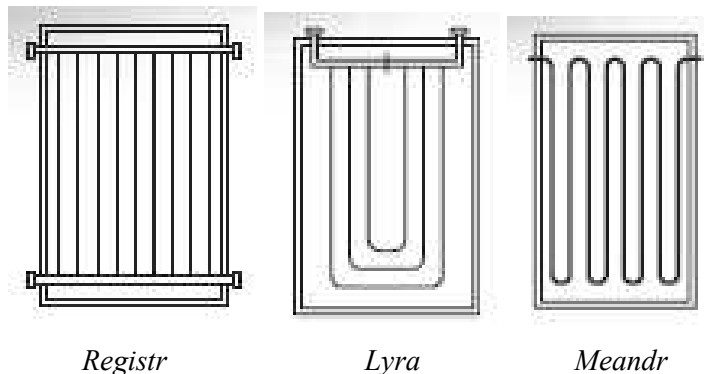
- Ploché
- Ploché vakuové
- Vakuové trubicové

### 1.1.1 Ploché kolektory

Ploché kolektory mají absorpční plochu stejně velikou jako čelní plochu, kterou procházejí sluneční paprsky. Podle druhu ohřívání média se dělí na kolektory kapalinové a kolektory vzduchové. Ploché kolektory jsou nejpoužívanějšími v solárních systémech, zachycují jak přímé, tak nepřímé sluneční záření a jsou poměrně málo citlivé na směr slunečních paprsků. Instalují se proto ve stálé poloze. Z konstrukčního hlediska jsou jednodušší než jiné typy kolektorů, a proto jsou i mnohem levnější. Jejich základní části jsou vana kolektoru s tepelnou izolací, teplovodivé potrubí, absorbér a krycí sklo.

Vana kolektoru je většinou ze slitiny hliníku lisována z jediného plechu. Díky tomu odolává korozi a vnikání vlhkosti. Ve vaně je uložena izolace z minerálních vláken silná 40 mm. Dále jsou na vaně kolektoru úchyty pro uchycení kolektoru na střeše nebo na nosné konstrukci.

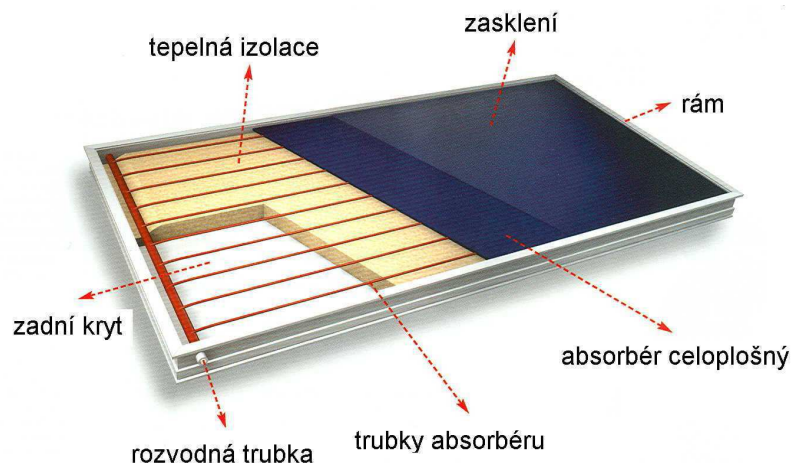
Teplovodivé potrubí je nejčastěji vyrobeno z hliníku, oceli nebo speciálně upravené mědi. Pod absorbérem může mít potrubí různé geometrické uspořádání.



Obr. 1.2 Geometrické uspořádání potrubí kolektoru [10]

Absorbér je u plochých kolektorů tvořen měděným plechem tloušťky 0,2 mm, na kterém je nanášena tenká vrstva 0,0001 mm selektivního povrchu.

Krycí sklo kolektoru by mělo propouštět krátkovlnné sluneční záření a naopak odražené dlouhovlnné zadržet. Kolektor kryje i proti povětrnostním vlivům. Speciálně pro kolektory je vhodné bor-silikátové bezpečnostní sklo o tloušťce 3 – 6 mm. Někteří výrobci doplňují tato skla vrstvičkou teflonu pro zlepšení zachytu odraženého záření. Někdy se pro snížení tepelných ztrát používají dvě krycí skla, ty pak ale mají vyšší odrazivost.



Obr. 1.3 Řez plochým kolektorem [10]

### 1.1.2 Ploché vakuové kolektory

Jsou obdobou plochých kolektorů, ale jako tepelná izolace je zde vytvořen podtlak. Součástí těchto kolektorů jsou výstužné trubičky, které zabraňují zborcení skla.



Obr. 1.4 Řez plochým vakuovým kolektorem [10]

### 1.1.3 Vakuové trubicové kolektory

Velkou výhodou těchto kolektorů jsou minimální tepelné ztráty a mohou pracovat i při velkých rozdílech teploty v kolektoru a teploty okolí. Dostávají se do popředí hlavně při celoročním použití na ohřev vody a přitápění. Existují dva druhy vakuových trubicových kolektorů:

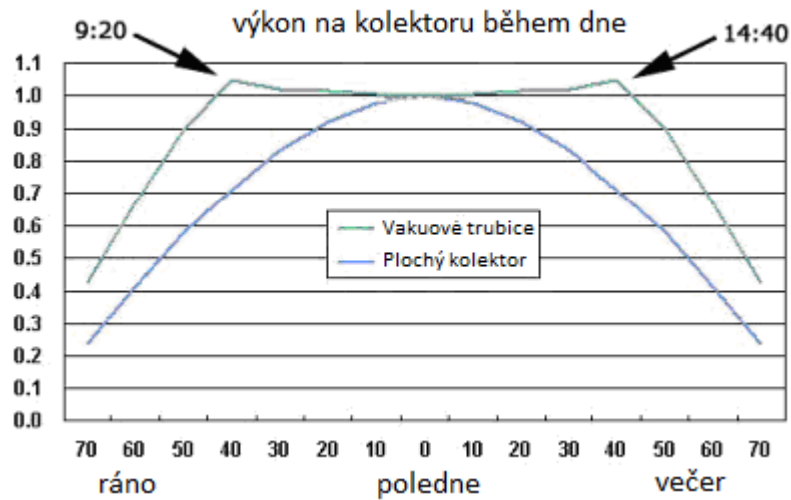
U – pipe obsahují trubku ve tvaru U z mědi. Tento profil je vložen do skleněné trubičky a je opatřen selektivní vrstvou. Celý systém je vakuovaný.

Heat – pipe (kondenzační vakuové kolektory). Tyto kolektory fungují na principu vypařování a kondenzaci teplotnosné látky. Uvnitř skleněné trubice je měděná trubička s teplotnosnou kapalinou, která má nízkou teplotu vypařování. V horní části kolektoru je tepelný výměník. Kapalina se odpaří a jako pára stoupá k výměníku, kde předá teplo proudící kapalině, kondenzuje a vrací se jako kapalina na dno trubičky.

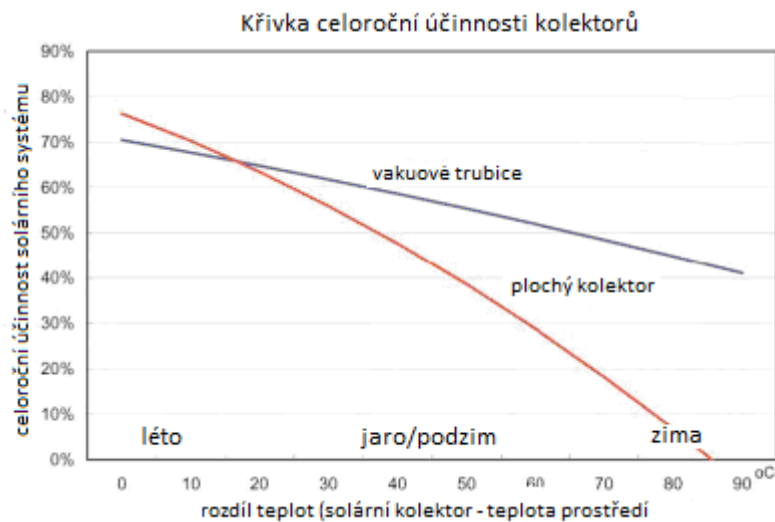


Obr. 1.5 Vakuové trubicové kolektory a) U – pipe, b) Heat – pipe [10]

Srovnáme-li ploché a vakuové kolektory z hlediska jejich využitelnosti v zimním období a jejich cenou, musíme jednoznačně stanovit, že pro použití v malém solárním systému na ohřev vody je vhodnější plochý kolektor. Zvláště máme-li v zimním období k dispozici další zdroj tepla. Cena vztažená na metr čtvereční vakuového kolektoru je totiž ve srovnání s plochým trojnásobná, přitom bereme v úvahu použití o 20 % menší plochy vakuových kolektorů na absorpci stejného množství energie. Při ohřevu užitkové vody a přitápění bychom naopak měli zvážit volbu vakuových kolektorů.



Obr. 1.6 Srovnání výkonu na kolektoru během dne [6]



Obr. 1.7 Srovnání účinnosti plochého kolektoru a vakuové trubice přes rok [6]

## 1.2 Solární zásobníky

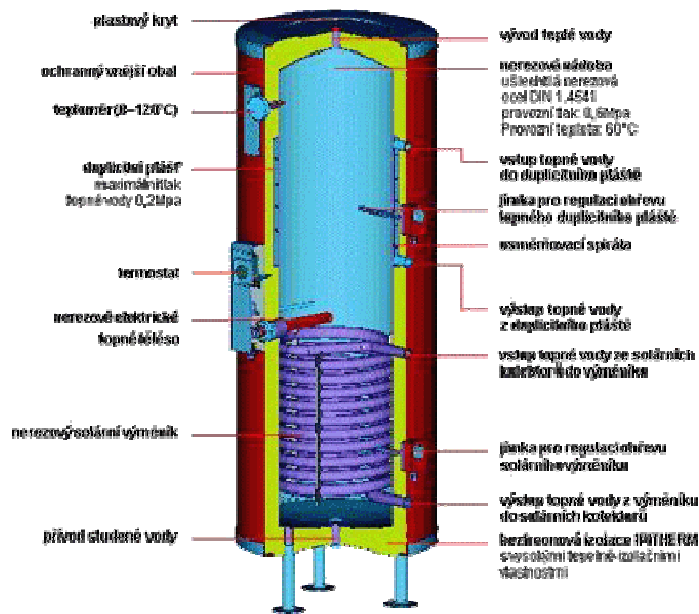
Přívod tepla ze slunečního záření není plynulý, ale probíhá v ročních a denních cyklech. Přitom se většinou přívod energie časově nekryje se spotřebou. Největší spotřeba pro vytápění budov je v zimním období, kdy však kolektory zachytí jen velmi málo slunečního záření. Je tedy zřejmé, že nezbytnou součástí slunečních vytápěcích systémů musí být také zásobník, v němž se teplo zachycené kolektory v době nadbytku slunečního záření akumuluje pro odběr v době, kdy slunce nesvíti.

V solárním zásobníku se předává tepelná energie zachycená kolektory ohřívané užitkové vodě pomocí tepelných výměníků. Tyto výměníky mohou být z oceli nebo mědi. Trh

nabízí výměníky trubicové hladké nebo žebrované a ploché. Pro ohřev teplé užitkové vody jsou nejvhodnější měděné hladké trubicové.

Je možné vybrat zásobník s jedním nebo dvěma výměníky, případně doplněný elektrospirálou. Pro systém ohřevu užitkové vody po celý rok je vhodné volit zásobník se dvěma výměníky, kdy solární systém ohřívá vodu při jasné obloze a zbytek energie se doplňuje z dalšího klasického zdroje.

Důležitým úkolem je zvolit vhodnou velikost zásobníku. Ideální by bylo akumulovat teplo zachycené v letním období pro odběr v zimě. Pro tuto dlouhodobou akumulaci by však byl nutný příliš velký zásobník a zařízení by bylo velmi drahé. Akumulaci energie, která se zachytí v letním období se v této práci řeší v bodě 3 a počítá v bodě 4 jiným způsobem. Dobrých výsledků se zásobníkem lze dosáhnout při krátkodobé akumulaci tepla. Zachycenou energii lze překlenout několikadenní periodu s nepříznivým počasím bez slunečního svitu. V našich středoevropských podmínkách je možno počítat se čtyřdenní až pětidenní akumulací tepla pro vytápění.



Obr. 1.8 Solární zásobník [6]

### 1.3 Regulace solárního systému

Regulace solárních systémů má za úkol zapínání a vypínání oběhového čerpadla. Při potřebě reguluje průtok teplotnosné kapaliny solárním okruhem. Náročnější regulace určují

priority ohřívání u víceokruhových systémů. Při překročení kritických teplot řeší možné vybíjení zásobníků.

Mezi nejjednodušší řízení solárního systému patří regulace na základě rozdílů teplot. Jedna teplota je snímána na dně zásobníku a druhá v horní části kolektorů. Oběhové čerpadlo sepne, když je tento rozdíl teplot okolo šesti stupňů.

Náročnější regulace je na základě snímání dvou teplot a intenzity slunečního záření. Tato regulace navíc porovnává intenzitu záření, která bývá nastavována na  $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Nejvhodnější regulace pro solární systém na celoroční ohřev vody s použitím sekundárního zdroje energie je regulace se třemi vstupy (spodní a horní část solárního zásobníku a horní část kolektoru) a třemi výstupy (k oběhovému čerpadlu, do sekundárního zdroje, na trojcestný ventil).

## **1.4 Oběhové čerpadlo**

Studená teplotná kapalina je vytlačována oběhovým čerpadlem i s určitým přetlakem do kolektorů v solárním okruhu s nucenou cirkulací. Jeho vlastnosti a konstrukce tedy záleží na výšce mezi zásobníkem a kolektory, na viskozitě kapaliny a na ztrátě celého systému ( kolektorů, spojovacího potrubí, tvarovek, ventilů atd.)

Oběhová čerpadla jsou klasickou součástí solárních jednotek. Jsou vybavena teploměry, pojistným ventilem, průtokoměry, zpětným ventilem a expanzní nádrží. Teploměry mívají rozsah teplot  $10 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$  a jsou většinou bimetalové. Zpětný ventil je v solárním okruhu velmi důležitým prvkem, jelikož brání reverznímu oběhu a tím nočnímu vybíjení kolektorů. Tepelná roztažnost teplotné kapaliny je vyrovnávána expanzní nádrží. To je možné díky gumové membráně, která má z jedné strany teplotnou kapalinu a z druhé strany plyn. Pojistný ventil je poslední záchrana při přehřátí solárního systému, kdy se rychle odpaří teplotná kapalina a mnohonásobně zvětší svůj objem. V tu chvíli se pojistný ventil otevře a teplotnou kapalinu zachytíme do připravené nádoby.

## **1.5 Teplotná kapalina**

Teplotná kapalina přenáší teplo z kolektorů do zásobníku. Voda je využívána u sezónních systémů, protože má pro přenos tepla ideální vlastnosti jako je vysoká měrná



tepelná kapacita, dobrá viskozita a zdravotní nezávadnost. V systémech s celoročním provozem ji nejde použít, neboť její bod tuhnutí je při teplotách pod 0 °C.

Pro celoroční provoz by kapalina měla mít tyto vlastnosti:

- Nízký bod tuhnutí (-25 °C)
- Co největší bod varu
- Viskozitu podobnou vodě a co největší měrnou tepelnou kapacitu
- Nehořlavost
- Metodičnost a biologickou odbouratelnost
- Chemická stálost
- Hygienická nezávadnost
- Inhibiční účinky proti korozi
- Přiměřená cena

Teplonosné nemrznoucí kapaliny, které se vyskytují na trhu, jsou na bázi propylenglykolu, glykolové směsi, alkoholu nebo silikonového oleje.

## **2 TEPELNÁ ČERPADLA**

Princip tepelného čerpadla byl popsán již v 19. století anglickým fyzikem lordem Kelvinem. Jedno z prvních tepelných čerpadel bylo realizováno v roce 1927 ve Stockholmu. K většímu rozvoji však nedošlo, důvodem byly nevýhodné provozní a ekonomické náklady ve srovnání s ostatními topnými systémy.

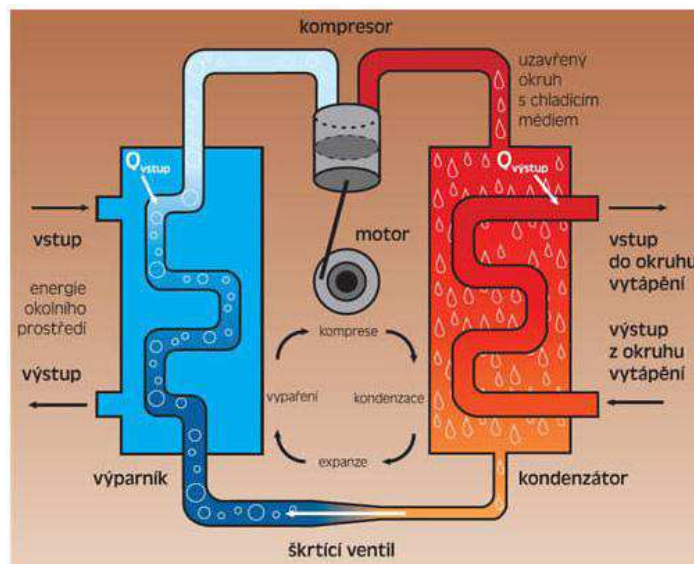
K většímu rozvoji došlo v 80. letech a tento rozvoj trvá víceméně dodnes. V této době si lidé začali uvědomovat, že zásoby paliv na zemi nejsou nevyčerpatelné, ceny paliv rostly a bylo nutno se porozhlédnout po jiných zdrojích energie. Dalším důvodem, v dnešní době velmi aktuálním, bylo také ekologické hledisko, které bylo dříve opomíjené. Technický pokrok měl na rozvoj čerpadel také svůj podíl. Došlo k velkému pokroku ve vývoji kompresorů a teplonosných látek, čímž se velmi zvýšily parametry tepelného čerpadla a snížila se tak ekonomická nevýhodnost.

## 2.1 Princip tepelného čerpadla

Tepelná čerpadla řadíme mezi alternativní zdroje energie. Teplo, které odebírají z okolního prostředí (voda, půda nebo vzduch), převádí na vyšší teplotní hladinu. Toto teplo poté umožňují využít pro vytápění nebo pro přípravu teplé vody.

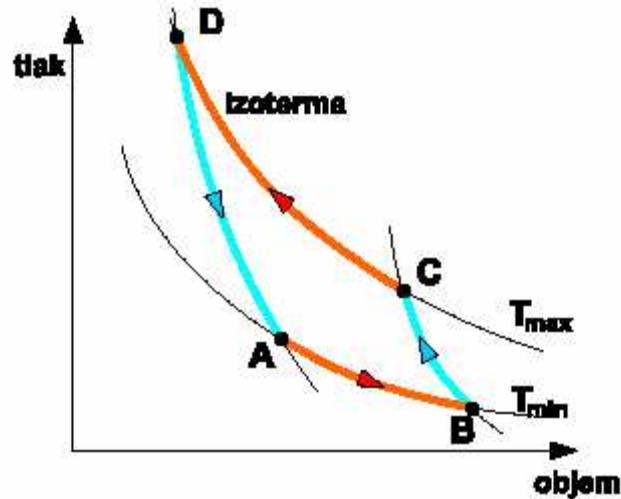
Velké množství tepla je obsaženo v okolním prostředí (země, voda, vzduch), ale nízká hladina tohoto tepla neumožňuje přímé využití pro vytápění nebo ohřev vody. Pokud toto teplo chceme využít, je nutné jej převést na vyšší energetickou hladinu. Tepelné čerpadlo přečerpává teplo z nižší teplotní hladiny na vyšší, podobně jako vodní čerpadlo přečerpává vodu z nižší hladiny na vyšší.

Tepelné čerpadlo je složeno z několika částí, jsou to výparník, kondenzátor a škrtkový ventil. Tímto systémem obíhá pracovní látka, např. glykol, plyny R 410A, R407C apod. Ve výparníku pracovní látka odebírá teplo např. podzemní vodě, která je tak ochlazována. Toto přijaté teplo pracovní látka spotřebovává na své vypařování. Pára je odsávána a stlačována v kompresoru, tím se zvyšuje její tlak zvyšuje se její teplota – páry pracovní látky jsou přečerpány na vyšší úroveň. Stlačená pára je odváděna do kondenzátoru, kde své teplo předává ohříváné topné vodě. Během tohoto procesu pára mění své skupenství na kapalnou. Přes škrtkový ventil je kapalná pracovní látka odváděna zpět do výparníku, kde expanduje na původní nízký tlak. Celý princip se neustále opakuje a je vidět na obr. 2.1



Obr. 2.1 Princip tepelného čerpadla [11]

Jde o levotočivý Carnotův cyklus. Tento oběh navrhl Sadi Carot, jedná se o vratný cyklus složený ze dvou adiabatických a dvou izotermických dějů.



Obr. 2.2 PV diagram Carnotova cyklu [11]

- AB – přívod tepla  $Q_{AB}$  z nízkopotenciálního zdroje tepla při konstantní teplotě izotermická expanze
- BC – stlačení pracovní látky v kompresoru, adiabatická komprese
- CD – odvod užitečného tepla  $Q_{CD}$ , izotermická komprese
- DA – adiabatická expanze

Plocha ABCDA je dodávaná energie do cyklu

Pro realizaci oběhu je nutné přivedení nízkopotenciálního tepla  $Q_{AB}$  při teplotě  $T_{min}$ . Získané užitečné teplo  $Q_{CD}$  při teplotě  $T_{max}$  bude  $Q_{CD} = A + Q_{AB}$

Energetický efekt není je vyjádřen pomocí topného (chladicího) faktoru

$$\text{Topný faktor} = \frac{\text{odvedené teplo do vytáp. prostředí (CD)}}{\text{dodaná práce (ABCD)}} > 1 \quad (2.1)$$

$$\text{Chladicí faktor} = \frac{\text{přivedené teplo z chlazeného prostředí (CD)}}{\text{dodaná práce (ABCD)}} > 1 \quad (2.2)$$

## 2.2 Topný faktor

Efektivnost pracovního cyklu tepelného čerpadla vyjadřuje topný faktor, který udává poměr vyprodukovaného tepla a spotřebované energie (2.3). Obvykle se topný faktor pohybuje kolem 3. To znamená, že získáme 9 kW tepelné energie na 3 kW spotřebované energie kompresorem. Je to tedy bezrozměrné číslo, které čím je vyšší, tím je efektivnější provoz tepelného čerpadla.

Topný faktor  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \frac{Q_k}{P} \quad (2.3)$$

kde  $\varepsilon$  [-] topný faktor

$Q_k$  [W] topný výkon tepelného čerpadla

$P$  [W] elektrický výkon potřebný k provozu tepelného čerpadla

Okamžitá hodnota topného faktoru se neustále mění, protože je tato hodnota závislá na provozních podmínkách. Pro celkové hodnocení se tedy používá průměrný roční topný faktor. Tento roční faktor je poměr celoroční produkce tepla a celkové roční spotřeby (2.4).

Pro výpočet topného faktoru  $\varepsilon$  lze použít i tento vztah:

$$\varepsilon = \frac{T_K}{T_K - T_O} \cdot K \quad (2.4)$$

kde  $\varepsilon$  [-] topný faktor

$T_K$  [K] kondenzační teplota (topného systému)

$T_O$  [K] vypařovací teplota (teplota zdroje)

$K$  [-] korekční součinitel respektující skutečný oběh ( $K = 0,4$  až  $0,6$ )

Velikost topného faktoru je ovlivněna teplotou zdroje a teplotou nosné látky. Čím vyšší je teplota zdroje (vzduch, voda, půda) a čím nižší bude teplota nosné látky (topná voda, vzduch) tím vyšší bude topný faktor. Podle toho tedy vidíme, že nejvýhodnějším zdrojem tepla je podzemní voda, která má stálou a poměrně vysokou teplotu po celý rok. Dále mají vliv na topný faktor chemické vlastnosti chladiva a konstrukční provedení tepelného čerpadla.

## 2.3 Části tepelného čerpadla

### 2.3.1 Kompresor

Hlavní částí tepelného čerpadla je kompresor. Stlačuje chladicí prostředek v okruhu tepelného čerpadla, čímž přivádí do systému mechanickou práci. Kompresory se konstruují v různých provedeních a velikostech.

**Plněhermetické kompresory** nacházejí uplatnění pouze u elektrických tepelných čerpadel. Tady jsou motor a kompresor spolu umístěny v hermeticky uzavřeném pouzdru. Ke ztrátám chladicího prostředku normálně nedochází. U chladniček a mrazniček používaných v domácnostech přichází v úvahu jenom tento konstrukční typ.

U **polohermetických kompresorů** jsou elektromotor a kompresor uzavřeny v utěsněném pouzdru, takže těsnění hřídele jako u otevřeného kompresoru odpadá. Motor, kliková skříň i ventilová deska jsou zakryty víky a jsou tak přístupné pro opravy. Těsněním víka může dojít k malým ztrátám chladicího prostředku. Takovými kompresory se často vybavují větší tepelná čerpadla a chladicí zařízení.

**Kompresory v otevřeném provedení** se skládají pouze z kompresoru, veškeré přípoje a hnací hřídel jsou volně dostupné. Pohon se zpravidla provádí klínovými řemeny. U těsnění hřídele vznikají ztráty chladicího prostředku. Pro pohon pomocí spalovacího motoru přicházejí v úvahu pouze otevřené kompresory. Při elektrickém pohonu se v nových zařízeních již otevřené kompresory nepoužívají.

Kompresory jsou mazány speciálním olejem pro chladicí stroje, který se v oběhovém okruhu dobře snáší s chladicím prostředkem. Těsněním hřídele může docházet k malým únikům oleje a chladicího prostředku.

### 2.3.2 Kondenzátor

Kondenzátor je výměník tepla vyrobený z mědi nebo ušlechtilé ocele, který během kondenzace chladicího prostředku přenáší uvolněné teplo do topného kruhu. Konstrukce se řídí podle toho, zda jako nosič tepla je v topném okruhu použit vzduch nebo voda.

**Kondenzátory používající jako nosič tepla vzduch** jsou konstruovány většinou jako lamelové, podobné automobilovému chladiči, často se používají u chladicích zařízení pro odvod tepla do okolního vzduchu. Pro použití ve spojení s teplovzdušným nebo

hypokaustickým vytápěním přijdou takové kondenzátory velmi vhod, protože eliminují mezistupeň vodního okruhu s dodatečnými teplotními rozdíly, který sám bez užitku spotřebovává určitý díl energie.

**Koaxiální kondenzátory** se skládají z jedné nebo více paralelně zapojených měděných trubek v přesunutém měděném opláštění. Z důvodu úspory místa je toto zařízení svinuto do spirály. Pára chladicího prostředku (horký plyn) proudí opláštěním, a sice v protisměru k vodě proudící vnitřní trubicí. Pro zvětšení výměňkové plochy tepla mohou být vnitřní trubice vybaveny žebry nebo lamelami. Koaxiální kondenzátory se instalují naležato, a to tak, že kondenzující chladicí prostředek odtéká z níže položeného výstupu.

**Hadovité kondenzátory** jsou konstruovány jako kompaktnější a skládají se z hadů žebrovaných měděných trubek, které jsou uloženy ve válcovité, svisle stojící nádobě. Také tady protéká topná voda hadem z měděných trubek, chladicí prostředek je veden v pouzdru po povrchu žebrovaných trubek.

### **2.3.3 Expanzní ventil**

Další důležitou součástí tepelného čerpadla je expanzní ventil. Ten zajišťuje potřebný pokles tlaku a tím i teploty v okruhu tepelného čerpadla. Slouží k řízení množství vypouštěného teplonosného kondenzátu do výparníku. Tím přímo určujeme výkon celého systému. Vzhledem k tomu, že se jedná o uzavřený systém, musí kompresor stlačit za stejný čas stejné množství chladiva, které projde expanzním ventilem. Vlivem snížení tlaku za expanzním ventilem dojde ke snížení teplotní úrovně. Ve většině případů je nastaven přímo z výroby na konstantní tlak a jeho korekci lze regulovat škrťacím šroubem, ale pouze v malém rozsahu. Konstrukční provedení je víceméně ustálené a u různých výrobců se liší pouze detaily.

### **2.3.4 Výparník**

Výparník stejně jako kondenzátor slouží k výměně tepla, tentokrát však mezi okolním prostředím a chladivem, které přijímá tzv. výparné teplo. Konstrukce výparníků musí odolávat vlivům použitého chladiva nejen z hlediska tlaků, ale také z hlediska chemického a korozivního působení. Konstrukční materiály jsou totožné jako u kondenzátoru. Podle způsobu použití můžeme rozdělit výparníky na tyto typy:

**S deskovými výměníky** – jsou stejné jako na u kondenzátoru. Tepelná energie je k těmto výparníkům přivedena z vrtu nebo ze studny apod.

**Lamelové** – tento typ výparníku se používá pro odebrání tepla ze vzduchu. Je tvořen sadou trubek, na kterých jsou nalisovány lamely pro zvětšení teplosměnné plochy. K tomuto výparníku se ochlazovaný vzduch přivede vzduchotechnikou nebo je umístěn ve venkovním prostředí. Dostatečný přísun vzduchu je zajištěn ventilátorem.

**Tvořené uzavřenými smyčkami** – tento typ je vyráběn z měděných trubek, které jsou již při výrobě plněny chladivem a dimenzovány na daný výkon tepelného čerpadla. Teplosměnnou plochu již nelze dodatečně zvětšit.

### 2.3.5 Chladivo

Chladivo je látka, která je schopná přenášet teplo z okolního prostředí do topného systému. Úloha chladiva je jeho odpaření při nízkém tlaku odběrem tepla z okolí a předání tohoto tepla při kondenzaci po stlačení. Hlavním požadavkem chladiva je velice nízký bod varu, aby byla reálná změna skupenství chladiva. Dříve se na výrobu chladiv využívaly freony, které narušují ozónovou vrstvu. Dnes se používají látky, které ozónovou vrstvu nepoškozují. Tyto látky jsou uvedené v tab. 2.1

Typ chladiva	Vlastnosti
čpavek NH <sub>3</sub> (R 717)	v mrazírnách a na zimních stadionech
dvojice čpavek - voda (NH <sub>3</sub> - H <sub>2</sub> O)	v sorpčních a hybridních zařízeních
freon R 134a	v případech kde se dříve používal R 12
R 404a	směs bezchlorovaných freonů R 125, R 134a, R 143a v poměru 44/4/52 %
R 407a	směs bezchlorovaných freonů R 32, R 125, R 134a v poměru 20/40/40 %
R 407c	směs bezchlorovaných freonů R 32, R 125, R 134a v poměru 23/25/52 %
R 416a	směs bezchlorovaných freonů R 125, R 32 v poměru 50/50 %
R 507	směs R 125, R 143a v poměru 50/50 %
R 290	propan a R 600A (izobutan), zatím zkušebně

Tab. 2.1 Teplonosné látky používané v kompresorových a hybridních systémech [4]

### 2.3.6 Regulace

Regulační prvky jsou instalovány tak, aby regulace tepelného čerpadla byla komfortní a pro uživatele co nejjednodušší. Teploty v obou výměnících sledujeme pomocí termostátů

a tlak ve vysokotlaké a nízkotlaké části chladicího okruhu hlídají tlaková čidla. Tyto prvky jsou napojeny na centrální regulační systém s řídicí mikroprocesorovou technikou. Všechny snímané informace jsou vyhodnocovány a zobrazovány na displeji. Tento systém pro vyhodnocování dává příkazy k chodu expanzního ventilu a kompresoru a to vždy tak, aby množství chladiva potřebného k přenosu výkonu bylo stlačeno kompresorem za stejnou časovou jednotku a totéž teplo za tutéž časovou jednotku musí být předáno ve výměníku kondenzátoru a získáno zpět ve výparníku.

### **2.3.7 Sběrač kondenzátu**

Sběrač kondenzátu je malá tlaková nádoba s průhledítkem (stavoznak), která slouží k shromažďování chladiva vycházejícího z kondenzátoru. Současně se může jednat také o filtr pro odlučování oleje, lze tedy sledovat i úbytek oleje v kompresoru. Po tlakových zkouškách se ve výrobě do systému vpustí přesně určené množství chladiva a systém se hermeticky uzavře. Pokud dojde k úniku chladiva, systém přestane fungovat. Jen u agregátů, které jsou skládány u zákazníka, kde je nutno vytvořit vyvážený systém, se chladivo napouští až u kupujícího, jsou průhledítka ke kontrolování množství nezbytnou součástí zařízení.

### **2.3.8 Tepelná izolace**

Izolace se samozřejmě týká teplých a horkých dílů, aby se snížily tepelné ztráty, ale také těch částí, které jsou v provozu chladnější než okolní vzduch. Budou-li mít teplotu pod nulou, bude se na nich tvořit námraza a bude-li se jejich povrchová teplota pohybovat pod teplotou rosného bodu, bude se na nich srážet voda z ovzduší. Jde o části primárního okruhu tepelného čerpadla a o potrubí.

## **2.4 Rozdělení tepelných čerpadel**

Dle konkrétních podmínek uživatele je možné instalovat tepelná čerpadla s různými kombinacemi vstupní a výstupní energie. Podle zdroje nízkopotenciálního tepla a druhu ohřívání média se tepelná čerpadla rozdělují:

- Systém země/voda – plocha



- Systém země/voda – vrt
- Systém země/voda – větrací vzduch
- Systém země/voda – vodní plocha
- Systém voda/voda
- Systém vzduch/voda
- Systém vzduch/vzduch

### 2.4.1 Země/voda - plocha

Tepelné čerpadlo odebírá teplo z plochy zahrady. Plastové tyče naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem, jsou uloženy pod povrchem zahrady.

Čerpadlo s plošným kolektorem odebere ze země pod sebou přibližně 2 % energie. Zbývajících 98 % odebere z vrstvy zeminy nad sebou, kde se akumuluje solární energie ze slunce. Dá se říci, že plošný kolektor je tak v podstatě sluneční kolektor, doplněný o obrovský hliněný akumulátor tepla s ročním cyklem nabíjení a vybíjení. Tento kolektor odebere za rok jen asi 2,5 % dopadající sluneční energie. Na jaře a v létě je energie dodávaná ze slunce tak vysoká, že kolektor rychle regeneruje a tepelné čerpadlo současně může dodávat teplo pro ohřev teplé vody nebo třeba pro bazén. Tepelná čerpadla země/voda s plošnými zemními kolektory jsou nejlepší variantou pro běžné rodinné domy, které mají k dispozici vhodný pozemek.



Obr. 2.3 TČ Země/voda – plocha [12]

**Výhody:**

- Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem má nízké investiční náklady, které jsou skoro stejné jako u tepelných čerpadel odebírajících teplo ze vzduchu.
- Na rozdíl od tepelných čerpadel odebírající teplo ze vzduchu je spotřeba elektřiny u těchto čerpadel o 30 % nižší.
- Systém země/voda lze instalovat v porovnání s vrty velmi rychle a bez velkého papírování

**Nevýhody:**

- Systém země/voda s plošným kolektorem vyžaduje dostatečně velký pozemek, obvykle 200 až 400 m<sup>2</sup>.
- Zemina musí umožňovat provedení výkopů do potřebné hloubky.
- Rozmístění případných dalších staveb (bazén, garáž), je nutné znát předem, aby se jim plošný kolektor mohl vyhnout.

Druh půdy	Měrný výkon získaný z půdy [m <sup>3</sup> /kW]	Plocha výměníků pro TČ s topným faktorem	
		3 [m/kW]	3,5 [m/kW]
Suchá nezpevněná půda	10	66	71
Ulehlá vlhká půda	20 - 30	33 - 22	36 - 24
Vodou nasycené štěrky a písky	40	17	18

Tab. 2.2 Parametry půdního kolektoru [2]

**2.4.2 Země/voda – vrt**

Jedná se o tepelné čerpadlo, které odebírá teplo z hloubky pod povrchem zahrady. Vrt, který má průměr 12 až 16 cm, obsahuje plastovou sondu, která je naplněná nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem. Vrty jsou hluboké 80 až 150 m, dle potřeby se provede jeden nebo více vrtů. Tento typ tepelných čerpadel má nejnižší nároky na prostor uvnitř i vně domu.

Tepelná čerpadla s vrty se nejlépe hodí do oblastí s tvrdým podložím. V oblastech kde, se nacházejí do velké hloubky štěrky a písky, je vrtání obtížnější. U novostaveb, které mají jen velmi malý pozemek, je možné tyto vrty pro tepelné čerpadlo provést již před stavbou pod základovou deskou.

Vrty pro tepelná čerpadla provádí specializovaná firma, která obvykle zajišťuje také vyřízení potřebných povolení. Firmy jsou v této době vybaveny moderní technikou a dokážou vyvrtat vrty bez poškození zahrady a je tedy možné instalovat tepelná čerpadla s vrty i u stávajících objektů.



Obr. 2.4 TČ Země/voda – vrt [12]

#### **Výhody:**

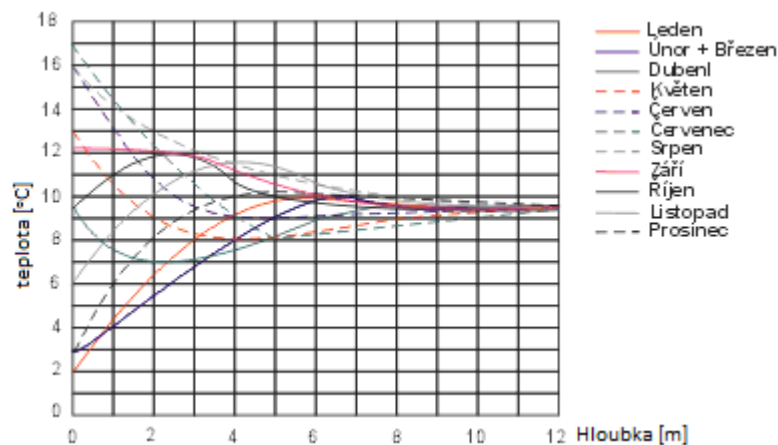
- Tepelné čerpadlo s vrty má vysoký topný faktor a stabilní výkon i při extrémně nízkých venkovních teplotách
- Spotřeba elektřiny je přibližně o 30 % nižší, než u tepelných čerpadel odebírajících teplo ze vzduchu
- Tepelné čerpadlo s vrtem lze díky malým nárokům na prostor realizovat u většiny objektů.
- Vrt je možné využít pro levné chlazení domu v letním období (pasivní chlazení, při kterém se využívá pouze vrt a nikoliv tepelné čerpadlo)

#### **Nevýhody:**

- Investiční náklady na pořízení vrtu jsou vysoké
- Nutnost vyřízení stavebního povolení

Hornina	Tepelná vodivost [W/(m.K)]	Měrný výkon [W/m]	Hloubka vrtu pro TČ s topným faktorem	
			3 [m/kW]	3,5 [m/kW]
Suché nezpevněné horniny	< 1,5	20	33	36
Pevné horniny nebo vodou nasycené	1,5 do 3	50	13	14
Pevné horniny s vysokou tep. vodivostí	> 3,0	70	9,5	10
Štěrk, písky suché	0,4	< 20	> 33	> 33
Štěrk, písky zvodněné	1,8 - 2,4	55 - 65	10 - 12	11 - 13
Hlíny a jíly vlhké	1,7	30 - 40	17 - 22	18 - 24
Vápenec masivní	2,8	45 - 60	11 - 15	12 - 16
Pískovec	2,3	55 - 65	10 - 12	11 - 13
Žuly	3,4	55 - 70	9,5 - 12	10 - 13
Čediče	1,7	35 - 55	12 - 19	13 - 20
Ruly	2,9	60 - 70	9,5 - 11	10 - 16

Tab. 2.3 Parametry pro dimenzování hloubky vrtu [2]



Obr. 2.5 Teplotní pole neporušené zeminy [13]

### 2.4.3 Země/voda – větrací vzduch

Kombinace využívání tepla odpadního vzduchu z domu a tepla z plošného kolektoru nebo vrtu. Tepelné čerpadlo odebírá část tepla ze zemního kolektoru a část z odpadního vzduchu. Pokud není potřeba vytápet nebo ohřívat vodu, je nadbytečné teplo z větracího vzduchu ukládáno v podzemních kolektorech. Teplota kolektoru je tedy díky tomu vysoká a tepelné čerpadlo pracuje celoročně s vysokým topným faktorem.



Obr. 2.6 TČ Země/voda – větrací vzduch [12]

#### Výhody:

- Minimální nároky na velikost zemního kolektoru. U nízkoenergetických domů postačí zemní kolektor s plochou 40 m<sup>2</sup>. Systém řízeného větrání domů je v tomto případě výrazně levnější než u klasických systémů s rekuperačními výměníky.

#### Nevýhody:

- Vhodné pouze pro nízkoenergetické domy.

### 2.4.4 Země/voda – vodní plocha

Tepelné čerpadlo odebírající teplo z vodní plochy. Na dně řeky, rybníka nebo jiné vodní plochy jsou uloženy plastové hadice naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi vodou a tepelným čerpadlem.

Pokud se poblíž domu nenachází vodní plocha, může se vybudovat a na budoucí dno rovnou uložit kolektor.



Obr. 2.7 TČ Země/voda – vodní plocha [12]

#### **Výhody:**

- Nízké provozní náklady a velmi nízké náklady na vybudování kolektoru, pokud je v okolí přírodní vodní plocha.

#### **Nevýhody:**

- Vhodné pouze pro objekty ležící v těsné blízkosti vodní plochy. Nutnost získání povolení od správce povodí.

### **2.4.5 Voda/voda**

Tepelné čerpadlo odebírá teplo ze spodní nebo z geotermální vody. Voda se obvykle čerpá ze studny do výměníku tepelného čerpadla a následně je vrácena zpět. Tepelné čerpadlo tohoto typu lze využít i pro využití odpadního tepla v technologických procesech.

Tepelná čerpadla voda/voda se doporučují instalovat ve větších obecních nebo komerčních objektech, kde lze zajistit bezproblémový pravidelný dozor a údržbu celého systému. V rodinných domech se tepelné čerpadlo vyplatí pouze tam, kde se v dostatečném množství vyskytuje opravdu kvalitní a snadno dostupná spodní voda.

V některých případech lze tepelná čerpadla voda/voda nahradit tepelným čerpadlem země/voda. Lze například použít výměník z plastových trubek, který je naplněn nemrznoucí směsí, místo čerpání vody přímo do tepelného čerpadla. Z výměníku pak energii tepelné čerpadlo odebírá stejně jako z vrtu nebo plošného kolektoru.



Obr. 2.8 TČ Voda/voda [12]

#### Výhody:

- Systémy voda/voda dosahují nejvyšších topných faktorů
- Investiční náklady jsou nižší v porovnání s tepelnými čerpadly s vrty
- Využití místních energetických zdrojů, kdy tepelné čerpadlo voda/voda využívá geotermální vodu nebo rekuperuje energii z výrobních procesů

#### Nevýhody:

- Využití je možné pouze v lokalitách s dostatkem spodní vody, nebo vhodným zdrojem geotermální či technologické vody
- Tepelná čerpadla voda/voda, ve většině případů pracují s otevřeným systémem, který vyžaduje pravidelnou údržbu filtrů a výměníků
- Náklady na servis jsou vyšší, než u ostatních typů tepelných čerpadel

### 2.4.6 Vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda, odebírá teplo z venkovního vzduchu. Vzduch se nasává přímo do tepelného čerpadla a získané teplo je použito pro ohřev vody v zásobníku teplé vody nebo pro ohřev vody v topném systému.

Tento typ tepelných čerpadel dosahuje největších úspor pokud je napojen na nízkoteplotní podlahové vytápění. Tepelné čerpadlo odebírající teplo ze vzduchu se nedoporučuje používat ve vyšších nadmořských výškách.



Obr. 2.9 TČ Vzduch/voda [12]

**Výhody:**

- Tepelná čerpadla vzduch/voda mají nízké provozní náklady v porovnání s plynovým nebo elektrickým topením
- Systémy vzduch/voda mají minimální nároky na prostor a instalují se jednoduše a rychle
- Systém vzduch/voda je velmi vhodný pro vytápění sezónních bazénů

**Nevýhody:**

- Tepelná čerpadla vzduch/voda mají vyšší provozní náklady než systémy země/voda
- Výkon a výstupní teplotu topné vody mají tepelná čerpadla vzduch/voda sníženu při nízkých venkovních teplotách
- Díky vyššímu namáhání kompresoru mají tepelná čerpadla odebírající teplo ze vzduchu menší životnost, než tepelná čerpadla odebírající teplo ze země nebo z vody.



Měsíc	Teplota [°C]	Vlhkost [g/kg]	Entalpie	
			[Wh/kg]	[kJ/kg]
Leden	-1,3	2,83	1,6	5,76
Únor	-0,1	2,97	2	7,33
Březen	4	3,6	3,7	13,4
Duben	9,1	4,57	5,7	20,64
Květen	14,2	6,36	8,4	30,21
Červen	17,6	7,97	10,5	37,82
Červenec	19,3	9,15	11,8	42,5
Srpen	18,7	8,9	11,5	41,32
Září	15	7,47	9,4	33,86
Říjen	9,3	5,63	6,5	23,5
Listopad	4,4	4,3	4,2	15,17
Prosinec	0,4	3,34	2,4	8,79
<b>Průměr</b>	<b>9,2</b>	<b>5,59</b>	<b>6,5</b>	<b>23,33</b>

Tab. 2.4 Průměrné teploty, vlhkost a obsah energie ve vzduchu [2]

### 2.4.7 Vzduch/vzduch

Tepelné čerpadlo odebírající teplo z venkovního vzduchu. Vzduch se nasává do venkovní jednotky tepelného čerpadla, kde se z něj získává teplo, které je dále použito pro ohřev vzduchu uvnitř vytápěné budovy. Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch dosahuje výrazně lepších topných faktorů než klasická tepelná čerpadla vzduch/voda a země/voda, protože toto tepelné čerpadlo ohřívá vzduch v místnosti přímo bez prostřednictví topného systému.

Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch se nejčastěji využívá pro doplnění domů a bytů vytápěných elektrickými přímotopy nebo elektrokotli. Toto tepelné čerpadlo dokáže u elektricky vytápěných domů snížit zásadním způsobem provozní náklady a to bez složitých stavebních úprav a vysokých investic. Dále se tento typ tepelných čerpadel velmi dobře uplatní na chatách a chalupách.



Obr. 2.10 TČ Vzduch/voda [12]

#### Výhody:

- Systémy vzduch/vzduch se vyznačují velmi rychlou a jednoduchou instalací
- Tepelná čerpadla vzduch/vzduch mají velmi nízké investiční náklady
- Kromě topení má tepelné čerpadlo i funkci odvlhčování a klimatizace
- Tepelné čerpadlo dokáže díky vestavěnému plasmaclusterovému filtru a ionizátoru vzduchu vyčistit vzduch uvnitř místnosti od virů, alergenů a dalších škodlivin.

#### Nevýhody:

- Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch má obvykle pouze jednu vnitřní jednotku
- Systém vzduch/vzduch není vhodný do domů a bytů s větším počtem malých místností
- Tímto tepelným čerpadlem není možné ohřívat teplou vodu

## 2.5 Druhy provozu tepelného čerpadla

Ekonomika provozu celého systému závisí na druhu provozu a regulaci tepelného čerpadla. Provozní doba tepelného čerpadla v průběhu roku by měla být s minimálním cyklováním, měla by v celé době svého provozu být vždy s co největší možnou hodnotou topného faktoru. Regulace musí zajistit připínání doplňkového zdroje jen když je opravdu potřeba, v teplotách pod teplotou bivalentního bodu by měla regulace preferovat ohřev topné vody před ohřevem TV. Teplota topné vody by měla být za daných klimatických podmínek vždy co nejnižší, proto je nutné jednoznačně mít řízený systém ekvitermní regulací.

**Monovalentní provoz**

Při tomto způsobu provozu zajišťuje pouze tepelné čerpadlo 100% potřeby tepla budovy. Není použit druhý zdroj tepla.

**Alternativně bivalentní provoz**

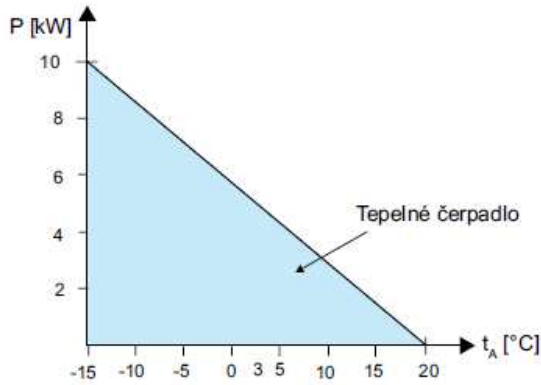
Tepelné čerpadlo bývá v provozu jen při venkovních teplotách nad bodem bivalence. V provozu je buď tepelné čerpadlo nebo doplňkový zdroj. Výkon tepelného čerpadla je pak dimenzován na výkon odpovídající bivalentnímu bodu. Výkon doplňkového zdroje se dimenzuje na celkovou tepelnou ztrátu stavby pro příslušnou výpočtovou venkovní teplotu. Čím bude teplota bivalence nižší, tím se bude tepelné čerpadlo celoročně více využívat. Může zde být jednoduchá regulace, ale ekonomický a ekologický užitek tepelného čerpadla bude menší než při paralelně-bivalentním provozu.

**Paralelně bivalentní provoz**

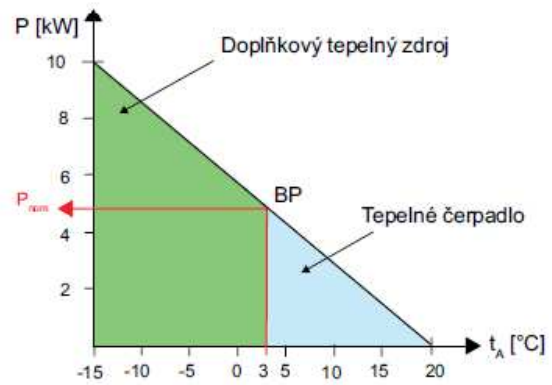
Tepelné čerpadlo pokrývá celé tepelné ztráty při venkovních teplotách nad bodem bivalence. Při nižších venkovních teplotách je v provozu tepelné čerpadlo současně s doplňkovým tepelným zdrojem. Výkon tepelného čerpadla je dimenzován na výkon odpovídající bivalentnímu bodu. Výkon doplňkového zdroje se dimenzuje na rozdíl celkové tepelné ztráty objektu pro příslušnou výpočtovou venkovní teplotu. Tepelné čerpadlo pokrývá velkou část roční potřeby tepla. Regulace teploty otopné vody musí být sladěna s regulací tepelného čerpadla. Ekonomický a ekologický užitek tepelného čerpadla je větší než při alternativně-bivalentním provozu.

**Částečně paralelně bivalentní provoz**

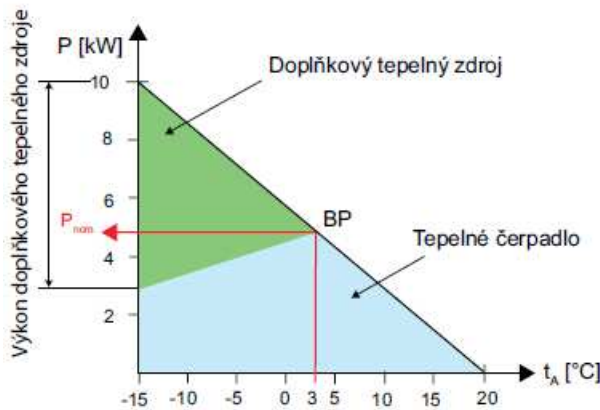
Tepelné čerpadlo pokrývá celé tepelné ztráty při venkovních teplotách nad bodem bivalence. Při nižších venkovních teplotách až do bodu odpojení tepelného čerpadla, pracuje tepelné čerpadlo paralelně s doplňkovým tepelným zdrojem. Při nižších teplotách pod teplotou odpojení tepelného čerpadla je v provozu pouze doplňkový zdroj. Výkon tepelného čerpadla je dimenzován na výkon odpovídající bivalentnímu bodu. Výkon doplňkového zdroje se dimenzuje na celkové tepelné ztráty objektu pro příslušnou výpočtovou venkovní teplotu. Tepelné čerpadlo pokrývá velkou část roční spotřeby tepla. Regulace teploty otopné vody musí být sladěna s regulací tepelného čerpadla. Ekonomický a ekologický užitek tepelného čerpadla je větší než při alternativně-bivalentním provozu.



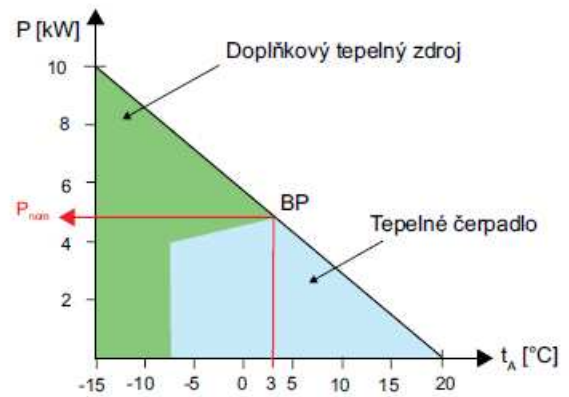
Obr. 2.11 Monovalentní provoz [3]



Obr. 2.12 Alternativně bivalentní provoz [3]



Obr. 2.13 Paralelně bivalentní provoz [3]

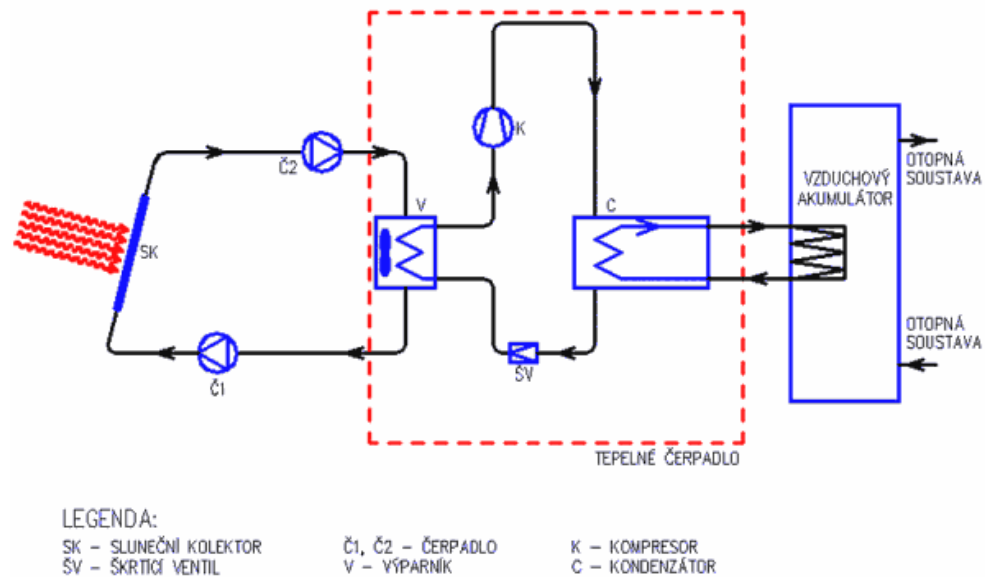


Obr. 2.14 Částečně paralelně bivalentní provoz [3]

### Tepelné čerpadlo v kooperaci se solárním systémem

Účinnost obou systémů je závislá na vstupních parametrech. Pomocí solárního systému se mohou ovlivnit vstupní parametry tepelného čerpadla. Solární systém je v tomto systému využíván jako bivalentní zdroj, který při poklesu vstupní teploty u tepelného čerpadla bude zvyšovat tuto teplotu na požadovanou hodnotu, která zaručí dostatečně vysoký topný faktor i v období nízkých hodnot teploty vstupního média. Mimoto získaná energie ze solárního systému je v zimních měsících velmi malá, tzn. systém nemůže být v těchto měsících využíván jako hlavní tepelný zdroj, protože nedosahuje na výstupu dostatečné teploty pro vytápění. Jako mnohem výhodnější se jeví možnost využívat v zimních měsících solární systém tak, aby pomáhal zvyšovat teplotu na vstupu do tepelného čerpadla. Na výstupu ze solárního systému by v takovém případě postačovala nižší teplota, ale účinnost celého systému je vyšší. Oba systémy v kombinovaném zapojení pracují nezávisle. To znamená, že mají společnou akumulaci nádrží a solární systém "pouze" zvyšuje teplotu topného média v akumulaci nádrží, čímž se zvedne účinnost celého systému a také topný faktor tepelného čerpadla. Hlavním přínosem takto sestaveného kombinovaného systému je

vysoká účinnost solárního systému, který pracuje s nižší teplotou než je teplota vytápěcího systému. Zjednodušené technologické schéma kombinovaného systému je na obrázku 2.15.



Obr. 2.15 Zjednodušené technologické schéma kombinovaného systému [16]

### 3 AKUMULACE TEPLA V ZEMI

Pro mnohé z nás je těžko pochopitelná myšlenka uchovávat teplo z léta až do zimy. Většina lidí je přesvědčená, že během tohoto dlouhého meziobdobí se veškeré teplo rozplyne nebo vyprchá. Dobrým příkladem je sklep, který je uložen dostatečně hluboko v zemi a využívá tedy akumulaci kapacity půdy. V létě, kdy teploty dosahují 30 °C, je v takovémto sklepě příjemně chladno. Naopak, když se do sklepa vstoupí v zimě, kdy se teplota pohybuje pod bodem mrazu, je ve sklepě naopak relativně teplo, jelikož půda pomalu vydává v létě nashromážděné teplo.

Sluneční záření a další obnovitelné formy energie, které nám příroda poskytuje, mají dvě hlavní nevýhody, které jako své argumenty používají všichni nesympatizanti a nedůvěřivci obnovitelných zdrojů energie. Když se zaměřím jen na sluneční záření, tak první nevýhodou je malá energetická hustota. Na metr čtvereční zemské atmosféry dopadá sluneční záření o intenzitě maximálně 1 360 W. Na zemský povrch poté dopadne intenzita nižší v závislosti na nadmořské výšce, znečištění atmosféry apod. Druhou nevýhodou je časová proměnlivost a nestabilita, která je kritizována nejvíce. Slunce svítí jen ve dne

a při jasné obloze, kdy je energetická potřeba nejmenší. Většinou potřebujeme energii v jiný čas a na jiném místě.

Jsme tedy nuceni energii akumulovat ve všech možných podobách. V této kapitole se zaměřím na akumulaci tepelné energie. Dále samozřejmě existuje také akumulace elektrické energie a chemické energie.

Jedno z neznámějších forem energie je teplo, které bývá často konečnou formou energie. Tepelnou energii lze akumulovat v kapalných a pevných látkách nebo jako skupenské teplo tání. Teplo se dá vysvětlit jako energie neuspořádaného pohybu molekul a je příčinou změny teploty. Při zahřátí je teplo dodáváno (nabíjení) a při ochlazování teplo odebíráme (vybíjení). Platí rovnice (3.1)

$$Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot (t_2 - t_1) \quad [J] \quad (3.1)$$

kde  $Q$  – akumulované teplo [J]

$C$  – měrná tepelná kapacita [J/kg/K]

$\rho$  – hustota akumulární látky [kg/m<sup>3</sup>]

$V$  – objem zásobníku tepla [m<sup>3</sup>]

$t_1$  – teplota na počátku nabíjení

$t_2$  – teplota na konci nabíjení

Myšlenka uchovávání tepla v půdě spočívá ve vylepšování přirozených procesů akumulace pomocí technických prostředků natolik, aby bylo k dispozici dostatečné množství tepla s postačující teplotou. Nízkoteplotní objemové zásobníky jsou vhodné pro udržení ztrát tepla na dostatečně nízké úrovni. V mnoha případech pak musí být nízké teploty zásobníků zvýšeny pomocí tepelných čerpadel na použitelnou teplotní úroveň.

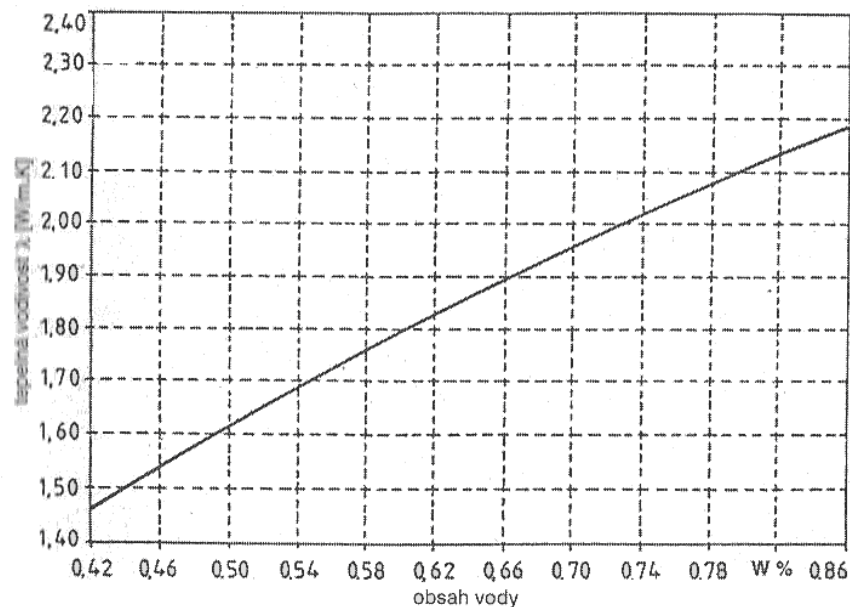
### 3.1 Vlastnosti zásobníků

Tepelné akumulátory lze rozdělit podle teplotního rozsahu, ve kterém pracují (nízkoteplotní, vysokoteplotní) podle látky, ve které se teplo akumuluje (voda, štěrk, vzduch, eutektické soli), podle způsobu akumulace (ohřev, změna skupenství, změna chemického složení) a podle užití a velikosti (vysokokapacitní, nízkokapacitní)

Okolí zásobníku se prozkoumává s ohledem na své geologické a fyzikální vlastnosti. Ke geologické charakteristice patří vedle rozboru složení půdy také údaje o místních teplotách půdy, o poměrech spodní vody, o vlhkosti a v neposlední řadě také o možných chemických reakcích, které by mohly v půdě proběhnout následkem působení tepla a vlhkosti. Zvláště důležité je odhadnout stav a intenzitu proudění spodní vody v zásobníku a jeho okolí. Pohyblivá spodní voda v zásobníku vede ke značným ztrátám tepla. Schopnost tepelné akumulace dále ovlivňují fyzikální vlastnosti půdy (hustota, specifické teplo, tepelná vodivost aj.). Geologické průzkumy jsou pro správné dimenzování systému zvláště důležité tehdy, když mají být využity vazné půdy (tj. hlíny, nebo jílovité půdy).

Důležité je zjistit, zda zemní zásobník zasahuje do vrstvy vedoucí spodní vodu. Spodní vrstvy protékají póry a dutinami v půdě, a sice tím silněji, čím je půda propustnější a čím větší jsou rozdíly tlaku. V krátké době může proudící voda odplavit ze zásobníku velké množství tepla.

Akumulační schopnost půdy je určena jejími tepelnými vlastnostmi, zvláště objemovou tepelnou kapacitou zásobníku a tepelnou vodivostí. Tyto jsou opět závislé na druhu půdy i na hustotě a na obsahu vody v půdě. V tab. 3.1.1 a v tab. 3.1.2 jsou sestaveny tepelné vlastnosti některých druhů půd a hornin. Tepelná vodivost každého druhu půdy je v zóně nasycené vodou vyšší, než v půdě vodou nenasycené.



Obr. 3.1 Tepelná vodivost vazných půd v závislosti na obsahu vody [4]

Obsah vody a pórovitost půdy mají, jak už bylo řečeno, velký vliv na schopnost akumulace tepla půdy a na její vodivost. Obr. 3.1 zobrazuje tepelnou vodivost vazných půd

jako funkci obsahu vody, přičemž obsah vody je udáván jako poměr hmoty vody k suché hmotě půdy.

Typ půdy	Tepelná vodivost $\lambda$ [W/(m K)]	Objemová tepelná kapacita C [MJ/(m <sup>3</sup> K)]
Vazné půdy (hlinité resp. jílovité zeminy)	0,85-1,1	3,0-3,6
Prachové jíly/prachové vrstvy	1,1-1,5	2,9-3,3
Písčito-hlinitý jíl	1,2-1,5	2,4-3,3
Písek, štěrkopísek pod HSV *)	1,6-2,0	2,9
Písek, štěrkopísek nad HSV *)	0,7-0,9	1,4
Odvalový slín pod HSV *)	1,5-2,5	2,2-3,0
Písčitý odvalový slín nad HSV *)	0,6-1,8	1,3-1,9
Rašelina pod HSV *)	0,6	4
Rašelina nad HSV *)	0,2-0,5	0,7-3,2
*) HSV - hladina spodní vody		

Tab. 3.1 Tepelné vlastnosti půdy [4]

Typ horniny	Tepelná vodivost $\lambda$ [W/(m K)]
Žula	2,85-4,15
Granodiorit	2,85-3,85
Tonalit	2,70-3,65
Aplit, pegmatit	2,45-4,35
Křemenný diorit	2,50-3,30
Syenit, diorit	2,15-3,25
Porfyrít	1,70-3,60
Ryolit, dacit	2,70-4,20
Trachycit, čedič	2,25-3,55
Křemenec	5,35-8,10
Jiný křemenec	3,55-6,00
Metamorfované sedimenty	2,75-4,55
Metamorfované bazické horniny	2,05-3,15
Rula	2,70-4,40
Leptit, leptit-rula	2,65-4,70
Vzduch při 20 °C	0,0026
Voda při 20 °C	0,598
<b>Průměrná objemová tepelná kapacita vyjmenovaných krystalických hornin obnáší C = 2,2 MJ/(m<sup>3</sup> K)</b>	

Tab. 3.2 Tepelná vodivost různých typů hornin [4]

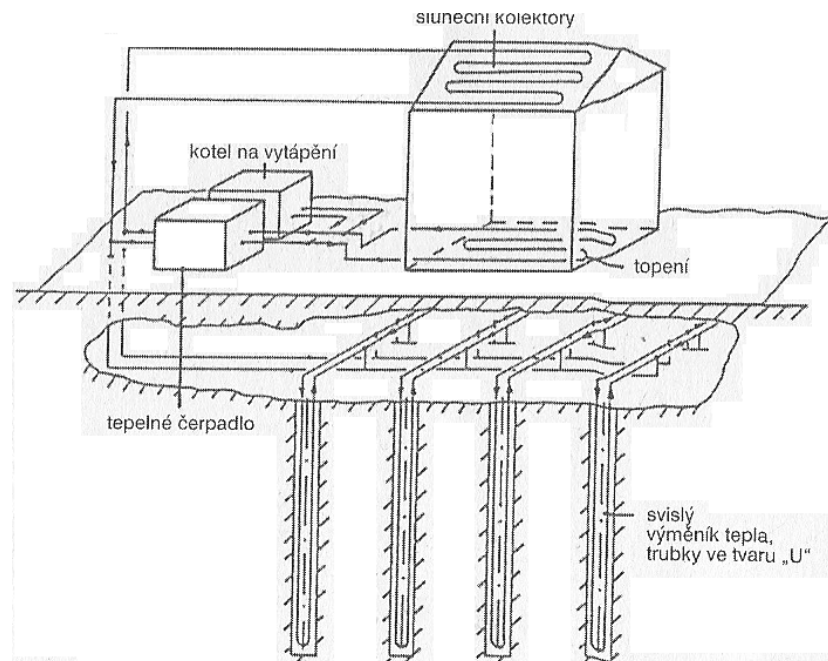
### 3.2 Zásobník se svislým výměníkem tepla

Svislé uspořádání má oproti vodorovnému uspořádání několik předností. Svislý výměník tepla potřebuje menší povrch půdy a může menší délkou trubek (přibližně 50% ve srovnání s vodorovně uloženými zásobníky) přenést stejné množství tepla. V této době je již výhodnější a levnější provádět vrty v půdě ve srovnání s výkopy, které jsou pro vodorovné



výměníky tepla nutné. Další důležitou předností je přechod tepla mezi půdou a výměníkem tepla. Ve většině lokalit je půda pod povrchem nasycena vlhkostí a má tedy v oblasti výměníků tepla dobrou vodivost. U plochých vodorovných výměníků tepla dochází vlivem ohřevu půdy v blízkosti povrchu k částečnému úniku této vlhkosti, což zhoršuje přechod tepla v okolí výměníku. Za třetí má v hlubších vrstvách půdy dosažitelná vyšší teplotní úroveň pozitivní vliv na účinnost tepelného čerpadla a tím i na dosažitelnou úsporu energie.

Vrty se u zásobníku se svislými sondami provádějí na způsob sítě nebo mříže. Svislé trubky jsou propojeny navzájem a s tepelným čerpadlem vodorovně položeným sběrným potrubím a zpravidla jsou spojeny paralelně. Na obr. 3.2.1 je zobrazen svislý zemní zásobník tepla vybavený sondami výměníku ve tvaru „U“ a kombinovaný s tepelným čerpadlem. Propojovací potrubí jsou zpravidla zakopána v hloubce 1 m a měla by být tepelně izolována. Odstup trubek by od sebe nemel být příliš malý, a sice ne menší než 2 m. Lepší je odstup 3-5 m, aby se do nové topné sezóny zaručila tepelná regenerace půdy. Potřeba plochy pro zásobníky je přibližně polovina plochy vytápěného domu. Během větší části topné sezóny je teplota půdy v okolí potrubí nižší než teplota obíhajícího nosiče tepla. Jako nosič tepla se většinou používá protimrazový prostředek, např. voda s příměsí etylenglykolu nebo propylenglykolu, respektive voda s chloridem vápenatým nebo metanolem.

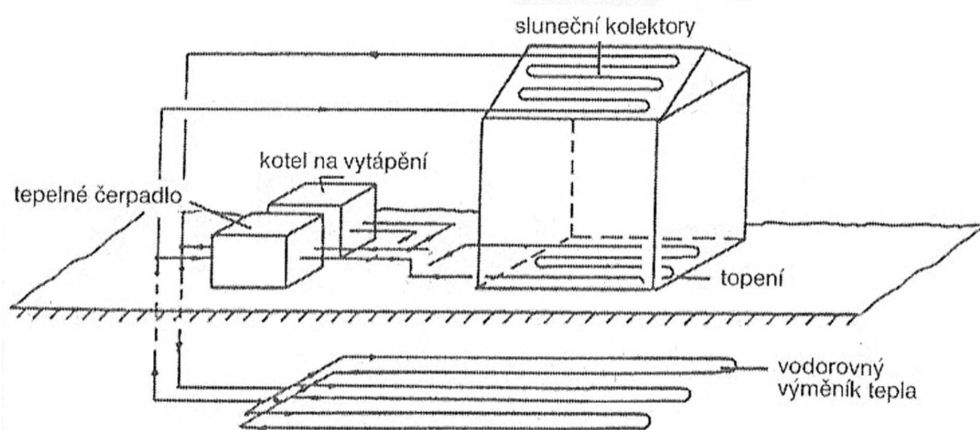


Obr. 3.2 Zemní zásobník tepla se svislými sondami výměníku tepla [4]

### 3.3 Zásobník s vodorovným výměníkem tepla

Tyto výměníky tepla se instalují ve hloubce od 0,5-2,5 m, tedy relativně blízko povrchu. U takovéto polohy se půda tepelně rychleji regeneruje prostřednictvím přirozeného slunečního záření, deště, vzduchu a zdola vystupujícího tepla. Na obr. 3.3.1 je vidět vodorovné uspořádání potrubí. Průměr trubek závisí na materiálu. Kovové trubky jsou použitelné s průměrem nad 50 mm a pro plasty se průměr pohybuje od 20-50 mm. Vzdálenost trubek se pohybuje mezi 0,6 až 2,5 m. V nynější době se díky zvýšenému používání plastových trubek stále více prosazuje serpentinové pokládání. Mezi přednosti tohoto pokládání patří, že vystačí s minimem spojovacích součástí. Dále se trubky pro svou flexibilitu dají snadněji pokládat, což u zemních prací vede k úsporám nákladů. Plocha půdy, která je k dispozici pro připravované zařízení, by měla být přibližně dvakrát větší než vytápěná plocha budovy. A je samozřejmě výhodné umístit výměník tepla pod plochu, která je osvětlena sluncem.

Lepšího tepelného využití půdy může být u vodorovného zařízení dosaženo, když se potrubí výměníku tepla uspořádá do dvou nad sebou ležících vrstev. Hlavní předností tohoto uspořádání je snížení potřebné půdní plochy a snížení nákladů na výkop.



Obr. 3.3 Zásobník s vodorovným výměníkem tepla [4]

## 4 NÁVRH SYSTÉMU PRO OHŘEV TUV S MOŽNOSTÍ PŘITÁPĚNÍ

Navrhovaný systém tepelného čerpadla a solárních kolektorů s možností akumulace tepelné energie do země je vytvořen pro rodinný domek, viz obr. 4.1, který se nachází 20 km od Plzně. Dům je nově postavený, leží v rovině a vchod domu je orientován přímo na sever. K domu patří veliká zahrada, v jejíž části bude zakopán zásobník s vodorovným výměníkem tepla na celkové ploše 150 m<sup>2</sup>. Střecha domu je obložena taškami a zadní část střechy je pod úhlem 40 °C orientována na jih. V domě budou trvale pobývat 4 osoby. Vytápění bude provedeno formou podlahového vytápění. Pro ohřev teplé užitkové vody a vytápění je použito tepelné čerpadlo země-voda od firmy Stiebel Eltron, typ WPC 7. Solární kolektory jsou použity od firmy Thermosolar, typ TS300. Přebytek tepla ze solárních kolektorů se bude ukládat pomocí vrtů tepelného čerpadla do země a následně bude využit v topném období.



Obr. 4.1 Model objektu

### 4.1 Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění budovy je dána celkovou tepelnou ztrátou budovy. Tyto ztráty vznikají jednak prostupem tepla obvodovými i vnitřními konstrukcemi (stěny, okna a dveře, stropy, střecha a podlaha) a jednak výměnou vzduchu v místnostech vlivem netěsnosti oken, dveří a větráním. Kolik tepla nám z budovy unikne závisí také na době, po kterou topné období trvá. Začátek topné sezóny je tehdy, když průměrná denní teplota klesne 3 dny po sobě pod 13 °C. Pro výpočet potřeby tepla na vytápění je potřeba nejdříve

vypočítat počet denostupňů (4.1). Měsíční potřeba tepla se poté vypočte ze vzorce (4.2). Tyto vzorce byly původně počítány pro roční otopné období, kde se dosazovala průměrná roční teplota a celkový počet otopných dní. V této práci je dosazována místo průměrné roční teploty průměrná měsíční teplota a dále počet otopných dnů v měsíci. Tímto způsobem se dostanou přesnější měsíční hodnoty potřeby tepla.

$$D = d \cdot (t_{im} - t_{em}) \quad [-] \quad (4.1)$$

$$E_v = 24 \cdot Q_c \cdot \varepsilon \cdot \frac{D}{t_{im} - t_e} \quad [kWh/rok] \quad (4.2)$$

Kde  $E_v$  – roční potřeba tepla [kWh/rok]

$D$  – denostupně [-]

$d$  – počet otopných dnů v roce [den]

$t_{im}$  – průměrná vnitřní teplota [°C]

$t_{em}$  – střední venkovní teplota v různých měsících [°C]

$Q_c$  – výpočtová tepelná ztráta [kW]

$\varepsilon$  – opravný součinitel vycházející z typu budovy [-]

$t_e$  – vnější výpočtová teplota [°C]

Průměrný počet otopných dnů v měsíci je v tab. 4.1. [5] Celkem je to pro Plzeň 237 dní dle [5]. Tento počet dnů vznikl průměrem počtu otopných dnů z posledních let. Jako průměrná vnitřní teplota se dosazuje 19 °C. Výpočtová venkovní teplota pro Plzeň je -12 °C [13] a střední venkovní teploty jsou v tab. 4.2 dle [5]. Tepelná ztráta byla vypočítána kalkulačkou tepelných ztrát [14] a pro navrhovaný objekt vychází 11,6 kW. Opravný součinitel  $\varepsilon$  je 0,71232 a vychází z typu budovy.

Roční potřeba tepla na vytápění je 24 180,37 kWh a potřeba tepla v jednotlivých měsících je vypočítána v tab. 4.3.

Počet otopných dnů					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
31	28	31	30	15	0
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0	0	10	31	30	31

Tab. 4.1 Průměrný počet otopných dnů pro Plzeň [5]

Střední teplota vzduchu v Plzni [°C]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
-2,7	-1,3	2,3	6,8	11,7	15
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
16,5	15,9	12,5	7,5	2,3	-1,1

Tab. 4.2 Střední teplota vzduchu v Plzni v jednotlivých měsících [5]

Potřeba tepla na vytápění [kWh]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
4 303,32	3 636,11	3 311,78	2 341,34	700,48	0,00
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0,00	0,00	415,81	2 280,56	3 204,94	3 986,03

Tab. 4.3 Potřeba tepla v jednotlivých měsících

## 4.2 Potřeba tepla na ohřev TUV a celková potřeba tepla

Denní potřeba tepla pro ohřev TUV se vypočte dle vzorce (4.3). Denní spotřeba vody je průměrně 0,05 m<sup>3</sup> na osobu, pro tento návrh je tedy použito 0,2 m<sup>3</sup>. Voda se ohřívá na 50 °C a voda vtékající do zásobníku má hodnotu 10 °C.

$$Q_{\text{spotř den TUV}} = C_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot V \cdot (t_2 - t_1) = 4,2 \cdot 995,6 \cdot 0,2 \cdot (50 - 10) = 33452,16 \quad [J] \quad (4.3)$$

kde  $C_{H_2O}$  – měrná tepelná kapacita vody 4,2 [kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

$\rho_{H_2O}$  – hustota vody [kg.m<sup>-3</sup>], pro 30°C je hustota vody 995,6 kg.m<sup>-3</sup>

$V$  – denní spotřeba vody [m<sup>3</sup>]

$t_1$  – požadovaná teplota ohřívání vody [°C]

$t_2$  – počáteční teplota ohřívání vody [°C]

Po převedení vychází, že denní potřeba tepla na ohřev TUV je 9,292 kWh. Měsíční potřeba tepla na ohřev TUV se vypočítá tak, že se vynásobí denní potřeba tepla s počtem dnů v měsíci. Celkem pro tento systém vychází potřeba tepla na TUV 3 391,58 kWh, výsledky jsou v tab. 4.4. Celková potřeba tepla se získá součtem měsíční potřeby tepla na ohřev TUV a měsíční potřeby tepla na vytápění. Celkem tedy 27 571,95 kWh, viz tab. 4.5.

Měsíční potřeba tepla na ohřev TUV [kWh]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
288,05	260,18	288,05	278,76	288,05	278,76
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
288,05	288,05	278,76	288,05	278,76	288,05

Tab. 4.4 Potřeba tepla na ohřev TUV v jednotlivých měsících

Celková potřeba tepla [kWh]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
4 591,38	3 896,28	3 599,83	2 620,10	988,53	278,76
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
288,05	288,05	694,57	2 568,62	3 483,70	4 274,08

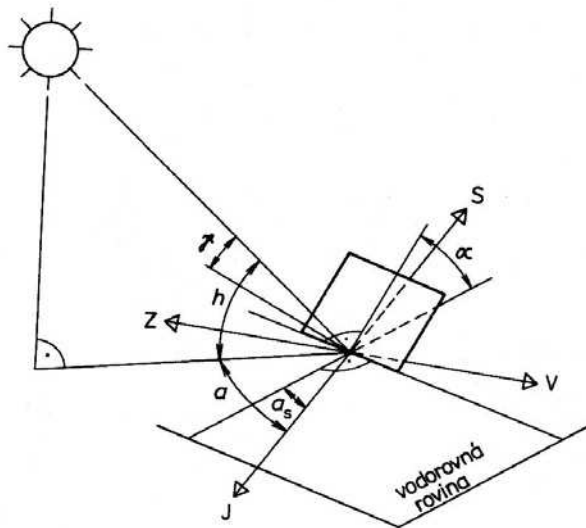
Tab. 4.5. Celková potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV v jednotlivých měsících

### 4.3 Solární potenciál místa

Z obr. 4.1 lze vyčíst všechny hodnoty, které je potřeba k výpočtu solárního potenciálu. Tyto hodnoty jsou dány konstrukcí objektu, znečištěním atmosféry, natočením, nadmožské výšce apod. Velikosti těchto hodnot jsou v tab. 4.6. Objekt má vstup orientovaný na sever, počítáme tedy hodnoty zadní strany střechy, která je orientovaná na jih.

Jednotka	Symbol	Hodnota
sklon	$\alpha$	45°
azimut osluněné plochy	$a_s$	0°
Znečištění atmosféry	Z	3,1
nadmožská výška	H	400 m.n.m.
solární konstanta	$I_0$	1360 W.m <sup>-2</sup>
albedo	r	0,2

Tab. 4.6 Hodnoty pro určení solárního potenciálu



$h$  – výška slunce nad obzorem

$a$  – azimut slunce

$a_s$  – azimut osluněné plochy

$\alpha$  – sklon plochy od vodorovné roviny

$\gamma$  – úhel dopadu slunečních paprsků

Obr. 4.2 Aktuální poloha slunce vůči kolektoru [1]

Aby se mohl určit solární potenciál místa, je potřeba nejdříve vypočítat tyto tři základní hodnoty:

- Teoreticky možná energie dopadající za den  $Q_{S \text{ den TEOR}}$
- Energie difúzního záření dopadající za den  $Q_{D \text{ den}}$
- Poměrná doba svitu  $t_p$

Pro místa kolem  $50^\circ$  severní šířky jsou hodnoty výšky Slunce nad obzorem  $h$  a azimutu slunce a uvedeny v Příloze A.

Pro další výpočty je nutné určit cosinus úhlu dopadajících slunečních paprsků na osluněnou plochu. Tato hodnota se vypočítá ze vztahu (4.4). Hodnoty tohoto úhlu pro jednotlivá období jsou vidět v Příloze A

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos (a - a_s) \quad [-] \quad (4.4)$$

Pro další pokračování je potřeba určit  $\varepsilon$  - součinitel závisící na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce. Tento součinitel se počítá podle vztahu (4.5). Jednotlivé hodnoty jsou v Příloze A

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad [-] \quad (4.5)$$

Kde  $H$  – nadmořská výška daného místa

Výška Slunce nad obzorem  $h$  je uvedena v Příloze A. Nadmořská výška  $H$  je 400 m. n. m., jelikož se objekt počítá pro okolí města Plzeň.

Pro výpočet hodnoty intenzity přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků je potřeba znát solární konstantu. Tato konstanta udává výkon slunečního záření procházející na hranici zemské atmosféry jednotkou plochy nastavené kolmo ke slunečním paprskům a její hodnota je  $I_0 = 1360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Sluneční záření poté prostupuje přes vodní páru, prachové částičky,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$  a jiné plyny v atmosféře až k zemskému povrchu. Kvůli těmto prostupům se hodnota intenzity sníží v závislosti na znečištění atmosféry  $Z$ , nadmořské výšce  $H$  a aktuální výšce Slunce nad obzorem  $h$  podle vztahu (4.6). Zprůměrnováním hodnot dle [6] vychází hodnota znečištění pro Plzeň  $Z = 3,1$ . V tab. 4.7 jsou vypočítány intenzity přímého záření na plochu kolektoru ke směru paprsků v různé denní doby.

$$I_{pn} = I_0 \cdot e^{\left(\frac{-Z}{e}\right)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.6)$$

Kde  $I_{pn}$  – intenzita přímého záření na plochu kolektoru ke směru paprsků

$I_0$  – solární konstanta

$Z$  – součinitel znečištění atmosféry

$e$  – součinitel, závisící na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce.



měsíc	Intenzita záření $I_{PN}$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					303,21	476,40	564,05	590,66
XI. a I.					406,12	560,59	635,13	658,14
X. a II.				400,77	600,62	709,51	764,13	780,66
IX. a III.			408,62	635,13	763,02	835,55	872,15	884,09
VIII. a IV.		383,16	628,41	773,37	859,88	911,00	938,32	946,85
VII. a V.	290,41	560,13	732,73	842,30	906,92	947,78	970,03	977,08
VI.	382,19	615,58	765,49	860,83	921,66	958,88	979,86	986,68
měsíc	Intenzita záření $I_{PN}$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	564,05	476,40	303,21					
XI. a I.	635,13	560,59	406,12					
X. a II.	764,13	709,51	600,62	400,77				
IX. a III.	872,15	835,55	763,02	635,13	408,62			
VIII. a IV.	938,32	911,00	859,88	773,37	628,41	383,16		
VII. a V.	970,03	947,78	906,92	842,30	732,73	560,13	290,41	
VI.	979,86	958,88	921,66	860,83	765,49	615,58	382,19	

Tab. 4.7 Hodnoty intenzity přímého záření na plochu kolektoru ke směru paprsků

Dále se musí brát v úvahu natočení solárních panelů vůči přímým paprskům. Tedy musí se vynásobit intenzita přímého slunečního záření, která je uvedena v tab. 4.7 s cosinem úhlu, který udává vzájemnou polohu plochy kolektorů a Slunce (Příloha A), vztah (4.7).

$$I_p = I_{PN} \cdot \cos \gamma \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (4.7)$$

Měsíc	Intenzita záření $I_p$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					185,37	360,55	478,36	519,33
XI. a I.					256,72	438,08	555,37	596,48
X. a II.				188,63	404,21	587,48	707,30	748,51
IX. a III.			105,38	316,18	537,43	721,02	839,12	880,73
VIII. a IV.		6,73	169,67	390,82	608,53	786,07	901,07	940,76
VII. a V.	0	16,62	194,83	411,42	627,27	797,92	906,07	943,78
VI.	0	21,43	208,24	422,97	627,61	793,34	899,03	935,42
Měsíc	Intenzita záření $I_p$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	478,36	360,55	185,37					
XI. a I.	555,37	438,08	256,72					
X. a II.	707,30	587,48	404,21	188,63				
IX. a III.	839,12	721,02	537,43	316,18	105,38			
VIII. a IV.	901,07	786,07	608,53	390,82	169,67	6,73		
VII. a V.	906,07	797,92	627,27	411,42	194,83	16,62	0	
VI.	899,03	793,34	627,61	422,97	208,24	21,43	0	

Tab. 4.8 Intenzita záření

Při jasné a bezmračné obloze dopadá největší část slunečního záření, aniž by změnilo směr. Toto záření se nazývá přímé a jeho velikost je počítána na předešlých stránkách. Další výpočty jsou zaměřeny na záření difúzní. Toto záření vzniká rozptylem přímého záření v mracích a na částech v atmosféře. Difúzní záření na Zemi přichází ze všech směrů a vypočítá se ze vztahu (4.8).

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} - I_{Dh}) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (4.8)$$

Kde  $\alpha$  - sklon solárních kolektorů

$r$  – reflexní schopnost okolních ploch, tzv. albedo, pro můj případ  $r = 0,2$

$I_{Ph}$  - intenzita přímého záření na vodorovnou plochu, dle vztahu (4.9)

$I_{Dh}$  - intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu, dle vztahu (4.10)

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin h \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (4.9)$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{Pn}) \cdot \sin h \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (4.10)$$

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty  $I_{Ph}$  a  $I_{Dh}$  v denní době, ze kterých je počítána intenzita difúzního záření  $I_D$ , tab. 4.11.

měsíc	Intenzita záření $I_{PH}$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					33,96	98,07	149,31	168,25
XI. a I.					67,03	146,98	204,16	225,10
X. a II.				64,97	175,80	278,71	348,33	372,50
IX. a III.			68,00	204,16	346,76	465,54	540,90	568,28
VIII. a IV.		58,49	198,36	361,65	514,24	635,92	714,25	741,01
VII. a V.	30,71	146,67	306,53	478,54	625,08	744,00	820,11	846,17
VI.	58,14	187,67	350,26	516,26	665,22	780,83	856,76	883,40
měsíc	Intenzita záření $I_{PH}$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	160,67	126,11	62,42					
XI. a I.	217,23	180,20	106,48					
X. a II.	364,61	323,43	235,93	117,31				
IX. a III.	560,61	518,20	425,13	288,64	131,35			
VIII. a IV.	734,33	693,45	600,23	462,51	293,86	120,94		
VII. a V.	840,07	801,30	711,92	580,55	416,29	234,33	76,04	
VI.	877,29	838,41	750,52	621,31	459,08	281,67	116,52	

Tab. 4.9 Hodnoty intenzity přímého záření na vodorovnou plochu v denní době

měsíc	Intenzita záření $I_{DH}$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					39,06	60,03	69,53	72,32
XI. a I.					51,95	69,17	76,89	79,22
X. a II.				51,32	73,35	84,32	89,64	91,22
IX. a III.			52,25	76,89	89,53	96,43	99,84	100,95
VIII. a IV.		49,20	76,21	90,53	98,70	103,43	105,93	106,70
VII. a V.	37,32	69,12	86,60	97,06	103,05	106,79	108,80	109,44
VI.	49,09	74,89	89,77	98,79	104,40	107,79	109,69	110,30
měsíc	Intenzita záření $I_{DH}$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	69,53	60,03	39,06					
XI. a I.	76,89	69,17	51,95					
X. a II.	89,64	84,32	73,35	51,32				
IX. a III.	99,84	96,43	89,53	76,89	52,25			
VIII. a IV.	105,93	103,43	98,70	90,53	76,21	49,20		
VII. a V.	108,80	106,79	103,05	97,06	86,60	69,12	37,32	
VI.	109,69	107,79	104,40	98,79	89,77	74,89	49,09	

Tab. 4.10 Hodnoty intenzity difúzního záření na vodorovnou plochu v denní době

měsíc	Intenzita záření $I_D$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					35,47	55,87	65,76	68,77
XI. a I.					47,83	65,37	73,86	76,53
X. a II.				47,21	69,91	82,61	89,34	91,45
IX. a III.			48,12	73,86	89,20	98,77	103,99	105,77
VIII. a IV.		45,15	73,09	90,51	102,20	109,94	114,43	115,90
VII. a V.	33,85	65,32	85,43	99,70	109,29	116,07	120,07	121,40
VI.	45,04	71,62	89,51	102,34	111,66	118,03	121,93	123,25
měsíc	Intenzita záření $I_D$ [ $W \cdot m^{-2}$ ]							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	66,09	56,69	36,31					
XI. a I.	74,24	66,34	48,99					
X. a II.	89,82	83,92	71,67	48,74				
IX. a III.	104,57	100,31	91,49	76,34	49,98			
VIII. a IV.	115,02	111,62	104,72	93,47	75,88	46,98		
VII. a V.	120,66	117,74	111,83	102,69	88,64	67,88	35,18	
VI.	122,53	119,72	114,16	105,41	92,70	74,37	46,75	

Tab. 4.11 Hodnoty intenzity difúzního záření v denní době

Součet intenzity přímého slunečního záření a záření difúzního (4.11) je celková intenzita záření, která se teoreticky dostane ke kolektorům, tab. 4.12.

$$I = I_P + I_D \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (4.11)$$

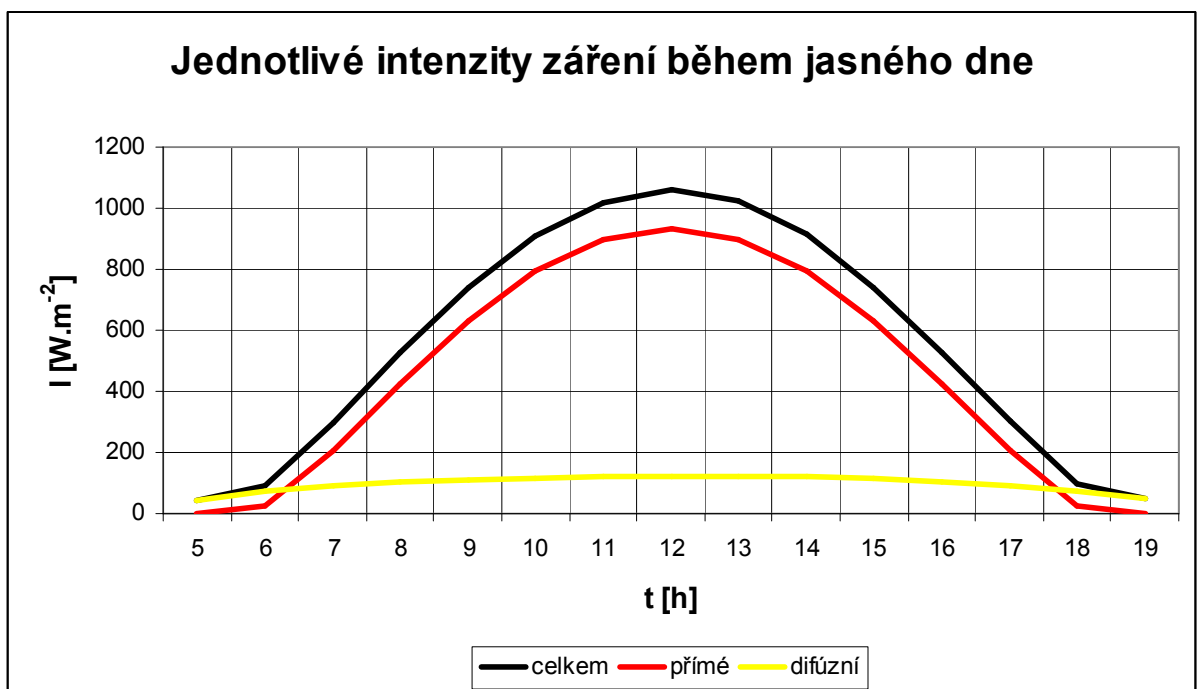
měsíc	Intenzita záření I [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					220,84	416,41	544,12	588,10
XI. a I.					304,55	503,45	629,24	673,01
X. a II.				235,83	474,12	670,09	796,64	839,96
IX. a III.			153,50	390,04	626,63	819,78	943,11	986,49
VIII. a IV.		51,88	242,76	481,34	710,73	896,01	1 015,50	1 056,67
VII. a V.	33,85	81,94	280,26	511,12	736,56	913,99	1 026,14	1 065,18
VI.	45,04	93,04	297,75	525,31	739,27	911,37	1 020,96	1 058,67

měsíc	Intenzita záření I [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]						
	13	14	15	16	17	18	19
XII.	544,45	417,24	221,67				
XI. a I.	629,62	504,42	305,70				
X. a II.	797,12	671,40	475,88	237,37			
IX. a III.	943,69	821,32	628,93	392,52	155,35		
VIII. a IV.	1 016,09	897,70	713,25	484,29	245,56	53,71	
VII. a V.	1 026,73	915,67	739,10	514,11	283,47	84,50	35,18
VI.	1 021,56	913,05	741,77	528,39	300,93	95,80	46,75

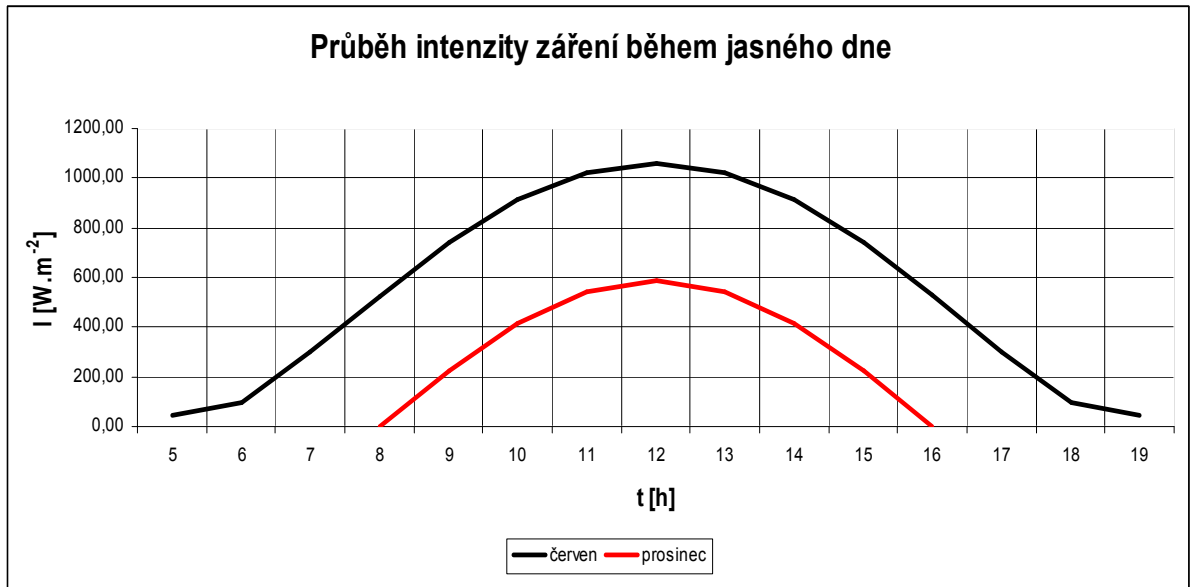
Tab. 4.12 Intenzita záření

Obr. 4.2 ukazuje velikosti jednotlivých intenzit záření během jasného červnového dne. Je na něm vidět obalová křivka intenzity slunečního záření za slunečního dne. Žlutě je znázorněno difúzní záření. Skutečný průběh intenzity může být mezi černou celkovou křivkou a žlutou difúzní křivkou dle počasí v jednotlivých dnech.



Obr. 4.3 Jednotlivé intenzity záření během jasného červnového dne

Na obr 4.3 je uveden průběh intenzity záření během jasného dne v červnu a v prosinci. Plocha pod touto křivkou nám udává množství energie, které dopadne na osluněnou plochu během dne, pokud je od východu do západu Slunce jasná obloha. Dopadající teoretická energie je vypočítána dle vztahu (4.12)



Obr. 4.4 Průběh intenzity záření během jasného dne

$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \, d\tau = \sum_t I \cdot \Delta t \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.12)$$

Teoretické množství energie, která dopadne na osluněnou plochu ve všech měsících, jsou uvedeny v tab. 4.13.

$Q_{S \text{ den teor}} [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$						
XII.	XI. a I.	X. a II.	IX. a III.	VIII. a IV.	VII. a V.	VI.
2,95	3,55	5,20	6,86	7,87	8,25	8,34

Tab. 4.13 Teoretické množství dopadající energie v měsíci

Bohužel zde se naráží na největší nevýhodu těchto systémů. Tato nevýhoda je samozřejmě nestálost počasí. Nemáme zaručeno, že během dne bude stále jasná obloha. Abychom snížili teoretické množství energie v závislosti na době slunečního svitu, potřebujeme vypočítat poměrovou hodnotu mezi skutečnou dobou slunečního svitu a hodnotou teoretickou, která představuje trvání dne. Tato hodnota se označuje jako poměrná

doba slunečního svitu  $\tau_p$ . V tab. 4.14 jsou spočítány hodnoty teoretické doby slunečního svitu v jednotlivých měsících. Hodnoty skutečné doby slunečního svitu vycházející z dlouhodobých klimatických měření a jsou uvedeny v tab. 4.15. Poměr mezi těmito hodnotami vztah 4.13, je poměrná doba slunečního svitu  $\tau_p$  a výsledné hodnoty jsou v tab. 4.16.

$$\tau_p = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad [-] \quad (4.13)$$

Kde  $\tau_{skut}$  – Skutečná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [h]

$\tau_{teor}$  – Teoretická doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [h]

Teoretická doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [h]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
256,06	283,36	372	417	483,6	490,2
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
486,7	430,9	360	313,72	247,8	243,35

Tab. 4.14 Teoretická doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [1]

Skutečná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [h]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
31	56	118	139	195	200
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
197	202	134	86	46	37

Tab. 4.15 Skutečná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [13]

Poměrná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [h]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
0,12	0,20	0,32	0,33	0,40	0,41
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0,40	0,47	0,37	0,27	0,19	0,15

Tab. 4.16 Poměrná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [13]

Poměrná doba slunečního svitu udává poměr mezi dobou, kdy kolektor získává energii z přímého i difúzního záření a dobou, kdy získává energii pouze z difúzního záření. Pro výpočet celkového množství energie potřebujeme znát množství energie z difúzního záření. Tato hodnota se dostane stejně jako hodnota z přímého záření a tedy součtem přírůstků

energie difúzního záření za každou hodinu, vztah (4.14). Množství energie získané difúzním zářením na osluněnou plochu je v tab. 4.17.

$$Q_{D\text{ den}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_D d\tau = \sum_t I_D \cdot \Delta t \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.14)$$

Q <sub>D den</sub> [kWh.m <sup>-2</sup> ]						
XII.	XI. a I.	X. a II.	IX. a III.	VIII. a IV.	VII. a V.	VI.
0,38	0,45	0,67	0,94	1,20	1,40	1,46

Tab. 4.17 Teoretické množství dopadající difúzní energie v měsíci

Celková energie dopadající na osluněnou plochu, tedy solární potenciál místa, se dostane z hodnot  $Q_{S\text{ den teor}}$ ,  $Q_{D\text{ den}}$  a  $\tau_p$  podle vztahu (4.15). Tab. 4.18 ukazuje výsledné množství energie.

$$Q_{S\text{ den}} = \tau_p \cdot Q_{S\text{ den teor}} + (1 - \tau_p) \cdot Q_{D\text{ den}} \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.15)$$

Q <sub>S den</sub> [kWh.m <sup>-2</sup> ]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
0,83	1,57	2,82	3,42	4,16	4,27
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
4,17	4,33	3,14	1,91	1,03	0,77

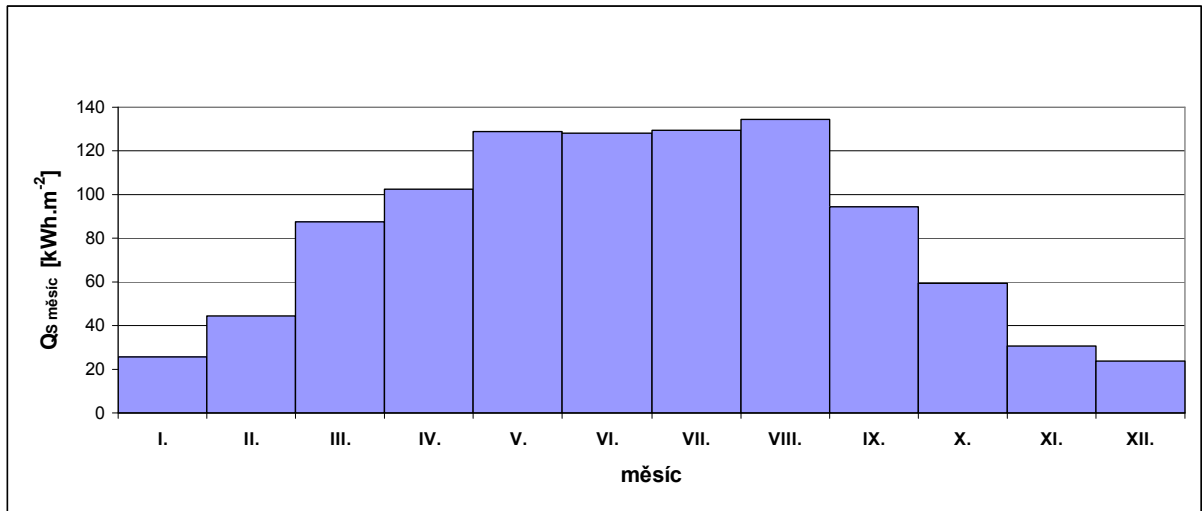
Tab. 4.18 Celkové množství energie dopadající na osluněnou plochu během dne v jednotlivých měsících

Pro lepší představu se udávají měsíční a roční úhrny celkové dopadající energie. Vynásobí se denně dopadající energie počtem měsíců (4.16) a dostane se celkové množství energie dopadající za měsíc, tab. 4.19 a obr. (4.4).

$$Q_{S\text{ měsí}} = Q_{S\text{ den}} \cdot n \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.16)$$

Q <sub>S měsí</sub> [kWh.m <sup>-2</sup> ]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
25,58	44,22	87,35	102,70	129,03	128,01
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
129,35	134,13	94,31	59,27	30,76	23,89

Tab. 4.19 Celkové množství energie dopadající na osluněnou plochu v jednotlivých měsících



Obr. 4.5 Celkové množství dopadající energie na osluněnou plochu v jednotlivých měsících

#### 4.4 Výpočet účinnosti kolektorů

Známe celkové množství energie dopadající do oblasti Plzeňska. Tato energie se bohužel v solárních kolektorech mění na energii tepelnou s určitou účinností. Každé zařízení měnící druh energie vykazuje při této přeměně jisté ztráty. U kolektorů jsou to ztráty tepelné a optické. Tepelné ztráty jsou vedením, zářením a prouděním a optické ztráty odrazem. Na obr. 4.5 jsou tyto ztráty zobrazeny. Pro výpočet účinnosti je potřeba vypočítat střední hodnotu intenzity slunečního záření  $I_{STR}$ . Tato hodnota se vypočítá ze vztahu (4.17) a její hodnoty pro jednotlivé měsíce jsou v tab. 4.20.

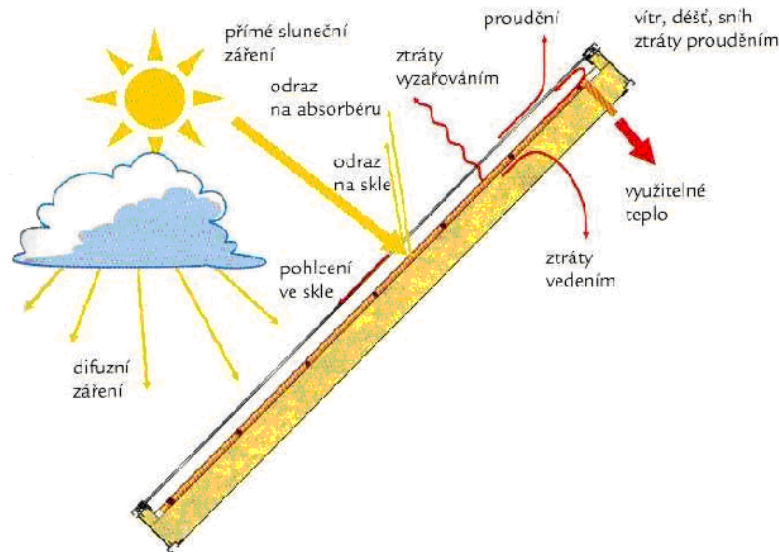
$$I_{STR} = \frac{1}{\tau_{teor}} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau = \frac{Q_{S \text{ den teor}}}{\tau_{teor}} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (4.17)$$

Hodnoty  $Q_{S \text{ den teor}}$  jsou v tab. 4.17 a  $\tau_{teor}$  v tab. 4.18 s tím rozdílem, že za  $\tau$  dosazujeme denní hodnoty.

$I_{STR} [W \cdot m^{-2}]$					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
429,78	513,83	571,67	566,19	525,48	510,40
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
525,48	566,19	571,67	513,83	429,78	375,80

Tab. 4.20 Střední intenzita záření v jednotlivých měsících





Obr. 4.6 Přehled ztrát v kolektoru

Z hlediska funkce absorběru se považuje vnější povrch krycích skel za osluněnou plochu, na níž dopadá energie slunečního záření. Dopadající energie je zčásti odražena krycími skly zpět do okolí, z větší části je však propouštěna k absorpční ploše. Absorpční plocha pohlcuje dopadající energii a tím se zahřívá. Současně je plocha také ochlazována okolním vzduchem. Měrný tepelný tok zachycený absorběrem  $q_a$  vyplývá z rovnice tepelné rovnováhy.

$$q_a = (1 - r) \cdot I_{STR} - (k_1 + k_2) \cdot (t_a - t_v) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.18)$$

Kde  $I_{STR}$  – přímé sluneční záření se bere jako střední intenzitu záření  $I_{STR}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]  
 $q_a$  – měrný tepelný tok [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]  
 $r$  – poměrná reflexní schopnost krycích skel [-]  
 $k_1$  – součinitel prostupu tepla vrstvou na přední straně absorběru [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]  
 $k_2$  – součinitel prostupu tepla na zadní straně absorběru [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]  
 $t_a$  – střední teplota absorpční plochy (tekutiny proudící absorběrem) [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $t_v$  – teplota okolního vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $I_{STR}$  – dopadající tepelný tok [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

Pro stanovení účinnosti kolektorů je potřeba znát střední denní teplotu vzduchu v době slunečního svitu. Tato hodnota je v tab. 4.21.

Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu [°C]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5

Tab. 4.21 Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu [1]

Účinnost kolektorů se vypočítá ze vztahu (4.19)

$$\eta = \frac{q_a}{I_{STŘ}} = (1 - r) - \frac{(k_1 + k_2) \cdot (t_a - t_v)}{I_{STŘ}} \quad [-] \quad (4.19)$$

kde za r dosadíme hodnotu 0,15 pro mírně znečištěná skla

$k = k_1 + k_2$  dosadíme hodnotu  $4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  pro kolektor se dvěma skly

$t_a = 50 \text{ °C}$  – střední teplota absorpční plochy [°C]

$t_v$  – teplota okolního vzduchu [°C], podle tab. 4.21

Výsledné účinnosti kolektoru v jednotlivých měsících jsou v tab. 4.22

Účinnost kolektorů v jednotlivých měsících [-]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
0,46	0,54	0,60	0,63	0,65	0,67
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0,69	0,71	0,69	0,62	0,50	0,41

Tab. 4.22 Účinnost kolektorů v jednotlivých měsících

## 4.5 Návrh systému s ukládáním tepla do země

### 4.5.1 Návrh solárních kolektorů pro systém s ukládáním tepla

Přes léto požadujeme co největší přebytky tepla ze solárních kolektorů, abychom energii mohli ukládat využijeme téměř celou zadní polovinu střechy. Ta má plochu  $45,5 \text{ m}^2$  a je pod úhlem  $45^\circ$  orientována na jih. Na tuto plochu se umístí 14 kolektorů Thermosolar TS300, parametry jsou v tab. 4.23.

Thermosolar TS300	
Půdorysná plocha	2,03 m <sup>2</sup>
Absorpční plocha	1,76 m <sup>2</sup>
Výška kolektoru	2.009 mm
Šířka kolektoru	1.009 mm
Tloušťka kolektoru	75 mm
Váha panelu	36,1 kg
Kapalinový obsah	1,57 litru
Maximální přetlak teplotnosné kapaliny	600 kPa
Průtok na jeden kolektor	30 až 100 litrů/h
Spojování kolektorů	paralelně
Max. počet kolektorů v jedné řadě	10 ks
Krycí sklo	solární, bezpečnostní, tloušťka 4 mm
Doporučená pracovní teplota	pod 100 °C
Klidová teplota (při 1000 W/m <sup>2</sup> , 30 °C)	170 °C

Tab. 4.23 Parametry solárního kolektoru Thermosolar TS300

Celková absorpční plocha kolektoru se vypočítá ze vztahu (4.20).

$$S_a = S_k \cdot n_k = 1,76 \cdot 14 = 24,64 \quad [m^2] \quad (4.20)$$

Kde  $S_k$  – absorpční plocha kolektoru [m<sup>2</sup>]

$n_k$  – počet kolektorů

#### 4.5.2 Získaná energie ze solárních kolektorů pro systém s ukládáním tepla

Energie získaná ze solárních kolektorů v jednotlivých měsících se vypočítá dle (4.21).

Výsledky jsou uvedeny v tab. 4.24.

$$Q_{A \text{měs}} = Q_{S \text{den}} \cdot n \cdot \eta \cdot S_a \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (4.21)$$

kde  $Q_{S \text{den}}$  – teoreticky možná energie dopadající na plochu za den [kWh], viz tab. 4.22

$n$  – počet dní v měsíci

$\eta$  – účinnost solárního systému v jednotlivých měsících, viz tab. 4.27

$S_a$  – plocha kolektorů [m<sup>2</sup>]

Energie získaná ze solárních kolektorů [kWh]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
286,91	580,16	1 282,02	1 599,91	2 052,97	2 112,02
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2 201,32	2 334,72	1 593,81	902,76	380,97	238,47

Tab. 4.24 Energie získaná ze solárních kolektorů v jednotlivých měsících

### 4.5.3 Návrh tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo se dimenzuje na 60 – 80 % potřebného výkonu na vytápění (4.22)

$$Q_N = \frac{Q_{\text{spotř}} \text{ vyt rok}}{b_{\text{hv}}} = \frac{27571,95}{2300} = 11,99 \text{ kW} \quad (4.22)$$

Kde  $Q_{\text{spotř}} \text{ vyt rok}$  – celková roční potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]  
 $b_{\text{hv}}$  – celková doba využívání tepelného čerpadla za rok [h/rok]

Celková doba využívání tepelného čerpadla je 2300 hodin ročně. Potřebný výkon na vytápění je tedy 11,99 kW. Do návrhu bylo zvoleno tepelné čerpadlo WPC 7 s tepelným výkonem 7,4 kW. Podrobné údaje o tomto tepelném čerpadle jsou uvedeny v tab. 4.25. Zvolené tepelné čerpadlo bude krýt 62 % potřebného výkonu na vytápění. Zbytek potřebného výkonu budou krýt solární kolektory a elektrokotel.

WPC 7	
Tepelný výkon	7,4 kW
rozměry V x Š x H	2100 x 600 x 650 mm
hmotnost	285 kg
průtok na straně tepelného zdroje	1,9 m <sup>3</sup> /h
průtok na straně topení	0,7 m <sup>3</sup> /h
použité chladivo	R410A
maximální teplota výstupní strany	60 °C
teplota zdroje energie	-5 až 20 °C

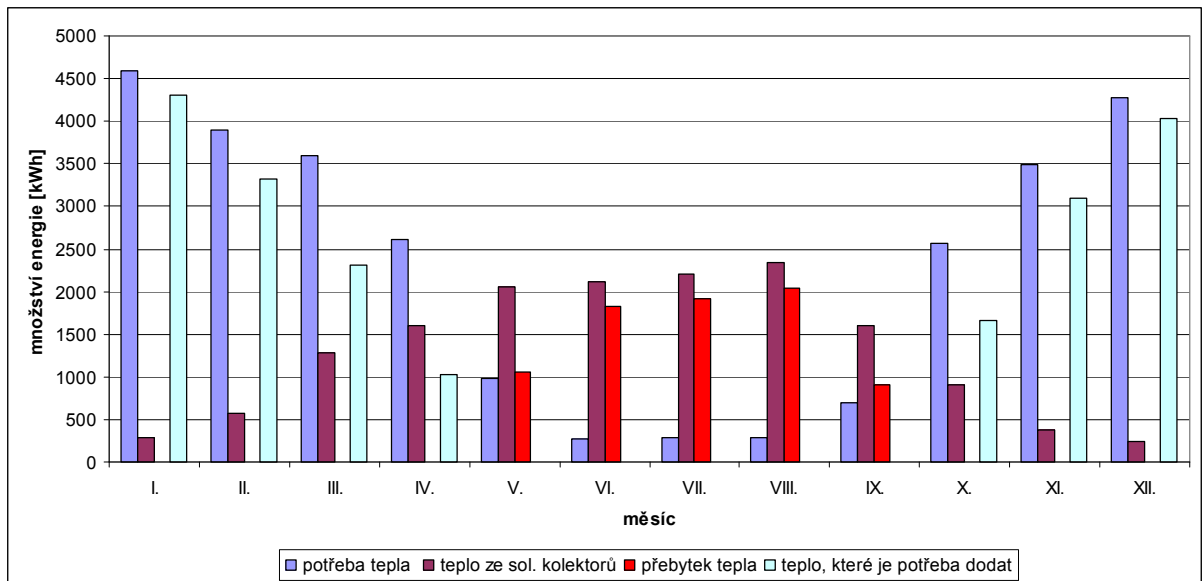
Tab. 4.25 Parametry tepelného čerpadla

#### 4.5.4 Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla

Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV je 27 571,95 kWh. Ze solárních kolektorů se ročně získá 15 566,05 kWh. Od května až do září je celková potřeba tepla nižší než teplo, které se získá z kolektorů. Tím vzniká přebytek tepla, který činí 7 756,88 kWh a který bude prostřednictvím vrtů tepelného čerpadla uložen do země a následně využit v otopném období. Kolektory se tedy pokryje 7 809,17 kWh z celkové potřeby tepla. Tepelné čerpadlo WPC 7 má výkon 7,4 kW a bude v provozu 2300 hodin ročně. Tepelným čerpadlem pokryjeme 17 020 kWh. Zbývá tedy pokrýt 2 742,78 kWh, tuto potřebu bude krýt elektrokotel o výkonu 8,8 kW, který je součástí tepelného čerpadla. Viz. tab. 4.26 a tab. 4.27. Obr. 6 ukazuje energetickou bilanci v jednotlivých měsících.

Měsíc	Potřeba tepla [kWh]	Teplo ze sol. kolektorů [kWh]	Přebytek tepla [kWh]	Teplo, které je potřeba dodat [kWh]
I.	4 591,38	286,91	0	4 304,47
II.	3 896,28	580,16	0	3 316,12
III.	3 599,83	1 282,03	0	2 317,8
IV.	2 620,1	1 599,91	0	1 020,19
V.	988,53	2 052,97	1 064,44	0
VI.	278,76	2 112,02	1 833,26	0
VII.	288,05	2 201,32	1 913,27	0
VIII.	288,05	2 334,72	2 046,67	0
IX.	694,57	1 593,81	899,24	0
X.	2 568,62	902,76	0	1 665,86
XI.	3 483,7	380,97	0	3 102,73
XII.	4 274,08	238,47	0	4 035,61
<b>celkem</b>	<b>27 571,95</b>	<b>15 566,05</b>	<b>7 756,88</b>	<b>19 762,78</b>

Tab. 4.26 Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla do země



Obr. 4.7 Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla do země

Zdroj	Krytí potřeby tepla [kWh]
tepelné čerpadlo	17 020
solární kolektory	7 809,17
elektrokotel	2 742,18
<b>celkem</b>	<b>27 571,95</b>

Tab. 4.27 Krytí potřeby tepla jednotlivými zdroji pro systém s ukládáním tepla do země

Přebytek tepla ze solárních kolektorů, který se získá během období květen až září, bude prostřednictvím zemních vrtů ukládán do země a následně bude tento přebytek využit v otopném období. Protože teplotní látka v solárních kolektorech a v zemních sondách není totožná, je nutné pro převod tepla ze solárních kolektorů do zemních sond použít deskový výměník. V deskovém výměníku předá teplotní látka kolektorů teplo teplotní látce tepelného čerpadla a přebytek tepla ze solárních kolektorů se tak uloží do země. Následně se uložené teplo využije v topném období. Podle experimentů pana Heinze Schulze [4] lze teplo uložené do normální pevné horniny následně z 65% odebrat zpět, tedy 35% tepla se v zemi ztratí.

Deskový výměník se použije od firmy SWEP, výpočtový program výrobce zjistil, že pro tento systém bude nejvhodnější deskový výměník B8/40, který má účinnost 90%. Přebytek tepla ze solárních kolektorů je 7 809,17 kWh. Díky účinnosti výměníků je systém schopen pomocí zemních sond uložit do země 7 028,25 kWh. V topném období se odebere zpět 65% z tohoto uloženého tepla, tedy 4 568,37 kWh.

#### 4.5.5 Investiční náklady pro systém s ukládáním tepla

##### Tepelné čerpadlo – WPC 7 + Solární systém - Thermosolar TS300 + ukládání tepla v letních měsících do země

Tepelné čerpadlo WPC 7	149 600 Kč
- Kompresor	
- El. kotel 8,8 kW	
- Chladivo	
- Regulátor	
- Oběhové čerpadlo	
- Expanzní nádoba a pojistný ventil	
Zásobník 300 l	25 000 Kč
Propojovací materiál	16 000 Kč
- Měděné potrubí v kotelně	
- Tepelná izolace	
- Regulační ventil	
- Pojistný ventil	
- Napouštěcí sestava, odvzdušnění, upínací a spojovací materiál	
Elektroinstalace	12 000 Kč
- El. rozvaděč	
- Silové propojení	
- Signální připojení	
Topenářské práce	30 000 Kč
- Propojení topného systému	
- Izolace topného systému	
- Propojení výměníku se strojovnou	
Ostatní výdaje	20 000 Kč
- Doprava	
- Režie firmy	
- Spouštění TČ	
Výkopové práce	
Provedení GV 75 T10 H	146 600 Kč
Kolektory Thermosolar TS300 14 ks	138 800 Kč
Příslušenství	35 000 Kč

- Konzoly	
- Háky	
- Solaren	
Oběhové čerpadlo	6 700 Kč
Expanzní nádoba	2 500 Kč
Propojovací materiál	20 000 Kč
- Trubky	
- Izolace	
- Armatury	
- Fitinky	
Regulátory	10 000 Kč
Práce	20 000 Kč
Elektroinstalace	8 000 Kč
Deskový výměník SWEP	7 200 Kč
<b>Celkové investiční náklady bez DPH</b>	<b>647 400 Kč</b>

Celkové investiční náklady jsou 647 400 Kč. Jednotlivé ceny zařízení a služeb jsou čerpány z internetových stránek. [12,13,16,17] a mohou se mírně lišit od jiných zdrojů. O provedení výkopových prací a instalací zemního plošného kolektoru se postará firma ST KODEK. Podle ceníku bylo vybráno provedení GV 75 T10 H, které má topný výkon 7 500 W, zásobník se rozkládá na ploše 150 m<sup>2</sup>. Je zde 8 měděných trubek o délce 55 m, cena celého systému je 146 560 Kč. [15]

#### 4.6 Návrh systému bez ukládání tepla do země

Pro návrh systému bez možnosti ukládání tepla do země opět vycházíme z celkové roční potřeby tepla, která je stejná jako pro předchozí návrh a tedy 27 571,95 kWh. Použije se stejné tepelné čerpadlo se stejným elektrokotlem jako u systému s ukládáním tepla do země. Rozdíl bude v počtu solárních kolektorů, jelikož nejsou vyžadovány přebytky tepla ze solárního systému a systém si tedy vystačí jen se 4 solárními kolektory.



#### 4.6.1 Energetická bilance pro systém s ukládáním tepla

Energie získaná ze solárních kolektorů se vypočítá stejným způsobem jako je tomu v kapitole 4.5.2, pouze s tím rozdílem, že celková aktivní plocha kolektorů je 7,04 m<sup>2</sup>. Energie získaná ze solárních kolektorů je v tab. 4.28.

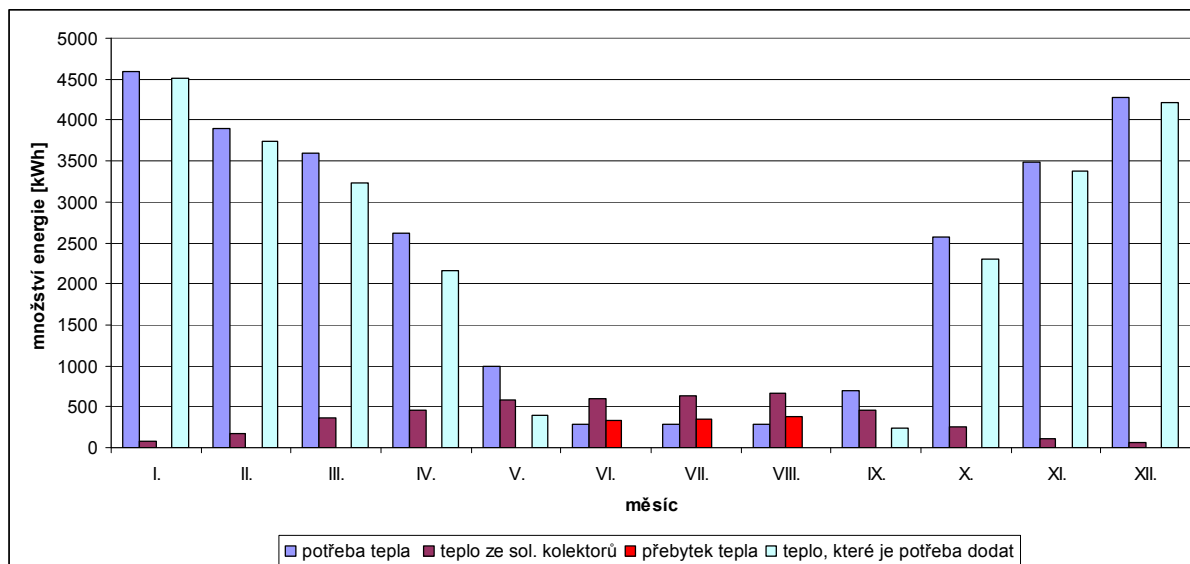
Energie získaná ze solárních kolektorů [kWh]					
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
81,97	165,76	366,29	457,12	586,56	603,43
VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
628,95	667,06	455,37	257,93	108,85	68,13

Tab.4.28 Energie získaná ze solárních kolektorů

Celkem se tedy získá 4 447,42 kWh. I zde v letních měsících vzniká přebytek tepla, který je 1044,58 kWh, ale tento přebytek nebude ukládán do země, pouze se jím přehřeje TUV, která je již ohřátá na požadovanou teplotu. Energetická bilance pro tento systém je znázorněna v tab. 4.29 a obr. 4.7.

Měsíc	Potřeba tepla [kWh]	Teplo ze sol. kolektorů [kWh]	Přebytek tepla [kWh]	Teplo, které je potřeba dodat [kWh]
I.	4 591,38	81,97	0	4 509,41
II.	3 896,28	165,76	0	3 730,52
III.	3 599,83	366,29	0	3 233,54
IV.	2 620,1	457,12	0	2 162,98
V.	988,53	586,56	0	401,97
VI.	278,76	603,43	324,67	0
VII.	288,05	628,95	340,9	0
VIII.	288,05	667,06	379,01	0
IX.	694,57	455,37	0	239,2
X.	2 568,62	257,93	0	2 310,69
XI.	3 483,7	108,85	0	3 374,85
XII.	4 274,08	68,13	0	4 205,95
<b>Celkem</b>	<b>27 571,95</b>	<b>4 447,42</b>	<b>1 044,58</b>	<b>24 169,11</b>

Tab. 4.29 Energetická bilance pro systém bez ukládání tepla do země



Obr. 4.8 Energetická bilance pro systém bez ukládání tepla do země

Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV je tedy stejně jako v minulém případě 27 571,95 kWh. Ze solárních kolektorů se ročně získá 3 402,84 kWh. Tepelné čerpadlo WPC 7 má výkon 7,4 kW a bude v provozu 2300 hodin ročně. Tepelným čerpadlem se pokryje 17 020 kWh. Zbývá pokrýt 7 149,11 kWh. Tuto potřebu bude krýt elektrokotel o výkonu 8,8 kW, který je součástí tepelného čerpadla.

Zdroj	Krytí potřeby tepla [kWh]
tepelné čerpadlo	17 020
solární kolektory	3 402,84
elektrokotel	7 149,11
<b>Celkem</b>	<b>27 571,95</b>

Tab. 4.30 Krytí potřeby tepla jednotlivými zdroji pro systém s ukládáním tepla do země

#### 4.6.2 Investiční náklady pro systém bez ukládání tepla

##### Tepelné čerpadlo – WPC 7 + Solární systém - Thermosolar TS300

Tepelné čerpadlo WPC 7

149 600 Kč

- Kompressor
- El. kotel 8,8 kW
- Chladivo
- Regulátor
- Oběhové čerpadlo

- Expanzní nádoba a pojistný ventil	
Zásobník 300 l	25 000 Kč
Propojovací materiál	16 000 Kč
- Měděné potrubí v kotelně	
- Tepelná izolace	
- Regulační ventil	
- Pojistný ventil	
- Napouštěcí sestava, odvzdušnění, upínací a spojovací materiál	
Elektroinstalace	12 000 Kč
- El. rozvaděč	
- Silové propojení	
- Signální připojení	
Topenářské práce	30 000 Kč
- Propojení topného systému	
- Izolace topného systému	
- Propojení výměníku se strojovnou	
Ostatní výdaje	20 000 Kč
- Doprava	
- Režie firmy	
- Spouštění TČ	
Výkopové práce	
Provedení GV 75 T10 H	146 600 Kč
Kolektory Thermosolar TS300 4 ks	44 000 Kč
Příslušenství	10 000 Kč
- Konzoly	
- Háky	
- Solaren	
Oběhové čerpadlo	6 700 Kč
Expanzní nádoba	2 500 Kč
Propojovací materiál	14 000 Kč
- Trubky	
- Izolace	
- Armatury	
- Fitinky	

Regulátory	8 000 Kč
Práce	16 000 Kč
Elektroinstalace	8 000 Kč
Deskový výměník SWEP	7 200 Kč
<b>Celkové investiční náklady bez DPH</b>	<b>515 600 Kč</b>

## 5 EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ SYSTÉMŮ

V této kapitole je z ekonomického hlediska porovnán systém vytápění s ukládáním tepla do země, systém vytápění bez ukládání tepla do země a systém s vytápěním pomocí přímotopného kotle.

### 5.1 Výpočet průměrných ročních nákladů

#### Srovnávané zařízení

- **Tepelné čerpadlo - WPC 7** systém země – voda o tepelném výkonu 7,4 kW s vestavěným elektrokotlem o výkonu 8,8 kW + **Solární systém - Thermosolar TS300**, 14 solárních kolektorů + **ukládání tepla v letních měsících do země**
- **Tepelné čerpadlo - WPC 7** systém země – voda o tepelném výkonu 7,4 kW s vestavěným elektrokotlem o výkonu 8,8 kW + **Solární systém - Thermosolar TS300**, 4 solární kolektory
- **Přímotopný elektrokotel – DAKON PTE 10** s topným výkonem 9,9 kW

Průměrné roční náklady jsou vypočítány součtem celkových investičních nákladů s provozními náklady za celou dobu životnosti a dále vydělením počtu let životnosti zařízení. Varianta, která má nejnižší průměrné roční náklady je nejefektivnější.

Celkové jednorázové investiční náklady jsou vypočítány v bodě 4.5.5 a v bodě 4.6.2. Roční provozní náklady se vypočítají dle spotřeby, distribuční sazby a velikostí jističe. V tomto návrhu jsou zanedbávány paušální poplatky za produktovou řadu. Je to vlastně poplatek za úroveň poskytnutých služeb, které může zákazník využívat. V případě nejlevnější produktové řady – e-tarif, která využívá elektronickou komunikaci, jsou paušální poplatky 10 Kč/měsíc. Tato nízká částka by se promítla do všech tří systémů stejně, takže návratnost by byla stále stejná. Ceny energií platí bohužel jen pro první rok po uvedení zařízení do

provozu, poté se musí vzít v úvahu vývoj cen energií v dalších letech a udělat tak odhad vývoje cen. Odhad v této práci se samozřejmě může lišit od budoucí skutečnosti. Pro tento návrh je předpokládán každoroční růst cen elektrické energie o 5 %.

Do celkových ročních provozních nákladů je potřeba započítat roční spotřebu na ohřev TUV, viz tab. 4.4, spotřebu na vytápění viz tab. 4.3, spotřebu na ostatní elektrické spotřebiče, která se uvažuje 4 000 kWh [18] a hlavní jistič. Tímto způsobem se respektují různé délky trvání vysokého (VT) a nízkého (NT) tarifu a tedy i různé ceny za 1 kWh spotřebované elektrické energie u sazby D45d a D56d. Pro zjednodušení nejsou počítány náklady na údržbu a opravu. Tyto náklady by nám neměly výrazně ovlivnit výsledek.

Tab. 4.26 a tab. 4.29 ukazují jaká je celková potřeba tepla pro vytápění, kolik tepla vyrobí solární kolektory a také kolik energie je potřeba ještě dodat zabudovaným elektrokotlem.

Sazba D56d tepelné čerpadlo WPC 7 s topným faktorem 4,4				
Druh spotřebiče	Domácí spotřebiče	El. kotel	Vytápění	Jistič
Spotřeba [kWh]	4 000	2 742,78	3 868,2	3x25 A
Roční náklady [Kč]	8 674	5 882,99	8 296,9	3 600
<b>Celkem [Kč]</b>	<b>26 453,89</b>			

Tab. 4.31 Celkové roční provozní náklady systému s ukládáním tepla do země

Sazba D56d tepelné čerpadlo WPC 7 s topným faktorem 4,4				
Druh spotřebiče	Domácí spotřebiče	El. kotel	Vytápění	Jistič
Spotřeba [kWh]	4 000	7 149,11	3 868,2	3x25 A
Roční náklady [Kč]	8 674	15 334,13	8 296,9	3 600
<b>Celkem [Kč]</b>	<b>35 905,03</b>			

Tab. 4.32 Celkové roční provozní náklady systému bez ukládání tepla do země

Sazba D56d – sazba pro tepelná čerpadla u které je HDO sepnuto do:

- VT (2 hod/den) 2,42791 Kč/kWh
- NT (22 hod/den) 2,14486 Kč/kWh
- Jistič do 3x25 A 300 Kč/měsíc

Sazba D45d elektrokotel			
Druh spotřebiče	Domácí spotřebiče	El. kotel	Jistič
Spotřeba [kWh]	4 000	27 850,46	3x32 A
Roční náklady [Kč]	8 895,47	59 707,49	4 608
<b>Celkem [Kč]</b>	<b>73 210,96</b>		

Tab. 4.33 Celkové roční provozní náklady systému s elektrokotlem

Sazba D45d – sazba přímotopy, pro které je HDO sepnuto do:

- VT (4 hod/den) 2,62391 Kč/kWh
- NT (20 hod/den) 2,14386 Kč/kWh
- Jistič do 3x32 A 384 Kč/měsíc

Sazby D45d a D56d jsou uvedeny v příloze E. Ceny elektrické energie jsou brány pro ČEZ a jsou platné od 1.1.2012.

Pro výpočty celkové peněžní částky je u elektrokotle uvažována účinnost udaná výrobcem, tj. 99 % a vychází se z roční spotřeby energie na vytápění a přípravu TUV. U tepelného čerpadla je v úvahu brán topný faktor 4,4. Do celkových ročních provozních nákladů jsou započítány i náklady za provoz domácích spotřebičů (pračka, myčka, osvětlení, mikrovlnná trouba apod.). Návrh systému s elektrokotlem a návrh systému s tepelným čerpadlem mají každý jinou distribuční sazbu a tudíž i jinou cenu za odebranou elektrickou energii. U TČ a elektrokotle je uvažováno blokování vytápění a ohřevu TUV v době vysokého tarifu. U spotřebičů je uvažován chod jak v nízkém, tak ve vysokém tarifu. U systému s TČ je VT 2 hod/den a NT 22 hod/den. U systému s elektrokotlem je VT 4 hod/den a NT 20 hod/den. Výsledkem jsou celkové roční náklady pro stávající ceny elektrické energie, viz tab. 4.31, tab. 4.32 a tab. 4.33.

## **5.2 Dotace**

Finanční podpora není nároková a záleží na posouzení a výběru konkrétních projektů ze všech přihlášených a na tyto projekty je poté dotace zpětně poskytnuta. Z tohoto důvodu jsou dotace uvedeny jen jako možnost snížení investičních nákladů při pořízení tepelného čerpadla a solárního systému.

Dle dotační kalkulačky [19] vychází výše možné dotace 190 000 Kč. Dotace se získá jednak za tepelné čerpadlo země/voda (75 000Kč), dále za solární systém, který zahřívá užitkovou vodu a přitápí (80 000 Kč) a také je zde dotační bonus za kombinaci těchto dvou systémů (20 000 Kč) a za ostatní dotace (15 000 Kč).

### 5.3 Návratnost systémů

Investiční náklady u systému s ukládáním tepla do země jsou vypočítány v bodě 4.5.5, u systému bez ukládání tepla do země v bodě 4.6.2.

U elektrokotle je do pořizovacích nákladů započítán kotel DAKON PTE 10 v ceně 16 490 Kč (viz příloha D), dále samostatná akumulční nádrž Dražice NADO o objemu 160 l pro přípravu TUV v ceně 16 793 Kč. Náklady na dopravu, montáž a odzkoušení byly odhadnuty na 6 000 Kč. Celkové pořizovací náklady u elektrokotle tedy činí 29 283 Kč.

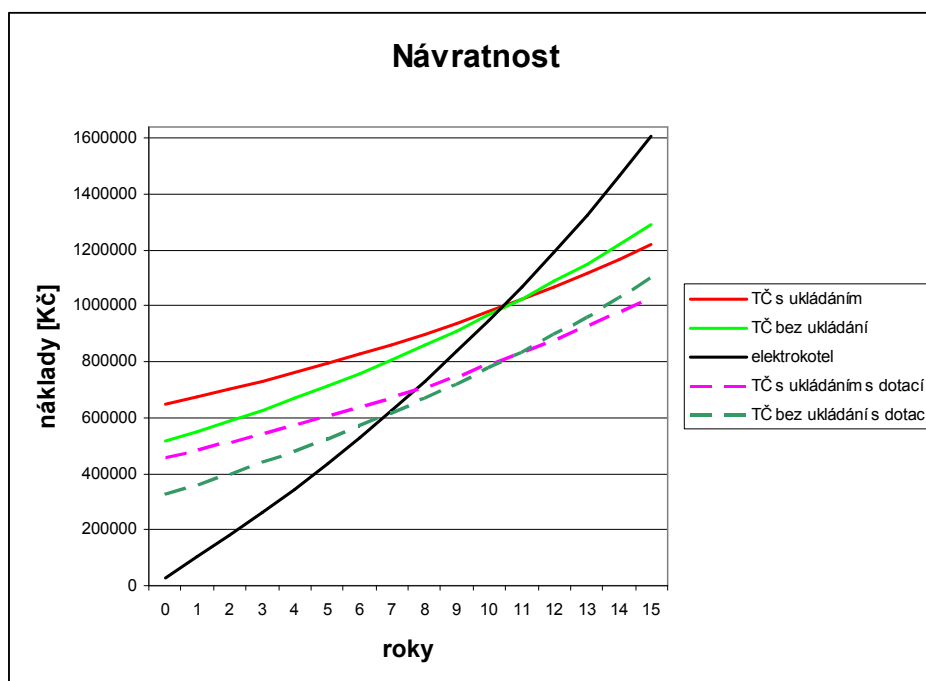
Rok	TČ s ukládáním	TČ bez ukládání	Elektrokotel	TČ s ukládáním s dotací	TČ bez ukládání s dotací
0	647 400	515 600	29 283	457 400	325 600
1	673 853,89	551 505,03	102 493,96	483 853,89	361 505,03
2	701 630,48	589 205,31	179 365,47	511 630,48	399 205,31
3	730 795,89	628 790,61	260 080,55	540 795,89	438 790,61
4	761 419,57	670 355,17	344 831,39	571 419,57	480 355,17
5	793 574,44	713 997,96	433 819,77	603 574,44	523 997,96
6	827 337,05	759 822,88	527 257,57	637 337,05	569 822,88
7	862 787,8	807 939,06	625 367,26	672 787,8	617 939,06
8	900 011,08	858 461,04	728 382,43	710 011,08	668 461,04
9	939 095,52	911 509,12	836 548,36	749 095,52	721 509,12
10	980 134,19	967 209,61	950 122,59	790 134,19	777 209,61
11	1 023 224,79	1 025 695,12	1 069 375,5	833 224,79	835 695,12
12	1 068 469,91	1 087 104,91	1 194 591,1	878 469,91	897 104,91
13	1 115 977,3	1 151 585,18	1 326 067,5	925 977,3	961 585,18
14	1 165 860,06	1 219 289,47	1 464 117,7	975 860,06	1 029 289,47
15	1 218 236,95	1 290 378,97	1 609 070,4	1 028 236,95	1 100 378,97

Tab. 4.34 Náklady na vytápění v prvních 15ti letech provozu

Za nultý rok jsou dosaženy pořizovací náklady. Každý další rok jsou připočítány roční náklady na provoz a od druhého roku i zvyšování ceny energií o 5 %.

Návratnost systému s ukládáním tepla do země i bez ukládání tepla do země je po 11ti letech v porovnání s elektrokotlem. Pokud by na tyto systémy byla povolena dotace, tak by návratnost u systému bez ukládání tepla do země byla po necelých 7mi letech a u systému s ukládáním tepla do země po necelých 8mi letech.

Systém s ukládáním tepla do země se vyplatí oproti systému bez ukládání tepla do země po 11-ti letech. Tyto výsledky se dají vyčíst z tab. 4.34 a z obr. 4.8.



Obr. 4.9 Návratnost jednotlivých systémů

U systémů s TČ je vzata v úvahu výměna kompresoru po 15-ti letech provozu, což jsou jednorázové náklady v hodnotě cca 40 000 Kč.

V celkových nákladech za celou dobu životnosti jsou sečteny veškeré náklady vynaložené za celou dobu životnosti vytápěcího systému. V tab. 4.35 je opět uvažováno zvýšení cen elektrické energie o 5 %.

	<b>TČ s ukládáním</b>	<b>TČ bez ukládání</b>	<b>elektrokotel</b>
<b>Pořizovací náklady [Kč]</b>	647 400	515 600	29 283
<b>Roční provozní náklady [Kč]</b>	26 453,89	35 905,03	73 210,96
<b>Životnost [roky]</b>	30	30	40
<b>Jednorázové náklady [Kč]</b>	40 000	40 000	-
<b>Celkové náklady za dobu životnosti [Kč]</b>	2 336 078	2 793 300	8 382 290
<b>Průměrné roční náklady [Kč]</b>	<b>77 869,27</b>	<b>93 110</b>	<b>209 557,25</b>

Tab. 4.35 Porovnání průměrných ročních nákladů

Výsledkem tohoto srovnání systémů jsou průměrné roční náklady, z nichž vyplývá, že jako nejvýhodnější systém je vytápění tepelným čerpadlem spolu se solárními kolektory, kde se přebytky z kolektorů ukládají do země. Průměrné roční náklady tohoto systému jsou oproti systému bez ukládání tepla cca 83 % a oproti elektrokotli cca 37 %. Pokud se ceny elektrické energie budou zvyšovat rychleji, tak se rozdíl mezi průměrnými ročními náklady na provoz obou systémů bude prohlubovat.



## 6 ZÁVĚR

Návrh systému jsem vytvořil pro rodinný domek se zahradou, který se nachází v okolí Plzně s nadmořskou výškou 400 m.n.m. Tepelná ztráta objektu je 11,6 kW a celková potřeba tepla na vytápění a na ohřev TUV je 27 571,95 kWh. Výpočet jsem provedl jak pro systém s ukládáním tepla do země, tak pro stejný systém bez ukládání tepla do země.

V prvním návrhu jsem zvolil 14 solárních kolektorů od firmy Thermosolar. Z celkové plochy kolektorů 24,64 m<sup>2</sup> lze dle výpočtů získat 15 566,05 kWh, avšak 7 756,88 kWh je přebytek tepla, který se v letních měsících uloží pomocí sond do země. Tepelné čerpadlo WPC 7 jsem zvolil, aby krylo 62% potřebného výkonu na vytápění, tedy 17 020 kWh. Zbytek, tedy 2 742,78 kWh bude krýt elektrokotel, který je součástí tepelného čerpadla. V topném období se pomocí tepelného čerpadla odebere zpět 4 568,37 kWh.

V druhém návrhu jsem zvolil 4 solární kolektory od firmy Thermosolar. Z celkové plochy 7,04 m<sup>2</sup> lze získat 4 447,42 kWh. Přebytek v tomto případě je 1 044,58 kWh, ale nebude nikterak využit. Tepelné čerpadlo jsem zvolil stejné jako v prvním návrhu. Elektrokotel bude muset krýt 7 149,11 kWh.

Srovnání systémů jsem vypočítal přes výpočet průměrných ročních nákladů. Průměrné roční náklady jsou u systému s ukládáním tepla do země 77 869,27 Kč, u systému bez ukládání tepla do země 93 110 Kč a u návrhu s elektrokotlem 209 557,25 Kč. Z výsledků lze vyčíst, že návratnost systému s ukládáním tepla do země i bez ukládání tepla do země je po 11ti letech v porovnání s elektrokotlem. V případě, že by na tyto systémy byla povolena dotace, tak by návratnost u systému bez ukládání tepla do země byla už po necelých 7mi letech a u systému s ukládáním tepla do země po necelých 8mi letech. V případě porovnání systémů se solárními kolektory a tepelným čerpadlem se systém s ukládáním tepla do země vyplatí po 11ti letech provozu. Životnost kolektorů a tepelných čerpadel se udává více než 11 let, tedy s každým následujícím rokem by se teoreticky měla úspora u systému s ukládáním tepla do země zvyšovat. Ve výpočtech jsem počítal s cenami energií, které se každý rok zvyšují o 5%. Tato myšlenka je velmi relativní a skutečnost se od návrhu může lišit.

Spolupráce tepelného čerpadla s aktivním solárním systémem v navrhovaném kombinovaném provozu s ukládáním tepla do země je dle určitých zdrojů reálná. Návrh systému se teoreticky, i přes vysokou počáteční investici, vyplatí. Ale řízení tohoto systému bude velmi složité. Abych mohl z energetického a ekonomického hlediska přesně posoudit tento systém, bylo by potřeba celý systém realizovat a několik let proměřovat. Poté bych dostal skutečný výsledek.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

### **Knihy a ostatní**

- [1] Cihelka J.: Sluneční vytápěcí systémy, Praha, nakladatelství technické literatury, 1984
- [2] Srdečný K., Truxa J.: Tepelná čerpadla, Brno, nakladatelství ERA, 2005
- [3] Junkers Skupina Bosch: Tepelná čerpadla pro vytápění a ohřev vody, 2011
- [4] Schulz H.: Teplo ze slunce a země, nakladatelství HEL, 1999
- [5] Česká energetická agentura: Klimatologické údaje, 2002
- [6] Přednášky z předmětu SOES
- [7] Cihelka J.: Solární tepelná technika, Praha, nakladatelství technické literatury, 1994
- [8] Voženílek, Vít, a kol.: Atlas podnebí Česka, Český hydrometeorologický ústav, 2007
- [9] Karlík R.: Tepelné čerpadlo pro váš dům, GRADA, 2009

### **Webové zdroje:**

- [10] Matuška. Solární kolektory. Vystaveno 2009 [cit. 2011-11-24]. Dostupné z:  
[http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/AZE\\_texty.pdf](http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/AZE_texty.pdf).
- [11] Beranovský, Kašparová, Macholda, Srdečný, Truxa. Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla. Vystaveno 2007 [cit. 2011-11-26]. Dostupné z:  
<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelna-cerpadla>
- [12] IVT Tepelná čerpadla. Typy tepelných čerpadel. Vystaveno 2003 [cit. 2011-12-22].  
Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel>
- [13] TZB-info. Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. [cit. 2012-2-12].  
Dostupné z <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [14] SOMATHERM. Odhad tepelných ztrát a roční potřeby tepla. Vystaveno 2010. [cit. 2012-3-2]. Dostupné z <http://www.vytapani.cz/kalkulacky/tepelne-ztraty>
- [15] ST KODEK. Ceník tepelných čerpadel. [cit.2012-3-19]. Dostupné z  
<http://www.studnyavrty.cz/cenik-tepelnych-cerpadel-geotermik.html>
- [16] Mastný. Tepelné čerpadlo a aktivní solární systém v kombinovaném provozu. Vystaveno 2007 [cit. 2012-4-1]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/4125-tepelne-cerpadlo-a-aktivni-solarni-system-v-kombinovanem-provozu-iii>

- [17] SOLAR. Solární kolektor TS 300. Vystaveno 2011. [cit.2012-3-19]. Dostupné z <http://www.solarnitechnika.info/nase-nabidka/ts-300/>
- [18] NED. Kolik energie spotřebuje průměrná domácnost? Vystaveno 2003. [cit.2012-3-30]. Dostupné z [http://ned.kvalitne.cz/energie/spotreba\\_domacnost.html](http://ned.kvalitne.cz/energie/spotreba_domacnost.html)
- [19] Ministerstvo životního prostředí ČR. Dotační kalkulačka. Vystaveno 2009. [cit.2012-4-2]. Dostupné z <http://www.zelenausporam.cz/sekce/580/jednoducha-dotacni-kalkulacka/>
- [20] Skupina ČEZ. Ceníky pro rok 2012. Vystaveno 2012. [cit.2012-4-10]. Dostupné z <http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/elektrina/ceny/2012/domacnost/comfort.html>
- [21] Stiebel Eltron. Tepelná čerpadla země – voda. [cit.2012-4-1]. Dostupné z <http://www.stiebel-eltron.cz/obnovitelne-zdroje-energie/produkty/tepelne-cerpadlo/tepelna-cerpadla-zeme-voda/wpc-5-13/>
- [22] SWEP. Výměníky tepla. [cit.2012-2-16]. Dostupné z <http://www.swep.net/index.php?tpl=productmodels&lang=cz&id=361>
- [23] DAKON. Elektrokotel Dakon DALINE PTE. [cit.2012-4-15]. Dostupné z <http://www.dakon.cz/cs/dakon-daline-pte-4-18-kw-3.html>
- [24] Dražice. Akumulační nádrže. [cit.2012-4-15]. Dostupné z <http://www.dzd.cz/cs/akumulacni-nadrze/>
- [25] Hestia, Bilance a výpočty. [cit.2012-4-15]. Dostupné z <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/12.htm>

## 8 PŘÍLOHY

### Příloha A – Tabulky ke kapitole 4.3 Solární potenciál místa

měsíc	Azimut Slunce a v denní době							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					-40,77	-27,95	-14,25	0
XI. a I.					-42,35	-29,13	-14,88	0
X. a II.				-59,32	-46,43	-32,20	-16,55	0
IX. a III.			-78,40	-66,17	-52,55	-37,00	-19,28	0
VIII. a IV.		-97,43	-86,00	-73,77	-59,83	-43,17	-23,02	0
VII. a V.	-114,10	-103,17	-92,67	-81,43	-66,50	-49,10	-27,08	0
VI.	-116,28	-105,57	-94,70	-83,17	-69,60	-52,20	-29,30	0
měsíc	Azimut Slunce a v denní době							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	14,25	27,95	40,77					
XI. a I.	14,88	29,13	42,35					
X. a II.	16,55	32,20	46,43	59,32				
IX. a III.	19,28	37,00	52,55	66,17	78,40			
VIII. a IV.	23,02	43,17	59,83	73,77	86,00	97,43		
VII. a V.	27,08	49,10	66,50	81,43	92,67	103,17	114,10	
VI.	29,30	52,20	69,60	83,17	94,70	105,57	116,28	

Tab. Azimut Slunce a v denní době [1]

měsíc	Výška Slunce nad obzorem $h$ v denní době							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					6,43	11,88	15,35	16,55
XI. a I.					9,50	15,20	18,75	20,00
X. a II.				9,33	17,02	23,13	27,12	28,50
IX. a III.			9,58	18,75	27,03	33,86	38,33	40,00
VIII. a IV.		8,78	18,40	27,88	36,73	44,27	49,57	51,50
VII. a V.	6,07	15,18	24,73	34,62	43,57	51,72	57,72	60,00
VI.	8,75	17,75	27,23	36,85	46,20	54,52	60,97	63,55
měsíc	Výška Slunce nad obzorem $h$ v denní době							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	15,35	11,88	6,43					
XI. a I.	18,75	15,20	9,50					
X. a II.	27,12	23,13	17,02	9,33				
IX. a III.	38,33	33,86	27,03	18,75	9,58			
VIII. a IV.	49,57	44,27	36,73	27,88	18,40	8,78		
VII. a V.	57,72	51,72	43,57	34,62	24,73	15,18	6,07	
VI.	60,97	54,52	46,20	36,85	27,23	17,75	8,75	

Tab. Výška Slunce nad obzorem  $h$  v denní době [1]

měsíc	cos $\gamma$ v denní době							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					0,61	0,76	0,85	0,88
XI. a I.					0,63	0,78	0,87	0,91
X. a II.				0,47	0,67	0,83	0,93	0,96
IX. a III.			0,26	0,50	0,70	0,86	0,96	1,00
VIII. a IV.		0,02	0,27	0,51	0,71	0,86	0,96	0,99
VII. a V.	0	0,03	0,27	0,49	0,69	0,84	0,93	0,97
VI.	0	0,03	0,27	0,49	0,68	0,83	0,92	0,95
měsíc	cos $\gamma$ v denní době							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	0,85	0,76	0,61					
XI. a I.	0,87	0,78	0,63					
X. a II.	0,93	0,83	0,67	0,47				
IX. a III.	0,96	0,86	0,70	0,50	0,26			
VIII. a IV.	0,96	0,86	0,71	0,51	0,27	0,02		
VII. a V.	0,93	0,84	0,69	0,49	0,27	0,03	0	
VI.	0,92	0,83	0,68	0,49	0,27	0,03	0	

Tab. Velikost cos  $\gamma$  v denní době

měsíc	Hodnota $\varepsilon$ v denní době							
	5	6	7	8	9	10	11	12
XII.					2,07	2,96	3,52	3,72
XI. a I.					2,56	3,50	4,07	4,27
X. a II.				2,54	3,79	4,76	5,38	5,58
IX. a III.			2,58	4,07	5,36	6,36	6,98	7,20
VIII. a IV.		2,45	4,02	5,49	6,76	7,74	8,35	8,56
VII. a V.	2,01	3,49	5,01	6,47	7,65	8,58	9,17	9,37
VI.	2,44	3,91	5,39	6,78	7,97	8,87	9,46	9,66
měsíc	Hodnota $\varepsilon$ v denní době							
	13	14	15	16	17	18	19	
XII.	3,52	2,96	2,07					
XI. a I.	4,07	3,50	2,56					
X. a II.	5,38	4,76	3,79	2,54				
IX. a III.	6,98	6,36	5,36	4,07	2,58			
VIII. a IV.	8,35	7,74	6,76	5,49	4,02	2,45		
VII. a V.	9,17	8,58	7,65	6,47	5,01	3,49	2,01	
VI.	9,46	8,87	7,97	6,78	5,39	3,91	2,44	

Tab. Velikost  $\varepsilon$  v denní době

## Příloha B – Solární kolektor TS 300



# Slniečny termický kolektor TS 300

Objednávacie čísla: TS 300 s prírubovými vývodmi  
TS 300 s vývodmi z Cu rúrky

\$1542  
\$1543

## Opis kolektora:

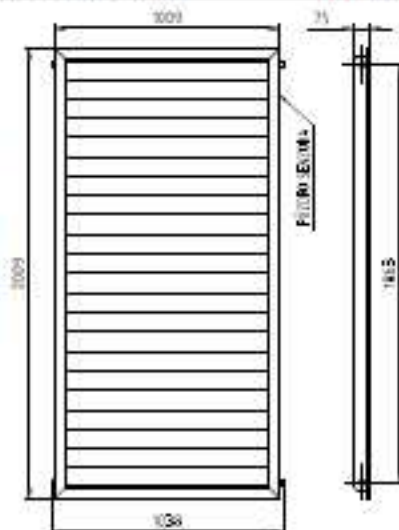
Plochy kolektor, určený pre solárne systémy s obehovým čerpadlom.

Instaluje sa vo vertikálnej polohe. Kolektory sa spájajú paralelne, maximálne 10 kolektorov v jednom rade.

Dodáva sa s prírubovými vývodmi (pripájajú sa k hydraulickému okruhu rýchlospojkami  $\varnothing 26$  mm) alebo s vývodmi z Cu rúrky  $\varnothing 18 \times 0,8$  mm (pripájajú sa k hydraulickému okruhu spájkovaním).

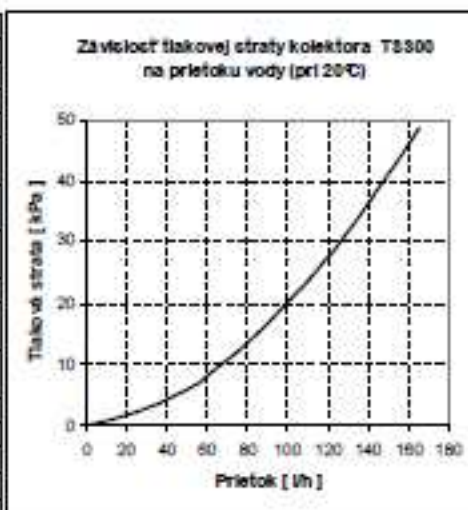
Konstrukcia: Kompaktná lisovaná skriňa z Al-Mg plechu, v ktorej je upevnené bezpečnostné solárne sklo pomocou zasklievacieho rámu z nekorodujúcich hliníkových profilov.

Absorber: Tvarovaný hliníkový plech so selektívnou konverznou vrstvou, ktorý obopína meander z medenej rúrky.



## Technické údaje:

Pôdorysná plocha	2,03 m <sup>2</sup>
Absorpčná plocha	1,78 m <sup>2</sup>
Spojovací rozmer	1040x2040 mm
Hmotnosť	36,1 kg
Kvapalnový obsah	1,57 l
Maximálny pretlak teplosnosnej kvapaliny	600 kPa
Odporúčany prietok teplosnosnej kvapaliny	30-100 l/h na jeden kolektor
Prípojovacie vývody	prírubové $\varnothing 26$ mm alebo Cu rúrky $\varnothing 18 \times 0,8$ mm
Puzdro teplotného snímača	pre senzor $\varnothing 6$ mm
Krycie sklo	solárne bezpečnostné, hrúbka 4 mm
Skriňa kolektora	výlisok z nekorodujúceho Al-Mg plechu
Tepelná izolácia	minerálna vlna
Selektívna konverzná vrstva	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (čierny)
Slniečna absorptivita $\alpha_{MIR}$	95 %
Tepelná emisivita $\epsilon_{MIR}$	13 %
Optická účinnosť	61%
Odporúčaná prac. teplota	pod 100°C
Stagnačná teplota (pri žiarení 1000W/m <sup>2</sup> a teplote okolia 30°C)	170°C
Minimálny ročný energetický zisk z 1m <sup>2</sup> plochy kolektora podľa metodiky RAL UZ 73	525 kWh/m <sup>2</sup> rok



THERMOVSOLAR Žiar s.r.o., Na vartičke 14, 965 01 Žiar nad Hronom, Slovenská republika  
Tel.: +421-45-601 6080, +421-45-601 6000, Fax: +421-45-671 6244, obchod@thermosolar.sk, www.thermosolar.sk

M0008\_13

MU

Technické zmeny vyhradené

11.03.2010

## Příloha C – Tepelné čerpadlo WPC 7

## TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ/VODA WPC (COOL) POPIS PŘÍSTROJE, FUNKCE



### Krátce a stručně

- určeno pro systém země/voda
- pro plně automatický ohřev topné vody až na 60°C
- rozsah použití vstupního média -5 až +20°C
- kompaktní přístroj s funkcemi vytápění a přípravy teplé vody a u WPC cool s pasivním chlazením
- vestavěný zásobníkový ohřívač vody
- obsahuje všechna bezpečnostně technická zařízení i všechny součásti nutné pro provoz
- vestavěný elektrokotel s škálovým spínáním výkonu 2,6/6,3/8,8 kW
- protihlukově řešená konstrukce s izolací tělesa kompresoru a opěštitel z materiálu pohlcujícího zvuk
- chráněno proti korozi; vnější díly opěštitel jsou zhotoveny z žárově pozinkovaného ocelového plechu a dodatečně nastříkány vysoce kvalitním lakem
- určeno jen pro vnitřní instalaci v nezamrzajících prostorech
- kontinuální řízení vytápění, ohřevu vody i bezpečnostních funkcí vestavěnou elektrotechnickou regulací WPMI
- značky zkušeben jsou uvedeny na typovém štítku
- ekologické chladivo R410A

### Popis přístroje

Kompaktní tepelné čerpadlo systému země/voda pro vnitřní instalaci s vestavěným 200-litrovým zásobníkovým ohřívačem teplé vody, oběhovým čerpadlem zdroje, oběhovým čerpadlem a přepínacím ventilem (vytápění/příprava teplé vody), elektrokotlem a elektrotechnickou regulací. Součástí dodávky jsou pojistné ventily pro stranu zdroje i stranu vytápění a tlumiče chvění (pružné hadice).

Agregát tepelného čerpadla je vybaven plně hermetickým kompresorem Scroll s rozdílovými odpory, režimem řízení slože fáz, kondenzátorem, výparníkem, interním vlastním zabezpečovacím zařízením, kombinovaným tlídačem nízkého a vysokého tlaku a protizamrazovým tlídačem.

Vestavěná elektrotechnická regulace umožňuje plně automatické vytápění pro 2 topné okruhy (i směšovaný), prioritu přípravy teplé vody, protikondenzát ní provoz, výsudecí provoz pro podlahy a propojení na PC i přes modem. Tepelné čerpadlo pracuje s ekologickým chladivem R410A.

### Princip funkce

Podle tepelného výměníku na straně zdroje tepla (výparníku) je tomuto zdroji odnímáno teplo.

V důsledku přídání elektrické energie (kompresor) se topná voda v tepelném výměníku na straně vody (kondenzátoru) ohřívá podle nastavení regulace na +15°C až +60°C. Předpokladem pro bezvadnou funkci je odborné provedení a řízení zdroje tepla.

U provedení země/voda je nutné navrhout jímáč energie podle projektových podkladů a údajů výrobce se zohledněním chladicího výkonu TČ.

### WPC cool

Tato modifikace obsahuje oproti WPC navíc trojcestný ventil a výměník, zajišťující funkci pasivního chlazení.

### Součástí základní dodávky je:

- vlastní tepelné čerpadlo se vstředním výměníkem a kompresorem
- pojistný ventil
- oběhové čerpadlo vytápění a TUV
- přepínací ventil topení / TUV
- regulátor WPMI, varikovní čidlo, 1 ks příložné čidlo, 1 ks čidlo do jímky
- vestavěný elektrokotel 8,8 kW
- vestavěný zásobník TUV 200 litrů
- čerpadlo pro vrtvy nebo zemní kolektor
- gumové tlukové připojovací hadice
- kompenzátory hluku a vibrací
- toto vše v jedné skříni

Zvlášť je nutné podle projektu vytápění a přípravy užitkové vody objednat u Stiebel Eltron - viz Příslušenství:

- akumulční zásobník
- v závislosti na schématu čidlo topného okruhu (TF6A - do jímky nebo AVF 6 - příložné)
- regulaci okruhu s pasivním chlazením
- FEK - u plošných systémů
- FEZ - u funkci jednotek - ty musí být s odvodem kondenzátu

### Stavba dodá m.j.:

- expanzní nádoba topné soustavy
- expanzní nádoba topné soustavy vrtů

KOMPAKTNÍ TEPELNÁ ČERPADLA ZEMĚ/VODA WPC A WPC COOL  
TECHNICKÉ ÚDAJE

typ	WPC 5 (cool)	WPC 7 (cool)	WPC 10 (cool)	WPC 13 (cool)								
objemová čísla WPC	22 02 31	22 02 52	22 02 53	22 02 54								
objemová čísla WPC cool	22 02 55	22 02 56	22 02 57	22 02 58								
<b>technické údaje – strana z droje tepla a teple vody</b>												
rozah použití zdroje tepla	°C -5 až +30		kolísavý (max. 30 min.) až max. +40°C									
teplota teple vody	°C +15 až +60											
objemový průtok, topná strana	m <sup>3</sup> /h 0,3	0,7	0,9	1,7								
tlakový rozdíl, topná strana	hPa 420	360	310	230								
objemový průtok, zdroj tepla	m <sup>3</sup> /h 1,4	1,9	2,7	3,1								
tlakový rozdíl, zdroj tepla	hPa 120	460	380	230								
připojení teple a teple vody	mm 22 násuv. připojení	22 násuv. připojení	22 násuv. připojení	22 násuv. připojení								
připojení studené a teple vody	mm 22 násuv. připojení	22 násuv. připojení	22 násuv. připojení	22 násuv. připojení								
připojení zdroje tepla	mm 28 násuv. připojení	28 násuv. připojení	28 násuv. připojení	28 násuv. připojení								
chladiivo	R410A	R410A	R410A	R410A								
hmotnost naplně	kg 1,5	2,0	2,5	3,1								
netto objem nádrže teple vody	l 175	175	162	162								
max. provozní tlak zásobníku TV	bar 10	10	10	10								
<b>elektrické data</b>												
ol. připojení kompresoru	ø x mm 1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"								
ol. připojení elektrického	ø x mm 1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"								
řídící vedení	ø x mm 1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"	1/2" x 3/8"								
řídící kompresoru	A 3K16 C	3K16 C	3K16 C	3K16 C								
řídící topného tělesa	A 3K16 B	3K16 B	3K16 B	3K16 B								
řídící řídící okruhu	A 3K16 B	3K16 B	3K16 B	3K16 B								
elektrické krytí dle EN 60529	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20								
napájení / frekvence	WHz 3/PE- 400 V 50 Hz, třífáz. / 230 V 50 Hz											
připojení topného tělesa	V/Hz/kW 3/N/PE- 400 V 50 Hz, 8,8 kW											
nominální proud	A 25	25	28	30								
<b>rozměry a hmotnost</b>												
výška x šířka x hloubka	mm 2100 x 600 x 650											
hmotnost WPC	kg 275	285	285	305								
hmotnost WPC cool	kg 285	293	303	315								
<b>ostatní charakteristické provedení</b>												
protektorizace ochrana	povrchová / čístečně lakovaná											
odpověď bezpečnosti při úniku vody	UNWV/DI/GS											
tladina a kustičního výkonu (EN 12102)	dB(A) 43	44	44	50								
tladina a kustičního tlaku (1 m vzdálenost)	dB(A) 35	35	40	42								
<b>výkonová data (naměřeno pro 33% Ethylenglykol a 66% vodou podle EN 14813)</b>												
teplota zdroje tepla	°C 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
teplota teple vody	°C +35	+45	+60	+35	+45	+60	+35	+45	+60	+35	+45	+60
topný výkon	kW 5,9	5,7	5,3	7,4	6,9	6,3	10,0	9,7	7,9	12,8	11,1	11,2
ol. výkon	kW 1,3	1,7	2,4	1,7	2,1	3,0	2,3	2,9	4,3	3,9	3,7	5,3
topný faktor	ε 4,5	3,3	2,2	4,4	3,2	2,1	4,3	3,2	1,8	4,4	3,7	2,1
tepelná účinnost při Bo/W <sub>35</sub> **	K 10,0		10,0			9,9				9,8		
<b>pro WPC cool</b>												
chladičí výkon *	kW 3,8	3,2	6,0		6,1							

\* při teplotě přívodu 12°C venku, sání ze zdroje a 12°C vstřívnosti z chladicího okruhu  
\*\* Bo/W<sub>35</sub> – teplota vstřívnosti 0 °C, teplota teple vody 35 °C



## Příloha D – Elektrokotel DALINE PTE 10

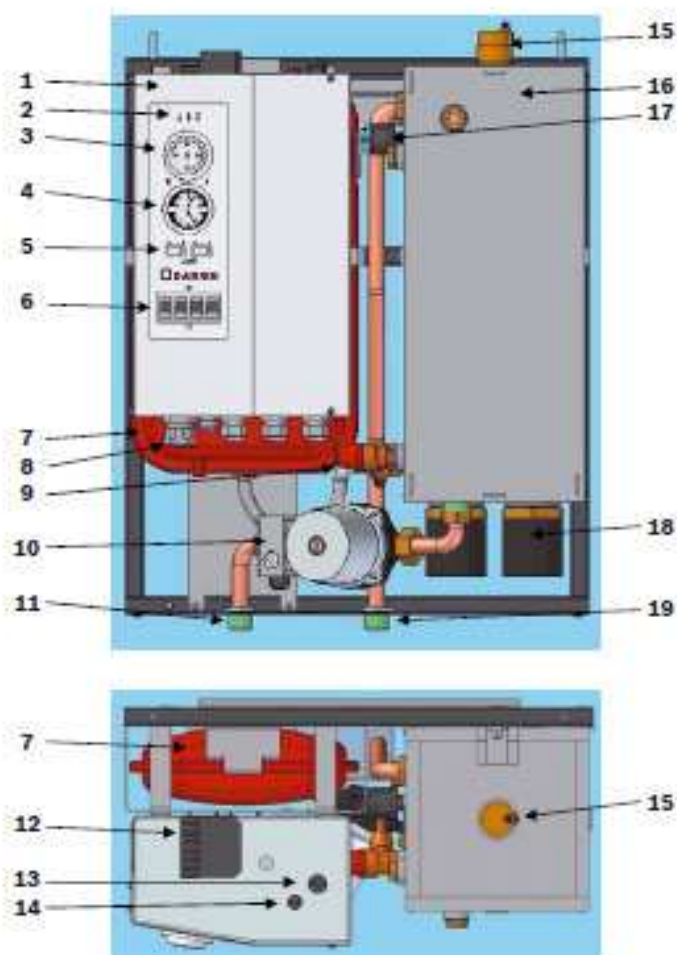


## Technické údaje

Tabulka technických parametrů kotlů Dakon Daline PTE		DALINE PTE 4	DALINE PTE 6	DALINE PTE 8	DALINE PTE 10	DALINE PTE 14	DALINE PTE 18
Parametr / design kotle	MJ						
Topný výkon	kW	3,96	5,94	7,92	9,9	13,86	17,82
Celkový max.příkon	kW	4,1	6,1	8,1	10,1	14,1	18,1
Účinnost	%	99					
Řazení spirál	kW	2-2	4-2	4-4	4-4-2	6-6-2	6-6-6
Počet stupňů	-	2			3		
Počet stykačů	ks	2			3		
Nizkohlučné stykače	-	ano					
Řazení výkonů vypínači	kW	2-4	4-6	4-8	4-6-8-10	6-8-12-14	6-12-12-18
Proud	A	7	9	12	15	21	27
Požadovaný jistič před kotlem	A	10	10	13	16	25	32
Min. průřezy přívodních kabelů	mm <sup>2</sup>	5(4)x2,5	5(4)x2,5	5(4)x2,5	5(4)x4	5(4)x6	5(4)x6
Typ vypínače v kotli	A	63					
Napětí	Vac	3x400/230					
El.krytí	IP	IP40					
Svorčky pro On/Off termostat	-	230V~					
Max.provozní tlak	bar	2,5					
Min.provozní tlak	bar	0,8					
Objem vody	l	9,5					
Max.teplota ohřívané vody	°C	90					
Tlaková expanzní nádrž	l	7					
Pojistňovací ventil 1/2"	bar	2,5					
Rozměr vstup(vnější.závit)	Js	G3/4					
Rozměr výstup(vnější.závit)	Js	G3/4					
Hmotnost kotle bez vody	kg	36				40	
Šířka	mm	550					
Výška	mm	695					
Hloubka	mm	270					



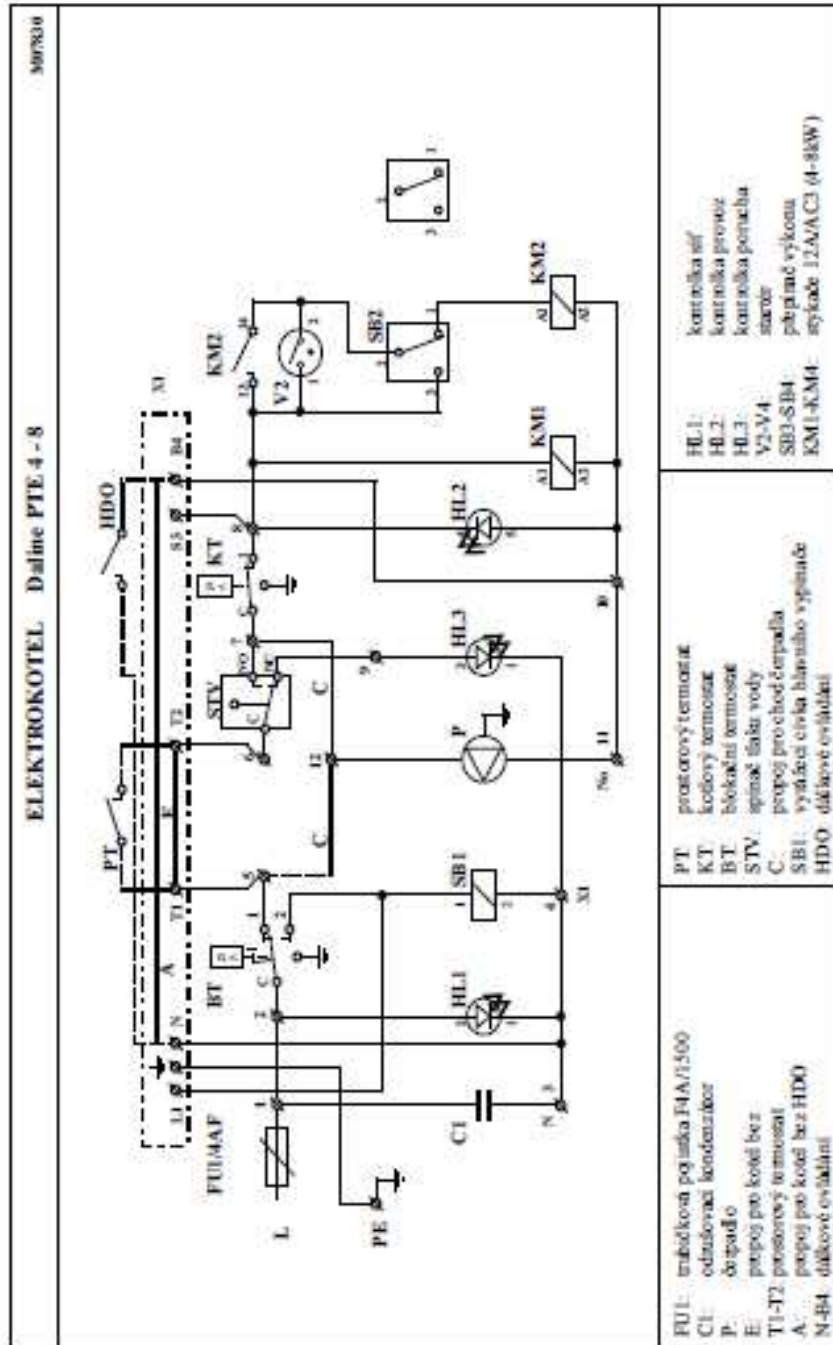
Konstrukční provedení



- |                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 Elektrochrán se síťovými prvky | 11 Vstup vratné vody          |
| 2 Kontrolky provozu              | 12 Konektor ovládacích obvodů |
| 3 Kotlový termostat              | 13 Blokační termostat         |
| 4 Termomanometr                  | 14 Pojistka ovládacích obvodů |
| 5 Spínače výkonových stupňů      | 15 Odvzdušňovací ventil       |
| 6 Hlavní vypínač                 | 16 Kotlové těleso s izolací   |
| 7 Expanzní nádoba                | 17 Tlakový spínač             |
| 8 Průchodka přívodního kabelu    | 18 Topné tyče                 |
| 9 Pojistný ventil                | 19 Výstup topné vody          |
| 10 Čerpadlo                      |                               |

# ELEKTROKOTLE

Elekterické schéma kotle



Příloha E – ceník skupiny ČEZ platný od 1.1.2012

PRODUKTY ROKU 2012	REGULOVANÉ PLATBY ZA DOPRAVU ELEKTŘINY												OSIATNÍ SLUŽBY			SILOVÁ ELEKTŘINA			CELKEM			
	DISTRIBUCE												cena za 1 MWh			cena za 1 MWh*			cena za 1 MWh*			
	měsíční plat za rezervovaný výkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem												cena za 1 MWh			pevná cena za měsíc			VT		NT	
	odpověď dávající sazba	do 3-10 A nad 3-10 A nad 3-20 A nad 3-25 A do 3-25 A do 3-40 A do 3-50 A do 3-63 A za každý včetně včetně včetně včetně včetně		1 A 1 A 1 A 1 A 1 A		2 3 4 5 6 7 8 9 10		VT NT		systémové podpory výkupu služby elektřiny		cinnosti zúčtování OTE		VT NT		VT NT						
<b>Standard</b>	6,00 (7,20)	10,00 (12,00)	12,00 (14,40)	15,00 (18,00)	19,00 (22,80)	24,00 (28,80)	30,00 (36,00)	38,00 (45,60)	0,60 (0,72)	0,20 (0,24)	2 529,04 (3 034,85)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 595,00 (1 875,96)	4 634,01 (5 594,77)	1 701,86 (2 076,39)				
<b>D02d</b>	30,00 (36,00)	48,00 (57,60)	60,00 (72,00)	75,00 (90,00)	96,00 (115,20)	120,00 (144,00)	150,00 (180,00)	189,00 (226,80)	3,00 (3,60)	1,00 (1,20)	1 891,74 (2 270,89)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 931,00 (2 351,16)	3 956,71 (4 830,01)	1 701,86 (2 076,39)				
<b>D25d</b>	48,00 (57,60)	77,00 (92,40)	96,00 (115,20)	120,00 (144,00)	154,00 (184,80)	192,00 (230,40)	240,00 (288,00)	302,00 (362,40)	4,80 (5,76)	1,60 (1,92)	1 972,84 (2 367,41)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 931,00 (2 351,16)	4 473,81 (5 402,53)	1 701,86 (2 076,39)				
<b>D26d</b>	93,00 (111,60)	149,00 (178,80)	186,00 (223,20)	233,00 (279,60)	298,00 (357,60)	372,00 (446,40)	465,00 (558,00)	586,00 (703,20)	9,30 (11,16)	3,10 (3,72)	658,44 (790,13)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 931,00 (2 351,16)	3 159,41 (3 825,25)	1 701,86 (2 076,39)				
<b>D35d</b>	102,00 (122,40)	163,00 (195,60)	204,00 (244,80)	255,00 (306,00)	326,00 (391,20)	408,00 (489,60)	510,00 (612,00)	643,00 (771,60)	10,20 (12,24)	3,40 (4,08)	244,94 (293,93)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	2 014,00 (2 450,76)	2 829,91 (3 428,65)	1 991,86 (2 424,49)				
<b>D45d</b>	120,00 (144,00)	192,00 (230,40)	240,00 (288,00)	300,00 (360,00)	384,00 (460,80)	480,00 (576,00)	600,00 (720,00)	756,00 (907,20)	12,00 (14,40)	4,00 (4,80)	244,94 (293,93)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 809,00 (2 204,76)	2 623,91 (3 182,65)	2 144,86 (2 607,79)				
<b>D55d</b>	40,00 (48,00)	63,00 (75,60)	79,00 (94,80)	99,00 (118,80)	127,00 (152,40)	159,00 (189,60)	199,00 (237,60)	249,00 (298,80)	3,00 (3,60)	1,30 (1,56)	244,94 (293,93)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 613,00 (1 969,56)	2 427,91 (2 947,45)	2 144,86 (2 607,79)				
<b>D56d</b>	120,00 (144,00)	192,00 (230,40)	240,00 (288,00)	300,00 (360,00)	384,00 (460,80)	480,00 (576,00)	600,00 (720,00)	756,00 (907,20)	12,00 (14,40)	4,00 (4,80)	244,94 (293,93)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 613,00 (1 969,56)	2 427,91 (2 947,45)	2 144,86 (2 607,79)				
<b>D61d</b>	12,00 (14,40)	19,00 (22,80)	24,00 (28,80)	30,00 (36,00)	38,00 (45,60)	48,00 (57,60)	60,00 (72,00)	76,00 (91,20)	1,20 (1,44)	0,40 (0,48)	3 418,54 (4 102,25)	144,00 (172,80)	419,22 (503,06)	6,75 (8,10)	50,00 (60,00)	1 724,00 (2 102,76)	5 712,51 (6 888,97)	2 081,71 (2 532,01)				