

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra elektroenergetiky**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**



## **Vytápění historického objektu tepelným čerpadlem a využití energie slunce**

*Heating of the historic building by heat pump  
and using sun energy*

**Autor práce:** Bc. Jaroslav Kulanda

**Vedoucí práce:** Doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

**květen 2015**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Jaroslav Kulanda

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: Vytápění historického objektu tepelným čerpadlem s využitím energie slunce

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s problematikou vytápění v rámci současné právní úpravy v ČR.
- 2) Pro zvolený objekt určete potřebné tepelné technické vlastnosti nutné pro návrh otopného systému.
- 3) Navrhněte otopný systém s využitím alternativních zdrojů energie.
- 4) Navržené řešení ekonomicky zhodnoťte.

Seznam odborné literatury:

- [1] TZB-info - stavební, úspory energií, technická zařízení. 2015 [online].  
[cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/>
- [2] ENZA - energetická zařízení s.r.o. 2015 [online].  
Dostupné z: <http://www.enza.cz/tepelna-cepadla.htm>
- [3] STAVBA DOMU - nejlepší stavební portál 2015 [online].  
Dostupné z: <http://www.stavba-domu.cz>
- [4] Solar24.cz - BAU Czech, s.r.o. - systémy pro lepší bydlení 2015 [online].  
Dostupné z: <http://www.factorsolar.cz/>
- [5] PROTECH group s.r.o. 2015 [online]. 2015  
Dostupné z: <http://www.protech-group.cz/zelená-energetika/fotovoltaicke-elektrarny/princip-fotovoltaiky>

Vedoucí: doc. Jan Kyndl Dr. Ing.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.  
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Datum: 5. 5. 2015

.....

vlastnoruční podpis autora

## **Poděkování**

Úvodem bych velmi rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za ochotu a jeho drahocenný čas, stejně jako za jeho cenné připomínky a rady a za celkové metodické vedení této práce.

## **Anotace:**

Tato diplomová práce má za cíl seznámit čtenáře s problematikou vytápění historických budov se zachováním jejich původního rázu a účelu, ovšem s využitím moderních technologií včetně využití alternativních zdrojů energie. V úvodu se budeme zabývat výpočty tepelných ztrát v kontextu problematických tepelně-izolačních parametrů původních stavebních materiálů. Dále plynule navážeme na analýzu použití vhodných otopných ploch a místně dostupných zdrojů tepla. V hlavní části práce se budeme následně věnovat tepelným čerpadlům a analýze možností využití sluneční energie. Závěrečná část práce je pak věnována vzájemnému technicko-ekonomickému porovnání analyzovaných systémů.

## **Klíčová slova:**

tepelné ztráty, prostup, větrání, infiltrace, kondukce, konvekce, radiace, otopná soustava, otopná plocha, podlahové vytápění, tepelný zdroj, tepelné čerpadlo, solární kolektor, fotovoltaický článek, ekonomické porovnání

## **Summary:**

The aim of this thesis is to explain the problematic heating of historic buildings while maintaining their original character and purpose, but using modern technology, including the use of alternative energy sources. In the introduction we will deal with heat loss calculations in the context of problematic thermal insulation parameters of the original building materials. Furthermore I will smoothly move to analysis using appropriate heating surfaces and locally available sources of heat. In the main part we will dedicate to heat pumps and analyse and calculate the possibility of using solar energy. The final part is devoted to reciprocal techno-economic comparison of the analyzed systems.

## **Key words:**

loss of heat, penetrate, ventilation, infiltrate, conduction, convection, radiation, heating system, heating surface, underfloor heating, heat source, heat pump, solar collector, photovoltaic system, economic comparison

## **OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>POPIS OBJEKTU .....</b>	<b>10</b>
2.1	POPIS .....	10
2.2	PROBLEMATIKA HISTORICKÝCH BUDOV .....	11
2.2.1	<i>Tepelná pohoda .....</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Nadměrná vlhkost .....</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>Odvlhčení objektu .....</i>	<i>12</i>
2.2.4	<i>Vytápění objektu .....</i>	<i>12</i>
<b>3</b>	<b>VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT .....</b>	<b>14</b>
3.1	TEPELNÉ ZTRÁTY JEDNOTLIVÝCH MÍSTNOSTÍ.....	14
3.1.1	<i>Součinitelé prostupu tepla .....</i>	<i>14</i>
3.1.2	<i>Tepelné ztráty prostupem .....</i>	<i>15</i>
3.1.3	<i>Tepelné ztráty větráním resp. infiltrací .....</i>	<i>17</i>
3.1.4	<i>Celkové tepelné ztráty místností .....</i>	<i>18</i>
3.2	TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU .....	18
<b>4</b>	<b>NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY .....</b>	<b>19</b>
4.1	SYSTEMY VYTÁPĚNÍ OBECNĚ .....	19
4.2	OTOPNÁ SOUSTAVA .....	20
4.3	ZPŮSOB PŘENOSU TEPLA.....	21
4.4	OTOPNÉ PLOCHY .....	23
4.4.1	<i>Lokální přímotopné / akumulární vytápění .....</i>	<i>24</i>
4.4.2	<i>Vytápění konvekčními otopnými tělesy .....</i>	<i>25</i>
4.4.3	<i>Sálavé stropní vytápění.....</i>	<i>27</i>
4.4.4	<i>Velkoplošné otopné plochy .....</i>	<i>27</i>
4.5	PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ – POKRYTÍ TEPELNÝCH ZTRÁT MÍSTNOSTÍ .....	29
<b>5</b>	<b>ANALÝZA DOSTUPNÝCH ZDROJŮ VYTÁPĚNÍ.....</b>	<b>33</b>
5.1	POROVNÁNÍ DOSTUPNÝCH MOŽNOSTÍ.....	33
5.2	VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍHO ŘEŠENÍ.....	34
<b>6</b>	<b>TEPELNÉ ČERPADLO .....</b>	<b>35</b>
6.1	PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA A JEHO HLAVNÍ ČÁSTI .....	35
6.1.1	<i>Kompresor .....</i>	<i>36</i>
6.1.2	<i>Kondenzátor .....</i>	<i>36</i>
6.1.3	<i>Expanzní ventil .....</i>	<i>37</i>
6.1.4	<i>Výparník .....</i>	<i>37</i>

# VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

6.2	ZÁKLADNÍ POJMY .....	38
6.3	ZÁKLADNÍ TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL .....	38
6.3.1	<i>Vzduch–voda</i> .....	38
6.3.2	<i>Vzduch–vzduch</i> .....	39
6.3.3	<i>Země–voda</i> .....	39
6.3.4	<i>Voda–voda</i> .....	40
6.4	VÝBĚR VHODNÉHO TYPU TEPELNÉHO ČERPADLA .....	41
<b>7</b>	<b>VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE .....</b>	<b>41</b>
7.1	TERMOVOLÁRNÍ TOPNÁ SOUSTAVA .....	42
7.1.1	<i>Solární kolektor</i> .....	43
7.1.2	<i>Tepelný zásobník</i> .....	45
7.1.3	<i>Teplonosné médium</i> .....	45
7.1.4	<i>Oběhové čerpadlo</i> .....	45
7.1.5	<i>Regulace solárního systému</i> .....	46
7.2	FOTOVOLTANICKÁ SOUSTAVA .....	47
7.2.1	<i>Fotovoltaický modul</i> .....	47
7.2.2	<i>Střídače a MPPT sledovače</i> .....	49
7.2.3	<i>Ostatní zařízení</i> .....	50
<b>8</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ .....</b>	<b>51</b>
8.1	URČENÍ POTŘEBY TEPLA .....	51
8.1.1	<i>Potřeba tepla pro vytápění</i> .....	51
8.1.2	<i>Potřeba tepla pro TUV</i> .....	52
8.2	POROVNÁVANÉ VARIANTY .....	54
8.2.1	<i>Samostatně pracující tepelné čerpadlo</i> .....	54
8.2.1.1	<i>Investiční náklady</i> .....	54
8.2.1.2	<i>Provozní náklady</i> .....	55
8.2.2	<i>Tepelné čerpadlo + termosolární kolektory</i> .....	59
8.2.2.1	<i>Investiční náklady</i> .....	59
8.2.2.2	<i>Provozní náklady</i> .....	59
8.2.3	<i>Tepelné čerpadlo + fotovoltaické moduly</i> .....	65
8.2.3.1	<i>Investiční náklady</i> .....	65
8.2.3.2	<i>Provozní náklady</i> .....	65
8.3	VLASTNÍ EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ.....	67
8.3.1	<i>Specifikace porovnávaných variant</i> .....	67
8.3.2	<i>Metody hodnocení</i> .....	69



# VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

8.3.2.1	<i>Doba návratnosti (DN)</i> .....	69
8.3.2.2	<i>Průměrné roční náklady (PRN)</i> .....	69
8.3.2.3	<i>Vnitřní výnosové procento (IRR)</i> .....	70
8.3.2.4	<i>Čistá současná hodnota (NPV)</i> .....	70
8.3.3	<i>Porovnání a vyhodnocení</i> .....	71
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>74</b>
	<b>Použitá literatura a ostatní informační zdroje</b> .....	<b>77</b>
	<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>79</b>
	<b>Seznam grafů</b> .....	<b>80</b>
	<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>80</b>
	<b>Seznam příloh</b> .....	<b>80</b>

## 1 ÚVOD

Tato práce má za úkol překlenout možná zdánlivě si odporující a pro někoho téměř neslučitelné použití moderních technologií dneška, co se týče zajištění tepelné pohody a co největšího komfortu vytápění historického objektu postaveného z původních materiálů a původními technologiemi, přičemž jedním z hlavních priorit je zároveň zachování původního historického rázu objektu.

## 2 POPIS OBJEKTU

### 2.1 POPIS

Motivací k tomuto zamyšlení a podrobné analýze bylo řešení vytápění staré zemědělské usedlosti, resp. její obytné části. Jedná se o objekt v jižních Čechách, jehož kořeny sahají prokazatelně až do 16.století. Tomu odpovídá použitý stavební materiál a způsob provedení stavby. V současné době zde probíhá poměrně rozsáhlá rekonstrukce, jejímž cílem je vybudování celoročně obyvatelného domu s maximálním zachováním původního rázu vesnického stavení.



*Obr.1 Náš konkrétní modelový objekt pro realizaci vytápění*

## **2.2 PROBLEMATIKA HISTORICKÝCH BUDOV**

U těchto a podobných staveb bývá vždy prvotní problém vlhkost. Objekty bývají postaveny přímo na podkladní zemině, bez použití jakýchkoli horizontálních izolací, případně jsou, stejně jako v tomto případě, dokonce zasazeny do svažitého terénu se zeminou přiléhající k obvodovým stěnám, tentokrát pro změnu s absencí izolací vertikálních. Nadměrná vlhkost v objektu je kromě zdravotně závadného prostředí zodpovědná za zhoršení účinnosti vytápění.

### **2.2.1 Tepelná pohoda**

Tepelná pohoda je pocit, který vnímá člověk při pobytu v určitém prostředí. Člověk sám produkuje teplo, proto musí být zajištěn odvod přebytečného tepla tak, aby nedocházelo k nadměrnému zvýšení teploty těla. Na druhé straně ale nesmí docházet k snížení teploty pod mez, která by působila pocit chladu. Tepelnou rovnováhu člověka a okolí je možno vyjádřit vztahem:

$$Q_m \pm Q_k \pm Q_s - Q_e - Q_d \pm Q_v = 0$$

Odtud plyne, že tepelný tok vyprodukovaný metabolismem  $Q_m$  (50 – 500 W/m<sup>2</sup>) se do okolí odvádí nejen vypařováním, tj. difusí a pocením  $Q_e$  (> 10 W/m<sup>2</sup>) a dýcháním  $Q_d$  (2 – 5 W/m<sup>2</sup>), ale dále může být odváděn nebo naopak doplňován v souvislosti s okolním prostředím konvekcí  $Q_k$  a sáláním  $Q_s$ , v menší míře případně též vedením  $Q_v$ . [1]

Jednotlivé tepelné toky jak vidno můžeme přesně kvantifikovat, a zejména účinkům vedení, konvekce a sálání a jejich vlivu na vytápění jednotlivých místností se budeme zabývat v dalších kapitolách, kde budou zároveň tyto pojmy blíže vysvětleny.

Faktory pro dosažení tepelné pohody:

- 1) Subjektivní – závislé na psychickém stavu, věku, schopnosti aklimatizace
- 2) Objektivní (měřitelné a ovlivnitelné technickými prostředky):
  - a. Teplota vzduchu
  - b. Vlhkost vzduchu
  - c. Rychlost proudění vzduchu
  - d. Teplota okolních stěn či předmětů

### **2.2.2 *Nadměrná vlhkost***

Ze základního popisu objektu s ohledem na výše uvedené informace je zřejmé, že kromě problematiky samotného vytápění se bude potřeba primárně vypořádat s již zmíněnou vlhkostí. Její nadměrná míra má za následek krom narušení tepelné pohody též případnou degradaci stavebních konstrukcí, způsobení kondenzace na chladnějších částech a s tím související vznik plísní.

S nadměrnou vlhkostí též souvisí dopady na zvýšení spotřeby energie pro vytápění. Ze všech těchto důvodů by měla být věnována při rekonstrukci těchto objektů prvotní pozornost právě účinným opatřením proti nadbytečné vlhkosti.

### **2.2.3 *Odvlhčení objektu***

Opatření pro účinné odvlhčení objektu přesahuje rámec této práce a je mu věnováno dostatečné množství odborné stavební literatury (doporučuji např. odborné knihy Ing. Michaela Balíka, CSc.). [2,3]

V našem konkrétním případě byla provedena kombinace několika opatření ke snížení nadměrné vlhkosti (provedení dodatečné horizontální izolace chemickými clonami, zbudování provětrávaných podlah systémem IPT desek s jejich následným napojením na přirozený odtah a systém sanačních omítek).

### **2.2.4 *Vytápění objektu***

Vytápění historického objektu má svá specifika. Krom již zmíněných problémů s vlhkostí je nutno vzít v potaz teplotně izolační vlastnosti původních stavebních materiálů. Objekt nepůjde ve většině případů z estetických či památkářských důvodů nikterak dodatečně zateplit, bude použito převážně kamenné zdivo, okna budou nejspíše špaletová, stropy klenuté či povalové, opět buďto vůbec, či nedostatečně zateplené. Toto vše je potřeba brát v potaz při výpočtu tepelných ztrát.

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

Dále budeme chtít určitě řešit estetické hledisko s ohledem na volbu způsobu vytápění, resp. umístění, či neumístění vhodných, či méně vhodných tepelných zdrojů či otopných ploch.

V našem případě budeme např. chtít zachovat stávající kachlová kamna s kachlovou pecí, která je umístěna v centru objektu a která díky svým přirozeným akumulacím vlastnostem poslouží minimálně nejen jako vkusný, ale nanejvýš funkční bivalentní zdroj tepla.

Jako hlavní zdroj tepla pak budeme chtít použít nízkopotenciální tepelný zdroj (tepelné čerpadlo, příp. ve spolupráci s energií slunce), proto (pokud to výpočty umožní) budeme uvažovat rozvody tepla v provedení teplovodního podlahového vytápění, které je pro nízkopotenciální zdroje prioritně určeno. Tím bychom měli zároveň zajištěné plošné vytápění, resp. temperování celého objektu, což by mělo zajistit kromě vyšší tepelné pohody pro obyvatele též další pozitivní vliv, a to celoplošné snížení vlhkosti v objektu. Ve spojení se zmíněným využitím sluneční energie bychom tím měli zajištěno temperování de facto „zdarma“ během letních měsíců.

Takovýto je tedy popis výchozího stavu objektu a primární myšlenka způsobu jeho vytápění. Nyní přistoupíme tzv. od slov k činům a pomocí sofistikovaných výpočtů provedeme potřebnou technickou analýzu objektu, resp. zamýšleného způsobu vytápění, což bude pro vyvození správného ekonomicko-technického závěru nezbytné.

### **3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT**

Jak již bylo naznačeno, pro úvahy o možných způsobech vytápění objektu je tedy nejprve potřeba provést výpočet tepelných ztrát, a to jak tepelných ztrát v jednotlivých místnostech pro návrh jednotlivých otopných ploch, tak tepelné ztráty celého objektu pro určení minimálního tepelného výkonu zvoleného tepelného zdroje.

#### **3.1 TEPELNÉ ZTRÁTY JEDNOTLIVÝCH MÍSTNOSTÍ**

Výpočet tepelných ztrát by měl být v souladu s ČSN EN 12831, přičemž uvažujeme ztráty prostupem a ztráty větráním, resp.infiltrací. [4]

##### **3.1.1 Součinitelé prostupu tepla**

Pro to, abychom mohli vypočítat tepelné ztráty místností, musíme nejprve určit součinitele prostupu tepla pro jednotlivé části stavební konstrukce. Konkrétní místnost si pro tyto účely rozdělíme podle těchto stavebních částí a dle následujícího postupu jednotlivé součinitele vypočítáme (tabulka výpočtů pro náš objekt je součástí přílohy č.1).

$$U_K = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$$

kde  $R_{si}$  je odpor při přestupu tepla směrem z místnosti do konstrukce  
 $R_j$  jsou tepelné odpory jednotlivých vrstev konstrukce  
 $R_{se}$  je tepelný odpor přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí  
 $R_{si}$  a  $R_{se}$  jsou v závislosti na směru tepelného toku dány tabulkou:

Tepelný odpor	Směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolů
$R_{si}$	0,1	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

*Tab.1 Tepelný odpor dle směru tepelného toku*

Tepelné odpory jednotlivých vrstev stavební konstrukce (omítka, zateplení, zdivo, apod.) vypočítáme ze vztahu:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

kde  $d_j$  je tloušťka vrstvy v konstrukci

$\lambda_j$  je tepelná vodivost materiálu

Tepelná vodivost je u moderních materiálů součástí firemních katalogů výrobců. V případě historických budov je přesné určení tepelných vodivostí vzhledem k použitým materiálům velmi problematické a vychází se většinou z tabulek normy 73 0540-4 nebo z tabulek na serveru [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) (sekce vytápění, oddíl výpočty a tabulky), z kterýchžto jsme vycházeli i my.

Pro každý typ konstrukce jsou zmíněnou normou dány zároveň maximální požadované hodnoty tepelných vodivostí, které by u nově projektovaných staveb neměly být překročeny. V případě historické budovy však z těchto požadavků budeme muset nejspíše slevit, neb zateplení budovy, které by problém vyřešilo, nebude připadat do úvahy.

### **3.1.2 Tepelné ztráty prostupem**

Máme-li, pokud možno co nejpřesněji, určeny součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce, můžeme přikročit k výpočtu tepelných ztrát prostupem (též kondukcí čili vedením). Pro výpočet budeme potřebovat, krom zmíněných součinitelů prostupu tepla, znát plochu ohříváných, resp. ochlazovaných jednotlivých konstrukcí a dále buďto korekční činitele  $b$  (chceme-li provádět výpočet dle normy EN ISO 12831) anebo znát rozložení teplot v jednotlivých místnostech. My jsme použili druhou zmiňovanou metodu, a proto jsme prováděli výpočet pomocí následujícího vztahu:

$$Q_p = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot (\Theta_{in} - \Theta_{e,k})$$

kde  $Q_p$  je tepelná ztráta prostupem

$A_k$  je plocha jednotlivých částí konstrukce

$U_{kc}$  je součinitel prostupu tepla (včetně započtení vlivu tepelných mostů)

$\Theta_{in}$  je výpočtová teplota uvnitř místnosti

$\Theta_{e,k}$  je výpočtová teplota na opačné straně konstrukce

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

K tepelným ztrátám prostupem vypočítaným dle předchozího vztahu se dále mohou připočítávat přírážky, a sice:

- přírážka  $p_1$  na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí

$$p_1 = 0,15 k_c$$

kde  $k_c$  je průměrný součinitel prostupu tepla

$$k_c = \frac{Q_0}{\sum_k A_k (\Theta_{in} - \Theta_{e,k})}$$

kde  $Q_0$  je součet ztrát prostupem přes všechny stěny místnosti

- přírážka  $p_2$  na urychlení zátopy – uvažuje se pouze u kotlů na tuhá paliva z důvodu přerušované dodávky tepla a to následovně:

- $p_2 = 0,10$  při denní době vytápění  $\geq 16$  hodin
- dle ČSN 06 0220:1993 při vytápění  $< 16$  hodin

- přírážka  $p_3$  na vyrovnání vlivu světových stran místností – dle následující tabulky. Pokud má místnost dvě ochlazované konstrukce, rozhoduje jejich společný roh, pokud více, počítá se přírážka nejnepříznivější.

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
<b>p3</b>	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Tab.2 Vliv světových stran místností

Tabulka výpočtů tepelné ztráty prostupem pro náš objekt je spolu s výpočty součinitelů prostupu a tepelných ztrát větráním, resp. infiltrací opět součástí přílohy č.1.



### 3.1.3 Tepelné ztráty větráním resp. infiltrací

Další tepelná ztráta, kterou je nutno započítat je ztráta větráním (vycházející z hygienických požadavků na minimální výměnu vzduchu v místnosti za hodinu), resp. ztráta infiltrací, tzn. ztráta přirozeným větráním, tj. spárami ve stavebních otvorech (okna, dveře, apod.) a to podle toho, která z těchto ztrát vychází větší. Ztrátu počítáme dle následujících vztahů:

$$Q_V = 1300 \cdot V_V \cdot (\Theta_{in} - \Theta_{out})$$

$$V_V = \max(V_{V,v}, V_{inf})$$

kde  $V_V$  je objemový tok větracího vzduchu ( $V_{V,v}$  větráním nebo  $V_{inf}$  infiltrací)

$\Theta_{in}$  je teplota uvnitř místnosti

$\Theta_{out}$  je venkovní výpočtová teplota

Objemový tok větracího vzduchu – větráním:

$$V_V = \frac{n \cdot V_m}{3600}$$

kde  $V_m$  je objem místnosti

$n$  je koeficient intenzity výměny vzduchu (pro obytné budovy  $n = 0,5$ )

Objemový tok větracího vzduchu – infiltrací:

$$V_{inf} = (B + \Delta B) \cdot M \cdot \sum (i_L \cdot L)$$

kde  $B$  je charakteristické číslo budovy

$\Delta B$  je zvětšení charakteristického čísla  $B$  pro výškové budovy (nad 25 m)

$M$  je charakteristické číslo místnosti

$i_L$  je součinitel provzdušnosti stavebních otvorů

$L$  je délka infiltračních spár

(hodnoty  $B$ ,  $\Delta B$ ,  $M$ ,  $i_L$  jsou určeny z tabulek příslušné normy, příp.

z tabulek na [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) – sekce vytápění, oddíl výpočty, tabulky)

Tepelné ztráty větráním, resp. infiltrací pro jednotlivé místnosti našeho objektu jsou opět součástí přílohy č.1.

### **3.1.4 Celkové tepelné ztráty místností**

Tepelné ztráty pro jednotlivé místnosti získáme nyní prostým aritmetickým součtem ztrát prostupem a ztrát větráním, resp. infilrací (pro náš objekt v příloze č.2):

$$Q_c = Q_p + Q_v$$

Celkové ztráty místností máme tedy určeny, další otázkou bude zda systém podlahového vytápění bude kapacitně postačovat vypočítaným ztrátám jednotlivých místností, či zda bude muset být doplněn v některých místnostech jiným zdrojem tepla, např. klasickými radiátory či konvektory. Tomuto tématu se budeme věnovat v následující kapitole č.4.

## **3.2 TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU**

V předchozí podkapitole jsme použili výpočet tepelných ztrát tzv. přesnou metodou, čímž jsme získali tepelné ztráty pro jednotlivé místnosti. Tato metoda je nezbytná pro správné dimenzování jednotlivých vytápěcích zařízení v jednotlivých místnostech a určitě ji použije každý dobrý projektant. Někteří „topenářští mistři na slovo vzatí“, buďto z neznalosti a nebo z lenosti, jsou schopni v rámci „ušetření“ zákaznickových peněz za „zbytečný projekt“ dimenzovat jednotlivé otopné zařízení pouze na základě objemu místností, což má ve většině případů za následek špatně navržený otopný systém, který následně pracuje velmi neekonomicky. Ale to jen na okraj, vraťme se k výpočtům.

Pro návrh otopného systému a rozdělení tepla do jednotlivých místností máme tedy spočítány jednotlivé tepelné ztráty již výše zmíněnou přesnou metodou. Prostým aritmetickým součtem ztrát v jednotlivých místnostech získáme tepelné ztráty celého objektu. Tuto hodnotu potřebujeme znát pro návrh vhodného zdroje vytápění, čemuž se budeme věnovat od 5. kapitoly de facto až do konce práce.

Pokud bychom se však nechtěli zdržovat zadáváním spousty vstupních dat pro jednotlivé stavební konstrukce jednotlivých místností a zajímá nás pouze tepelná ztráta celého objektu, což v některých případech postačí (vypracování posudku energetické náročnosti budov, volba zdroje vytápění, apod.), můžeme použít zjednodušenou metodu, tzv. metodu obálkovou. Tato metoda využívá stejných fyzikálních vztahů, přičemž jako vstupní data volíme pouze vnější rozměry celého uvažovaného objektu, resp. jeho vytápěné části. Toto ale není náš případ, my máme určeny ztráty přesněji.

## **4 NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY**

Tepelné ztráty jednotlivých místností, resp. ztráty celého objektu máme tedy vypočítané, nyní se bude potřeba zamyslet kterak se s nimi vypořádat, tzn. jednak zvolit vhodný zdroj tepla pro vytápění (tomuto tématu se budeme věnovat v kapitole následující) a samozřejmě provést návrh otopné soustavy s dostatečně dimenzovanými vytápěcími otopnými plochami pro jednotlivé místnosti.

### **4.1 SYSTÉMY VYTÁPĚNÍ OBECNĚ**

Problematika vytápění je velmi rozsáhlé téma, které se detailně věnuje mnoho odborných knih a článků. Pro naše potřeby si spíše encyklopedicky naznačíme základní rozdělení systémů vytápění. Dělení je celá řada, rozdělují se podle různých hledisek, které se nezřídka vzájemně prolínají, např. [5, 6] :

#### **1) Podle druhu použitého paliva**

- a) vytápění tuhými palivy
- b) vytápění tekutými palivy
- c) vytápění plynnými palivy
- d) vytápění elektrickou energií

#### **2) Podle způsobu dodávky tepla**

- a) místní (lokální)
- b) etážové (bytové)
- c) ústřední
- d) podlahové (speciální případ etážového či ústředního)
- e) dálkové

#### **3) Podle způsobu předávání tepla**

- a) prouděním
- b) sáláním

4) **Podle látky předávající teplo**

a) teplovodní (s přirozeným nebo nuceným oběhem )

- teplovodní s teplotou otopné vody max. 115 °C
- teplovodní nízkoteplotní s teplotou otopné vody max. 65 °C
- horkovodní s teplotou vody nad 115 °C

b) parní

- podtlakové s tlakem nižším než atmosférickým (nepoužívané)
- nízkotlakové s přetlakem páry do 0,07 Mpa
- středotlakové s přetlakem páry od 0,07 do 1,6 MPa

c) elektrické

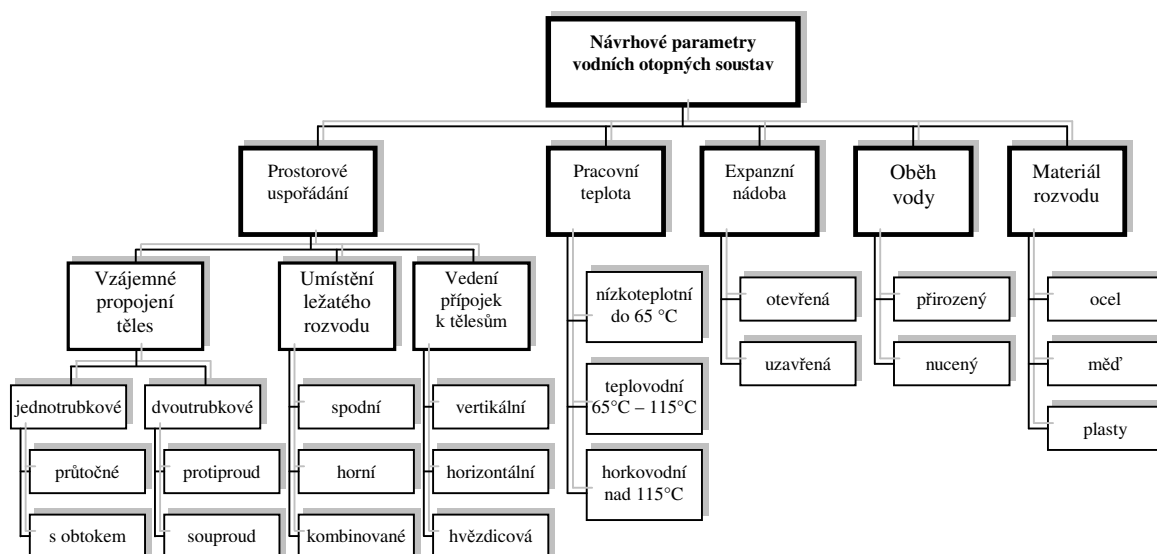
- přímotopné
- akumulární
- kombinované (hybridní)

Z uvedeného přehledu, z analýzy místně dostupných zdrojů a v návaznosti na náš původní záměr můžeme předjímat, že pro naše potřeby bude připadat v úvahu systém podlahového vytápění nízkoteplotního teplovodního. Alternativou (resp. doplněním) by mohl být případně systém lokálního vytápění pevnými palivy, případně využití elektrického vytápění, a to včetně podlahového. Porovnání nákladů na pořízení a provoz zmíněných otopných systémů vůči jiným zdrojům se budeme zabývat v analýze dostupných zdrojů v následující kapitole č.5

## **4.2 OTOPNÁ SOUSTAVA**

Otopná soustava je zařízení, jež kromě tepelného zdroje a otopných ploch bude zahrnovat všechny ostatní důležité komponenty, jako je potrubní rozvodná síť, armatury, zabezpečovací zařízení, apod. Tato problematika by díky své rozsáhlosti vydala určitě na další samostatnou práci, a proto se jen letmo dotkneme základních pojmů a dělení, což nám asi nejlépe přiblíží následující schéma:

# VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE



Obr.2 Návrhové parametry vodní otopné soustavy [4]

Dle uvedeného schématu půjde tedy v našem případě vzhledem k místním podmínkám o nízkoteplotní nucený oběh s uzavřenou expanzní nádobou s plastovými rozvody v hvězdicovitém uspořádání s dvoutrubkovým protiproudým propojením těles, resp. systému podlahového vytápění.

Hlubší rozbor této problematiky jako celku není pro potřeby naší analýzy stěžejní (podrobnější informace je možno získat v odborné topenářské literatuře nebo opět např. na odborném serveru [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)), pojďme se nyní spíše podívat na otopné plochy a jejich schopnosti předání tepla do jednotlivých místností.

## 4.3 ZPŮSOB PŘENOSU TEPLA

Ale ještě než se začneme v další podkapitole zabývat výhodami a nevýhodami jednotlivých typů otopných ploch, bude užitečné si připomenout, tak jak bylo zmíněno v úvodu, tři základní způsoby přestupu tepla z prostředí teplejšího do prostředí chladnějšího (2.věta termodynamická):

❖ VEDENÍM (KONDUKČÍ)

Jde o předávání tepla u tuhých těles. Množství tepla  $Q$ , jež projde stěnou ve  $W$  je:

$$Q = A \frac{\lambda}{d} (t_i - t_e)$$

kde  $A$  je plocha stěny ( $m^2$ ),

$d$  je tloušťka stěny (m),

$\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti (W / m K)

$t_i$  je vnitřní teplota ( $^{\circ}C$ )

$t_e$  je vnější teplota ( $^{\circ}C$ )

My jsme se s jeho působením již setkali v případě počítání tepelných ztrát prostupem konstrukcí v předchozí kapitole, kde byl tento typ přestupu tepla stěžejní. V případě otopných ploch se ovšem jeho podíl z pochopitelného důvodu příliš neuplatní.

❖ PROUDĚNÍM (KONVEKČÍ)

Tento typ předávání tepla se vyskytuje u tekutin, tzn. u kapalin a plynů. Stýká-li se tekutina (topné médium) s pevnou stěnou, přechází teplo z tekutiny na chladnější stěnu otopné plochy, která ho následně po ohřátí předává dál do vytápěné místnosti.

$$Q = A \alpha (t_1 - t_2)$$

kde  $A$  je plocha stěny ( $m^2$ ),

$\alpha$  je součinitel přestupu tepla (W /  $m^2$  K)

$t_1$  je teplota teplotonosné látky ( $^{\circ}C$ )

$t_2$  je teplota stěny, resp. teplota okolí ( $^{\circ}C$ )

❖ ZÁŘENÍM, RESP. SÁLÁNÍM (RADIACÍ)

Běžný a přirozený způsob předávání tepla vyzařováním elektromagnetického záření s vlnovou délkou delší než má viditelné světlo, ale kratší než má mikrovlnné záření, tak jak ho pocítujeme ze slunce nebo např. z obyčejných kamen. Pro hustotu tepelného toku sáláním, např. mezi dvěma velikými rovnoběžnými plochami platí:

# VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

$$q = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

kde  $\sigma$  je Stefan-Boltzmannova konstanta ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$ )

$T_1$  je absolutní teplota první plochy

$T_2$  je absolutní teplota druhé plochy

$\varepsilon_1$  je emisivita první plochy

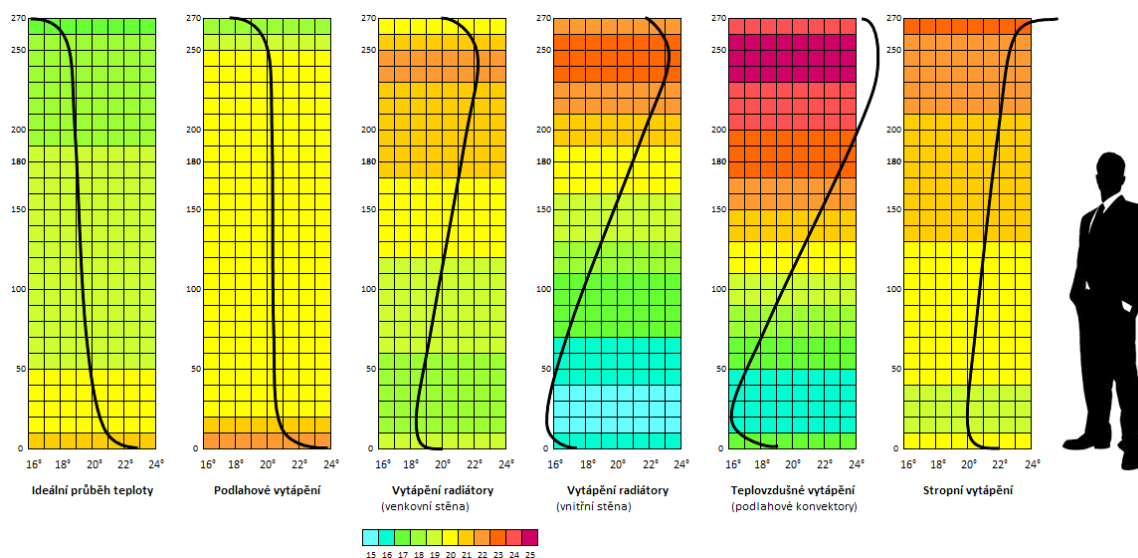
$\varepsilon_2$  je emisivita druhé plochy

## 4.4 OTOPNÉ PLOCHY

Pro naše potřeby bude nyní důležité se blíže pověnovat problematice vhodných otopných ploch, s přihlédnutím k našemu původnímu záměru využití podlahového vytápění, přičemž limitujícím faktorem bude porovnání výše vypočítaných tepelných ztrát jednotlivých místností s tepelným ziskem navrhovaných otopných ploch.

Jaké otopné plochy kromě již zmíněného podlahového vytápění máme tedy k dispozici a jaká jsou jejich specifika a co od nich očekáváme?

Úkolem otopné plochy obecně je dodat do vytápěného prostoru takové množství tepla a takovým způsobem, aby v něm byla dosažena tepelná pohoda. O tepelné pohodě jsme v úvodu již hovořili a v souvislosti s různými typy otopných ploch není od věci si na následujícím obrázku znázornit tzv. tepelné profily několika nejčastěji používaných typů ve srovnání s tepelným profilem ideálním, který znázorňuje ideální rozložení tepla v jednotlivých výškách místnosti:



Obr.3 Tepelné profily různých typů otopných ploch [7]

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

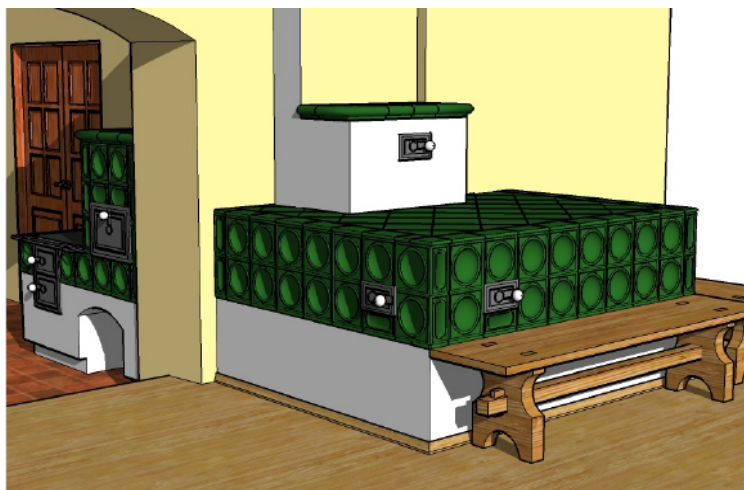
Teplným profilem blíží se ideálu je jak vidno právě tepelný profil podlahového vytápění, a tak pokud je vytápěný objekt ve fázi celkové rekonstrukce, jako v našem případě, včetně přestavby podlah, určitě se vyplatí uvažovat o jeho zbudování. Nicméně než učiníme definitivní rozhodnutí jaké otopné plochy využijeme, pojďme se s jednotlivými typy blíže seznámit:

### 4.4.1 Lokální přímotopné / akumulční vytápění

Přímotopným lokálním topidlem mohou být např. běžná kamna či krb, příp. elektrický konvektor, apod. Výhodou je rychlý ohřev, nevýhodou pak rychlé vychladnutí po ukončení vytápění.

Akumulčním lokálním topidlem jsou pak např. známá elektrická kamna akumulční. Zde je náběh pomalý, ovšem díky akumulaci tepla vydrží topit po ukončení vytápění ještě značnou dobu.

Vytápění, které v sobě zahrnuje výhody obou zmíněných způsobů lokálního vytápění, použijeme i v našem případě, a již o něm byla zmínka. Ano, jde o kachlová kamna s ohřívárnou. Tento zdroj tepla, který používaly již naše babičky a prababičky, je typickým reprezentantem výhodné kombinace přímotopného (sporák) a akumulčního vytápění (kachle). Výhody jsme již zmínili, nevýhodou je pracnost obsluhy, lokální působení pouze pro konkrétní místnost, příp. místnosti umístění topidla a díky ohromné akumulční ploše obtížná regulovatelnost. V případě „aktivního“ využívání ohřívárny obyvateli domu se využije též velmi příjemný přenos tepla vedením, což u ostatních typů otopných ploch není příliš využitelný způsob.



Obr.4 Kachlová kamna s ohřívárnou v našem objektu



## 4.4.2 Vytápění konvekčními otopnými tělesy

Výhodou otopných těles obecně je jejich velmi dobrá a rychlá regulovatelnost a rychlost zátupu. Nevýhodou oproti lokálnímu zdroji (pomineme-li existenci lokálních otopných těles, např. zmíněných elektrických konvektorů), je již nutnost zbudování teplovodního rozvodu a pro historický objekt není příliš vhodné jejich umístění ani z estetického hlediska.

Nicméně, obecně jde v současné době stále o nejrozšířenější způsob předávání tepla do místnosti. Pokud se rozhodneme pro tento způsob vytápění, platí pravidlo umístění těles zpravidla vždy k venkovní stěně pod okno, a pokud to lze, tak v délce odpovídající celé šíři okna (nebo alespoň dvou třetin).

Toto správné umístění je zároveň další výhodou použití těchto klasických radiátorů, neboť chladné proudy vzduchu přicházející infiltrací či prostupem od okna nenechá působení konvekce dopadnout na podlahu místnosti, strhávají je vzhůru a mísí s dodávaným teplem, čímž se zamezí tepelné nepohodě, zejména u podlahy vytápěné místnosti. Rozdíly v umístění na vnější a vnitřní zeď máme koneckonců možnost porovnat na grafech tepelných profilů (viz. obrázek 3).

Otopná tělesa můžeme dělit na:

### a) článeková otopná tělesa



Obr. 5a – článeková tělesa [6]

jeho dobré tepelné vodivosti. Vzhledem velkému obsahu vody se v současnosti příliš nepoužívají, přesto mají oproti deskovým topným tělesům některé výhody, mezi něž patří větší účinnost a dobrá cirkulace vzduchu.

Článeková otopná tělesa tvoří jednotlivé články – buďto výlisky z ocelového plechu nebo odlitky z litiny či hliníkových slitin a výhodou je možnost jejich flexibilního pospojování. Litinová tělesa se vyznačují vysokou odolností (mohou pracovat i v nízkotlakých parních soustavách) a dlouhou životností. Tělesa ze slitin hliníku využívají

### b) desková otopná tělesa



Obr. 5b – desková tělesa [8]

výhody patří oproti článkovým tělesům snadná montáž, snadné čištění, malá hloubka a jejich relativní nenápadnost.

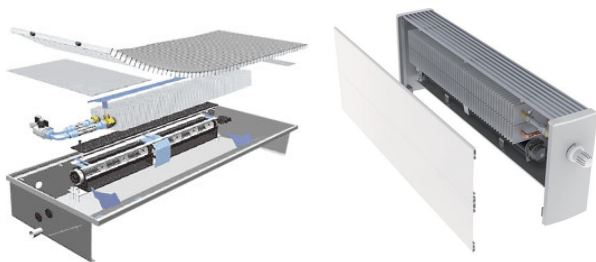
Desková otopná tělesa jsou vyráběna jako jednořadá, dvouřadá či třířadá a jsou zhotovena z lisovaného ocelového plechu s horizontálními a vertikálními prolisy, tvořícími topné kanálky. Malý objem otopné vody v člancích umožňuje rychlou účinnou termoregulaci, proto je jejich použití v současnosti značně oblíbeno. Mezi jejich další

c) trubková otopná tělesa jsou tvořena vodorovnými či svislými registry z ocelových trubek, mnohdy v rozličném designovém provedení a jejich využití najdeme převážně v koupelnách, chodbách a vstupních halách. Praktická, převážně pro koupelny, je jejich kombinace s elektrickým vytápěním, které využijeme k přitápění mimo topnou sezónu celého objektu.



Obr. 5c – trubková tělesa [6]

d) konvektory jsou speciální otopná tělesa složená z výměníku tepla a skříně s krycí mřížkou, u nichž je záměrně výrazně potlačen vliv sálavé složky ve prospěch konvekce. Prudkým ohřevem vzduchu v konvektoru dochází k cirkulaci vzduchu, k jeho



Obr. 5d – konvektory [6]

rozpínání a výdechu mřížkou vzhůru, dále stoupá ke stropu, cestou chladne a podél stěn jde dolů, kde je již studený vzduch opět nasáván spodní mřížkou konvektoru. Pro zvýšení cirkulace a tím i účinnosti jsou některé konvektory vybaveny elektrickými ventilátory – pak mluvíme o

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

tzv. nucené konvekci. Interiér je u konvektorů vyhříván rovnoměrněji a osoby vnímají teplo jako přirozené a příjemné. Konvektory jsou vyráběny ve více provedeních (nástěnné, podparapetní, podlahové i stropní) a mezi jejich výhody patří rychlý ohřev místnosti, malý objem vody, nízká spotřeba energie, vysoká účinnost, možnost zabudování do podlahy.

### 4.4.3 Sálavé stropní vytápění

Jde převážně o stropní panely určené k zavěšení, kdy topným médiem je většinou teplá nebo horká voda či pára. V tomto případě je naprosto stěžejní účinek sálavé složky. Tento typ vytápění uvádíme spíše jen pro úplnost – využívá se spíše pro průmyslové, obchodní, společenské a sportovní použití ve velkých halách. Jejich výhodou je zejména rychlá a snadná montáž, přičemž není kladen důraz na estetické hledisko.

Jinou aplikací stropního vytápění může být stropní velkoplošná otopná plocha (viz.dále).



Obr.6 Sálavé stropní těleso [9]

### 4.4.4 Velkoplošné otopné plochy

Velkoplošné otopné plochy ať už podlahové, stěnové či stropní předávají do místnosti teplo převážně sáláním (55 % u podlahového, 65 % u stěnového, 80 % u stropního vytápění), zbytek pak konvekci. V případech vytápění obytných prostor se převážně z důvodů provozně-ekonomických (plynoucích z nízké teploty topného média) v naprosté většině případů setkáváme s vytápěním podlahovým, proto se nyní budeme více věnovat právě jemu.

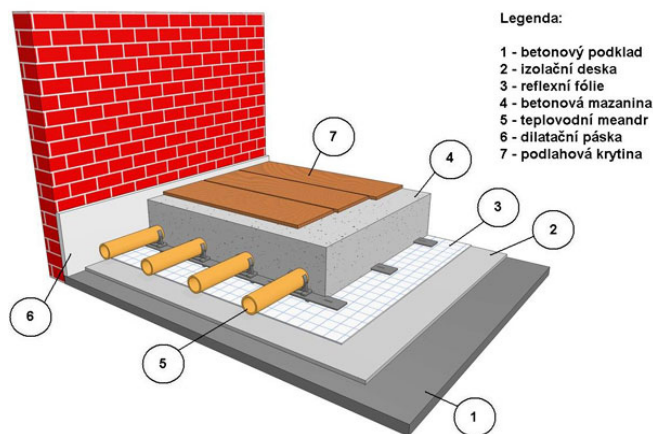
## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Výhodou podlahového vytápění je zejména fakt, že pomocí něho lze dosáhnout pocitu tepelné pohody již za teplot o několik stupňů nižších než u jiného systému vytápění, jde tedy o tzv. nízkoteplotní systém (s povrchovou teplotou max. 29°C pro obytné plochy), čímž vychází vytápění provozně velmi úsporně. Připočíst k dobru musíme, též již dříve zmíněný, téměř ideální teplotní profil ve vertikálním směru spolu s téměř rovnoměrným rozložením teploty v místnosti včetně koutů. V neposlední řadě pak nesmíme zapomenout, zejména u historické stavby, na estetické hledisko, kdy vzhled místností není narušován a ani omezován nevhodnými radiátory. Chůze bosou nohou po příjemně teplém povrchu je navíc pro obyvatele velmi příjemná a přirozeně lákavá.

Oproti otopným tělesům (radiátorům či konvektorům) mohou být slabinou podlahového vytápění proudy studeného vzduchu pod okny, jejichž negativní vliv na tepelnou pohodu se zmírňuje v těchto choulostivých místech zbudováním tzv. okrajové zóny, tj. lokálního zvýšení výkonu vytápění zhuštěním topné spirály. Další relativní nevýhodou je pak velká tepelná setrvačnost, proto není tento typ vytápění vhodný pro přerušovaný provoz vytápění.

System podlahového vytápění je možno realizovat buďto jako vytápění teplovodní nebo vytápění elektrické, tzv. odporové, vzácněji pak teplovzdušné. Každá z variant má své výhody a nevýhody.

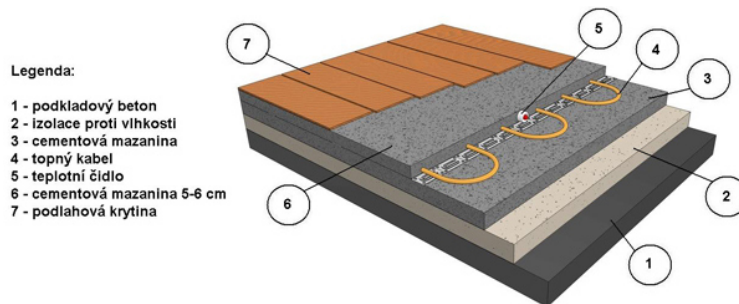
Teplovodní podlahové vytápění je nejčastěji aplikovanou variantou. Jde o rozvod teplé vody v trubkách uložených v podlaze. Výhodou je především levný provoz a relativně snadná možnost změny zdroje tepla v závislosti na změnách cen různých druhů energií. Je vhodný jako hlavní vytápění objektu, je u něho počítáno s provozem po celou topnou sezónu a ve spojení s vhodným tepelným zdrojem i případné temperování objektu mimo ni.



Obr. 7 Podlahové vytápění teplovodní [10]

# VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Elektrické (odporové) podlahové vytápění se používá nejčastěji jako doplňkové zejména v koupelnách, WC, v okolí bazénů, zkrátka tam, kde potřebujeme vytopit podlahu jen na krátkou dobu. Výhodou je tedy zejména rychlost náběhu, nezávislost na hlavním otopném systému, dále pak relativně snadná instalace.



Obr.8 Podlahové vytápění odporové [10]

Teplovzdušné podlahové vytápění se používá spíše výjimečně a jde o podlahové vytápění, které využívá teplý vzduch vyvíjený v teplovzdušných generátorech – např. klimatizačních jednotkách, tepelných čerpadlech vzduch–vzduch či krbových vložkách. Systém vzduchotechniky pak rozvádí teplý vzduch do vzduchových kanálků pod podlahou, kde dochází k předání tepla do podlahy a dále do vytápěného prostoru.

## 4.5 PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ – POKRYTÍ TEPELNÝCH ZTRÁT MÍSTNOSTÍ

Díky uvedenému přehledu a v návaznosti na náš původní záměr spolu s právě probíhající celkovou rekonstrukcí našeho objektu jsme se rozhodli použít jako hlavní otopné plochy podlahového teplovodního vytápění.

Nyní bude potřeba výpočty ověřit, zda bude jeho výkon pro jednotlivé místnosti kapacitně postačovat.

Pro každou místnost si nejprve určíme plochu, kterou můžeme pro položení teplovodních spirál použít, přičemž tato nebude obecně totožná s plochou místností, neboť podlahové vytápění se z pochopitelných důvodů neumísťuje pod zařizovací předměty (vany, WC a bidety s uchycením do podlahy, apod.) nebo kuchyňské linky. Pozornost již při výpočtu je dále potřeba věnovat plánovanému rozmístění nábytku. Pokud by stál nábytek natěsno přímo na podlaze, tak i zde musíme počítat nulový výkon podlahového vytápění. V případě umístění nábytku na nízkých nožičkách počítáme s výkonem v této

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

oblasti sníženým na 50 %. Pro podlahové vytápění je tedy výhodné použít nábytek s vyššími nožičkami, kde žádné omezení při výpočtu nemusíme uvažovat.

Pro objektivní výpočet bude na druhou stranu vhodné započítat zvýšení výkonu v ploše okrajových zón, pokud se počítá s jejich zbudováním.

Dalším důležitým faktorem bude skladba podlahové vrstvy, resp. volba vhodné podlahové krytiny. Tak jak jsme se snažili v případě výpočtu tepelných ztrát prostupem konstrukcí o maximální tepelný odpor, resp. minimální tepelnou vodivost materiálu, u podlahové vrstvy (od topení směrem do objektu) máme požadavek přesně opačný – minimální tepelný odpor, resp. velkou tepelnou vodivost. Tepelný odpor podlahové krytiny by neměl překročit  $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Ideálním materiálem je např. keramická dlažba, mramor, PVC. Pokud naopak použijeme podlahové krytiny s vysokým tepelným odporem (např. koberec), dosáhneme podstatně nižšího tepelného výkonu vytápění místnosti. To lze sice vykompenzovat nastavením vyšší teploty otopné vody či zvýšením hmotnostního průtoku apod., ovšem ne vždy se nám správné vyregulování podaří, neboť při kombinaci různých skladeb povrchů se na ploše např. s keramickou dlažbou dostaneme nad maximálně povolené teploty (viz. níže), nehledě na negativní dopad na snížení topného faktoru tepelného čerpadla, pokud je použito.

Dalším faktorem který nám ovlivňuje výkon je tedy teplota. Teplotu otopné vody smíme nastavit maximálně tak, aby teplota pochozí plochy nepřesáhla hodnot daných hygienickými normami s ohledem na působení na člověka, které jsou:

- 26–27 °C pro místnosti a pracovní prostory, kde osoby převážně stojí
- 28–29 °C pro ostatní obytné místnosti nebo místnosti pro administrativu
- 30 °C pro chodby, předsíně, galerie
- 33 °C pro koupelny, kryté bazény
- 35 °C pro okrajové zóny a oblasti s řídkou návštěvností

Dosahovaný měrný výkon, resp. měrný tepelný tok zohledňující tyto limity stanovíme z následujícího vztahu [4]:

$$\dot{q} = 8,92 (\vartheta_{F,\max} - \vartheta_i)^{1,1}$$

kde  $\vartheta_{F,\max}$  je maximální hygienicky povolená teplota povrchu podlahy

$\vartheta_i$  je teplota v místnosti

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Po dosažení získáme následující výpočtové hodnoty pro různé zóny, ze kterých budeme při stanovení výkonového pokrytí místností dále vycházet: [11]

- obytná zóna  $\dot{q} = 8,92 (29 - 20)^{1,1} = 100 \text{ W/m}^2$
- okrajové zóny  $\dot{q} = 8,92 (35 - 20)^{1,1} = 175 \text{ W/m}^2$
- koupelny  $\dot{q} = 8,92 (33 - 24)^{1,1} = 100 \text{ W/m}^2$

Z následující tabulky (tabulka č.3 a příloha č.3a), jež zahrnuje výpočty pro naši konkrétní situaci je patrné, že pro naše vstupní výpočtové parametry nebude výkonové pokrytí samostatným podlahovým vytápěním pro některé místnosti dostačovat (označeny červeně), pro některé bude naopak tepla nadbytek.

Označení místnosti	Místnost	Teplné ztráty			Rozměry místnosti + dispozice								Výkon				
		Prostupem	Větráním	Celkové	Rozměry místnosti				Zastav.	Nizký	Využitelná	Okrajové	Výkon	Výkon	Výkon	Chybějící	
		Qp	Qp	Qc	Délka	Šířka	Výška	Objem	Plocha	plocha	nábytek	plocha	zóny	podlah.t.	okraj.zón	celkem	výkon
[W]	[W]	[W]	[m]	[m]	[m]	[m3]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[W]	[W]	[W]	[W]
101	ložnice	2016	276	2292	4,30	3,50	2,90	43,65	15,05	0,00	0,00	15,05	1,50	1355	263	1618	675
102	jídlna	2733	492	3225	6,10	4,40	2,90	77,84	26,84	3,62	0,00	23,22	4,50	1872	788	2660	566
103	šatna	98	82	180	3,50	1,60	2,70	15,12	5,60	0,00	0,00	5,60	0,00	560	0	560	0
104	hala	1011	329	1340	6,00	3,20	2,71	52,03	19,20	2,70	0,00	16,50	0,00	1650	0	1650	0
105	chodba	453	145	599	2,30	1,70	2,71	10,60	3,91	0,00	0,00	3,91	3,00	91	525	616	0
106	WC	73	19	92	1,70	0,80	2,61	3,55	1,36	0,10	0,00	1,26	0,00	126	0	126	0
107	dětský pokoj	1248	343	1591	4,90	3,60	3,08	54,33	17,64	0,00	0,00	17,64	0,00	1764	0	1764	0
108	koupelna	1251	190	1441	3,50	2,50	3,08	26,95	8,75	2,36	0,00	6,39	1,50	489	263	752	690
109	pracovna	1574	227	1801	4,40	2,90	2,81	35,86	12,76	0,00	0,00	12,76	1,50	1126	263	1389	412
110	technická místnost	965	155	1120	3,30	2,90	2,66	25,46	9,57	3,00	0,00	6,57	6,50	7	1138	1145	0
CELKEM		11424	2257	13682									9040	3238	12278	2342	

Tab.3 Pokrytí tepelných ztrát našeho objektu podlahovým vytápěním

S nadbytkem tepla si poradíme velmi snadno, a to tím, že navrheme buďto větší rozestupy otopného potrubí nebo snížíme pro tuto místnost průtočné množství otopné vody. Obojí povede k požadovanému snížení výkonu.

Větší problém však bude nedostatek výkonu v té které místnosti. Řešením je doplnění dodatečnými otopnými plochami (radiátory, podlahovými konvektory, stěnovým vytápěním, apod.), které je potřeba opět vhodně výkonově dimenzovat.

Dalším, elegantnějším a provozně-ekonomicky jistě nejvýhodnějším řešením by bylo účinné zateplení objektu. Dopad zateplení vnějších obvodových zdí si můžeme snadno nasimulovat pro náš objekt v našem výpočetním excelovském minisoftware (viz. příložené CD-ROM: LHOTA\_calculate.xls). Tuto simulaci jsme pro porovnání skutečně provedli a doplnili jsme obvodové zdi z vnější strany 12 cm polystyrenem – výsledky možno viděti v následující tabulce č.4 (též v příloze č.3b):

# VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Označení místnosti	Místnost	Teplné ztráty			Rozměry místnosti + dispozice								Výkon				
		Prostupem	Větráním	Celkové	Rozměry místnosti				Zastav.	Nizký	Využitelná	Okrajové	Výkon	Výkon	Výkon	Chybějící	
		Qp	Qp	Qc	Délka	Šířka	Výška	Objem	Plocha	plocha	nábytek	plocha	zóny	podlah.t.	okraj.zón	celkem	výkon
[W]	[W]	[W]	[m]	[m]	[m]	[m3]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[W]	[W]	[W]	[W]
101	ložnice	672	276	948	4,30	3,50	2,90	43,65	15,05	0,00	0,00	15,05	1,50	1355	263	1618	0
102	jídlna	1082	492	1574	6,10	4,40	2,90	77,84	26,84	3,62	0,00	23,22	4,50	1872	788	2660	0
103	šatna	-96	82	-14	3,50	1,60	2,70	15,12	5,60	0,00	0,00	5,60	0,00	560	0	560	0
104	hala	657	329	986	6,00	3,20	2,71	52,03	19,20	2,70	0,00	16,50	0,00	1650	0	1650	0
105	chodba	268	145	413	2,30	1,70	2,71	10,60	3,91	0,00	0,00	3,91	3,00	91	525	616	0
106	WC	-25	19	-6	1,70	0,80	2,61	3,55	1,36	0,10	0,00	1,26	0,00	126	0	126	0
107	dětský pokoj	800	343	1143	4,90	3,60	3,08	54,33	17,64	0,00	0,00	17,64	0,00	1764	0	1764	0
108	koupelna	562	190	752	3,50	2,50	3,08	26,95	8,75	2,36	0,00	6,39	1,50	489	263	752	0
109	pracovna	1096	227	1323	4,40	2,90	2,81	35,86	12,76	0,00	0,00	12,76	1,50	1126	263	1389	0
110	technická místnost	759	155	914	3,30	2,90	2,66	25,46	9,57	3,00	0,00	6,57	6,50	7	1138	1145	0
CELKEM		5775	2257	8032										9040	3238	12278	0

Tab.4 Pokrytí tepelných ztrát našeho objektu podlahovým vytápěním – po zateplení

Výsledky jsou více než přesvědčivé – součinitel prostupu tepla těchto stěn je nyní již v souladu s normou a pokles tepelných ztrát v jednotlivých místnostech způsobí dostatek výkonu podlahového topení ve všech místnostech. Toto úsporné řešení ovšem v našem případě naráží na nežádoucí změnu historického rázu budovy.

Jiným řešením je pak změna vstupních výpočtových parametrů a to buďto zvýšení teploty otopné vody, což by mělo za následek již zmíněné překročení dříve uvedených hygienických limitů a snížení topného faktoru tepelného čerpadla, což je nepřipustné a zároveň nežádoucí, anebo zvýšení venkovní výpočtové teploty z pro naši lokalitu určených  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tato teplota je de facto opravdu pouze limitní výpočtová hodnota, které se v průběhu topného období jen zřídka kdy dosáhne. Pokud ji při výpočtu nastavíme na vyšší hodnotu, musíme se smířit s „poddimezovaným otopným systémem“ s tím, že v případě výjimečného dosažení nižší teploty v extrémně mrazivých dnech, bude využit v maximální míře jiný záložní zdroj tepla – v našem případě kachlová kamna s ohřívárnou.

Toto řešení není příliš v souladu s předepsanými postupy a odborný projektant by ho ztěž doporučil, nicméně s ohledem na úsporu jak investičních, tak provozních nákladů může být na zvážení koncovým uživatelem. [12, 13]

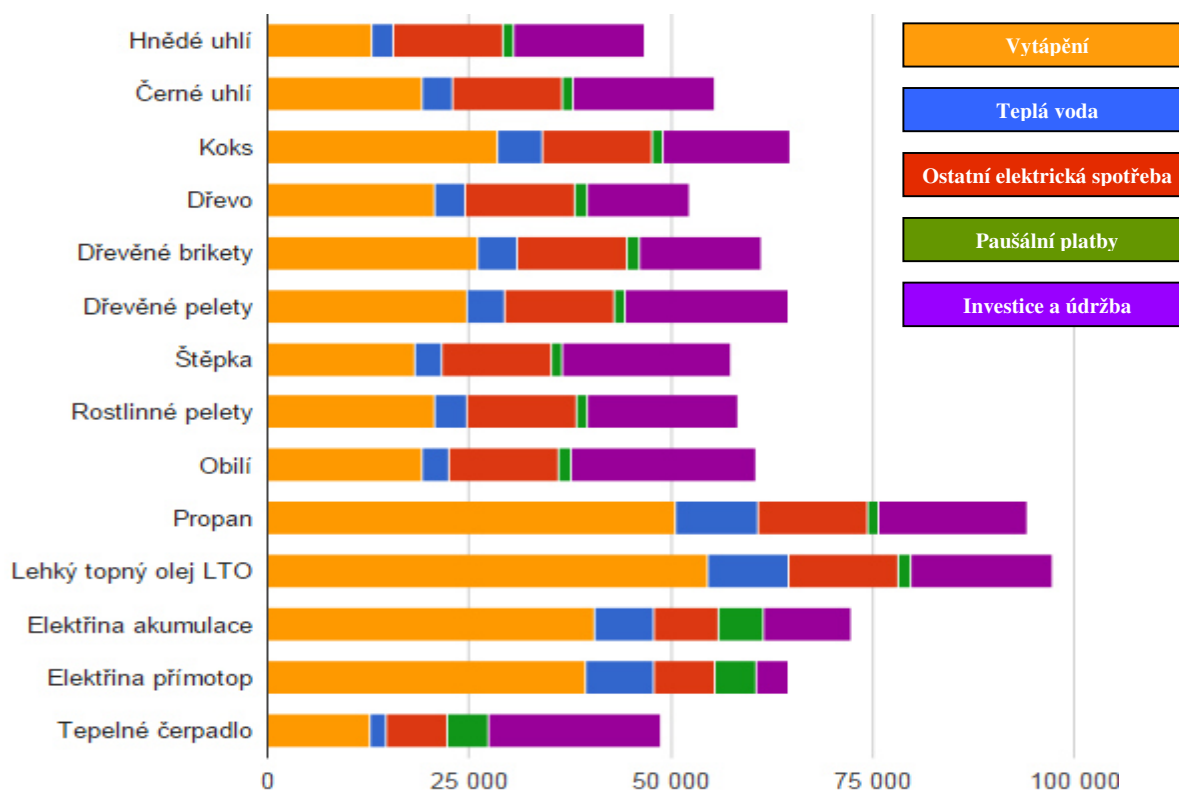


## 5 ANALÝZA DOSTUPNÝCH ZDROJŮ VYTÁPĚNÍ

Pokud řešíme vytápění jakéhokoli objektu, je nanejvýš logické provést si analýzu dostupných zdrojů tepla a porovnat náklady na pořízení a provoz jednotlivých systémů s přihlédnutím ke komfortu obsluhy a ekologickému zatížení životního prostředí v místě našeho objektu.

### 5.1 POROVNÁNÍ DOSTUPNÝCH MOŽNOSTÍ

Následující graf vzájemně porovnává jednotlivé dostupné zdroje s rozčleněním na roční náklady na samotné vytápění, na přípravu teplé vody, na investiční náklady a náklady na nutnou pravidelnou údržbu, na případné paušální platby spojené s provozem a zohledněno je dokonce též porovnání spotřeby elektrické energie v celém objektu, neboť v případě použití vhodného tarifu, který je primárně určen k využívání silové elektřiny pro provoz elektrických topení (vč. např. tepelného čerpadla), lze v tomto tarifu provozovat veškeré spotřebiče v domácnosti.



Obr.9 Porovnání ročních nákladů pro náš objekt [14]

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

Toto základní hrubé porovnání je on-line dostupné na serveru <http://vytapani.tzb-info.cz> v sekci tabulky a výpočty. Zohledňuje, v předchozích kapitolách vypočítané, tepelné ztráty našeho konkrétního modelového objektu (bez případného zateplení), lokalitu objektu a jeho předpokládané využití, přičemž vychází z cen k aktuálnímu datu. Přesnější ekonomické porovnání námi preferovaných systémů si provedeme v dalších kapitolách.

### 5.2 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍHO ŘEŠENÍ

Z předchozího porovnání s ohledem na všechny výše zmíněné porovnávané aspekty a s přihlédnutím k zvolenému nízkopotenciálnímu systému podlahového vytápění vychází jako zajímavý zdroj tepelné energie právě tepelné čerpadlo. Výhodnost lze spatřit v nejnižších provozních nákladech na samotné vytápění, již zmíněné výhodné sazbě elektrické energie využitelné i pro ostatní spotřebiče, maximálním komfortu obsluhy a nulovém dopadu na životní prostředí v místě objektu. Tyto výhody jsou však vyváženy vyššími investičními náklady a vyššími náklady na paušální platby (tzv. platbu za jistič).

Jako hlavní zdroj vytápění našeho objektu zvolíme tedy tepelné čerpadlo, jehož provozní náklady vycházejí, díky využití nevyčerpatelného tepelného zdroje (energie okolního vzduchu, vody, půdy), který je k navíc dispozici zcela zdarma, velmi příznivě.

Položíme-li si otázku, zda máme k dispozici ještě nějaký další zdroj nevyčerpatelné energie, která je k dispozici zdarma, napadne nás pochopitelně energie slunce. Stejně jako u tepelného čerpadla, které má své provozní limity a při poklesu teploty pod ně přestává plnohodnotně pracovat a připíná tzv. bivalentní zdroj (většinou elektrokotel), tak i solární řešení bude záviset na aktuálních podmínkách (den/noc, roční období, oblačnost, atd. ). V příznivém období bude solární systém vyrábět zajímavé množství velmi levné energie (termický systém) či energie úplně zdarma (fotovoltaický systém), proč tohoto efektu tudíž nevyužít.

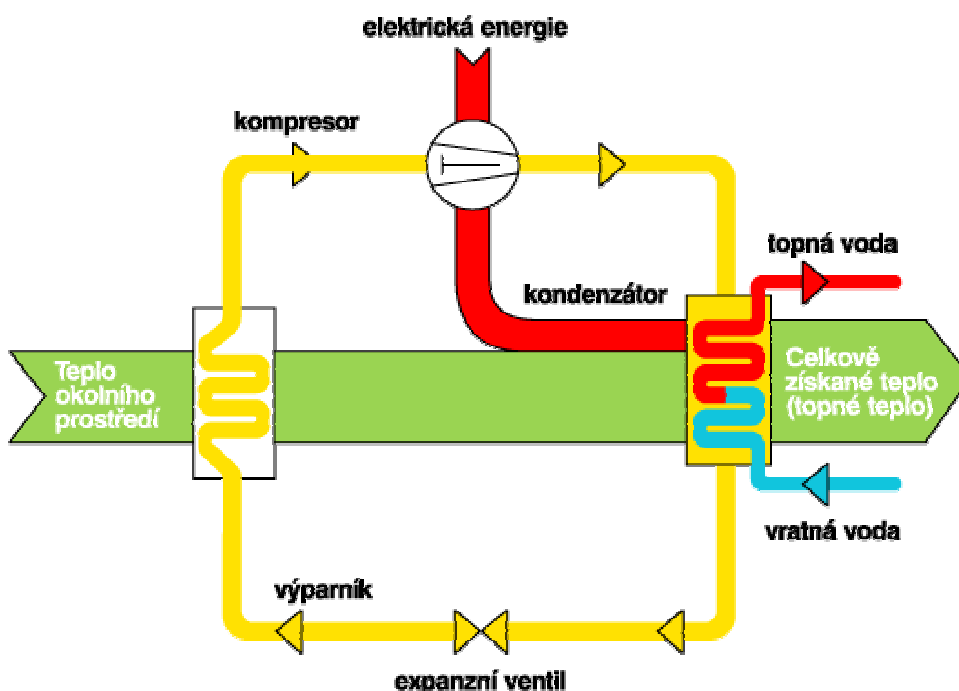
Ideální systém by tedy mohl pracovat tak, že bude primárně využívat sluneční energii, v případě jejího nedostatku bude pak využívat energii odebíranou z okolí (tepelné čerpadlo) a až teprve v případě jejího nedostatku bude spínat zpravidla ekonomicky nevýhodný záložní zdroj. Pojdme se nyní podívat na tyto technologie a jejich případnou vzájemnou spolupráci podrobněji a to jak z hlediska principu jejich funkce, tak zejména z hlediska investičních a provozních nákladů.

## 6 TEPELNÉ ČERPADLO

### 6.1 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA A JEHO HLAVNÍ ČÁSTI

Teplné čerpadlo pracuje tak, že odnímá teplo z okolního prostředí a v souladu s druhou větou termodynamickou ho převádí na vyšší teplotní hladinu pro využití k vytápění.

Teplné čerpadlo obsahuje čtyři základní části: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Na následujícím obrázku je patrný princip funkce. Teplo odebrané z okolního prostředí se ve výparníku předává kapalnému chladivu při relativně nízké teplotě. Zahřátím chladiva dojde k jeho odpaření a páry jsou pak stlačovány v kompresoru na vysoký tlak. Stlačené chladivo je pak přiváděno do kondenzátoru, kde díky kondenzaci předává teplo topné vodě, a to za vyšší teploty než bylo ve výparníku původně odebráno. Celý cyklus se uzavírá v expanzním ventilu, kde dochází ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu ve výparníku.



Obr.10 Princip tepelného čerpadla [15]

### 6.1.1 Kompresor

Hlavní částí tepelného čerpadla je tedy kompresor, který stlačuje chladicí médium v celém okruhu. Je poháněn energií, kterou mu musíme dodávat a kterou platíme, proto je jeho konstrukce a bezporuchová a ekonomicky úsporná činnost naprosto stěžejní. Rozlišujeme tyto typy kompresorů:

- Plněhermetické kompresory – motor a kompresor jsou umístěny ve společném hermeticky uzavřeném pouzdru. Jsou používány např. u elektrických tepelných čerpadel, stejně jako u ledniček a mrazniček.
- Polohermetické kompresory – motor, kliková skříň i ventilová deska jsou uzavřené v utěsněném pouzdru, ale jsou přístupná pro opravy. Těsněním víka však může docházet k malým ztrátám chladiva. Využívají se u větších tepelných čerpadel či chladících zařízení.
- Kompresory v otevřeném provedení – kompresor propojený s hnací jednotkou zpravidla klínovými řemeny. Možno pohánět též spalovacími motory. Vše dobře dostupné pro opravy. U utěsnění hřídele však vznikají běžné ztráty chladiva

### 6.1.2 Kondenzátor

Jedná se v podstatě o výměník tepla vyrobený z mědi nebo z ušlechtilé oceli, předávající během kondenzace chladiva teplo do topného okruhu. Používají se tyto typy:

- Lamelové kondenzátory – konstrukčně jsou podobné automobilovému chladiči. Nosičem tepla je vzduch, a proto se s výhodou používají pro teplovzdušné vytápění, kde odpadá mezistupeň vodního okruhu.
- Koaxiální kondenzátory – skládají se z jedné nebo více paralelních měděných trubek svinutých do spirály s vnějším, též měděným opláštěním. Pára chladiva proudí opláštěním v protisměru k vodě proudící v trubici. Instalují se naležato tak, aby kondenzát odtékal z níže položeného výstupu.
- Hadovité kondenzátory – mají podobný princip jako v předchozím případě. Konstrukčně jsou kompaktnější a skládají se z „hadů“ žebrovaných měděných trubek, uložených ve válcové svislé nádobě.

### 6.1.3 Expanzní ventil

Expanzní ventil je dalším nepostradatelným prvkem. Zajišťuje pokles tlaku a tím i teploty v okruhu tepelného čerpadla a řídí množství vypouštěného kondenzátu do výparníku, a tím de facto výkon celého systému. Z výroby je nastaven na konstantní tlak, přesto lze v malém rozsahu korigovat škrťacím šroubem.

### 6.1.4 Výparník

Stejně jako o kondenzátoru se jedná opět o výměník tepla, tentokrát ale mezi okolním prostředím a chladivem, které v něm přijímá tzv. výparné teplo. Konstrukce musí být odolná korozi a chemickým vlivům. Použité materiály stejně jako typy výparníků jsou podobné jako u kondenzátorů:

- Lamelové výparníky – pro odebrání tepla z okolního vzduchu. Je tvořen trubkami s nalisovanými lamelami pro zvětšení teplosměnné plochy. Dostatečný přísun vzduchu je zabezpečen ventilátorem.
- Deskové výparníky – mají opět stejný princip jako u kondenzátorů. Přívod tepelné energie je k těmto výparníkům přiváděn z vodního kolektoru, z vrtu, studny, apod.
- Uzavřené smyčky – jsou vyráběny z měděných trubek, které jsou plněny již ve výrobě chladivem, následně uzavřeny a jsou tedy dimenzovány na konkrétní výkon tepelného čerpadla, bez možnosti dodatečného zvětšení teplosměnné plochy.

Krom těchto hlavních čtyř částí tepelné čerpadlo obsahuje ještě:

- **sběrač kondenzátu** – shromažďuje chladivo z kondenzátoru
- **chladivo** – médium s velmi nízkým bodem varu (čpavek, freon, atd.)
- **regulace** – vyhodnocuje teploty v obou výměnících a tlak ve vysokotlaké i nízkotlaké části a řídí chod kompresoru a expanzního ventilu tak, aby množství chladiva potřebného k přenesení výkonu bylo stlačeno kompresorem za stejný čas a totéž teplo za stejný čas bylo předáno ve v kondenzátoru a získáno zpět ve výparníku.
- **tepelná izolace** – pro teplé a horké díly ke snížení ztrát a pro chladné díly k zamezení námrazy a kondenzace vody z ovzduší. [16, 17]

## 6.2 ZÁKLADNÍ POJMY

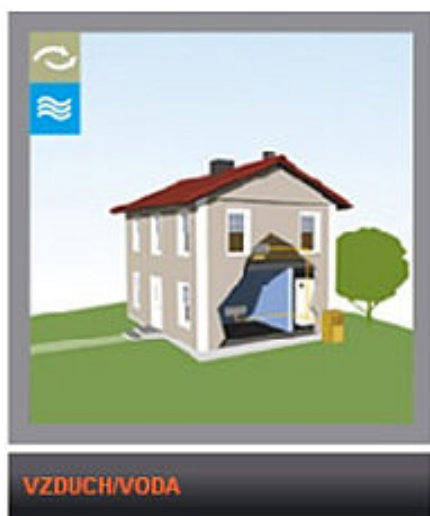
V dalším textu se budeme v souvislosti s tepelnými čerpadly setkávat s některými specifickými pojmy, proto nebude od věci si je zde nejprve stručně vysvětlit:

- topný faktor COP (Coefficient of Performance) – je poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou energií. Čím vyšší je COP, tím kvalitnější je tepelné čerpadlo. Vychází z normy EN 14 511.
- topný faktor SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) – je sezónní průměrný topný faktor (kalkulovaný pro různé klimatické podmínky). Vychází z normy EN 14 825.
- bivalentní zdroj – tepelné čerpadlo má z principu funkce své limity. Pokud teplota okolí, z kterého odebíráme teplo klesne pod kritickou mez, přichází na řadu tzv. bivalentní zdroj, tzn. záložní zdroj tepla (např. elektrický kotel)

## 6.3 ZÁKLADNÍ TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL

Tepelná čerpadla můžeme rozdělit na několik základních typů podle toho jaký je zdroj tepla a do jakého média je následně odebraná energie transponována.

### 6.3.1 Vzduch–voda



Obr.11a) TČ vzduch–voda [18]

Teplo je v tomto případě odebíráno okolnímu vzduchu. Výhodou je aplikovatelnost prakticky na jakoukoli stavbu (asi s výjimkou horských oblastí) a jednoduchá instalace. Výkon, resp. COP se bude logicky měnit s teplotou venkovního vzduchu, který je značně proměnlivý. Z tohoto důvodu je právě u tohoto typu výhodné porovnávat spíše SCOP. Pokud teplota klesne pod cca  $-3$  až  $-5$  °C, připojuje se bivalentní zdroj tepla.

## 6.3.2 Vzduch–vzduch



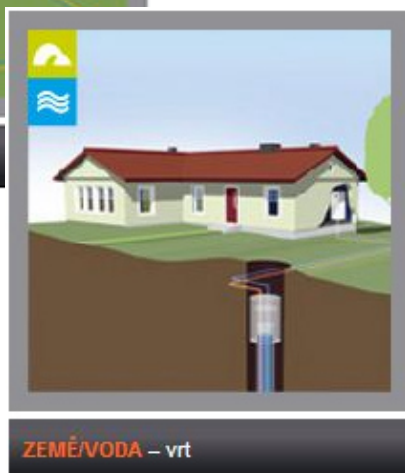
Tato tepelná čerpadla pracují na identickém principu jako v předchozím případě, s tím rozdílem, že teplo je předáváno přímo vnitřnímu vzduchu ve vytápěném objektu. Instalace tepelného čerpadla je opět poměrně jednoduchá. Nutná je ale v tomto případě vhodná vzduchotechnika v objektu, která zajistí rozvod tepla, příp. vytápíme pouze lokální prostory.

Obr.11b) TČ vzduch–vzduch [18]

## 6.3.3 Země–voda



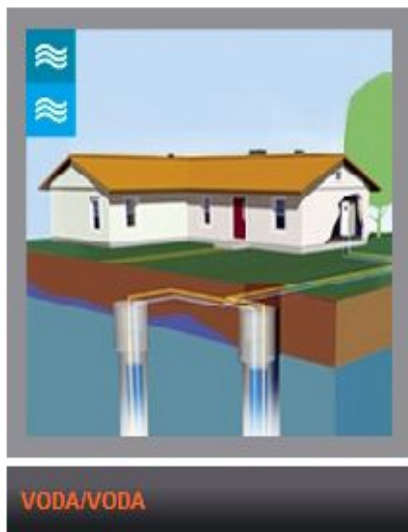
Tento typ tepelného čerpadla využívá tepelné energie naakumulované v zemi. Výhodou je stabilní teplota, tzn. stabilní výkon, resp. stabilní COP. Oproti systému vzduch–voda je zde výhoda absence akustického rušení okolí provozem tepelného čerpadla.



Velkou nevýhodou jsou však vysoké náklady na zemní práce, neboť pro získávání tepla je potřeba buďto rozsáhlý zemní kolektor a nebo nákladné geotermální vrty.

Obr.11c) TČ země–voda (plocha resp. vrt) [18]

### 6.3.4 Voda–voda



Nejvyšším topným faktorem se může pochlubit systém voda–voda. V tomto případě získáváme teplo buďto z povrchových vod a nebo ještě lépe z vod podzemních, jejichž teplota má stabilní hodnotu cca 10°C. Využít lze přitom např. stávající studny, která bude studnou zdrojovou, a ke které musí být vyhloubena ještě jedna studna tzv. vsakovací, kam se bude voda po odebrání tepla zpět odvádět. Zde je však důležitá zkouška vydatnosti pramene, aby nedošlo k vyčerpání studny a zároveň je nutné povolení vodohospodářského úřadu.

Obr.11d) TČ voda–voda [18]

TYP	VÝHODY	NEVÝHODY
vzduch–voda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jednoduchá instalace</li> <li>• investičně výhodné</li> <li>• temperování mimo sezónu</li> <li>• vytápění bazénů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• proměnlivý COP</li> <li>• vyšší provozní náklady</li> <li>• vyšší namáhání kompresoru</li> <li>• kratší životnost</li> </ul>
vzduch–vzduch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jednoduchá instalace</li> <li>• investičně nejlevnější</li> <li>• též odvlhčování, klimatizace</li> <li>• příp. ionizace, filtrace vzduchu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nutný rozvod tepla</li> <li>• příp. jen lokální ohřev</li> <li>• nelze ohřívat teplou vodu</li> </ul>
země–voda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stabilní teplota na vstupu</li> <li>• vyšší a stabilní COP</li> <li>• nižší spotřeba elektřiny</li> <li>• absence akustického rušení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• náklady na zemní práce</li> <li>• potřeba velkého pozemku</li> <li>• příp. potřebná povolení pro vrt</li> </ul>
voda–voda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stabilní teplota na vstupu</li> <li>• nejvyšší COP</li> <li>• nejnižší spotřeba elektřiny</li> <li>• absence akustického rušení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jen pro vhodné lokality</li> <li>• problém čištění vody</li> <li>• nebezpečí kontaminace vod</li> <li>• vyšší náklady na servis</li> </ul>

Tab.5 Výhody a nevýhody jednotlivých typů tepelných čerpadel souhrnně



## 6.4 VÝBĚR VHODNÉHO TYPU TEPELNÉHO ČERPADLA

Z výše uvedeného základního porovnání budeme vycházet při výběru nejvhodnějšího typu tepelného čerpadla pro naši konkrétní aplikaci.

Budeme tedy nejprve analyzovat možnosti lokality, tzn. zda máme k dispozici dostatečně rozlehlý pozemek pro zbudování plošného kolektoru či dostatek financí pro realizaci geotermálních vrtů, zda se na našem pozemku nachází studna s dostatečnou vydatností, atd.

Dále bude užitečné si uvědomit k jakému účelu budeme získané teplo využívat, tzn. pouze k vytápění objektu v chladném období nebo, jako v našem případě, k temperování kamenné budovy i v letních měsících. Budeme tepelné čerpadlo využívat i k ohřevu teplé vody nebo dokonce též k ohřevu vody v bazénu?

V kapitole č.8 budeme dále provádět konkrétní technicko-ekonomické porovnání různých typů tepelných čerpadel mezi sebou navzájem tak, abychom si mohli udělat představu o ekonomické výhodnosti té které varianty, a to pro naši konkrétní aplikaci. Zároveň si zde porovnáme ekonomickou výhodnost synergie využití tepelného čerpadla s využitím solární energie.

## 7 VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Sluneční energie je z našeho pohledu nevyčerpatelným zdrojem energie, která neustále dopadá na naši Zemi, a která je k dispozici všem a zcela zdarma. Její využití je však bohužel v průběhu dne i jednotlivých ročních období značně kolísavé. V další části se tedy zamysleme nad tím, kterak tuto energii využít pro vytápění našeho objektu, resp. ohřev teplé užitkové vody (dále TUV) právě v kombinaci s tepelným čerpadlem.

Pomineme-li speciální solární aplikace jakými jsou např. solární koncentrátoři, solární věže, parabolické žlaby, solární komíny a jiné systémy v současné době zkoumané a dále vyvíjené, které jsou určené spíše pro energetiku a průmyslové využití, můžeme rozdělit nám všeobecně dostupné technologie určené k získávání energie ze slunce na dvě základní kategorie, kterými jsou:

## 7.1 TERMOSOLÁRNÍ TOPNÁ SOUSTAVA

V tzv. solárních kolektorech dochází v tomto případě k přeměně energie slunce na energii tepelnou, která je dále přímo využívána, a to zejména k ohřevu TUV, případně k temperování objektu mimo hlavní topnou sezónu, neboť v době topné sezóny bývá tepelného záření ze slunce samozřejmě největší nedostatek.

Termosolární systémy můžeme rozdělovat podle několika hledisek:

### a) Podle typu kolektorového okruhu

- otevřený – teplotní kapalina se mísí s vodou v zásobníku. Pro ohřev TUV nepřijatelné, ale využívá se s výhodou pro ohřev bazénů.
- uzavřený – teplotní kapalina a voda v zásobníku se nemísí. Vhodné pro většinu aplikací včetně ohřevu TUV a vytápění.

### 2) Podle cirkulace teplotní kapaliny

- samotížný – cirkulace kapaliny je vyvolána přirozeným rozdílem teplot. Zásobník musí být nad úrovní solárních kolektorů, zabezpečení proti přetlaku je řešeno otevřenou nádobou v horní části.
- s nuceným oběhem – k pohybu kapaliny je použito oběhové čerpadlo. Kolektory jsou nad zásobníkem a je zde přidána expanzní nádrž s pojišťovacím ventilem.

### 3) Podle tepelných zdrojů

- monovalentní – jako zdroj tepla je použit pouze solární okruh. Ohřev vody je zabezpečen jen v případě jasného počasí, z toho plyne jeho využití opět převážně pro bazény.
- vícevalentní – k solárnímu okruhu je přidán jeden nebo více dalších zdrojů tepla (kotel, tepelné čerpadlo, apod.), čímž je zabezpečeno celoroční využití.

V další části se nyní pojďme, alespoň ve stručnosti, seznámit s hlavními komponenty termosolární topné soustavy.

## 7.1.1 Solární kolektor

Solární kolektor je základní a nejdůležitější prvek celého systému, který přeměňuje sluneční záření na teplo, které následně převádí do teplotnosného média. Kromě co největší účinnosti je kladen důraz na maximální životnost s ohledem na povětrnostní vlivy a samozřejmě též na vliv UV-záření. Rozlišujeme následující základní typy kolektorů:

### a) Nekryté kolektory

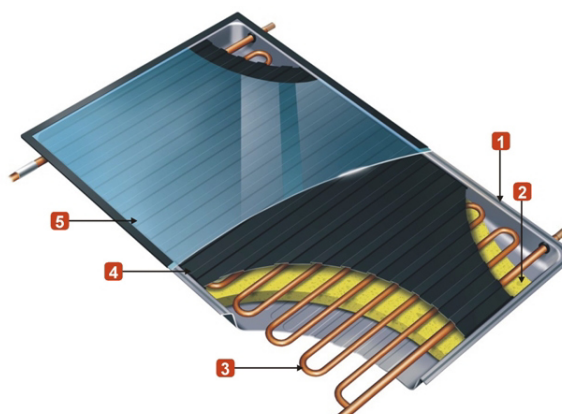


Obr. 12a) – nekryté kolektory [19]

postrádají zasklení, což na jednu stranu zlepšuje optické vlastnosti, neboť odpadají ztráty odrazem na zasklení, na druhou stranu však způsobuje vysoké tepelné ztráty, a to obzvlášť s rostoucí rychlostí větru. Vhodné jsou proto spíše pro bazény či venkovní sprchy. Vyrábějí se zpravidla z plastu odolného UV-záření, někdy z nerezů v kombinaci s nízkoemisivními, tzv. selektivními povlaky.

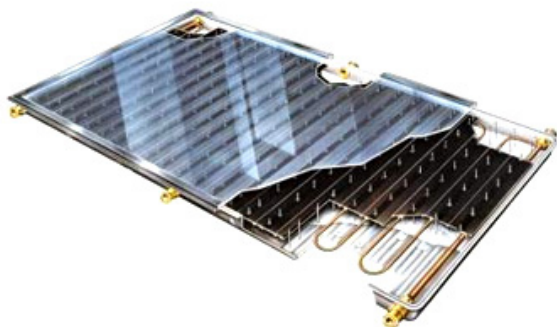
### b) Ploché (atmosférické)

se vyznačují plochým zasklením a plochým absorberem, v současné době nejčastěji se selektivním povrchem na bázi keramicko-kovových vrstev nebo galvanických povlaků. Zachycují jak přímé, tak nepřímé záření a nejsou příliš citlivé na směr slunečních paprsků. Skládají se z vany kolektoru (1) s tepelnou izolací (2) (většinou slitiny hliníku + izolace z minerálních vláken), teplovodivého potrubí (3) (hliník, ocel, měď), absorberu (4) (měděný plech + tenká vrstva selektivního povrchu) a krycího skla (5) (nejlépe bor-silikátové sklo). Vzhledem k dobrému poměru ceny a výkonu jsou v současnosti nejrozšířenějším typem.



Obr. 12b) – ploché kolektor [20]

### c) Ploché vakuové

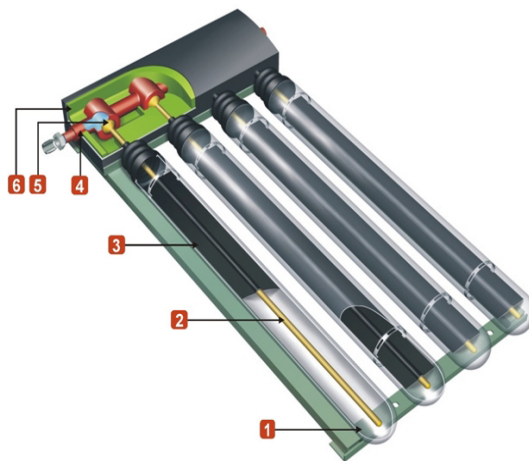


Konstrukčně jsou téměř identické s kolektory plochými atmosférickými, přičemž pro zlepšení tepelné izolace je zde vytvořen podtlak. Proto jsou součástí těchto kolektorů výztužné trubičky, které zabraňují zborcení skla.

Obr. 12c) – plochý vakuový kolektor [20]

### d) Trubkové vakuové

Kolektory s válcovým zasklením, u nichž je prostor mezi zasklením (1) a absorberem (3) vakuován na extrémně nízký tlak pro minimalizaci tepelných ztrát. V trubičce absorberu (2) je kapalina, odpařující se při nízké teplotě. Tato pára stoupá v trubici až na horní konec, kde je sběrná trubička teplonosné kapaliny (5), která předává teplo do



výměníku tepla, tzv. kondenzátoru (4), kde pára kondenzuje, předává svoje teplo teplonosnému médiu a vrací se jako kapalina na dno trubičky. Podmínkou funkčnosti je proto sklon kolektoru minimálně 30°. Krom popsaného systému zvaném „heat pipe“ existují též vakuové trubkové kolektory s tzv. přímým průtokem, kde kolektorem prochází trubice přímo s teplonosným médiem, u nichž sklon již nehraje roli.

Obr. 12d) – trubkový vakuový kolektor [20]

Podmínkou funkčnosti je proto sklon kolektoru minimálně 30°. Krom popsaného systému zvaném „heat pipe“ existují též vakuové trubkové kolektory s tzv. přímým průtokem, kde kolektorem prochází trubice přímo s teplonosným médiem, u nichž sklon již nehraje roli.

Jak už bylo řečeno, nejvýhodnějšími kolektory v poměru cena/výkon jsou v současné době ploché atmosférické kolektory v provedení se selektivní vrstvou, které v počtu instalací v rámci ČR jednoznačně převažují. Výhoda vakuových kolektorů, která spočívá v lepší tepelné izolaci se může stát naopak značnou nevýhodou v zimním období, kdy vlivem této jinak bohubilé izolační vlastnosti zůstává na kolektorech delší dobu ležet neroztátý sníh, který zabraňuje výrobě dalších solárních zisků.

### *7.1.2 Tepelný zásobník*

Tepelný zásobník slouží k vyrovnávání přirozeného kolísání nerovnoměrných dodávek sluneční energie nekryjící se s momentální spotřebou, přičemž se od něho očekává dobrá tepelná odolnost a dlouhá životnost.

V solárním zásobníku se předává tepelná energie z kolektorů ohříváné otopné vodě pomocí tepelných výměníků vyrobených z oceli nebo mědi, a to buďto hladkými trubcovými a nebo plochými žebrovanými.

Výměník může být v zásobníku jeden (monovalence) a nebo více (multivalence) pro spolupráci s dalším tepelným zdrojem, případně může být doplněn elektrospirálou.

Důležité je zvolit vhodnou kapacitu zásobníku, tedy jeho odpovídající velikost. Pro krátkodobou akumulaci se setkáváme nejčastěji s hodnotami v rozmezí 50 až 70 l/m<sup>2</sup> solárních kolektorů. U solárních soustav se sezónní akumulací, což nebude náš případ, se pak mohou pohybovat hodnoty objemu až v řádech jednotek m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> solárních kolektorů.

### *7.1.3 Teplonosné médium*

Pro přenos tepla z kolektorů do zásobníku je samozřejmě zapotřebí vhodné teplonosné médium.

Voda má velmi dobré vlastnosti, kterými jsou vysoká měrná tepelná kapacita, dobrá viskozita a v neposlední řadě zdravotní nezávadnost. S výhodou ji proto používáme v sezónních aplikacích a to zejména v zmíněných otevřených bazénových okruzích.

V systémech s celoročním provozem pak používáme nemrznoucí kapaliny na bázi propylenglykolu, glykolové směsi, alkoholu či silikonového oleje.

### *7.1.4 Oběhové čerpadlo*

Oběhové čerpadlo je nutno použít k zabezpečení cirkulace teplonosného média v každém solárním okruhu s nuceným oběhem. Jeho vlastnosti a konstrukce musí odpovídat rozdílu výšky umístění kolektorů a tepelného zásobníku, viskozitě použitého teplonosného média a tlakové ztrátě celého systému složeného z dalších komponent (potrubí, tvarovky, ventily, apod.) [21]

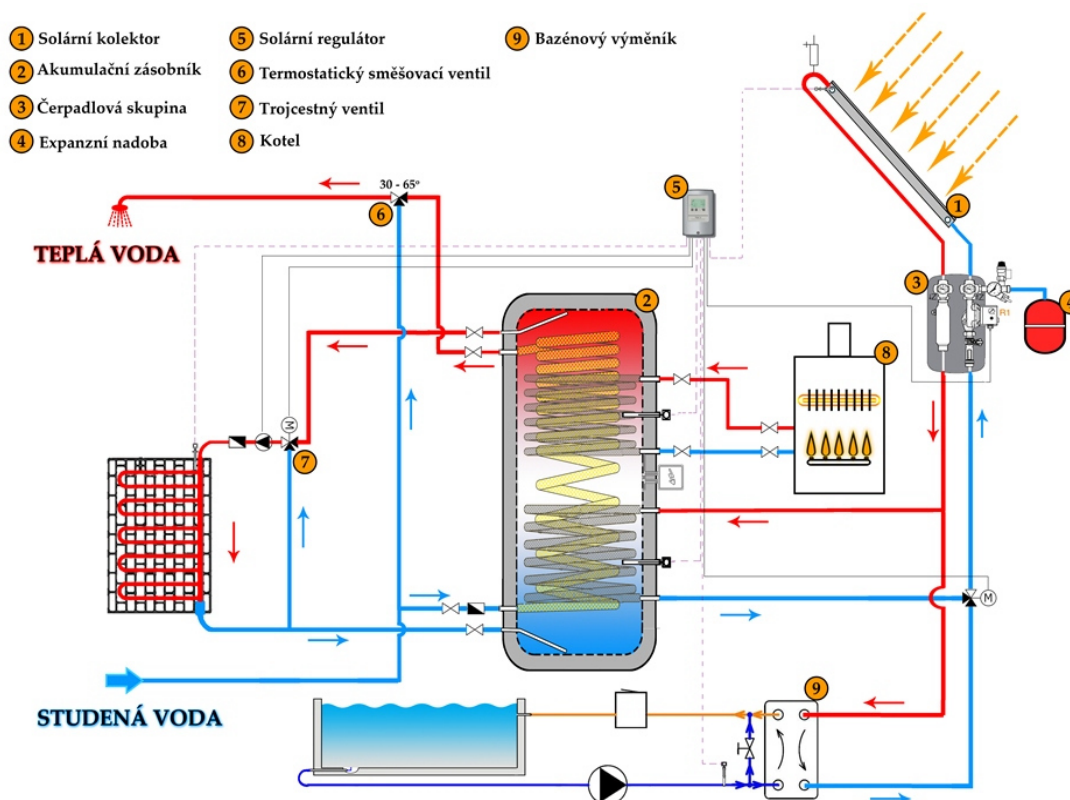
## 7.1.5 Regulace solárního systému

Regulace využívá informací získávaných z teploměrů instalovaných v solárním okruhu k řízení zapínání a vypínání oběhového čerpadla, čímž reguluje průtok teplotnosného média v soustavě.

Nejjednodušší regulace snímá rozdíl teplot mezi dnem zásobníku a horní částí kolektorů, přičemž při nastavené hodnotě cca kolem šesti stupňů spíná čerpadlo. Náročnější regulace pak k rozdílu teplot přidává porovnání intenzity slunečního záření s nastavenou hodnotou (cca  $200 \text{ W/m}^2$ ).

Pro solární aplikace s bivalentním zdrojem je výhodné použití regulace se třemi vstupy (spodní a horní teplota zásobníku a horní teplota kolektoru) a třemi výstupy (k oběhovému čerpadlu, do bivalentního zdroje, na trojcestný ventil).

Princip funkce termosolární topné soustavy s vyobrazením všech výše popsaných základních prvků je patrný z následujícího obrázku č.13.



Obr.13 Princip zapojení termosolární topné soustavy [22]

## 7.2 FOTOVOLTANICKÁ SOUSTAVA

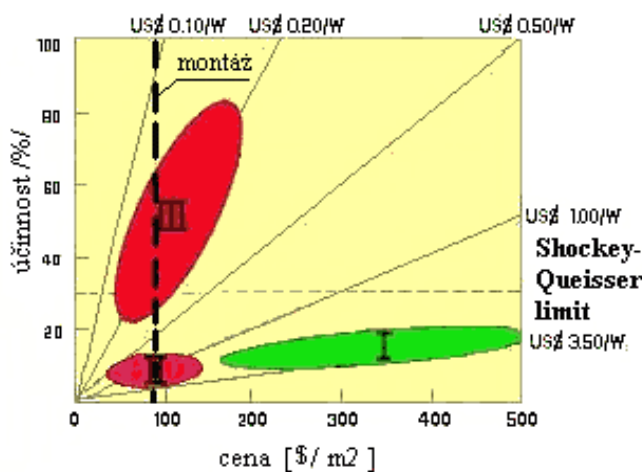
Na rozdíl od solární topné soustavy, kde jsme získávali ze slunce energii tepelnou, v případě fotovoltaické soustavy získáváme energii elektrickou. Získanou elektrickou energii, resp. její částečný podíl, můžeme využít nejen pro provoz tepelného čerpadla k vytápění objektu, ale zejména k pokrytí spotřeby ostatních elektrických spotřebičů, přičemž přebytečnou energii lze buďto dodávat do distribuční soustavy (toto řešení bylo velmi zajímavé v období ekonomické podpory fotovoltaiky ze strany státu) nebo akumulovat tuto energii pro ohřev vody pro domácnost.

Základní prvky fotovoltaické soustavy jsou:

### 7.2.1 Fotovoltanický modul

Fotovoltanický modul se skládá z fotovoltaických článků, které využívají tzv. fotoelektrického jevu k získání elektrické energie z dopadajícího slunečního záření o vlnové délce odpovídající použitému materiálu. Dnešnímu běžnému využití předcházeli víceméně náhodný objev Alexandra Edmonda Becquerela z roku 1871, nicméně vysvětlení jevu a jeho fyzikální popsání učinil později Albert Einstein, který právě za tento objev získal v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku. Pro naše potřeby nemá příliš smysl zabíhat do poměrně složitých fyzikálních podrobností, tato oblast je velmi podrobně popsána v odborné literatuře. Nás budou nyní více zajímat praktické dopady.

Fotovoltanické moduly se během vývoje rozdělily do třech tzv. generací a rozlišují se podle použité výrobní technologie a podle druhu použitého polovodičového materiálu.



Obr.14 Generace FV modulů [23]

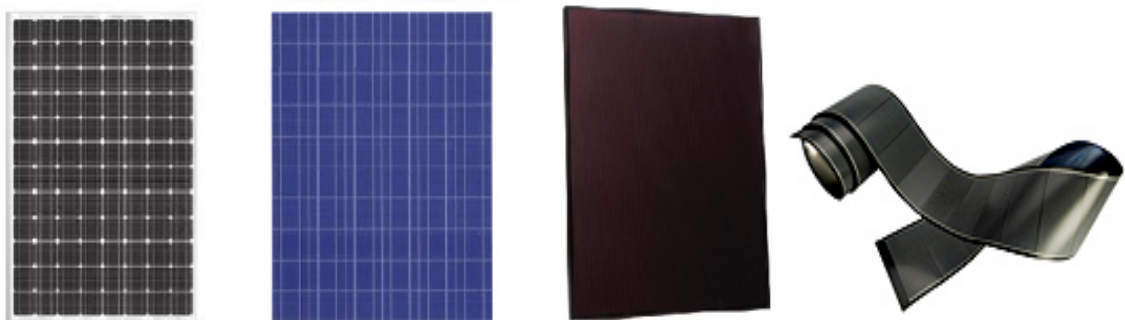
- I.generace:
  - monokrystalický křemík – dosahují poměrně vysoké účinnosti (běžně 14–15 % , v laboratořích až 25 %), jejich výroba je však relativně drahá. Panely jsou zalaminovány ve vrstvách speciálního bezpečnostního skla, fólie (EVA), pospojovaných křemíkových článků a podkladního materiálu (TEDLAR, TEFZEL) a zarámovány.
  - polykrystalický křemík – cena je díky požití technologii výroby článku nižší, nižší je však i účinnost (běžně 12–14 %). Výsledný rozměr panelu je pak o něco větší, aby bylo dosaženo stejného výkonu. Technologie výroby samotných panelů je shodná.
  - amorfní křemík – účinnost je o poznání nižší (6–8 %). Technologie výroby panelů je zde řešena vakuovým napařovacím depozičním postupem na skleněný substrát, která je levnější. Způsob montáže panelů na podklad je pak shodný s výše uvedenými.
- II.generace – Moduly druhé generace jsou řešeny tenkovrstvými články na bázi amorfního křemíku (a-Si), kadmium teluridu (CdTe), galium arsenidu (GaAs), kombinace mědi-india-galia-diselenidu (CIG, CIGS), apod. Výhodou je menší spotřeba polovodičového materiálu, tudíž nižší cena, ale tím pádem bohužel též nižší účinnost. Oproti krystalickým článkům mají uspokojivý výkon i při nízkém či nepřímém osvětlení. Díky svojí konstrukci jsou pružné, ohebné a podstatě tenčí než krystalické články, nepotřebují tedy nutně nosnou konstrukci.
- III.generace – Moduly třetí generace jsou zaměřeny na minimalizaci výrobních nákladů a maximalizaci účinnosti. Zahrnují články vícepřechodové (každá vrstva využívá příslušnou část slunečního spektra, zbylé záření propouští do dalších vrstev), organické články, (mají lepší teplotní koeficienty, malou účinnost), články k použití mimo atmosféru (kosmické využití) a jiné zajímavé nápady.



## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Materiál článku	Maximální laboratorní účinnost	Maximální provozní účinnost	Typická modulární účinnost článku	Plocha potřebná na 1 kW
Monokrystalický křemík	24,7%	21,5 %	15 %	6,7 m <sup>2</sup>
Polykrystalický křemík	18,5 %	15 %	14 %	7,2 m <sup>2</sup>
Amorfní křemík	12,7 %	8 %	6 %	16,7 m <sup>2</sup>
CIG / CIGS	19,5 %	11 %	10 %	10,0 m <sup>2</sup>
CdTe	16,5 %	10 %	7 %	14,3 m <sup>2</sup>

Tab.6 Porovnání účinností různých fotovoltaických článků [31]



Obr.15 Typické typy fotovoltaických modulů:

a) monokrystalický, b) polykrystalický, c) amorfní, d) tenkovrstvý [24, 25]

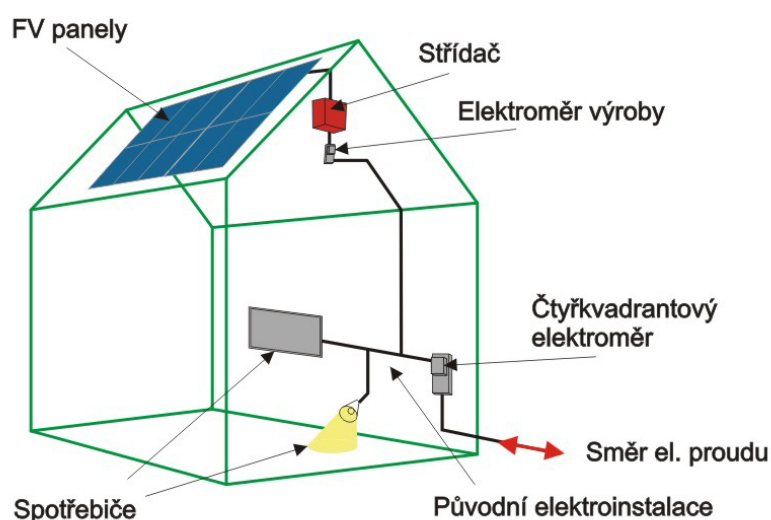
### 7.2.2 Střídače a MPPT sledovače

Pokud nechceme provozovat pouze tzv. autonomní DC systém, tzn. přímé využití stejnosměrného proudu bez propojení s elektrizační soustavou, budeme muset vybavit systém střídačem DC/AC. Jedná se o elektronický měnič, který má za úkol transformaci stejnosměrného napětí na střídavé, právě pro možnost vyvedení výkonu do sítě.

Dalším užitečným elektronickým zařízením je pak tzv. MPPT sledovač (Maximum Power Point Tracker), který slouží k optimalizaci pracovního bodu v závislosti na různé intenzitě dopadajícího záření a na teplotě modulu, čímž přímo přispívá k maximalizaci výkonu.

### 7.2.3 Ostatní zařízení

Dalšími potřebnými komponenty fotovoltaického systému jsou tzv. by-pass diody, které zajišťují ochranu sousedních článků proti přepětí při částečném zastínění panelu či lokální poruše článku, zařízení pro měření (elektroměr výroby, příp. čtyřkvadrantový elektroměr při plánované dodávce do distribuční soustavy), dále DC vedení, příp. AC vedení, ochrany, uzemnění, apod.



Obr.16 Typická instalace fotovoltaické soustavy v domě [26]

Již bylo řečeno, že solární systém ať už termický nebo fotovoltaický nemůže být z logických důvodů jediným zdrojem vytápění běžného objektu. Nicméně, přesto může být jeho implementace do systému výhodná jako zdroj doplňkový. Z tohoto důvodu si v následující kapitole č.8, krom jiného, provedeme rovněž technicko-ekonomické porovnání spolupráce jednotlivých solárních systémů (termosolárního i fotovoltaického) s vítězným tepelným čerpadlem tak, abychom našli ekonomicky nejzajímavější řešení.

## 8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ

### 8.1 URČENÍ POTŘEBY TEPLA

Abychom mohli stanovit provozní náklady na vytápění a začít porovnávat jednotlivé systémy, musíme nejprve určit množství tepelné energie, kterou bude potřeba dodávat do hodnocené budovy za porovnávané období, kterým bývá zpravidla kalendářní rok. Potřeba dodávaného tepla se bude skládat z množství tepla pro samotné vytápění a množství tepla pro ohřev teplé užitkové vody (TUV).

$$Q = Q_{VT} + Q_{TUV}$$

#### 8.1.1 Potřeba tepla pro vytápění

Pro potřeby tepla pro vytápění realizujeme výpočet nejčastěji tzv. denostupňovou metodou, tzn. že výpočet provádíme na základě denních průměrných teplot venkovního vzduchu. Tato metoda je primárně určena pro stanovení tzv. roční potřeby tepla, ze které se také běžně vychází při hodnocení vytápění konvenčními systémy. [27]

Protože my budeme porovnávat otopné systémy s tepelným čerpadlem a solárními systémy, jejichž topný výkon je silně závislý na volatilitě vnějšího prostředí během topné sezóny, zvolíme pro naše potřeby o něco přesnější škálu a potřebu tepla si určíme pro jednotlivé kalendářní měsíce v roce, přičemž budeme vycházet ze stejných vztahů.

Z následujícího vztahu si nejprve určíme tzv. denostupně:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es})$$

kde  $d$  je počet topných dnů v roce pro danou lokalitu

$t_{is}$  je průměrná vnitřní výpočtová teplota (volíme v rozpětí 18,2–19,1 °C)

$t_{es}$  je průměrná venkovní teplota v jednotlivých měsících

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

Vztah pro výpočet potřeby tepla za jednotlivé měsíce určíme následně z následujícího vztahu:

$$Q_{VYT,m} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 10^{-3} \quad [\text{MWh/rok}]$$

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d$$

kde  $\varepsilon$  je tzv. opravný součinitel

$e_i$  vyjadřuje nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a prostupem (0,8–0,9)

$e_t$  vyjadřuje snížení teploty v místnosti během dne či noci (0,8–1,0)

$e_d$  zkrácení doby vytápění u objektu s přerušovaným provozem (0,8–1,0)

$\eta_o$  je účinnost obsluhy a možnosti regulace soustavy (0,9–1,0)

$\eta_r$  je účinnost rozvodu vytápění (0,95–0,98)

$Q_C$  je celková tepelná ztráta objektu

$D$  denostupně (viz. předchozí vztah)

$t_{is}$  je průměrná vnitřní výpočtová teplota (volíme v rozpětí 18,2–19,1 °C)

$t_e$  venkovní výpočtová teplota (dle lokality)

Hodnoty  $d$ ,  $t_e$  jsou určeny z tabulek příslušné normy, příp. z tabulek na [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) – sekce vytápění, oddíl výpočty, tabulky. Zde najdeme též podrobnější informace k stanovení koeficientů  $e$  a účinností  $\eta$ . Hodnoty  $t_{es}$  najdeme na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu <http://portal.chmi.cz/>

### 8.1.2 Potřeba tepla pro TUV

Pokud budeme chtít dimenzovat navrhovaný tepelný zdroj i pro ohřev TUV, musíme si opět nejprve stanovit jeho potřebu na porovnávané období. Stejně jako v případě potřeby tepla pro vytápění budeme uvažovat s měsíčními intervaly.

V tomto případě se vychází ze vztahu pro denní potřebu tepla:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [\text{kWh}]$$

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

kde  $z$  je koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TUV, přičemž pro běžné stavby uvažujeme hodnotu 50–100 % podle provedení rozvodu a doby cirkulace. Rozvody v nových stavbách  $z = \max.0,5$ ; okružkové rozvody  $z = \max.1,0$ ; rozvody ve starších stavbách  $z = 2$  až  $4$  (vychází se z provedených měření).

$\rho$  je hustota vody ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$c$  je měrná tepelná kapacita vody ( $4186 \text{ J/(kgK)}$ )

$V_{2p}$  je celková potřeba TUV za jeden den v  $\text{m}^3$

$t_1$  je teplota studené vody ( $10 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$t_2$  je teplota teplé vody ( $55 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Pokud bychom potřebovali počítat roční potřebu tepla, získali bychom ji následně z následujícího vztahu. Toto by bylo vhodné pro porovnávání běžných systémů vytápění.

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{sv1}}{t_2 - t_{sv2}} \cdot (N - d) \cdot 10^{-3} \quad [\text{MWh/rok}]$$

kde  $d$  je počet topných dnů v roce pro danou lokalitu (viz. potřeba tepla pro vytápění)

$0,8$  je koeficient zohledňující snížení spotřeby TUV v létě

$t_{sv1}$  je teplota studené vody v létě (zpravidla  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$t_{sv2}$  je teplota studené vody v zimě (zpravidla  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$N$  je počet pracovních dní soustavy na přípravu TUV v roce (zpravidla 365)

V našem případě však počítáme s měsíčními potřebami tepla, kteréžto získáme prostým vynásobením denní potřeby počtem dnů v daném měsíci.

Výpočtové tabulky potřeb tepla pro vytápění i pro ohřev TUV našeho modelového objektu pro jednotlivé měsíce jsou součástí přílohy č.4 a v další části budeme vycházet právě z těchto hodnot.

## **8.2 POROVNÁVANÉ VARIANTY**

V následující části se budeme zabývat konkrétními jednotlivými porovnávanými variantami, a sice nejprve samostatně pracujícím tepelným čerpadlem bez podpory solární energie. V této části provedeme vyhodnocení pro varianty se třemi typy tepelných čerpadel (vzduch–voda a země–voda v provedení plošných kolektorů a tepelných vrtů).

Další část porovnání se bude týkat spolupráce tepelného čerpadla, jež se bude jevit z předchozího porovnání jako ekonomicky nejvýhodnější variantou, s termosolárním systémem.

A nakonec provedeme totéž srovnání pro spolupráci tepelného čerpadla s fotovoltaickým článkem. Cena křemíku, potažmo fotovoltaických modulů dlouhodobě klesá a je v současné době na velmi příznivé úrovni. Uvidíme tedy, zda se vyplatí tzv. energií z písku (rozuměj křemíku) používat na ohřev vody pro TUV či dokonce pro vytápění.

### **8.2.1 Samostatně pracující tepelné čerpadlo**

Jak již bylo zmíněno, nejprve budeme analyzovat samostatně pracující tepelné čerpadlo. Základem pro relevantní ekonomické porovnání jsou náklady a výnosy. Pokud teplo nehodláme dále prodávat, o výnosech nemůže být řeči. Proto se musíme zaměřit na porovnání nákladů. Ty si můžeme rozdělit na investiční a provozní.

#### **8.2.1.1 Investiční náklady**

Investiční náklady se budou týkat cen pořízení nezbytných komponent, které budou součástí nabídky montážní firmy. Jednat se bude podle typu TČ zejména o:

- samotné tepelné čerpadlo
- bivalentní zdroj (zpravidla elektrokotel)
- akumulátory topné vody
- zásobníky teplé vody
- ekvitermní regulátor
- primární okruh vč. zemních prací, montáže, apod.
- sekundární okruh vč. montáže
- připojení k topnému systému a uvedení do provozu

Všechny tyto položky najdeme v ceníku jednotlivých výrobců a distributorů tepelných čerpadel a na nás jako investorech je pouze vyjednat co největší slevu.

### 8.2.1.2 Provozní náklady

Provozní náklady jsou pak druhým významným faktorem pro ekonomické hodnocení projektu. S jejich objektivním určením to bude již podstatně složitější. Naprosto stěžejní údaje potřebné pro porovnání provozních nákladů u tepelného čerpadla jsou kromě určení potřeby tepla, které bylo provedeno v předchozí kapitole :

- topný faktor COP, resp. sezónní topný faktor SCOP
- určení bodu bivalence

Topný faktor, resp. jeho základní význam již byl dříve vysvětlen. Výrobci tepelných čerpadel ve svých technických listech uvádějí různé topné faktory COP pro různé teploty na vstupu (výparník) a na výstupu (kondenzátor), které se zejména u tepelných čerpadel vzduch–voda velmi zásadně mění právě v závislosti na těchto teplotách. Pokud chceme porovnávat tepelná čerpadla mezi sebou, musíme vždy porovnávat topné faktory při stejných teplotách. Např. označení COP A7W35 znamená topný faktor měřený při venkovní teplotě na výparníku 7°C a vodě v kondenzátoru určenou k vytápění objektu 35°C, a při porovnání COP různých tepelných čerpadel budeme vždy porovnávat hodnotu opět s údajem uvedeným u A7W35.

Závislost COP na teplotách výparníku a kondenzátoru je koneckonců nejlépe patrná ze samotného vztahu pro COP (značíme ho též  $\varepsilon$ ):

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_k}{T_k - T_v}$$

kde  $T_k$  je teplota kondenzátoru [K]

$T_o$  je teplota výparníku [K]

Abychom mohli porovnávat tepelná čerpadla mezi sebou navzájem objektivněji, abychom mohli lépe provádět porovnání tepelných čerpadel i s jinými zdroji energie a zejména abychom mohli co nejobjektivněji vyčíslit provozní náklady při vytápění během celého otopného období, mají výrobci povinnost uvádět kromě COP A7W35, již dříve zmíněný, sezónní topný faktor SCOP. Tento topný faktor vychází z normy EN 14825 a je

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

stanovován vždy pro tři klimatické zóny: „A“ (average) odpovídající klimatu ve Štrasburgu, „W“ (warmer) odpovídající klimatu v Athénách a konečně „C“ (colder), který odpovídá klimatu Helsinek. Měření SCOP se provádí při různých provozních stavech, odpovídajících zhruba běžnému celoročnímu provozu v dané zóně.

Ještě více objektivní může být použití podrobných hodnot COP pro různé teploty, uváděných ať už formou tabulky nebo grafu, odkud můžeme vyčíst přesnou závislost topného faktoru na teplotě, pokud ovšem tyto hodnoty výrobce poskytuje. Pokud známe průměrné venkovní teploty v jednotlivých obdobích, s výhodou odečteme jim odpovídající COP, čímž získáme neobjektivnější vstupní data korespondující přímo s konkrétní lokalitou.

V našem případě jsme však vycházeli z „SCOP“, který stanovil pomocí interního software pro naši konkrétní lokaci výrobce, resp. dodavatel tepelného čerpadla.

Co je tedy COP, resp. SCOP a kde a jak ho získat již víme, nyní si uveďme na dvou jednoduchých základních vztazích kterak nám při výpočtu poslouží k určení příkonu tepelného čerpadla:

$$Q_{top} = Q_{in} + P_{el}$$

$$\varepsilon = \frac{Q_{top}}{P_{el}}$$

kde  $Q_{top}$  je topný výkon

$Q_{in}$  je teplo odebírané zdroji

$P_{el}$  je elektrický příkon

Topný faktor nám tedy udává v jakém poměru je dodaný topný výkon vůči elektrickému příkonu, který je nutno do systému dodat a samozřejmě též zaplatit. Pro získání skutečné spotřeby elektrické energie podělíme tímto poměrem potřebu tepla vypočtenou v předchozí kapitole. Protože topný faktor je zásadně závislý na rozdílu teplot, budeme provádět výpočet zvlášť pro vytápění a zvlášť pro TUV (rozdílné topné faktory).

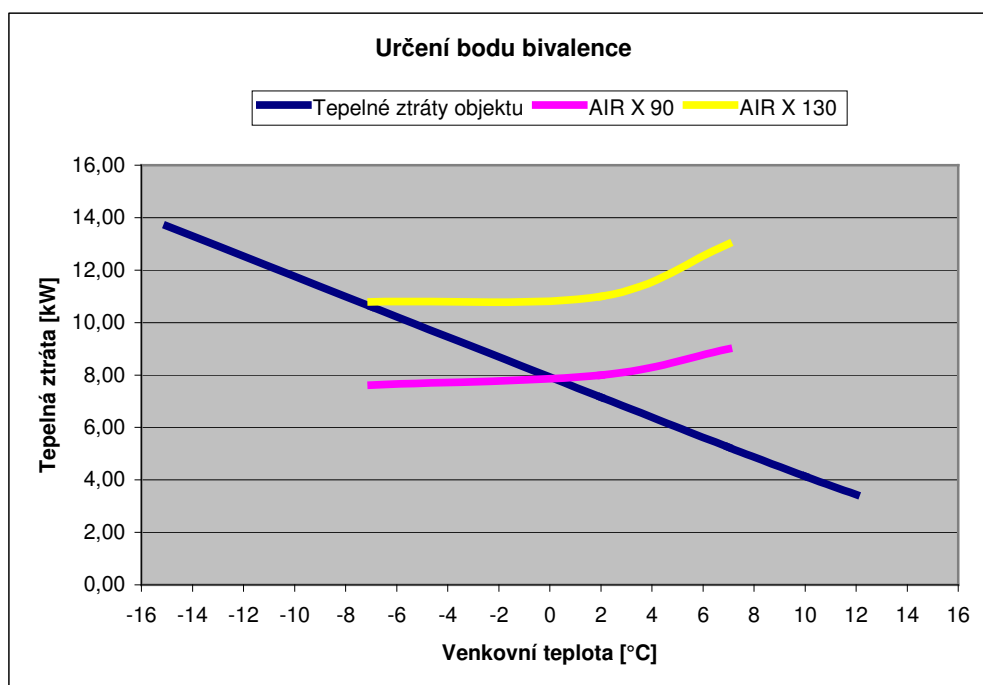
Určení bodu bivalence je druhým stěžejním předpokladem pro stanovení objektivních provozních nákladů a zároveň potřebným krokem k výběru výkonově vhodného tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo typu země–voda obvykle dimenzujeme zpravidla na výkon odpovídající 60–80 % tepelné ztráty (pro bivalentní provoz) nebo na



## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

100 % tepelné ztráty (monovalentní provoz). Tepelné čerpadlo vzduch–voda navrhujeme na výkon 70–90 % tepelné ztráty (pro bivalentní provoz). Bod bivalence se volí u zemních tepelných čerpadel v rozmezí  $-5\text{ °C}$  až  $-8\text{ °C}$  a u vzduchových  $-3\text{ °C}$  až  $-5\text{ °C}$ . Toto doporučení vychází z rozumného porovnání vstupní investice vůči provozním úsporám. Dimenzovat tepelné čerpadlo na maximální výkon je z důvodu četnosti dosahovaných teplot pod bod bivalence v porovnání s navýšením vstupní investice zpravidla neekonomické.

Na následujícím grafu lze spatřiti závislost tepelných ztrát našeho objektu na venkovní teplotě ve srovnání s tzv. topnými křivkami dvou vybraných tepelných čerpadel vzduch–voda stejné modelové řady výrobce IVT.



Graf č.1 Určení bodu bivalence

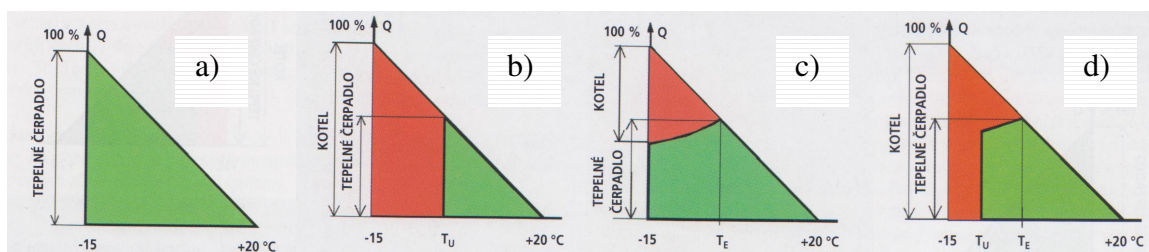
Z grafu je patrné, že u výkonově slabšího modelu AIR X 90 protíná jeho topná křivka křivku tepelné ztráty objektu cca v  $0\text{ °C}$  a naproti tomu u silnějšího modelu půjde o cca  $-8\text{ °C}$ . Pokud zvolíme slabší variantu, ušetříme tím na pořizovacích nákladech, leč prodraží se nám náklady provozní, neboť již od zmíněných  $0\text{ °C}$  bude spínat ekonomicky nevýhodný bivalentní zdroj a naopak v případě výkonově silnějšího řešení zaplatíme zřejmě více na počáteční investici, leč šetříme v následujícím období provozu, protože bivalentní zdroj bude spínat až při  $-8\text{ °C}$ .

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Samotné spínání bivalentního zdroje (BZ) je dalším faktorem, který může ovlivnit ekonomiku provozu. Rozlišujeme v zásadě tyto čtyři možné režimy:

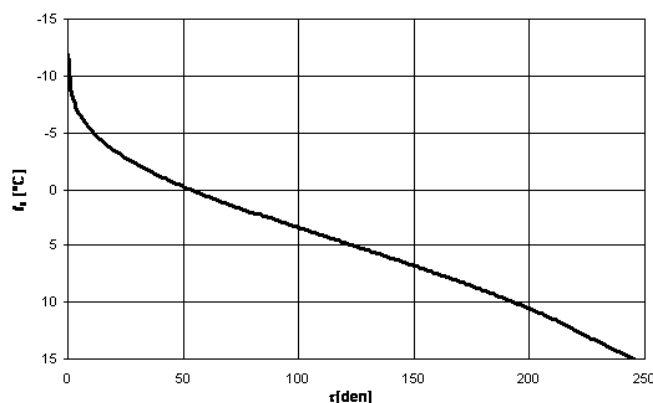
- monovalentní provoz (TČ jako jediný zdroj tepla, absence BZ)
- alternativně-bivalentní provoz (TČ pracuje pouze část topné sezóny, pak BZ)
- paralelně-bivalentní provoz (TČ pracuje od bodu bivalence společně s BZ)
- částečně paralelně-bivalentní provoz (kombinace dvou předchozích variant)

Jejich činnost je asi nejlépe patrná z následujících provozních grafů (viz. graf č.2), je řízena příslušnou automatikou tepelného čerpadla a vzhledem k jejímu vlivu na provozní náklady by měl tyto údaje v rámci možností sdělit výrobce tepelného čerpadla. [16, 17]



Graf č.2 Provozní režimy tepelného čerpadla – a) monovalentní; b) alternativně-bivalentní; c) paralelně-bivalentní; d) částečně paralelně-bivalentní [16]

Jaký tedy zvolit postup pro určení provozních nákladů na provoz bivalentního zdroje? Nejprve si z grafu č.1 určíme bod bivalence dle tepelných ztrát objektu a zvoleného typu tepelného čerpadla. Dle křivky četnosti teplot (graf č.3) určíme počet dnů, kdy bude připnut bivalentní zdroj a v odpovídajícím poměru rozčleníme procento sepnutí bivalentního zdroje v souladu s typem spínání získaného od výrobce do odpovídajícího období, v našem případě do příslušných kalendářních měsíců.



Graf č.3 Křivka četnosti teplot

Máme-li nyní pohromadě všechny potřebné vstupní údaje, tzn. určený topný faktor a frekvenci spínání bivalentního zdroje v příslušných měsících a známe kompletní skladbu ceny za odběr elektrické energie v příslušném tarifu, nezbyvá než porovnat a vyhodnotit jednotlivé varianty. Toto provedeme později souhrnně včetně variant s kombinací se solárními systémy.

### **8.2.2 Tepelné čerpadlo + termosolární kolektory**

V této podkapitole se budeme zabývat synergickým efektem, který se nabízí v případě spolupráce dvou tzv. obnovitelných zdrojů energie, a to tepelného čerpadla a termosolárních kolektorů. Navrheme solární kolektor, jehož energetické tepelné zisky doplníme do celkové potřeby tepla objektu tepelným čerpadlem. Budeme analyzovat do jaké míry bude v průběhu provozování tohoto hybridního systému navýšení vstupní investice kompenzováno snížením nákladů provozních.

#### **8.2.2.1 Investiční náklady**

Investiční náklady budou tedy obsahovat, kromě komponent tepelného čerpadla, již zmíněných v předchozí variantě, náklady na pořízení systému solární části, tzn.:

- solární kolektor vč. nosné konstrukce
- tepelný zásobník
- čerpadlo solárního okruhu
- solární regulátor
- ostatní prvky solárního okruhu a montáž

Pro kalkulaci budeme vycházet z nabídek jednotlivých výrobců či dodavatelských firem solární techniky, v našem případě společnosti AVT.

#### **8.2.2.2 Provozní náklady**

Provozní náklady, resp. jejich snížení oproti samostatně pracujícímu tepelnému čerpadlu je právě tím důvodem, proč se hybridním systémem vůbec zabýváme. Pro očekávané vyčíslení úspory provozních nákladů bude stěžejní:

- určení solárního potenciálu pro konkrétní umístění kolektorů
- výpočet účinnosti použitých kolektorů

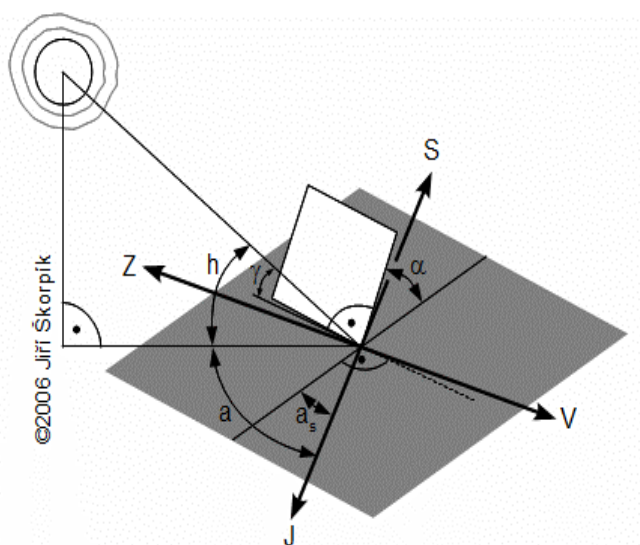
## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Solární potenciál pro konkrétní lokalitu a umístění termosolárních kolektorů, resp. jeho co nejpřesnější vyčíslení, bude prvořadým úkolem pro získání relevantních vstupních údajů pro výpočet provozních nákladů. Pojdme se o to nyní pokusit a zároveň si více solární problematiku přiblížit.

Ze slunce dopadá sluneční energie na naši planetu o výkonu cca  $I_0 = 1360 \text{ W}$  kolmo na  $1 \text{ m}^2$ , což je poměrně známé číslo, tzv. solární konstanta. Tato hodnota je ovšem měřená kdesi na orbitální dráze, tudíž bez jakéhokoli vlivu naší atmosféry. Průchodem částicemi prachu, krystalkami ledu a kapičkami vody v atmosféře dochází k rozptylu původně přímého záření zčásti na záření nepřímé, tzv. difúzní. K nepřímému záření připočítáváme ještě tzv. albedo, tj. záření odráží se od okolního terénu. Celkové sluneční ozáření (tzv. globální) je pak součtem přímého ozáření a nepřímého záření.

Pro určení solárního potenciálu dopadajícího na naše kolektory musíme tedy určit nejprve denní energii celkovou teoreticky využitelnou  $Q_{S \text{ den teor}}$ , dále denní energii záření difúzního  $Q_{D \text{ den}}$  a pak poměrnou dobu svitu  $\tau_p$ , která nám udává podíl záření přímého a nepřímého.

Díky neustálému pohybu slunce po obloze v různém ročním období i v průběhu dne (viz. obr.17) je potřeba provést poměrně velké množství výpočtů. Tyto výpočty budeme provádět po hodinách v rámci denní doby, a stejně jako v případě tepelného čerpadla v předchozí kapitole, zvláště pro jednotlivé kalendářní měsíce.



- $h$  – výška slunce nad obzorem
- $a$  – azimut slunce
- $a_s$  – azimut osluněné plochy
- $\alpha$  – sklon plochy od vodorovné roviny
- $\gamma$  – úhel dopadu slunečních paprsků

Obr.17 Poloha slunce vůči kolektoru [28]

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

Výpočty budeme provádět pro naše konkrétní umístění kolektorů a konkrétní lokalitu, proto si musíme nejprve zadat naše konkrétní vstupní parametry – viz. následující tabulka č. 7:

veličina	symbol	hodnota
azimut osluněné plochy	$a_s$	$0^\circ$
sklon kolektoru	$\alpha$	$45^\circ$
nadmořská výška	$H$	400 m.n.m.
znečištění atmosféry	$Z$	3,0
albedo	$r$	0,2

Tab.7 Vstupní údaje pro výpočet solárního potenciálu

Vycházet budeme z hodnot výšky slunce nad obzorem  $h$  a slunečního azimutu  $a$  pro místa kolem  $50^\circ$  severní šířky, které jsou pro jednotlivá období empiricky pevně určeny a najdeme je spolu s ostatními výpočty v příloze č.5.

Pro výpočet přímého záření budeme potřebovat určit nejprve hodnoty  $\cos \gamma$ , což je úhel paprsků dopadajících na osluněnou plochu a součinitel  $\varepsilon$ , který vyjadřuje závislost na nadmořské výšce. Hodnoty vypočteme podle následujících vztahů:

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s)$$

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

Tyto hodnoty nyní použijeme pro výpočet intenzity přímého záření. Nejprve si určíme  $I_{PN}$ , tj. hodnotu záření bez vlivu natočení, kterou následně upravíme právě pro natočení o vypočítaný úhel  $\cos \gamma$ , jenž vyjadřuje vzájemnou polohu kolektorů a Slunce.

$$I_{PN} = I_0 \cdot e^{\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right)}$$

$$I_p = I_{PN} \cdot \cos \gamma$$

Vypočítané hodnoty přímého záření reflektující vstupní údaje pro náš konkrétní modelový objekt (dle tabulky č.7) jsou opět součástí přílohy č.5.

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

O záření difúzním již byla řeč. My si nyní určíme jeho intenzitu opět pro náš konkrétní případ. Z intenzity záření přímého si nejprve vypočítáme intenzitu přímého záření na vodorovnou plochu, následně difúzní záření opět na vodorovnou plochu a pak teprve požadované záření pro natočení našeho kolektoru. Počítat budeme podle následujících vztahů:

$$I_{Ph} = I_{PN} \cdot \sin h$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{PN}) \cdot \sin h$$

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} - I_{Dh})$$

Rovněž tyto výpočty jsou součástí přílohy č.5, kde je též na závěr proveden prostý aritmetický součet intenzity záření přímého a difúzního, čímž získáme intenzitu záření celkovou, kteréžto mohou kolektory v daném umístění a natočení využívat.

$$I = I_p + I_D$$

Protože všechny hodnoty intenzit v jednotlivých měsících máme spočítány pro jednotlivé hodinové časové úseky, provedeme jejich integraci podle času, čímž získáme teoretické množství energie souhrnně pro jednotlivé měsíce (číselně opět viz. příloha č.5):

$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \, d\tau = \sum_t I \cdot \Delta t$$

Zatím jsme při výpočtech nikde nebrali v úvahu nestálost počasí vyplývající z nevyzpytatelné oblačnosti během roku. Toto nyní napravíme a určíme si tzv. poměrnou dobu slunečního svitu  $\tau_p$ , která vyjadřuje podíl skutečné doby slunečního svitu  $\tau_{skut}$ , a která vychází z dlouhodobých klimatických měření, vůči hodnotě teoretické  $\tau_{teor}$  představující dobu trvání dne.

$$\tau_p = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}}$$

Poměrná doba slunečního svitu nám udává de facto poměr doby záření přímého i difúzního vůči době záření pouze difúzního. energii celkovou teoretickou máme již dříve vypočítanou. Obdobným způsobem si nyní vyjádříme energii pouze difúzní:

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

$$Q_{D\ den} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau = \sum_t I_D \cdot \Delta t$$

Konečně, solární potenciál konkrétního umístění našeho kolektoru je dán celkovou energií na něj dopadající a získáme ho ze vztahu:

$$Q_{S\ den} = \tau_P \cdot Q_{S\ den\ teor} + (1 - \tau_P) \cdot Q_{D\ den}$$

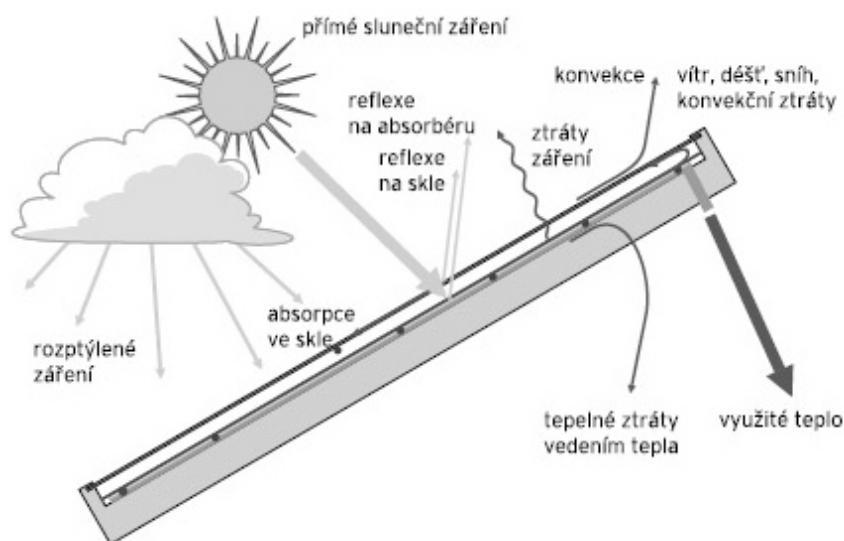
Pro potřeby našeho porovnání provedeme už jen přepočítání na měsíční hodnoty vynásobením počtem dnů v daném měsíci  $n$ :

$$Q_{S\ měsíc} = Q_{S\ den} \cdot n$$

Výsledné hodnoty solárního potenciálu po jednotlivých měsících, stejně jako všechny předchozí dílčí výpočty jsou pro náš konkrétní objekt opět součástí přílohy č.5.

Výpočet účinnosti použitých kolektorů je nyní, když již známe množství energie dopadající na plochu našeho kolektoru umístěného v naší konkrétní lokalitě a instalovaného pod daným úhlem, a to v našem případě na jižní straně objektu, dalším nezbytným krokem ku stanovení objektivně odpovídajících solárních zisků.

Účinnost kolektoru reflektuje ztráty tepelné (vedením, konvekcí a zářením) a ztráty optické odrazem (viz. obrázek č.18)



Obr.18 Ztráty v kolektoru [29]

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

Pro výpočet účinnosti kolektoru si nejprve na základě dříve vypočítaných hodnot stanovíme střední hodnotu intenzity slunečního záření  $I_{STR}$  :

$$I_{STR} = \frac{1}{\tau_{teor}} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \, d\tau = \frac{Q_{S \text{ den teor}}}{\frac{\tau_{teor}}{n}}$$

Nyní si stanovíme měrný tepelný tok zachycený absorbérem kolektoru  $q_a$ , který bude brát v úvahu následující veličiny:

$r$  poměrnou reflexní schopnost krycích skel (zvolíme 0,15 pro mírné znečištění)

$k_1$  a  $k_2$  součinitele prostupu tepla přední a zadní vrstvy absorberu

(dosadíme hodnoty  $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  pro kolektor se dvěma skly)

$t_a$  střední teplotu absorpční plochy, tj. tekutiny proudící absorbérem (volíme  $50^\circ\text{C}$ )

$t_v$  teplotu okolního vzduchu v době slunečního svitu (tu získáme z portálu Českého hydrometeorologického ústavu <http://portal.chmi.cz/>)

$$q_a = (1 - r) \cdot I_{STR} - (k_1 + k_2) \cdot (t_a - t_v)$$

Účinnost kolektorů (pro naše konkrétní podmínky uvedena v příloze č.6) nyní získáme z poměru obou hodnot:

$$\eta = \frac{q_a}{I_{STR}}$$

Nyní zbývá již jen dosadit do následujícího vztahu absorpční plochu použitých kolektorů  $S$  a jejich počet  $n$  a vypočítat energii z nich získanou v jednotlivých měsících:

$$Q_{A \text{ měsíc}} = Q_{S \text{ měsíc}} \cdot \eta \cdot S \cdot n$$

Tato energie představuje úsporu, kterou budeme primárně odečítat z potřeby tepla pro ohřev TUV a případný přebytek teprve následně používat pro zamýšlené temperování našeho historického objektu.

Provozní náklady budou, téměř zanedbatelně, navýšeny o provoz oběhového solárního čerpadla s příkonem v řádu desítek wattů, přesto s nimi je ve výpočtové tabulce počítáno.

Do celkové energetické bilance by se měly započítat též tepelné ztráty na solárním okruhu, včetně tepelného zásobníku. Jelikož zásobník je umístěn ve vytápěné části (jeho ztráty budou využity) a kolektory umístěny relativně blízko, nebudeme je uvažovat. [30]



### **8.2.3 Tepelné čerpadlo + fotovoltaické moduly**

Jiná cesta, která využít energii slunce je, jak již bylo naznačeno v předchozí kapitole, získávání elektrické energie a její následné využití pro potřeby našeho objektu. Výhodou je širší využití získané energie a dokonce i případná možnost jejího prodeje. Nevýhodou je opět závislost na klimatických podmínkách a problém s případným skladováním.

Doby, kdy byla fotovoltaika v ČR štědře podporována a výkupní cena 1 kWh se pohybovala téměř na 15 Kč je již dávno pryč, a proto se v současné době fotovoltaické systémy navrhuji výlučně pro pokrytí vlastní spotřeby objektu a tedy pro zajištění úspory provozních nákladů spojené s provozem domácnosti. Provozní úsporu vůči navýšení vstupní investice budeme analyzovat i my.

#### **8.2.3.1 Investiční náklady**

Investiční náklady budou obsahovat, opět kromě komponent totožného systému tepelného čerpadla, jenž bude i v tomto případě plnit funkci „bivalentního zdroje“, náklady na pořízení systému fotovoltaické části, tzn.:

- fotovoltaické moduly vč. jejich instalace
- střídač a MPPT sledovač
- ostatní prvky fotovoltaického systému a zapojení

Pro kalkulaci budeme opět vycházet z nabídek jednotlivých výrobců či dodavatelských firem solární techniky.

#### **8.2.3.2 Provozní náklady**

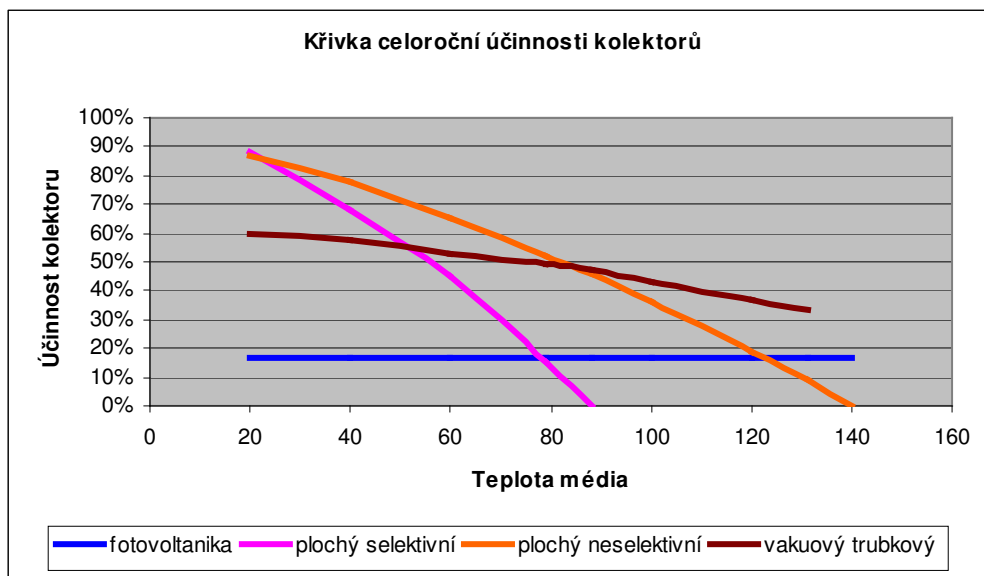
Očekávané snížení provozních nákladů budou ovlivňovat stejně jako v případě předchozí kombinace termosolární soustavy a tepelného čerpadla i zde následující dva hlavní faktory:

- solární potenciál konkrétního umístění fotovoltaických modulů
- účinnost použitých fotovoltaických modulů

Solární potenciál jsme si již určili v předchozí podkapitole, a protože potenciální umístění fotovoltaických modulů je shodné, nyní již jen s výhodou využijeme tytéž hodnoty.

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

Účinnost fotovoltaických modulů je ve srovnání s termosolárními panely prakticky nezávislá na teplotě, potažmo na ročním období (viz. graf č.4), a proto budeme uvažovat účinnost v celém období pro naše výpočty za konstantní, přičemž budeme vycházet z katalogových hodnot výrobce.



Graf č.4 Křivka celoroční účinnosti termosolárních kolektorů a FTV modulu

Energii získanou prostřednictvím fotovoltaických modulů můžeme po dosažení účinné plochy  $S$  a počtu použitých modulů  $n$  tedy vyjádřit jednoduchým vztahem:

$$P_{A \text{ měsíc}} = Q_{S \text{ měsíc}} \cdot \eta \cdot S \cdot n$$

Stejně jako u termosolárního systému představuje tato energie úsporu, o kterou můžeme v tomto případě snížit provozní náklady na nákup elektrické energie z distribuční soustavy, zahrnující i náklady na provoz tepelného čerpadla a jeho bivalentního zdroje.

Pokud by naše fotovoltaická elektrárna byla dimenzována na dostatečné ploše, získaná energie by v případě vhodných světelných podmínek pokryla energetickou potřebu našeho objektu. Na našem rozhodnutí pak je, zda se v tomto případě moduly odpojí a přestanou vyrábět a nebo se staneme licencovanými provozovateli solární elektrárny a budeme dodávat energii do distribuční soustavy. V tomto případě budeme muset splnit zákonem stanovené podmínky a následně dodržovat příslušná pravidla a legislativní nařízení s provozem spojených. Této samostatné problematice se ale zde již věnovat nebudeme. [31]

### **8.3 VLASTNÍ EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ**

Konečně jsme se přiblížili k našemu hlavnímu cíli, kterým je ekonomické porovnání uvedených variant. Je potřeba si uvědomit, že tepelné čerpadlo ani solární systémy určené primárně pro vytápění a ohřev TUV nejsou výrobními nástroji a nepřinášejí zisk a tudíž nelze jednoduše spočítat jejich výnosnost či návratnost.

Abychom mohli použít obvyklé ekonomické nástroje určené pro běžné hodnocení investic, musíme si určit nejprve referenční otopný systém, vůči kterému budeme jednotlivé varianty hodnotit. V našem případě jsme zvolili jako referenci zdroj s nejnižšími pořizovacími náklady – elektrokotel s akumulací, se kterým budeme jednotlivé varianty porovnávat.

#### **8.3.1 Specifikace porovnávaných variant**

Referenčním zdrojem tepla tedy bude zmíněný elektrokotel, jehož investiční náklady jsou kalkulovány včetně jeho instalace na místě. Provozní náklady pak počítají s jeho účinností, která činí 0,95.

Varianta č.1 bude hodnotit provoz tepelného čerpadla vzduch–voda AIR X 130 společnosti IVT s investičními náklady obsahujícími kompletní instalaci a vycházejícími z cenové nabídky montážní firmy. Provozní náklady se budou odvíjet od topného faktoru, který je stanoven výrobcem pro naši lokalitu, a který vychází z jeho interního software, a to zvlášť pro topení a zvlášť pro ohřev TUV. Jako mez bivalence je stanovena hodnota venkovní teploty  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pod jejíž hranici poklesne denní průměrná teplota dle křivky četnosti teplot jen cca 5 dnů v roce, což slibuje velmi úsporný provoz.

Varianta č.2 bude hodnotit provoz tepelného čerpadla země–voda Greenline HA C 11, rovněž společnosti IVT, s investičními náklady obsahujícími opět kompletní instalaci tentokrát včetně zbudování zemního kolektoru a vycházejícími z cenové nabídky stejné montážní firmy. Provozní náklady se budou odvíjet od topného faktoru, který bude v tomto případě o něco vyšší, a který je opět stanoven interním software výrobce pro naši lokalitu, a to opět zvlášť pro topení a zvlášť pro ohřev TUV.

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

Varianta č.3 bude hodnotit provoz stejného tepelného čerpadla země–voda Greenline HA C 11 s investičními náklady obsahujícími kromě kompletní instalace tentokrát náklady na zbudování zemního vrtu a vycházejícími z cenové nabídky opět stejné dodavatelské firmy. Provozní náklady se budou opět odvíjet od topného faktoru, který bude v tomto případě ze všech variant nejvyšší, a který je určen interním software výrobce, a to opět zvlášť pro topení a zvlášť pro ohřev TUV. Mez bivalence je v tomto případě, stejně jako u varianty č.2 (plošný kolektor) určena na hranici cca  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , provoz bivalentního zdroje můžeme tedy pro všechny porovnávané varianty považovat za rovnocenný.

Varianta č.4 bude kombinací tepelného čerpadla vítězné varianty, vycházející z předchozích třech srovnání, s termosolárními kolektory od společnosti A.C.V.ČR v provedení třech panelů SMART SOLAR 300. Jejich sezónní účinnost, včetně výpočtu příslušných solárních zisků pro naše konkrétní umístění, byla zkalkulována podle dříve popsaných pravidel a je přímo součástí přílohy č.6. Investiční náklady vychází z nabídky společnosti a zahrnují opět všechny potřebné komponenty, včetně montáže. Solární okruh bude poháněn oběhovým čerpadlem SIJ Regusol, který je třísekvenční. Jeho průměrný příkon budeme uvažovat 65 W a jeho frekvence spínání koresponduje s průměrnou dobou provozu solárních kolektorů v jednotlivých kalendářních měsících.

Varianta č.5 bude kombinací stejného tepelného čerpadla, tentokrát s fotovoltaickými moduly. Jedná se o 20 polykrystalických modulů výrobní společnosti Suntech, jejichž účinnost je deklarována výrobcem kolem 15 %. Kalkulace provozních nákladů je součástí přílohy č.7. Investiční náklady vychází z nabídky realizační firmy a zahrnují všechny potřebné komponenty včetně montáže tzv. „na klíč“.

Konkrétní vstupní údaje potřebné pro výpočet provozních nákladů jednotlivých variant najdeme, včetně příslušných dílčích výpočtů, v příloze č.8.

Investiční náklady spolu se zmíněnými provozními jsou následně pro jednotlivé varianty porovnávány za použití čtyř různých hodnotících metod ve vyhodnocovací tabulce č.8 na konci této kapitoly (a pro pořádek i v příloze č.9).

### **8.3.2 Metody hodnocení**

Pro ekonomické vyhodnocení budeme používat jednoduché i sofistikovanější metody, přičemž výchozími hodnotami budou vždy investiční náklady a úspora nákladů provozních vůči referenci. Pro naši analýzu použijeme následující metody:

#### **8.3.2.1 Doba návratnosti (DN)**

Pro vzájemné porovnání daných systémů bude pro investora určitě vhodné jednoduché porovnání návratností, tzn. za kolik let při jakém investičním nákladu (*IN*) a při jakých nákladech provozních se mu investice vrátí, přičemž kalkulujeme úspory provozních nákladů vždy oproti referenci, tzv. cash flow (*CF*). Samozřejmě požadujeme návratnost co nejkratší.

$$DN = \frac{IN}{CF}$$

Tato metoda se v praxi, zejména v ČR, pro svoji jednoduchost poměrně často využívá, přestože nebere v potaz efekty po době návratnosti, ani cenu investiční příležitosti.

#### **8.3.2.2 Průměrné roční náklady (PRN)**

Dalším jednoduchým nástrojem pro rychlou a jednoduchou analýzu může být porovnání průměrných ročních nákladů. V tomto případě k investičním nákladům (*IN*) připočítáváme náklady provozní (*PN*) za celou dobu životnosti (*n*), přičemž následně celou sumu opět vztáhneme na celou životnost. Pro co nejvýhodnější investici požadujeme průměrné roční náklady pochopitelně co nejnižší.

$$PRN = \frac{IN + \sum_n PN}{n}$$

Tímto jednoduchým způsobem pracuje například též on-line kalkulačka porovnání nákladů na vytápění na portálu <http://vytapani.tzb-info.cz/>, kterou jsme použili i my v kapitole č.5 pro hrubé porovnání různých druhů energií.

### **8.3.2.3 Vnitřní výnosové procento (IRR)**

Zda se vyplatí do toho kterého systému investovat vzhledem k investorově ceně příležitosti (tzv. opportunity cost), nám řekne vnitřní výnosové procento *IRR*, vycházející z cash flow (*CF*) jednotlivých let provozu každého porovnávaného systému. Vnitřní výnosové procento udává výnosnost investice v procentech a logicky budeme požadovat hodnotu co možná nevyšší.

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = NPV = 0$$

Jde de facto o výpočet o diskontní sazby, při které je čistá současná hodnota (NPV) rovna nule a provádí se iterační metodou. V případě investice jako takové požadujeme, aby vnitřní výnosové procento bylo vyšší než cena jiné investiční příležitosti. Protože v našem případě řešíme nutné vytápění objektu, budeme porovnávat *IRR* pouze mezi jednotlivými variantami.

### **8.3.2.4 Čistá současná hodnota (NPV)**

Čistá současná hodnota využívá naprosto stejného výpočtu jako *IRR*, v tomto případě však známe opportunity cost, tzn. diskont, kterého bychom si přáli dosáhnout (pro porovnání jsme zvolili cenu příležitosti např.  $r = 5\%$ ) a zajímá nás jaká je současná hodnota investice na základě budoucích finančních toků (cash flow *CF*). Radost nám udělá samozřejmě opět vyšší hodnota.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + r)^t}$$

V obou případech (*IRR* i *NPV*) dosazujeme cash flow, které odráží úspory provozních nákladů proti referenci. Jako referenční topidlo by měl být volen tepelný zdroj, který je v objektu aktuálně provozovaný. Pokud, jako v našem případě, instalovaný zdroj zatím instalován není, tak volíme pro maximální objektivitu vyhodnocení za referenci vždy zdroj tepla, který je pro nás akceptovatelný jako náhradní alternativa po stránkách ekonomiky provozu, komfortu obsluhy, ekologické zátěže okolí, apod.

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

### 8.3.3 Porovnání a vyhodnocení

Porovnání všech navrhovaných systémů je zřejmé z následující tabulky č.8.

Varianta		0.	1.	2.	3.	4.	5.
Systém		elektro kotel	TČ vzduch- -voda	TČ země- -voda (plocha)	TČ země- -voda (vrt)	TČ (var.1) + termosolár	TČ (var.1) + FTV
Typ		reference	IVT AIR X 130	IVT Greenline HE E14 kolektor	IVT Greenline HE E14 vrt	IVT AIR X 130 + SMART SOLAR300	IVT AIR X 130 + FTV SUNTECH
Investiční náklady	Kč	100 000	287 151	346 026	396 026	388 351	508 233
Roční provozní náklady	Kč	95 338	36 780	33 741	31 504	34 382	26 473
Roční cash flow (vůči referenci)	Kč	-	58 558	61 597	63 834	60 956	68 865
Deklarovaná životnost	roky	-	20	20	20	20	20
<b>Doba návratnosti</b>	<b>roky</b>	<b>-</b>	<b>4,9</b>	<b>5,6</b>	<b>6,2</b>	<b>6,4</b>	<b>7,4</b>
<b>Průměrné roční náklady</b>	<b>Kč</b>	<b>-</b>	<b>51 137</b>	<b>51 042</b>	<b>51 305</b>	<b>53 799</b>	<b>51 884</b>
<b>IRR:</b>	<b>%</b>	<b>-</b>	<b>19,85%</b>	<b>17,04%</b>	<b>15,16%</b>	<b>14,68%</b>	<b>12,19%</b>
<b>NPV:</b>	<b>Kč</b>	<b>-</b>	<b>421 536</b>	<b>401 537</b>	<b>380 469</b>	<b>353 617</b>	<b>333 313</b>

Tab.8 Porovnání jednotlivých systémů

Porovnání třech různých variant vytápění tepelnými čerpadly a dále porovnání kombinací dvou různých solárních systémů s tepelným čerpadlem (z uvedeného srovnání toho nejvýhodnějšího) jsme provedli na konkrétních příkladech.

Hodnotili jsme na základě čtyř různých metod – doby návratnosti, průměrných ročních nákladů a dvou dynamických ukazatelů efektivnosti – IRR a NPV.

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

Z porovnání vychází jako vítěz samostatně pracující tepelné čerpadlo vzduch–voda (v našem případě typ AIR X 130 výrobce IVT), a to pro nejpříznivější poměr investičních a provozních nákladů.

Náš vytápěný modelový objekt je v současné době, krom v úvodu zmíněných kachlových kamen s ohřívárnou, díky své celkové rekonstrukci prost jakéhokoli dalšího tepelného zdroje, proto bylo obtížné zvolit odpovídající referenční tepelný zdroj.

Nicméně, pokud bychom v současné době používali k vytápění kondenzační elektrokotel jako v našem příkladu, vyšla by doba návratnosti vůči této referenci na necelých pět let s výnosem téměř 20 %. To znamená, že kdybychom se v tomto případě rozhodli investovat do vítězné varianty č.1 a přestali bychom používat původní způsob vytápění, získáme velmi zajímavý výnos naší investice, a to ve výši překračující v současné době výrazně nejen výši inflace, ale i výnosnost většiny nejen peněžních, ale i kapitálových investičních instrumentů.

Koneckonců, poměrně zajímavých výnosů bychom dosáhli ve srovnání s elektrokotlem vlastně u všech variant. Nicméně, cílem našeho srovnání nebylo co nejvýhodněji uložit naše nastřádané úspory, nýbrž nutný výběr co nejvýhodnějšího způsobu vytápění objektu, neboť bez výhodných úroků se totiž běžný stavebník, v našem případě spíše restaurátor, poměrně snadno obejde (už proto, že povětšinou nebude mít úspor nazbyt), nýbrž bez tepla v domě rozhodně nikoliv.

Z našeho srovnání je zřejmé, že metoda pouhého jednoduchého porovnávání průměrných ročních nákladů, která je jinak poměrně často využívána (viz. již zmíněné porovnávání nákladů na vytápění na portálu TZB-info), je ukazatel pro objektivní hodnocení poměrně nedostatečný, neboť v podstatě u všech variant (snad s výjimkou varianty č.4) jsou průměrné roční náklady zhruba ve stejné výši, a přesto z ostatních metod vyplývají poměrně zajímavé rozdíly.

Pokud se tedy zaměříme na opravdu objektivní dynamické ukazatele IRR a NPV, potvrdí nám prvenství našeho samostatně pracujícího tepelného čerpadla vzduch–voda (varianta č.1), následuje samostatně pracující tepelné čerpadlo země–voda s plošným kolektorem (varianta č.2), dále samostatně pracující tepelné čerpadlo země–voda v provedení vrtů (varianta č.3), následována kombinací tepelného čerpadla vzduch–voda se



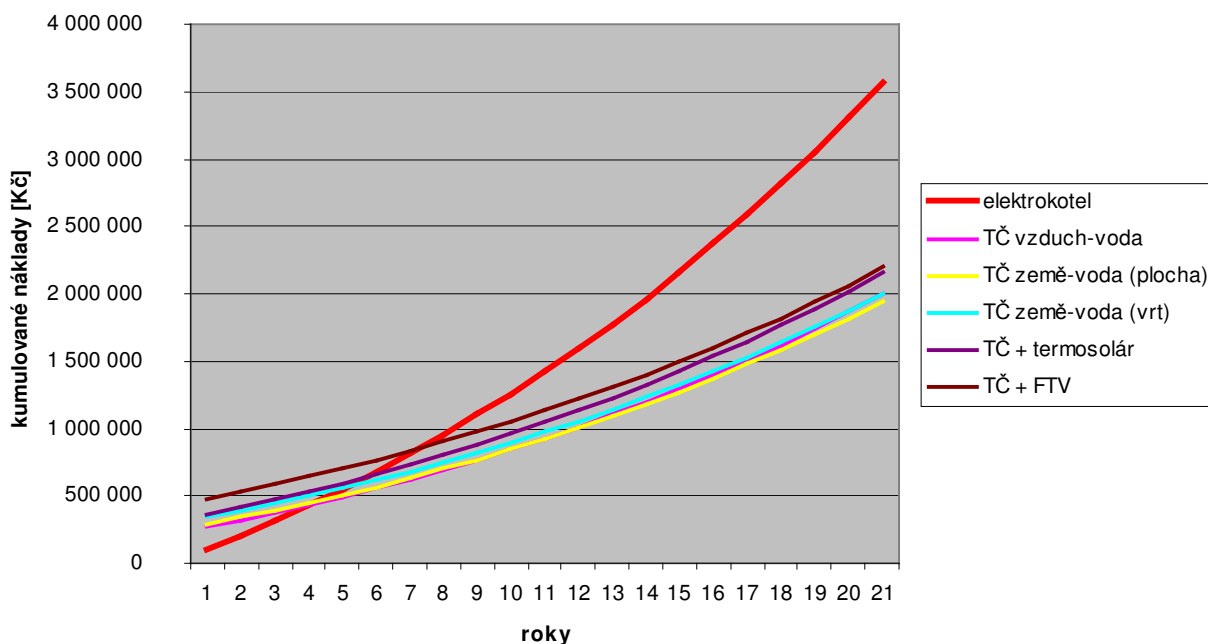
## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

termosolárními kolektory (varianta č.4) a konče kombinací tepelného čerpadla vzduch–voda s fotovoltaickými panely.

Z toho vidíme, že ani vyšší topný faktor, a s tím spojené snížení provozních nákladů, u obou variant tepelných čerpadel země–voda nedokázal při srovnatelné době života vykompenzovat navýšení investičních nákladů, spojených s nutností zbudování relativně nákladných zemních plošných kolektorů, příp. hlubinných vrtů.

Dokonce ani kombinace vítězného tepelného čerpadla s jednotlivými solárními systémy nepřinesla předpokládanou úsporu provozních nákladů v takové míře, aby pokryla navýšení investičních nákladů o hodnotu solárního zařízení.

Vývoj nákladů v čase, který počítá s reálným ročním navýšením ceny elektrické energie o 5 %, a z kterého je poměrně dobře patrná doba návratnosti ve srovnání s referenčním elektrokotlem, je možno názorně porovnat podle následujícího grafu č.5:



Graf č.5 Časový vývoj nákladů – návratnost investice

Z grafu jsou jednak patrné návratnosti jednotlivých variant (ty je možno odečíst v místech průsečíků s referenční křivkou elektrokotle) a jednak značné úspory provozních nákladů vůči referenčnímu elektrokotli, a to zejména až po době návratnosti. Z toho je mimo jiné též jasně vidět slabina metody průměrných ročních nákladů.

Vítěze našeho porovnání máme tedy určeného, nicméně je potřeba si uvědomit, do jaké míry závisí porovnání na těch kterých vstupních údajích. Zejména životnost systémů, která je pro hodnocení poměrně velmi významným faktorem je velmi obtížně predikovatelná. V případě, že ten který systém „přežije“ svoji deklarovanou životnost a pracuje utěšeně dál i poté, má zásadní vliv na případné celkové pozitivní přehodnocení původní varianty. Proto je kromě všech uvedených výpočtů a hodnocení též velmi důležité vybrat si renomovanou značku výrobku a spolehlivého dodavatele celého systému.

### 9 ZÁVĚR

Od nepaměti byl za srdce domova považován plápolající oheň, který dělal domov domovem a který dodával obyvatelům životodárnou energii v nepříznivých dobách zimy. Tyto pocity bezpečí jsou ve spojitosti s teplem domova zakořeněny v každém z nás.

Cílem této práce bylo navázat na tyto přirozené lidské potřeby a v souladu s odkazem našich předků skloubit využití nejmodernějších poznatků a technologií s technologiemi původními a pokusit se dokázat, že to lze.

Vytápění historického objektu má svoje specifika zejména v souvislosti s použitými původními stavebními materiály, jejichž tepelně-izolační vlastnosti nedosahují dnes běžně požadovaných parametrů. Jeden z primárních úkolů je vypořádat se s nadměrnou vlhkostí, která má negativní dopad na tepelnou pohodu a navýšení provozních nákladů na vytápění.

V úvodní části této práce byl nejprve podrobně popsán postup výpočtu tepelných ztrát, přičemž jedním ze zásadních problémů je, vzhledem k různorodosti použitých stavebních materiálů, co nejpřesnější určení součinitelů prostupu tepla jednotlivých stavebních konstrukcí.

V další části byla probrána jednotlivá specifika různých otopných soustav a vzhledem k výhodným vlastnostem podlahového vytápění a momentální rekonstrukci objektu, včetně podlah, byl zvolen pro vytápění objektu právě tento nízkopotenciální systém vhodný pro spolupráci tepelným čerpadlem či solárními systémy.

Byl učiněn pokus navrhnout systém podlahového vytápění, který by kapacitně postačil k vytopení příslušného objektu, přičemž bylo zjištěno, že ne ve všech místnostech se toto podaří pokud chceme dodržet příslušné hygienické normy. Bude tedy potřeba učinit

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

příslušná opatření. Buďto provést tepelnou izolaci objektu na vnějších stěnách, což je u historického objektu, u něhož je zpravidla vždy preferováno zachování jeho původního rázu, prakticky neproveditelné, nebo systém doplnit přídatnými otopnými tělesy (radiátory). Další možností, která ovšem není úplně v souladu se správným návrhem, je smířit se s poddimenzováním systému a používat v případě extrémně nízkých teplot, které bývají jen několik málo dnů v roce, pro dotápění kachlových kamen s ohřívárnou.

Poté byla provedena pomocí jednoduchého on-line nástroje na portálu TZB-info zjednodušená analýza různých tepelných zdrojů dostupných v místě objektu a z něho vybrán právě systém tepelného čerpadla. Zároveň bylo rozhodnuto spolu s ním provést porovnání jeho případné spolupráce se solárními systémy.

Dále byl čtenář seznámen s principy tepelného čerpadla, včetně výhod a nevýhod použití jednotlivých typů, což bylo v další části ověřeno v rámci technicko-ekonomického porovnání. Totéž seznámení bylo následně provedeno s termosolárním systémem a se systémem fotovoltaickým.

Posledním a naprosto stěžejním bodem pak bylo vlastní porovnání. Aby bylo možno provést, bylo nutno nejprve určit potřebu tepla pro náš objekt. Toto bylo provedeno zvlášť pro potřeby vytápění a zvlášť pro ohřev teplé vody. Pro přesnější porovnání, vzhledem k volatilitě počasí během roku, byly tyto hodnoty stanoveny pro jednotlivé kalendářní měsíce.

Následovalo určení investičních a zejména provozních nákladů pro jednotlivé varianty. To znamenalo určení topného faktoru a meze bivalence pro jednotlivé typy tepelných čerpadel, výpočet solárního potenciálu v místě umístění solárních kolektorů a jejich proměnlivé účinnosti během roku a v případě fotovoltaických modulů jejich účinnosti udávané výrobcem.

Byly představeny jednotlivé metody, prostřednictvím kterých bylo následně provedeno ekonomické vyhodnocení, a to vůči referenčnímu tepelnému zdroji, za který byl zvolen kondenzační elektrokotel.

Z porovnávaných variant vyšla vítězně varianta samostatně pracujícího tepelného čerpadla vzduch–voda, a to zejména pro nejlepší poměr investičních a provozních nákladů. Protože je velmi těžké odhadnout tepelnou pohodu v daném historickém objektu, a to i po aplikaci odvlhčovacích opatření a vybudování nových podlah, má tepelné čerpadlo

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

vzduch–voda oproti typu země–voda poměrně zajímavý potenciál pro případné temperování objektu i mimo topnou sezónu, neboť právě v tomto období bude jeho topný faktor více než příznivý.

Vítězný topný systém je tedy úspěšně vybrán, nezbývá než se pustit do realizace projektu.

Pokud by bylo potřeba předtím provést ještě případná další porovnání, lze s výhodou použít stejné postupy spolu s příloženým pomocným excelovským minisoftware (viz. CD-ROM: LHOTA\_calculate.xls), pomocí čehož lze nyní již snadno porovnávat další a další varianty, a to včetně parametrů tepelných čerpadel různých výrobců mezi sebou.

Na závěr nezbývá než popřát vybranému systému či spíše jeho uživatelům bezproblémový chod a co nejdelší dobu života.

**Použitá literatura a ostatní informační zdroje**

- [1] CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. *TZB-info* [online]. 2000 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [2] BALÍK, Michael. *Odvhlčování staveb*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 307 s. Stavítel. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [3] BALÍK, Michael. *Vysušování zdiva: v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 120 s. ISBN 978-80-247-3045-5.
- [4] SVATOŠOVÁ, Irena. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, TZB pro FBI* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/>
- [5] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění domů a bytů*. 1. vyd. Praha: Grada, 1997, 127 s. ISBN 80-716-9401-0.
- [6] *EKOMPLEX* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.vodatopeniplyn.eu/>
- [7] *PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>
- [8] AllTech. *AllTech* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.alltechsro.cz/radiatory-nebo-podlahovka-2>
- [9] CTW BOHEMIA, spol. s r. o. *CTW BOHEMIA, spol. s r. o.* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.ctwbohemia.cz/reference.php?category=5>
- [10] Energetický poradce PRE. *Energetický poradce PRE* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspory-energie/vytapani/podlahove-vytapani/>
- [11] PURMO - Podlahové topení, technická specifikace 10-98. *TZB-info/PurmoCZ* [online]. 1998 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/soubory/PurmoCZ.pdf>
- [12] POČINKOVÁ, Marcela. *Podlahové a stěnové vytápění, stropní chlazení*. Vyd. 2. Brno: Computer Press, 2009, vi, 118 s. Stavíme. ISBN 978-80-251-2746-9.
- [13] POČINKOVÁ, Marcela a Lea TREUOVÁ. *Vytápění*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2011, xvi, 151 s. Stavíme. ISBN 978-80-251-3329-3.
- [14] Porovnání nákladů na vytápění TZB-info. *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>
- [15] ENZA. *ENZA - energetická zařízení s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.enza.cz/princip-tepelneho-cerpadla.htm>
- [16] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: ARCH, 2003, 121 s. ISBN 80-861-6561-2.

## VYTÁPĚNÍ HISTORICKÉHO OBJEKTU TEPELNÝM ČERPADLEM A VYUŽITÍ ENERGIE SLUNCE

---

- [17] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 109 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [18] 20 let s tepelnými čerpadly v ČR. *STAVBA DOMU, Nejlepší stavební portál* [online]. 2013 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.stavba-domu.cz/20-let-s-tepelnymi-čerpadly-v-cr/>
- [19] *SOLÁRNÍ SYSTÉMY* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.solarnisystemy.cz/>
- [20] *SIEA - Slovenská inovačná a energetická agentúra* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <https://www.siea.sk>
- [21] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 254 s. Stavitel. ISBN 9788024730455.
- [22] *Solární systémy na klíč* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.solarni-system.eu/>
- [23] TOMEŠ, Milan. Pružné fotovoltaické moduly ano či ne?. *TZB-info* [online]. 2007 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4251-pruzne-fotovoltaicke-moduly-ano-ci-ne>
- [24] KOLAŘÍK, Martin. *Ostrovní fotovoltaické elektrárny* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://ostrovni-elektrarny.tumblr.com/>
- [25] *VOTUM Smart Energy* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.votum.cz/ascentsolar/>
- [26] *CZECH NATURE ENERGY* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/>
- [27] TREUOVÁ, Lea. *VUT v Brně Fakulta stavební - TZB* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/>
- [28] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie. *Transformační technologie* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [29] *Topení-Kořínek.cz. Topení-Kořínek.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.topeni-korinek.cz/solarni-systemy/>
- [30] SOUKUP, Michal. *Spolupráce solárních tepelných systémů s tepelnými čerpadly*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [31] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [32] *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

**Seznam obrázků**

- Obr.1*    *Náš konkrétní modelový objekt pro realizaci vytápění*
- Obr.2*    *Návrhové parametry vodní otopné soustavy [4]*
- Obr.3*    *Tepelné profily různých typů otopných ploch [7]*
- Obr.4*    *Kachlová kamna s ohřívařnou v našem objektu*
- Obr.5a*    *Čláčková tělesa [6]*
- Obr.5b*    *Desková tělesa [8]*
- Obr.5c*    *Trubková tělesa [6]*
- Obr.5d*    *Konvektory [6]*
- Obr.6*    *Sálavé stropní těleso [9]*
- Obr.7*    *Podlahové vytápění teplovodní [10]*
- Obr.8*    *Podlahové vytápění odporové [10]*
- Obr.9*    *Porovnání ročních nákladů pro náš objekt [14]*
- Obr.10*    *Princip tepelného čerpadla [15]*
- Obr.11a*    *TČ Vzduch – Voda [18]*
- Obr.11b*    *TČ Vzduch – Vzduch [18]*
- Obr.11c*    *TČ Země – Voda (plocha resp. vrt) [18]*
- Obr.11d*    *TČ Voda – Voda [18]*
- Obr.12a*    *Nekryté kolektory [19]*
- Obr.12b*    *Ploché kolektor [20]*
- Obr.12c*    *Ploché vakuový kolektor[20]*
- Obr.12d*    *Trubkový vakuový kolektor[20]*
- Obr.13*    *Princip zapojení termosolární topné soustavy [22]*
- Obr.14*    *Generace FV modulů [23]*
- Obr.15*    *Typické typy fotovoltanických modulů:  
a)monokrystalický, b)polykrystalický, c)amorfní, d) tenkovrstvé [24, 25]*
- Obr.16*    *Typická instalace fotovoltanické soustavy v domě [26]*
- Obr.17*    *Poloha slunce vůči kolektoru [28]*
- Obr.18*    *Ztráty v kolektoru [29]*

### **Seznam grafů**

- Graf 1* Určení bodu bivalence
- Graf 2* Provozní režimy tepelného čerpadla: a) monovalentní; b) alternativně-bivalentní; c) paralelně-bivalentní; d) částečně paralelně-bivalentní [16]
- Graf 3* Křivka četnosti teplot
- Graf 4* Křivka celoroční účinnosti termosolárních kolektorů a FTV modulu
- Graf 5* Časový vývoj nákladů - návratnost investice

### **Seznam tabulek**

- Tab.1* Tepelný odpor dle směru tepelného toku
- Tab.2* Vliv světových stran místností
- Tab.3* Pokrytí tepelných ztrát našeho objektu podlahovým vytápěním
- Tab.4* Pokrytí tepelných ztrát našeho objektu podlahovým vytápěním – po zateplení
- Tab.5* Výhody a nevýhody jednotlivých typů tepelných čerpadel souhrnně
- Tab.6* Porovnání účinností různých fotovoltaických článků
- Tab.7* Vstupní údaje pro výpočet solárního potenciálu
- Tab.8* Porovnání jednotlivých systémů

### **Seznam příloh**

- Příloha 1* Výpočet tepelných ztrát místností
- Příloha 2* Tepelné ztráty budovy
- Příloha 3a* Podlahové topení
- Příloha 3b* Podlahové topení v případě zateplení objektu
- Příloha 4* Měsíční potřeba tepla
- Příloha 5* Výpočet solárního potenciálu pro konkrétní umístění solárního systému
- Příloha 6* Výpočet energie z termosolárního systému
- Příloha 7* Výpočet energie z fotovoltaického systému
- Příloha 8* Varianty vytápění – provozní náklady
- Příloha 9* Ekonomické porovnání