

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Aplikace tepelných čerpadel**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2015/2016

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petra MAŘÍKOVÁ**  
Osobní číslo: **E13B0419P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Aplikace tepelných čerpadel**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Rozeberte problematiku návrhu a volby tepelného čerpadla.
2. Provedte přehledovou analýzu trhu s tepelnými čerpadly.
3. Porovnejte varianty vytápění pomocí tepelného čerpadla a plynového kotle z hlediska technického, energetického, ekonomického a environmentálního.

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


1. Schulz, H.: Teplo ze slunce a země

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

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015  
Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016

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



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

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na aplikaci tepelného čerpadla. První část se zabývá obecnými vlastnostmi tepelného čerpadla, druhá uvádí přehledovou analýzu trhu s TČ včetně základních legislativních požadavků. Poslední třetí část popisuje reálnou aplikaci tepelného čerpadla a plynového kotle, kde posuzují hledisko technické, enviromentální, ekonomické a energetické.

## **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, plynový kotel, certifikace, zemní kolektor.

## **Abstract**

This propounding bachelor work is focused on an application of a heating pump. In the first part is general characteristic of heating pumps. In the second part is presented a synoptic analysis of market with heating pumps including of basic legislative requirements. In the last part is described a real application of a heating pump and a gas boiler. I assess a technical, environmental, economic and energy viewpoint.

## **Keywords**

Heat pump, gas rating, certification, ground collector.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

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

.....

podpis

V Plzni dne 27.5.2016

Petra Maříková

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 NÁVRH A VOLBA TEPELNÉHO ČERPADLA</b> .....	<b>9</b>
1.1 PRINCIP FUNKCE KOMPRESOROVÉHO TEPELNÉHO ČERPADLA .....	9
1.1.1 <i>Kompresor</i> .....	9
1.1.2 <i>Výparník</i> .....	10
1.1.3 <i>Kondenzátor</i> .....	10
1.1.4 <i>Expanzní ventil</i> .....	11
1.1.5 <i>Akumulátor</i> .....	11
1.2 CHLADIVO .....	11
1.3 COP ZÁKLADNÍ PARAMETRY .....	13
1.4 CARNOTŮV CYKLUS .....	14
1.5 KOLEKTORY TČ ZEMĚ VODA .....	16
1.5.1 <i>Zemní plošné kolektory</i> .....	16
1.5.2 <i>Velikost zemního kolektoru</i> .....	20
1.5.3 <i>Zemní vertikální kolektory - vrty</i> .....	21
1.6 ZAPOJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA ZEMĚ – VODA .....	22
1.7 PLÁNOVÁNÍ INSTALACE .....	23
1.7.1 <i>Aplikace TČ pro konkrétní RD</i> .....	24
<b>2 PŘEHLEDOVÁ ANALÝZA TRHU S TEPELNÝMI ČERPADLY</b> .....	<b>25</b>
2.1 CERTIFIKACE .....	25
<b>3 ZHODNOCENÍ</b> .....	<b>27</b>
3.1 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉ .....	28
3.1.1 <i>Provozní náklady</i> .....	28
3.2 ZHODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍ .....	30
3.3 ZHODNOCENÍ TECHNICKÉ .....	31
3.4 ZHODNOCENÍ ENERGETICKÉ .....	34
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>35</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>36</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>38</b>

## Úvod

Tepelná čerpadla zaznamenala především z ekonomických a ekologických důvodů v posledních letech velké přírůstky. Řadí se mezi alternativní zdroje energie, které umožňují odnímat teplo z okolního prostředí, a to z vody, ze vzduchu nebo ze země. Dokáží ho převádět na vyšší teplotní hladinu a následně účelně využít pro vytápění nebo ohřev teplé vody.

Ačkoli se v zahraničí využívají TČ několik desítek let, v naší republice v minulosti pořizování tepelných čerpadel bránily relativně nízké ceny energií. Ty pak prodlužovaly ekonomickou dobu návratnosti v souvislosti s vyššími pořizovacími náklady tepelných čerpadel. Nicméně při zřizování TČ odpadají náklady konvenčního otopného systému. Například u plynového vytápění náklady zahrnují kromě samotného plynového kotle i náklady na přípojku na plyn a na komín, tak i výdaje na plynoměry a údržbu. Přestože investiční náklady u tepelných čerpadel mnohdy výrazně převyšují investice vložené na přípojku „běžných“ otopných soustav, jeho hlavní výhodou jsou nízké provozní náklady, které mnoho lidí přesvědčí k tomuto způsobu vytápění.

Touto bakalářskou prací bych chtěla nastínit výhody vytápění tepelným čerpadlem země-voda uvedeného do provozu v roce 2004 ve srovnání s konvenčním zdrojem vytápění v podobě plynového kotle. Zajímala mě otázka, nakolik je tento způsob vytápění finančně nákladnější a ekologičtější, nakolik je zásah do zahrady v rámci vykopání zemního kolektoru limitující. Jaká je závislost počtu hodin chodu kompresoru na venkovní teplotě, s čímž souvisí i teplota vody v otopném okruhu. Později zmiňované TČ bylo jasnou volbou, poněvadž pozemek mého bydliště není plynofikován. Dalším aspektem, který nabídl tuto variantu, byla potřeba bezobslužného provozu, což by v případě vytápění kotlem na tuhá paliva či peletky, nebylo dost dobře možné.

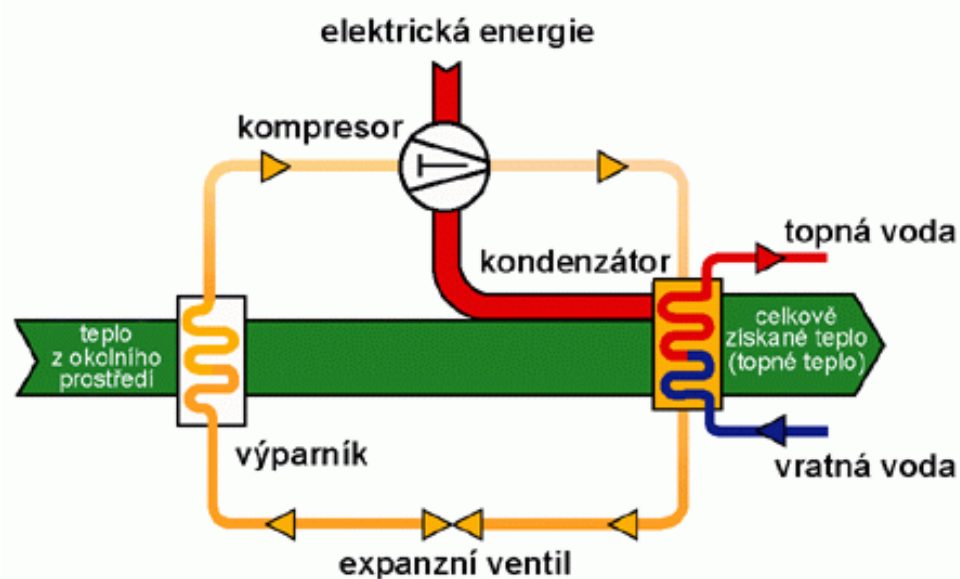


# 1 Návrh a volba tepelného čerpadla

## 1.1 Princip funkce kompresorového tepelného čerpadla

Jedná se o nejrozšířenější typ tepelného čerpadla. Princip tohoto TČ spočívá v tom, že chladivo s nízkým bodem varu se při nízké teplotě odpařuje a pod vysokým tlakem se komprimuje. Teplo přivedené z nízkopotenciálního zdroje stačí k tomu, aby se chladivo odpařovalo. Fyzikálně tento děj popisujeme jako Carnotův cyklus.

V chladícím okruhu tepelného čerpadla nalézáme jeho čtyři základní části: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Teplo, které bylo ve venkovním prostředí odebráno, se ve výparníku při poměrně malé teplotě předává pracovní látce – kapalnému chladivu. Dále je kompresor, v drtivé většině poháněný elektromotorem, který stlačuje odpařené chladivo v plynném skupenství na vysoký provozní tlak. Dochází tím k ohřátí. Do kondenzátoru je přiváděno stlačené chladivo, při následné kondenzaci předává teplo do topné látky za vyšší teploty, než mu bylo odebráno ve výparníku. Cyklus je uzavřen v expanzním ventilu, kdedojde ke snížení tlaku chladiva na jeho původní teplotní hodnotu.



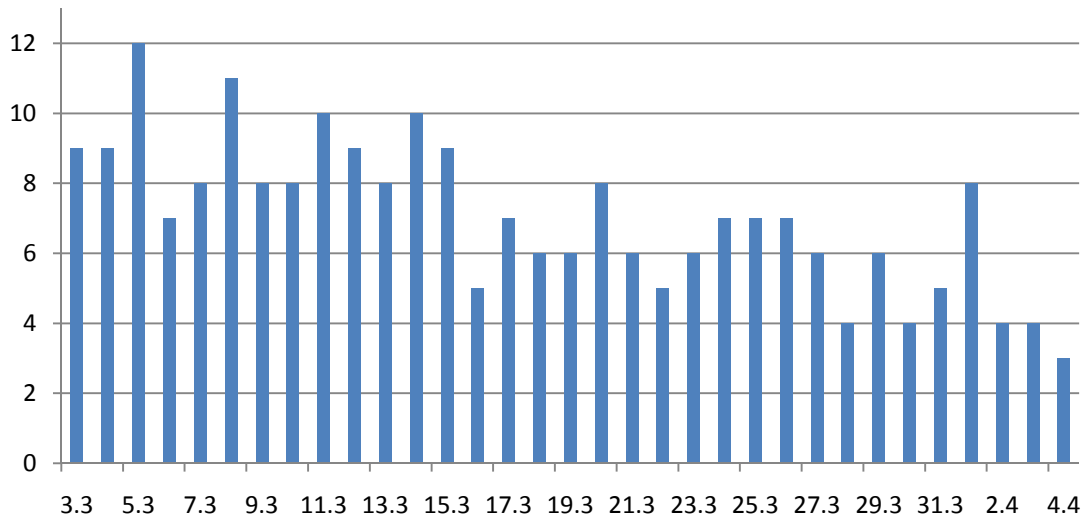
Obr. 1 – Princip funkce tepelného čerpadla [14]

### 1.1.1 Kompresor

Úkolem kompresoru je nasávat plyn z výparníku při takovém tlaku chladiva, které odpovídá jeho výparné teplotě a stlačovat ho na tlak, který odpovídá kondenzační teplotě. Ke zvýšení tlaku a teploty chladiva dojde při dodání elektrické energie pro pohon motoru

kompresoru. Tím pádem je tato energie přečerpána z nižší teplotní hladiny na vyšší, čehož se využívá pro ohřev teplé vody anebo vytápění. Běžně distribuované kompresory jsou nejčastěji pístové nebo rotační. Aby nedocházelo k únikům chladiva do okolního prostředí, bývá většinou kompresor a elektrický motor hermeticky uzavřen v jedné tlakové nádobě. [5]

**Počet hodin chodu kompresoru**



Obr. 2 – Graf počtu hodin chodu kompresoru na jaře roku 2016. Zdroj: vlastní

### 1.1.2 Výparník

Výparník je výměník, který přenáší teplo mezi zdrojem vnějšího nízkopotenciálního tepla (vzduch, voda, nemrznoucí směs) a chladivem. Protože jen při nízkém tlaku a teplotě je chladicí médium ochotno se vypařovat a získávat tak z teplotnosné látky i při nízkých teplotách teplo. Jeho primární stranou teče (nebo zvenku obtéká, podle konstrukce) médium, ze kterého se odebírá teplo (vzduch, voda, solanka) a v sekundární straně se vstřikuje kapalné chladivo. Výměníky jsou většinou letované desky, pro vzduchové TČ se jedná o měděné potrubí s hliníkovým žebrováním. [5]

### 1.1.3 Kondenzátor

Předává teplo do otopné soustavy, což může být vzduch či ohřev vody. Při vysoké teplotě a tlaku chladivo kondenzuje a odevzdává teplo do teplotnosné látky. Funkční provedení je z letovaných desek nebo ze soustavy trubek uvnitř zásobníku. [5]

### 1.1.4 Expanzní ventil

Jeho úkolem je udržovat stálý tlakový rozdíl mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího oběhu. To se děje díky řízenému zúžení potrubí před výparníkem. V závislosti na výstupní teplotě se reguluje průtok chladiva z kondenzátoru do výparníku, kde udržuje přehřátí chladiva. Tímto je zaručeno, že chladivo vstupující do kompresoru je zcela vypařeno. Expanzní ventily jsou termostaticky nebo elektronicky řízené. [5]

### 1.1.5 Akumulátor

Akumulátor je vhodným „doplňkem“ tepelného čerpadla, který díky následujícím funkcím zabezpečuje bezproblémový provoz. Jednak vytápí objekt po dobu vypnutí tepelného čerpadla, tak slouží i k hydraulickému oddělení topných okruhů. Např. pokud vlivem termostatických ventilů dojde v topném okruhu ke snížení průtoku, zůstává průtok vody v okruhu tepelného čerpadla stálý. Vhodnost použití vyrovnávacího akumulátoru závisí na setrvačnosti zvolené otopné soustavy. Podlahová otopná plocha je schopna díky svým akumulacím schopnostem zajišťovat tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru po většinu doby vypnutí TČ. Použití vyrovnávacího akumulátoru je zde zbytečné, oproti využití tepelného čerpadla „vzduch/voda“, kde je výhodné použít akumulátor. Se stoupající teplotou tohoto zdroje tepla stoupá topný výkon, spotřeba tepla se snižuje. V případě námrazy poskytuje akumulátor také energii nutnou pro odtávání námrazy na výparníku čerpadla.

Vyrovnávací akumulátor má zjednodušeně řečeno dva základní stavy - nabíjení a vybíjení. K nabíjení dochází v případě, že je výkon zdroje větší, než výkon odběru – resp. výkon otopné soustavy. K vybíjení dochází, když je výkon odběru větší, než výkon zdroje. U tepelného čerpadla „vzduch/voda“, kde se předpokládá bivalentní provoz TČ s jiným doplňkovým zdrojem tepla, dochází k vybíjení akumulátoru v momentě, kdy je v provozu tepelné čerpadlo a k němu připnutý doplňkový zdroj. K vybíjení dojde tehdy, kdy TČ a příp. k němu doplňkový zdroj je vypnut. Průběh nabíjení a vybíjení závisí na průběhu tepelných ztrát během dne, neboť se mění venkovní teplota, rovněž je zde ovlivnění počtem osob, jejich denním cyklem a způsobem života. [2]

## 1.2 Chladivo

Chladivo, nejčastěji nesoucí název „solanka“, cirkuluje v tepelném okruhu. Při nízké teplotě se odebírá tepelná energie ve výparníku a předává se kondenzátoru. Chladivo tak mění

své kapalné skupenství ve výparníku na plynné a opět na kapalné v kondenzátoru. Technologickým vývojem tepelných čerpadel se ustálilo několik látek, které jsou svými vlastnostmi vhodné pro požadované teploty v různých realizacích. Obvykle jsou synteticky připravované, můžeme najít i takové aplikace, kdy se chladivo vyskytuje přirozeně v přírodě.

V počátcích byla používána chladiva na bázi fluorovaných uhlovodíků (HFC), jeden čas to byly částečně halogenované uhlovodíky (HCFC). V důsledku negativního vlivu na ozonovou vrstvu byla chladiva fluorovaných uhlovodíků (HFC) od roku 1995 zakázána. U částečně halogenovaných uhlovodíků (HCFC) vyšel tento zákaz ke konci roku 2014. Od 1.1.2015 platí nařízení evropského parlamentu a rady EU pojednávající o fluorovaných skleníkových plynech, kdy předmětem tohoto nařízení je snižování emisí právě těchto látek. V současné době jsou používány hydrogenfluorovodíky (HFCs) a jejich směsi jako náhrada za předchozí chladiva, poněvadž jsou bezchlorové a nenarušují tak ozonovou vrstvu.

Podle nařízení evropského parlamentu pro činnosti, jakými jsou instalace, servis, údržba, oprava či vyřazení z provozu, musí mít fyzická (či právnická) osoba vykonávající znovuzískávání fluorovaných skleníkových plynů náležitý certifikát. Fluorovanými skleníkovými plyny se rozumí HFC, HCFC a směsi obsahující chladiva HFC. Pokud dojde u tepelného čerpadla k netěsnosti či úniku, bude se chladivo rychle odpařovat, protože za normálních podmínek je v plynném stavu. Při plnění a údržbě TČ se nedá zcela zabránit určitému úniku chladiva, nicméně nikdy by nemělo dojít ke katastrofální havárii, při níž by celá náplň chladiva unikla do atmosféry. Od 1.1.2017 budou zavedeny požadavky na kontrolu těsnosti. A to na zařízení obsahující méně než 3kg fluorovaných skleníkových plynů. Pro případ hermeticky uzavřených zařízení se bude jednat o obsah menší než 6kg HFC. Údaje o kontrole těsnosti, o typu a množství HFC a o firmě, která kontrolu provedla, budou muset být pečlivě zaznamenány. V současné době se v tepelných čerpadlech používají především chladiva R410A, R407C, R404A. [1] [11]

Tab. 1 - Fluorované směsi

označení	název	GWP
R23	fluoroform	14800
R125	pentafluorethan	3500
R134a	1,1,1,2-Tetrafluoretan	1430
R407C	směs různých HFC	1774
R410A	směs různých HFC	2088

**GWP** = Global Warning Potential – potenciál globálního oteplování, resp. skleníkového plynu. O zvýšení teploty klimatu v poměru k potenciálu oxidu uhelnatého (CO<sub>2</sub>), počítaný jako stoletý potenciál oteplování 1kg skleníkového plynu v poměru k 1kg CO<sub>2</sub>. Jeden kilogram látky R134a má stejný potenciál ve smyslu oteplování klimatického systému Země, jako kdyby bylo vypuštěno 1 430 kg CO<sub>2</sub>.

Přírodní chladiva, uvedené v následující tabulce, mají hodnotu GWP několikanásobně nižší. Bývá trendem výrobců chladicí techniky zařazovat tyto chladiva do svých produktů. Tepelné čerpadlo s propanem nevykazuje horší výkon chladiva, než je tomu u fluorovaných.

Tab. 2 - Přírodní chladiva

označení	název	GWP
R290	Propan	3
R600a	Isobutan	3
R717	Amoniak	0
R744	oxid uhličitý	1

### 1.3 COP základní parametry

Tepelnému čerpadlu je nutno dodávat energii na vlastní chod, zejména na chod kompresoru. S touto podmínkou se pojí parametr „topný faktor  $\varepsilon$ “, což je poměr tepla dodaného do vytápění  $Q_{ab}$  okamžitým hnacím příkonem  $P$ . Toto bezrozměrné číslo udává poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. „Charakterizuje“ tím tak účinnost tepelného čerpadla.

$$\varepsilon = \frac{Q_{ab}}{P} = \frac{Q_{ab}}{Q_{ab} - Q_{zu}} [-] \quad (1)$$

kde  $Q_{ab}$  je teplo dodané do vytápění (kWh)

$P$  okamžitý příkon (kW)

$Q_{zu}$  chladicí výkon okolí (kW)

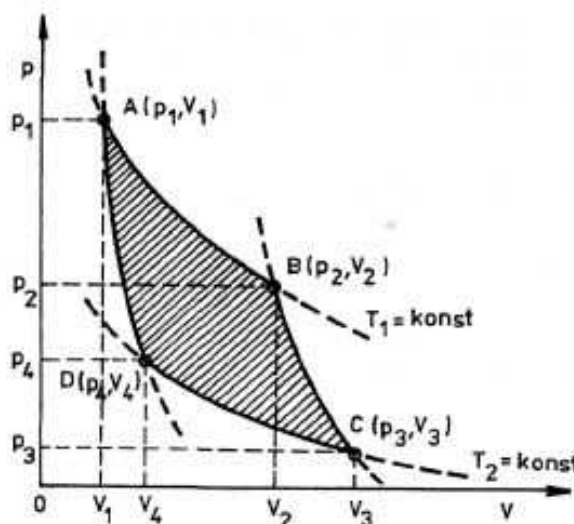
V anglické literatuře je topný faktor označován zkratkou COP, tj. „Coefficient of Performance“. Hnací příkon lze vyjádřit jako okamžitý vyprodukovaný tepelný tok  $Q_{ab}$

zmenšený o chladicí výkon okolního prostředí  $Q_{zu}$ . Čím vyšší je hodnota topného faktoru, tím nižší jsou provozní náklady. Běžně čerpadla dosahují hodnoty  $\varepsilon$  2 – 4. Mění se podle podmínek, v nichž tepelné čerpadlo pracuje, tzn. je závislý na venkovní teplotě. Topný faktor má příznivější, tj. vyšší číslo, pokud je teplota výstupní vody nižší. Tato skutečnost se uplatňuje pro realizaci podlahového topení, neboť zde není potřeba tak vysoké teploty vody v sekundárním okruhu (35-45°C), oproti radiátorům (45-60°C). [1]

Velikost ročního tepelného faktoru vychází nejlépe pro tepelná čerpadla čerpající teplo ze země. Není zde potřeba vyššího výkonu čerpadla u nemrznoucí směsi, kdežto při použití tepelného zdroje jakožto spodní vody, je nutnost filtrovat vodu od nečistot, tudíž je nutno zvýšit výkonnost tepelného čerpadla.

## 1.4 Carnotův cyklus

V roce 1824 představil francouzský vědec Carnot cyklus s nejvyšší možnou účinností. Navržený pro ideální motor, kde nedochází k ztrátovému přenosu energie, např. třením, vířením pracovní látky. Carnotův kruhový děj se skládá ze dvou izotermických a ze dvou adiabatických dějů tvořící společně 4 dílčí vratné děje. Je tedy založen na změnách skupenství. Na jeho obráceném principu zjednodušeně řečeno TČ funguje. [16]



Obr. 3 - Průběh Carnotova cyklu [16]

Izotermická expanze: plyn o počátečním objemu  $V_1$ , tlaku  $p_1$  s termodynamickou teplotou  $T_1$ . Izotermickou expanzí přejde plyn ze stavu A do stavu B, čímž zvětší svůj objem

na hodnotu  $V_2$ , sníží tlak na hodnotu  $p_2$  při konstantní teplotě  $T_1$ . Plyn odebere ohřívači teplo  $Q_1$  a vykoná práci  $W'_1$ .

$$Q_1 = W'_1 = nRT_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

Adiabatická expanze: plyn přejde ze stavu B do stavu C. Dochází k zvětšování objemu až na hodnotu  $V_3$ , snižuje se tlak na hodnotu  $p_3$  a plyn se ochladí na teplotu  $T_2$ . Vykonaná práce  $W'_2$  je na úkor své vnitřní energie.

$$W'_2 = C_V(T_1 - T_2) \quad (3)$$

Izotermická komprese: Plyn je izotermicky stlačován při teplotě  $T_2$  až do stavu znázorněný bodem D. Plyn odevzdá chladiči teplo  $Q'_2$ , jeho objem se zmenší na hodnotu  $V_4$ , tlak vzroste na hodnotu  $p_4$ . Vynaložená práce  $W_3$  vnějších sil je dána vztahem:

$$Q'_2 = W_3 = nRT_2 \cdot \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (4)$$

Adiabatická komprese: plyn se převede z bodu D do počátečního stavu A. Touto kompresí se zmenší objem z  $V_4$  na  $V_1$ , zvýší se tlak z  $p_3$  na  $p_1$  a vzroste teplota na  $T_1$ . Práce  $W_4$  vnějších sil je dána vztahem:

$$W_4 = C_V(T_1 - T_2) \quad (5)$$

Celkovou práci  $W'$  vykonanou plynem lze vyjádřit vztahem:

$$W' = W'_1 + W'_2 - W_3 - W_4 \quad (6)$$

Po dosazení předešlých vztahů dostaneme:

$$W' = nRT_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} + C_V(T_1 - T_2) - nRT_2 \cdot \ln \frac{V_3}{V_4} - C_V(T_1 - T_2) \quad (7)$$

$$\text{vytknutím } nR \left( T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \cdot \ln \frac{V_3}{V_4} \right) \quad (8)$$

Ize dostat vztah, který ukazuje, že poměr, v němž plyn při izotermické expanzi svůj objem zvětšuje, je tentýž v jakém jej zmenšuje při izotermické kompresi.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (10)$$

Po dosazení této podmínky do celkové práce dostaneme:

$$W' = nRT(T_1 - T_2) \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (11)$$

kde  $n$  je látkové množství (mol/l)

$R$  molární plynová konstanta ( $8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$T_{1,2}$  teplota (K)

$V_{1,2}$  objem (l)

$C_V$  měrná tepelná kapacita (kJ/kg.K)

## 1.5 Kolektory TČ země voda

Tato tepelná čerpadla odebírají tepelnou energii přirozeně naakumulovanou do země a to prostřednictvím uložených horizontálních kolektorů nebo hlubinných vrtů. Geotermální energie je uložena v horní přístupné části zemské kůry. Výhodou tohoto odběru tepla je nízká závislost tepelného výkonu na okolních podmínkách – vlivu počasí.

### 1.5.1 Zemní plošné kolektory

Je nutné si uvědomit, že primární okruh země - voda je část systému tepelného čerpadla, která se nedá vůbec, nebo jen s obtížemi, opravit. Proto je nutné, aby veškeré části, které jsou v provozu několik desítek let, byly z kvalitních materiálů. S tím je pochopitelně spojená i kvalitní montáž. Pro jímání tepla ze zemního masivu se s největším úspěchem používá speciální plastové potrubí, ve kterém koluje ekologicky odbouratelná nemrznoucí kapalina, nejčastěji v koncentraci na  $-15^\circ\text{C}$ . Pomocí oběhového čerpadla je dopravována k výměníku primárního okruhu (výparníku), kde se ochladí předáním energie do uzavřeného chladivového



okruhu. Odebere se tepelný přírůstek získaný v zemi a ochlazená směs míří zpět do kolektoru k opětovnému zahřátí. Popřípadě méně rozšířená metoda je přímé vypařování, kde na primární straně koluje přímo chladivo a jako materiál pro kolektor se používá měděné potrubí opláštěné plastem. [9]

Předpokladem horizontálního potrubního systému je dostatečně velký pozemek v blízkosti vytápěného objektu, který nebude v budoucnosti ničím zastavěn. Prostor nad kolektorem musí být navržen tak, aby půda mohla být smáčena deštěm, tak i osvětlována sluncem. Taktéž by neměly být v blízkosti kolektoru zasazeny rostliny s velkými kořeny, jimiž jsou právě stromy. A to z důvodu možného poškození položeného potrubního systému. Potřebná plocha pro kolektor by ve skutečnosti měla být 2 až 3 krát větší než je vytápěná plocha. Velikost využití zemní plochy také závisí na termofyzikálních vlastnostech půdy a na množství energie získané ze slunečního záření, které je ovlivněno klimatickými podmínkami. Vlastnosti půdy vycházející z mineralogického složení a jakosti mají následně vliv na



Obr. 4 – Zahloubení jako příprava pro plošný kolektor. Zdroj: vlastní

objemovou tepelnou kapacitu a tepelnou vodivost půdy. Určitou roli zde hraje počet a velikost vzduchových pórů, množství vody a obsah minerálů čítající zejména křemen a živec. Čím větší je množství vody obsažené v zemině zamýšlené pro plošný kolektor a minerální podíl a čím menší je počet vzduchových pórů, tím větší je tepelná vodivost a akumulární schopnost.

Tím že kolektor odebírá ze země „pod sebou“ pouhá 2 % energie, zbývajících 98 % odebere z vrstvy zeminy „nad sebou“, nejedná se geotermální teplo ze země, ale akumulovanou solární energii ze slunce. Plošný kolektor je tak v podstatě rozměrný sluneční kolektor s nízkou účinností, doplněný o obrovský hliněný akumulátor tepla s ročním cyklem nabíjení a vybíjení. Na 1 m<sup>2</sup> povrchu země dopadne ročně asi 2 000 kWh tepelné energie ze slunce, přitom plošný kolektor za rok ze stejné plochy odebere pouhých 40 až 70 kWh, což je jen 2,5 % z toho, co mu slunce dodá. [6]

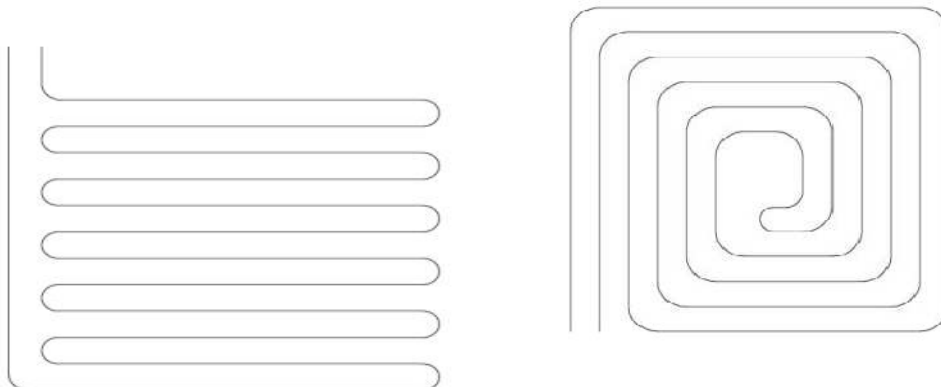
Kolektor se ukládá do výkopu. Osová vzdálenost vykopaných rýh je min. 1200 mm. Hloubka rýh je rovněž minimálně 1200 mm. Potrubí uložené do rýhy je nejčastěji typu PE 100 Dn40 mm, musí být uloženo na ztuhlenné pískové ložea to tak, aby se v žádném místě nekřížilo. Jedna smyčka kolektoru by neměla přesáhnout 200 m. Ve svažitém terénu, kde nelze rozdělovač umístit ve spodní části kolektoru (myšleno v nejnižším bodě) je nutné vybudovat samostatný odvzdušňovací objekt tak, aby funkce kolektoru nebyla narušena. Přívodní hadice se vedou v nezámrazné hloubce do objektu. Před provedením zásypu je zapotřebí podél potrubí natáhnout signalizační vodič a uložit výstražnou folii. Kvalitnějšího kontaktu kolektorového potrubí s okolní zeminou je možné docílit díky zásypu pískem, který se ztutní. A následně se provede zásyp původním typem zeminy. Zásyp se provádí až na smyčky zaplněné vodou. V případě, že se kolektor ukládá do místa se zemědělským využitím, je nutné prohloubit výkop rýh na hloubku 1500 mm z důvodu případného pojiždění se zemědělskou technikou.

Měrný výkon kolektorů, které závisejí na kvalitě půdy, se pohybuje kolem 40W/m<sup>2</sup> u zeminy s výskytem spodních vod. Suché písčité půdy disponují výkonem v rozmezí 10 až 15W/m<sup>2</sup>. Hodnoty tepelných vlastností jsou tabulizovány v rámci průměrných typů půd. [2]

Tab. 3 – Výkonové charakteristiky plošného výměníku [14]

Standardní plošný kolektor země-voda	(W/m <sup>2</sup> )
Suchá písčité půda	10-15
Vlhká písčité půda	15-20
Suchá jílovitá půda	20-25
Vlhká jílovitá půda	25-30
Půda s protékající spodní vodou	30-40

V kolektoru z PE trubek cirkuluje teplotně nosná látka, které odolává zamrznutí a teplo získané ze země předává tepelnému čerpadlu. Cirkulační látkou se nejčastěji používá tzv. „solanka“, což je obecný název nemrznoucí směsi bez ohledu na její složení. Nejčastější uložení horizontálního výměníku tepla je meandrovitého typu.



Obr. 5 – Možnosti uložení plošného kolektoru [9]

Tepelný odpor jedné trubky se určí ze vztahu:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda_z} \cdot \ln \left[ \frac{2s}{\pi D} \cdot \sinh \left( 2\pi \frac{h}{s} \right) \right] \quad (m \cdot K/W) \quad (12)$$

kde  $\lambda_z$  je tepelná vodivost zeminy

$s$  rozteč trubek (m)

$D$  průměr trubky (m)

$h$  hloubka uložení (m)

Měrný tepelný tok jedné trubky je dán vztahem:

$$q = \frac{\Delta t}{R} \text{ (W/m)} \quad (13)$$

ve kterém je teplotní rozdíl dán následujícím vztahem

$$\Delta t = t_z - t_m \text{ (K)} \quad (14)$$

Kde  $t_z$  je teplota zeminy ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_m$  teplota teplotnosné látky ve výměníku ( $^{\circ}\text{C}$ )

Tepelný tok všech trubek se určí ze vztahu:

$$Q = n \cdot q \cdot a \text{ (W)} \quad (15)$$

kde  $n$  je počet trubek (-)

$a$  délka jedné trubky (m)

### 1.5.2 Velikost zemního kolektoru

Délka  $l$  a plocha  $A$  zemního kolektoru se vypočítá z požadovaného chladicího výkonu  $Q_{zu}$  nízkoteplotního zdroje, měrného výkonu  $q$  na 1m potrubí a vzdálenosti potrubí  $d_A$ . [1]

$$l = \frac{Q_{zu}}{q} \text{ (m)} \quad (16)$$

$$A = l \cdot d_A \text{ (m}^2\text{)} \quad (17)$$

### 1.5.3 Zemní vertikální kolektory - vrty

Tento typ oproti výše uvedenému kolektoru je prostorově nenáročný, neboť pomocí vrtných zařízení se do hloubky až 100 metrů umístí svislé zemní sondy pro jímání tepla. Vertikální kolektor se skládá z patky sondy a svislých polyethylenových trubek, ve kterých proudí solanka, jež odnímá zemi teplo. Sonda se instaluje do předem připraveného zemního vrtu. Po zavedení trubek se vrt zpevní vhodnou suspenzí (např. bentonit), která svým vytvrdnutím musí zajistit trvalé a fyzikálně stabilní spojení zemní sondy s okolní horninou. Díky tomu dochází k dobrému přestupu tepla z okolní horniny. Tepelný výkon je závislý na mineralizaci, hustotě horniny, proudění spodní vody, tepelné vodivosti země a na tepelném rozdílu mezi teplotou pozadí zemského masívu a teplotou nemrznoucí směsi proudící v trubkách. Náklady svislého vrtu jsou od 1000 Kč/m. Bez údajů o jakosti půdy lze uvažovat výkon jímání 55 W/m. [2] [3]

Měrný tepelný tok je dán vztahem

$$q = \frac{t_z - t_v}{R_z} \text{ (W/m)} \quad (18)$$

kde  $t_z$  je teplota zeminy (°C)

$t_v$  průměrná teplota nemrznoucí směsi (°C)

$R_z$  tepelný odpor zeminy (m.K/W), pro něhož platí vztah:

$$R_z = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{D_z}{d_v} \text{ (m.K/W)} \quad (19)$$

kde  $\lambda_z$  je tepelná vodivost zeminy (W/m.K)

$d_v$  průměr vrtu (m)

$D_z$  průměr ovlivnění (vytvořené soustředné kružnice kolem vrtu – tj. izotermy) (m)

V případě že není dostatek geologických údajů o podloží vrtu, lze jej dimenzovat podle průměrných hodnot:

tepelná kapacita zeminy  $c_z = 1,9 \text{ kJ/kg.K}$

hustota zeminy  $\rho_z = 2200 \text{ kg/m}^3$

tepelná vodivost zeminy  $\lambda_z = 1,7 \text{ W/m.K}$

teplotní rozdíl mezi teplotou pozadí zemského masívu a střední teplotou nemrznoucí směsi  $\Delta t = 10 \text{ K}$ . [2]

## 1.6 Zapojení tepelného čerpadla země – voda

Je běžnou praxí, že pro zdroj tepla je v novostavbě rodinného domu projektován prostor, nazvaný jako technická místnost. S tepelným čerpadlem montovaným do rekonstruovaných prostor tato podmínka pravděpodobně odpadá. Prostor o ploše  $1,44 \text{ m}^2$  lze nazvat dostačujícím prostorem pro následnou instalaci. Tepelné čerpadlo lze umístit do hluchého prostoru pod schodiště, do vestavěné skříň v předsíni, do různých výklenků atp. Problematickým momentem může být pouze připojení na vodu. Někteří zřizovatelé mají obavy z provozního hluku při provozu TČ. Kvalitní tepelná čerpadla by měla splňovat nejpřísnější hygienická kritéria, kdy je jejich hlučnost na hranici 45 dB. Hygienický předpis hlučnosti je stanoven pro neobývané místnosti obytného domu. V bezprostřední blízkosti tepelného čerpadla je nutné, aby byla umístěna zařízení, kterými jsou expanzní nádoby, uzavírací ventily, napouštěcí systém primárního okruhu atp. V takovém případě je na projektantech a montážních technikách, aby našli způsob efektivního umístění veškerých komponentů, kterými je s tepelné čerpadlo spojeno.

Důležitým faktorem je množství vody v sekundárním okruhu. Dané množství musí mít projektant na paměti při návrhu tepelného čerpadla. Hodnoty výrobců se různí. Jedná se o hodnoty od 25 do 50 l na 1kW výkonu. Obecně se doporučuje používat alespoň 40 l na 1kW výkonu. Tato hodnota je velmi žádoucí především z důvodu omezení častého zapínání tepelného čerpadla. U podlahového vytápění je většinou problém vyřešen množstvím vody v podlahových trubkách. [6] [12]

## 1.7 Plánování instalace

Hlavním úkolem při plánování je volba nízkoteplotního zdroje a jeho ověření. V oblasti chráněných vodních zdrojů nepřipadá v úvahu zřízení tepelného čerpadla využívající spodní vody. Pro využití tepla země z hloubkové sondy je nutno získat povolení od vodohospodářského úřadu a nemrznoucí roztok nahradit méně ekologicky nebezpečným chladivem. Na vrty, které by sahaly do větší hloubky než 100 metrů, vydává toto povolení ještě báňský úřad. Nejjednodušší variantou, resp. poslední možnou variantou, pro pásmo s ochranou vodních toků by bylo využití okolního ovzduší. Nevýhodou toho typu TČ jsou špatné hodnoty ročního provozního faktoru a výrazně vyšší spotřeba proudu.

Nejmenší spotřebu proudu mají tepelná čerpadla země/voda. Dalším faktorem ovlivňující výběr toho TČ je relativně vysoká účinnost a možnost vytápět rodinný dům prostřednictvím podlahového vytápění bez nutnosti každodenně užívat bivalentní zdroj tepla. Dostatečně velký pozemek v okolí domu nahrává spíše využití plošného zemního kolektoru, oproti vrtům, které jsou finančně nákladnější a hrozí u nich ztráta tlaku spodních vod, které by tak zapříčinily pokles hladiny vody v okolních studnách.



Obr. 6 – Napojení odvzdušňovacích ventilů. Zdroj: vlastní

### 1.7.1 Aplikace TČ pro konkrétní RD

Jedná se o běžný rodinný dům jednoduchého geometrického tvaru nacházející se v těsné blízkosti města, v zahrádkářské kolonii. Je určen pro jednu rodinu, má jedno nadzemní podlaží. Stavebně je objekt řešen tradičně pomocí zděné konstrukce z tepelně izolačních cihel, sedlovou střechou a kontaktního zateplovacího systému.

Projekt řeší vytápění a přípravu teplé užitkové vody pro objekt nového rekreačního domu. Vytápění je koncipováno jako ústřední, teplovodní, podlahové s nuceným oběhem topné vody o teplotním spádu  $dT=6^{\circ}\text{C}$  ( $48/42^{\circ}\text{C}$ ). Tepelné ztráty jsou vypočítány podle ČSN 06 0210 pro budovu osaměle stojící, krajinu normální, polohu nechráněnou. Vytápění je uvažováno ve smyslu ČSN 06 0210 nepřerušované, v noci a v době nepřítomnosti uživatelů tlumené, řízené automatickou regulací v závislosti na venkovní teplotě snímané čidlem umístěným na severní straně objektu ve výšce 2 metry nad terénem, s možností volby časových útlumů. Tepelná ztráta vytápěných prostorů je při daných parametrech vytápění, tepelně-technických vlastnostech objektu a výměně vzduchu podle hygienických předpisů 11 231 W. Předpokládaná roční potřeba energie na vytápění  $E_v = 21\,031$  kWh.

Primární okruh zemního kolektoru o ploše  $300\text{m}^2$  tvoří čtyři okruhy, každý o délce 100 metrů, kde je dodržována stejná délka všech okruhů. Hloubka uložení kolektoru se nachází



Obr. 7 – Systém vkládání podlahového topení, okraje opatřeny diletační páskou.  
Zdroj: vlastní



1,2 – 1,5 metru pod terénem, rozteč mezi jednotlivým potrubím je 750mm. Kolektor umístěn ve svahu, tudíž se na nejvyšším místě nachází odvodňovací ventily. Potrubí použité pro kolektor je typu Gerotherm HDPE 100.

Podlahové topení v rámci sekundárního okruhu musí být navrženo tak, aby maximální hodnota povrchu podlahy nepřekročila hygienické předpisy. Pro obývané pokoje tj. teplota 20°C, pro koupelny je o 4°C vyšší. Celková „ohřívaná“ plocha činí 98,5m<sup>2</sup>. Konstrukce podlahy byla provedena podle výkresové dokumentace, obvod místností je opatřený dilační páskou. Je to trvale pružná výplň – pásek z kamenné vlny pojený v celém objemu organickou pryskyřicí, vyznačující se schopností eliminovat negativní vlivy tepelné roztažnosti stavebních materiálů, jakými jsou teplotní mosty mezi podlahou a stěnou.

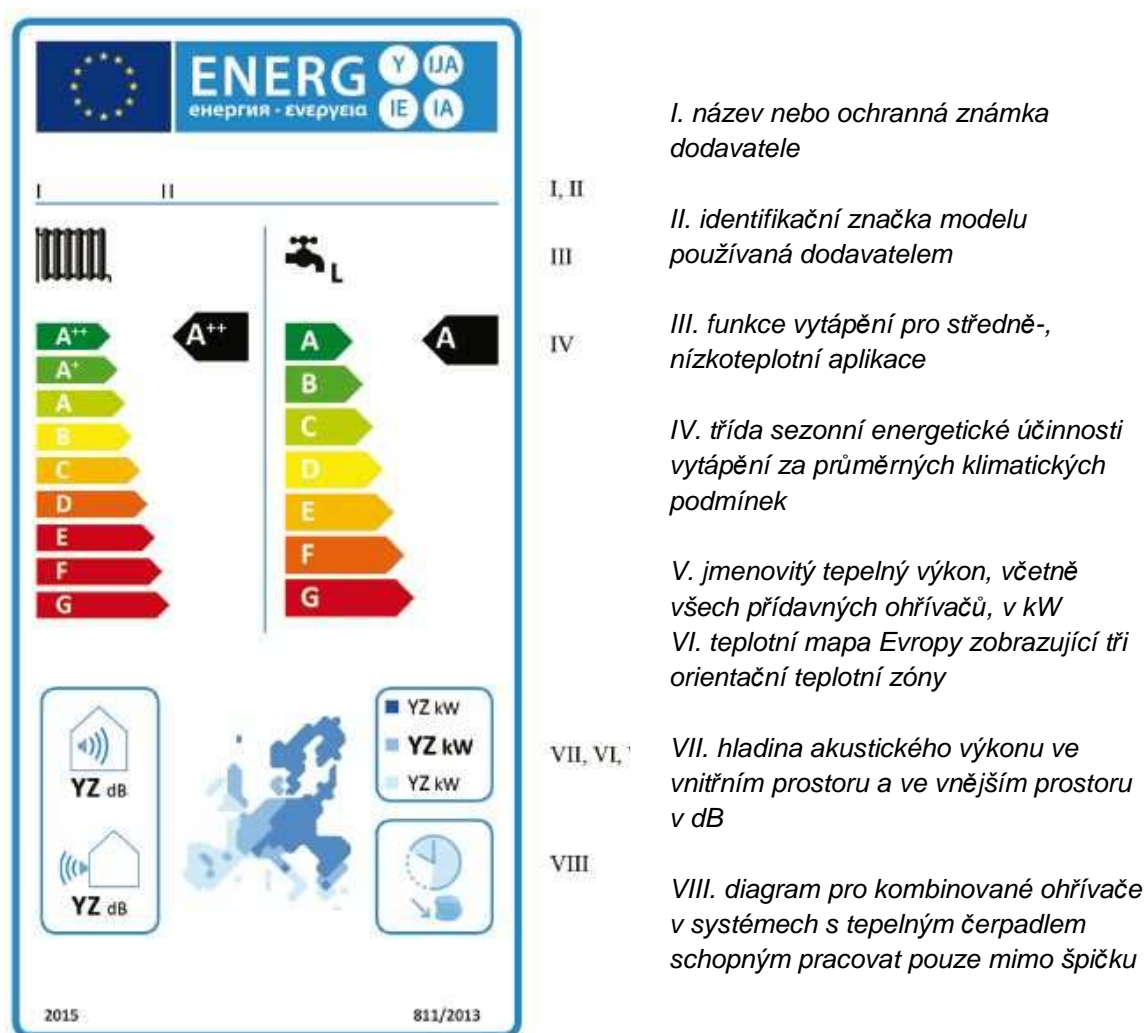
## 2 Přehledová analýza trhu s tepelnými čerpadly

Tepelná čerpadla jsou pro vytápění rodinných domů a dalších budov využívána od 70. let minulého století, kdy v Německu nastal boom. V 80. letech, kdy cena ropy klesla na nízkou úroveň, technické problémy a nedostatečná opatření k ochraně životního prostředí způsobily, že se trh s tepelnými čerpadly téměř zlikvidoval. Od té doby došlo k výrazné změně v technologii při zavedení dvou rotačních kompresorů. Na sklonku 20.století nastal znovu v Německu vzestup trhu s čerpadly. Nutno podotknout, že odvětví TČ zažilo v poslední dekádě růst, který je v jeho historii největší. V dnešní době je na nejen českém trhu velké množství výrobců a montážních firem TČ. Nabídka je různorodá jak v kvalitě výrobku, tak i v jeho provedení. Situaci při výběru tepelného čerpadla neusnadňuje ani velké množství informací na internetu.

### 2.1 Certifikace

Základním ukazatelem kvality čerpadla je jeho certifikace. Evropská asociace tepelných čerpadel (The European Heat Pump Association, EPHA) sdružuje výrobce tepelných čerpadel, jejich komponentů, vývojová pracoviště a certifikované zkušebny po celé Evropě. V České republice je jedinou certifikovanou zkušebnou Strojírenský zkušební ústav, s.p. v Brně. Pro získání certifikace na tepelné čerpadlo musí výrobce nejen prokázat jeho parametry na základě aktuálních norem, ale také schopnost plnit záruční i pozáruční podporu svých výrobků. Nebývá výjimkou firemní audit, kdy se prověří vnitropodnikové procesy,

logistika. Jedním z výsledků tohoto procesu od nadnárodní asociace je značka kvality Q Label, pro britský trh je tím označením MCS. Certifikaci lze tak považovat za nejvíce objektivní kritérium. Pro jednodušší srovnání tepelných čerpadel byla na základě certifikovaných hodnot zavedená energetická třída účinnosti vyjádřená jako A+++, A++, A+ atd. Energetická třída účinnosti A+++ může být uváděna až od 26. 9. 2019, přesto ji celá řada tepelných čerpadel, především země-voda, splňuje již dnes.



Obr. 8 – energetický štítek. [10]

Tepelná čerpadla se řadí mezi zdroje tepla, které ke svému pohonu potřebují elektrickou energii. Tím pádem se na ně vztahují požadavky energetické účinnosti pro vytápění i pro přípravu teplé vody. Od září roku 2015 je zavedena povinnost výrobců a dovozců označovat tato zařízení energetickými štítky, kdy rozhodujícím kritériem je vypočítaná provozní energetická účinnost. Štítky mají předepsanou grafickou podobu, podobnou té, kterou

můžeme nalézt např. u ledniček, sloužící tak ke snadné orientaci spotřebitele při porovnávání zařízení. Rozlišuje se zde běžné a nízkoteplotní tepelné čerpadlo. U běžného čerpadla se nalézají hodnoty pro nízkoteplotní i středněteplotní otopnou soustavu, kdy čerpadlo ohřívá vodu na 35°C, respektive na 55°C. Nařízení taktéž určuje maximální hladinu akustického výkonu, minimální energetickou náročnost účinnosti přípravy teplé vody. [10]

Certifikace probíhá na základě normy ČSN EN 14511, která udává postup a podmínky měření jmenovitého topného faktoru – COP, stanovený zkouškou při definovaných standardních podmínkách. Z čehož vychází norma ČSN EN 14825:2014, kdy se stanovuje postup a podmínky měření pro sezónní topný faktor – SCOP. Z pohledu uživatele má SCOP větší vypovídající hodnotu, poněvadž vypovídá o celoročním průběhu teplot i během topného období a volbě TČ vůči tepelné ztrátě objektu s ostatní odebranou elektřinou. Nicméně vždy platí, že tepelné čerpadlo funguje dobře, když je správně navržený topný výkon vůči tepelné ztrátě objektu. [8]

### 3 Zhodnocení

Dříve byla plynová přípojka téměř automaticky u každé novostavby z toho důvodu, že v minulosti bylo vytápění plynem hojně podporováno a propagováno. Bylo levné, snadno regulovatelné a díky dotacím i skoro všude dostupné. Až dlouhodobý vývoj cen energií ukázal, že se nejednalo o nejekonomičtější způsob vytápění. Vytápění zemním plynem je výrazně ekologičtější než třeba spalování nekvalitního uhlí. Tudíž i plynofikace významně v posledních letech zlepšila kvalitu našeho ovzduší. Veškerý zemní plyn je potřeba nakupovat. Zásoby zemního plynu v Evropě se dle některých progóz zmenšují, zhoršuje se dostupnost, náklady na těžbu a transport rostou a to v případě importu z východu z Ruska, taktéž ze severu z Norska. Pokud vývoj energií porostev budoucnu podobným tempem jako doposud, bude úspora energií jednoznačně nejlepší možnou investicí pro každého z nás. S ohledem na růst nákladů spojený s těžbou, dopravou a tenčícími se zásobami, je v zemích Evropské unie předpokládán další růst ceny této významné suroviny. Proto z dlouhodobého hlediska nepovažují vytápění zemním plynem za perspektivní. [4]

### 3.1 Zhodnocení ekonomické

Ekonomické výpočty dost podstatně podléhají časové proměnlivosti, neboť dochází ke změnám cen paliv, energií a surovin. Možná právě proto dochází k uplatnění TČ až v době, kdy rostou ceny energií a zdrojů. Tím se zvyšují i obtíže s jejich zajištěním a náklady na pořízení. K porovnání jsem tedy zvolila metodu podle investičních nákladů na pořízení zdroje ohřevu, kde jsou započítány veškeré náklady na příslušný zdroj tepla (kotel, regulace, komín, elektroinstalace, plynofikace pozemku a domu, plošný kolektor, zásobník TUV).

Tab. 5 – srovnání investičních nákladů. Zdroj: [13] a vlastní

	<b>TČ Buderus WWSP 300</b>	<b>Kondenzační plyn. kotel</b>
Hlavní zdroj tepla	200 345	50 000
Zásobník TUV	40 000	15 000
Montáž/ revize plynu	41 289	16 000
Plošný kolektor	43 992	-
Plynofikace pozemku a domu	-	40 000
Odkouření kotle nebo komínu	-	30 000
<b>Celkem</b>	<b>325 626</b>	<b>151 000</b>

V nákladech na TČ země – voda počítám s finančními výdaji z roku 2004, kdy probíhala jeho instalace. A ty jsou navíc sníženy o cenu za vybagrování zemního kolektoru, poněvadž jsme obsluze bagru platili jen za pohonné hmoty. Instalace je v obou případech provedena na zateplený dům o tepelných ztrátách přibližně 12 kW.

Nepochybně jsou ceny pořizovacích nákladů plynu jako zdroj tepla nejméně dvakrát tak menší, než je tomu v případě tepelného čerpadla. Ovšem zajímavější budou už náklady za provoz. Málokdo ze stavitelů nového rodinného domu si uvědomuje, že až svůj vysněný a draze zaplacený domek dostaví, spolýká jeho dům v průběhu následujících deseti let přes 500 tisíc korun na provozních nákladech.

#### 3.1.1 Provozní náklady

Dle vyhlášky č. 194/2007 Sb. začíná otopné období 1. září a končí 31. května následujícího roku. Vyhláška stanovuje, že dodávka tepelné energie se zahajuje v otopném období, když průměrná denní teplota poklesne pod +13 °C ve dvou dnech po sobě

následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den. Vytápění se naopak omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, pokud průměrná denní teplota vystoupí nad +13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. [19]

V roce 2001 došlo v České republice ke změně používání jednotek vyjadřující spotřebu zemního plynu. Na fakturách se tak místo spotřeby vyjádřené v m<sup>3</sup> začalo používat vyjádření v MWh. V praxi to znamená, že platíme za dodanou energii (spalné teplo) a ne za objem plynu v metrech krychlových (tzv. výhřevnost). Tím by mělo být zaručeno objektivní účtování v závislosti na podmínkách a kvalitě dodaného zemního plynu. Energická hodnota zemního plynu, tzn. spalné teplo, kolísá v závislosti na obsahu metanu vůči ostatním plynům v něm obsažených (ethanu, propanu a butanu). Plyny s vyšším počtem atomů uhlíku produkují při spalování více energie, než ty s menším počtem atomů uhlíku (méně hořlavé). Od 1.4.2007 nejsou ceny za energii zemního plynu regulovány, regulovány jsou pouze ceny za distribuci pro domácnosti, které jsou jedenkrát ročně stanovovány Energetickým regulačním úřadem. Pro orientační přepočít lze uvažovat 1 m<sup>3</sup> = 10,5 kWh. Průměrná cena zemního plynu se v ČR pohybuje okolo 1,43 Kč za 1 kWh (při spotřebě 25 až 30 MWh/rok), cena za 1m<sup>3</sup> se rovná asi 16 Kč. [17]

Při použití kondenzačního plynového kotle, který je využíván jednak na ohřev teplé užitkové vody, tak i na vytápění rodinného domu, je spotřeba plynu za topnou sezonu plzeňského kraje (tj. 242 dnů) přibližně 1400m<sup>3</sup>. S průměrnou cenou za metr krychlový plynu to činí přes 22 tisíc korun za 8 měsíců topného období. K finančním nákladům za plyn je nutno připočítat ještě spotřebovanou elektřinu za domácí spotřebiče, osvětlení, příkon samotného kotle, atd.

S tepelným čerpadlem při dvoutarifové sazbě D55d s jističem nad 3x20 A do 3x25 A včetně jsou měsíční výdaje za spotřebu elektřiny celého domu (vč. spotřebičů, osvětlení, TČ, atd.) dvatisícešestset korun. Za topné období délky zhruba 8 měsíců je cena elektřiny vyčíslena na necelých 21 tisíc korun.

### 3.2 Zhodnocení environmentální

Pro environmentální hodnocení je nutno zvažovat vliv jednotlivých způsobů vytápění na životní prostředí. Oba uvažované zdroje ohřevu jsou dobře regulovatelné, všeobecně považovány za ekologické. Regulace zajišťuje hospodárný provoz, tak aby bylo množství zbytečně protopené energie minimální. Hlučnost těchto zdrojů vytápění je nízká, hluk uvažovaného tepelného čerpadla je kolem 40 dB, hluk způsobený plynovým kotlem okolo 50 dB při maximálním výkonu. Nebezpečí výbuchu či úniku zemního plynu by mělo být při dnešních bezpečnostních předpisech minimální. Achillovou patou tepelných čerpadel na systému země – voda je teplovodná směs cirkulující v primárním okruhu. Jejich potenciální nebezpečností jsem se zabývala v první kapitole.

Tepelná čerpadla jsou obecně pokládána za zdroj tepla, který ve srovnání s běžnými fosilními palivy výrazně snižují emise CO<sub>2</sub> právě tím, že jsou poháněna elektromotorem. Pokud budu uvažovat průměrný topný faktor TČ s hodnotou 3, tak to znamená, že z 1 kilowatthodiny dodané elektrické energie se v průběhu otopné sezóny vyrobí přes 3 kWh tepla. Pro lepší představu o úspoře emisí budu předpokládat náš rodinný dům, který má výpočtovou potřebu tepla na vytápění 21 MWh ročně.

Ve vyhlášce č. 406/2004 Sb. nalézáme doporučené topné faktory pro různá paliva udávající průměrné emise CO<sub>2</sub>:

- hnědé uhlí – 0,36 t CO<sub>2</sub>/MWh výhřevnosti paliva
- černé uhlí – 0,33 t CO<sub>2</sub>/MWh výhřevnosti paliva
- zemní plyn – 0,20 t CO<sub>2</sub>/MWh výhřevnosti paliva
- elektřina – 1,11 t CO<sub>2</sub>/MWh výhřevnosti paliva

Pro tepelné čerpadlo při topném faktoru 3,2 (tedy účinnosti 320%) pak přibližně vychází:

$$\frac{21 \text{ MWh}}{3,2} \cdot 1,11 \text{ tCO}_2 = 7,3 \text{ t CO}_2 \text{ ročně}$$

Pro výpočet vytápění zemním plynem se stejnou výpočtovou potřebou tepla budu uvažovat nízkoteplotní kotel na zemní plyn s účinností 94 %. [18]

$$\frac{21 \text{ MWh}}{0,94} \cdot 0,20 \text{ tCO}_2 = 4,5 \text{ t CO}_2 \text{ ročně}$$

Výsledky ukazují, že vytápění zemním plynem vyprodukuje o 2,8 t CO<sub>2</sub> za rok méně, než tepelné čerpadlo. Aby se TČ vyrovnalo vytápění plynem, musel by být průměrný topný faktor ještě vyšší. Z hlediska emisí uhlíčanů se dá uvažovat spalování zemního plynu za ekologičtější. Nicméně i tady je nutné uvažovat místní podmínky dané lokality, zda je možnost vytápět objekt něčím jiným než elektřinou, zda je pozemek plynofikován. Pro Českou republiku hraje v neprospěch to, že větší část produkované elektřiny pochází z uhelných elektráren. Pokud by měla tepelná čerpadla uspořit emise skleníkových plynů, bylo by to v případě, že jsou z větší části poháněna z obnovitelných nebo jaderných zdrojů. [15]

### 3.3 Zhodnocení technické

Z hlediska technického je jednodušší plánovat instalaci tepelného čerpadla země-voda pro novostavbu, než u staršího rodinného domu přecházet na novější systém vytápění za pomoci TČ země-voda. V opačném případě by se možná vyplatila investice do TČ vzduch-voda. Jedná se zejména o zásah do půdního prostoru v okolí domu. Co do plochy se týče u plošného kolektoru, tak i do hloubky u vrtů. Plošný kolektor potřebuje poměrně velký pozemek, který zůstane nezastavěný, nejlépe i nestíněný. Bez problému může být ale spásán hospodářskými zvířaty, využíván k pěstování plodin, u kterých není třeba hluboké orby. Následná revitalizace pozemku po zásahu lžíce bagru a jeho váze není rozhodně několikadenní záležitostí. Po nezbytných terenních úpravách není na povrchu půdy nic vidět.



*Obr. 9 – Plocha zemního kolektoru po zavezení výkopů. Zdroj: vlastní*

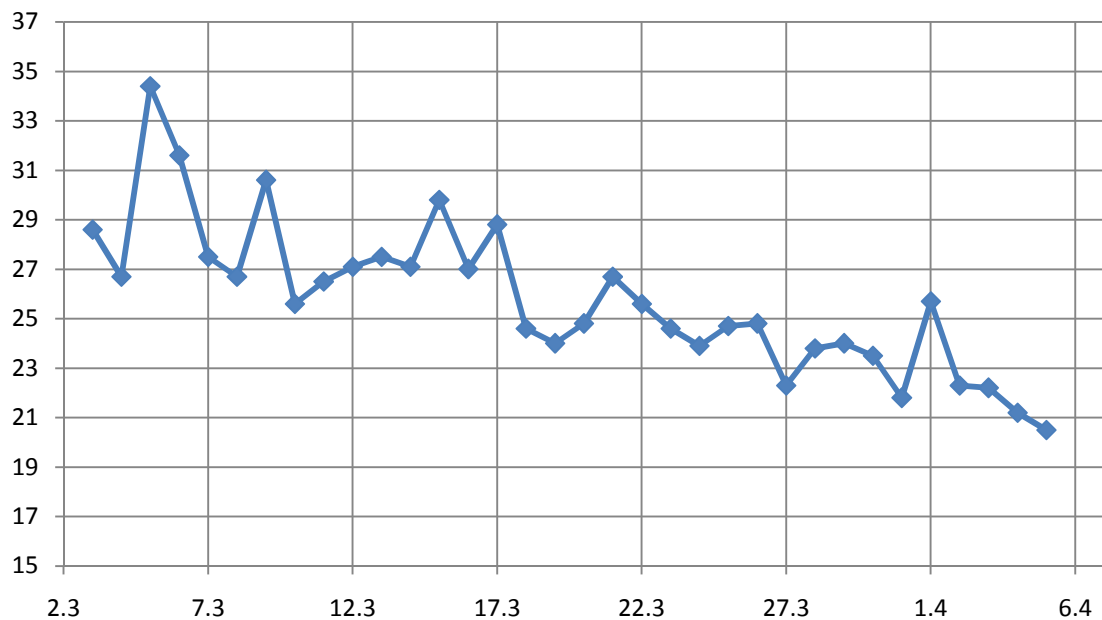


*Obr. 10 – Stav zahrady po více než deseti letech od realizace. Zdroj: vlastní*



V projektu výstavy RD vyhřívání tepelným čerpadlem je vhodné také řešit podlahové krytiny. Tím, že je tento zdroj tepla neúčinnější jako nízkoteplotní (většinou 35-45°C), jeho nejvhodnější provedení je podlahové topení. Nejlépe teplotně prostupné jsou dlaždice, o něco horší je plovoucí podlaha. Naprosto nevhodnými by byly dřevěné parkety. Myslím si, že není třeba obávat se sálavého pocitu tepla od země. To, že podlaha nehřeje, poznáte až v momentě, kdy čerpadlo neběží a podlahová krytina je najednou pocitově studená. Teploty podlahy vytápěných místností jsou dimenzovány obvykle na 20°C, pro koupelny o 3-4°C vyšší. Moderní kondenzační plynové kotle se pro podlahové vytápění používají rovněž v drtivé většině u novostaveb. U starších objektů se po výměně kotle za novější napojí zdroj vytápění na stávající otopnou (radiátorovou) soustavu. Tomu musí samozřejmě předcházet přesný výpočet jak tepelných ztrát, tak sestavení stávajících otopných těles, zda je daná teplosměnná plocha schopna vyzářit dostatečné množství tepla při použití výrazně sníženého tepelného spádu. Při zapojování tepelných čerpadel do rekonstruovaného objektu bývá doporučeno vložit před tepelná čerpadla filtr na sekundárním systému, aby úplně vyloučil možnost zanesení uvolněnými inkrusty z potrubí, nebo radiátorů.

### Teplota vody v otopném okruhu



Obr. 11 – Graf teploty vody v otopném okruhu na jaře roku 2016. Zdroj: vlastní

### 3.4 Zhodnocení energetické

Tepelné čerpadlo se navrhuje s ohledem na tepelnou ztrátu domu. Běžně se do poptávek uvádí jen vytápěná plocha budovy. Pro velmi hrubý odhad to možná postačí, ale obecně to je nedostačující, protože každý dům je jiný a záleží, z čeho a jak je postavený. Proto je důležité znát tzv. tepelnou ztrátu objektu. Tu dokáže na základě projektové dokumentace spočítat energetický specialista. Výsledný údaj v kW je základem pro návrh tepelného čerpadla. Měl by se doložit v rámci žádosti o přidělení distribuční sazby elektrické energie na provoz TČ – např. je třeba splnit podmínku, aby vybrané čerpadlo typu země-voda zajistilo alespoň 60% této tepelné ztráty. Pokud je totiž tepelné čerpadlo poddimenzováno, pak musíme častěji přitápět jiným tepelným zdrojem. Takový provoz je ekonomicky nevýhodný pro provozovatele, zátěží pro životní prostředí a při použití elektrokotle jako záložního zdroje i zbytečnou zátěží pro dodavatele elektrické energie.

Teplota venkovního vzduchu, při které je nutné spustit záložní zdroj tepla, se nazývá bivalentním bodem. V praxi by neměla dosahovat hodnoty nad 0°C, ale na druhou stranu je běžné nepředimenzovávat tepelná čerpadla pod bivalentní bod -10°C. U některých chladiv (např. R404a) je pokles výkonu tepelného čerpadla s klesající teplotou více pozvolný, takže záložní zdroje mohou být využívány méně často, resp. můžeme zvolit nižší bivalentní teplotu, např. -15°C. U nejběžnějšího chladiva R407 (s použitím standardního kompresoru) dochází k rychlému poklesu účinnosti přenosu tepla pod teplotu zdroje -10°C. Pokud si uvědomíme, že počet dnů s takovou teplotou činí jen nepatrný podíl z celé doby topné sezóny, pak je z ekonomických důvodů vhodné na tuto teplotu doplnit topení dalším zdrojem tepla jiného typu. Do návrhu by se měl také vzít v úvahu zvolený ohřev teplé užitkové vody, typ otopné soustavy, případně vytápění bazénu. U nově stavěných rodinných domů v ČR se tepelné ztráty běžně pohybují na úrovni 5 až 10 kW.

## Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo porovnat varianty vytápění tepelným čerpadlem země - voda (plošný kolektor) uvedeného do provozu v roce 2004 s typizovaným rodinným domem o přibližně stejné velikosti, lokaci a počtem osob v něm žijících.

Jedním z kritérií bylo zhodnocení ekonomické, které zahrnuje investiční a provozní náklady. Bez využití finanční dotace je investice do TČ země-voda přinejmenším dvojnásobně náročnější, než varianta vytápění plynovým kotlem. Tento markantní rozdíl v pořizovací ceně by nemusel být tak velký, pokud by se investor rozhodl pro jiný typ tepelného čerpadla, např. vzduch – voda. Finanční částka měsíčně vydaná za spalné teplo plynu je v topné sezóně nepatrně vyšší než u druhého způsobu vytápění. K těmto nákladům je potřeba ještě zahrnout cenu za spotřebu elektřiny u plynofikovaného domu. Tím nám individuálně vzrostou výdaje. K ročním výdajům u plynového kotle taktéž patří potřebné servisní prohlídky. Tento aspekt u tepelného čerpadla odpadá, ekonomicky se jedná o jedno z nejméně náročných soustav na provoz. Vezmu-li v úvahu skutečnost, že u domu s tepelným čerpadlem taktéž nepřetržitě napájím chod malé čističky odpadních vod a 16 hodin je v provozu oběhové čerpadlo vody v jezírku, vychází ekonomické měsíční zhodnocení mnohem lépe než u plynofikovaného domu.

V našich podmínkách kombinované výroby elektrické energie se nedají tepelná čerpadla označit za samospasitelnou technologii snižující emise CO<sub>2</sub>. Myslím si, že by bylo vhodné, aby se výrobci TČ samovolně začali přiklánět k používání ekologicky lépe odbouratelných chladiv cirkulujících v primárním okruhu. Jsou zajisté i další způsoby, jak za cenu tepelného čerpadla udělat pro naše životní prostředí a globální klima mnohem více. Vzhledem k momentálně platným cenám plynu souhlasím s plynofikací domu všude tam, kde je přiveden. Tam, kde není, se mi jeví varianta vytápění TČ jakožto bezobslužného zařízení smysluplnější. Zvláště pokud by se jednalo o realizaci novostavby, kde není zásah do zahrady v rámci vykopání kolektoru nikterak devastujícím, kde se veškeré technické provedení dá dopředu pečlivě naplánovat. Dovoluji si tvrdit, že vytápění běžného rodinného domu v kraji mírného klimatického pásu za pomoci tepelného čerpadla je dostačující po většinu roku.

## Použitá literatura

- [1] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02802-X.
- [3] KŘENEK, Vladimír. *Člověk a energie*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006. ISBN 80-7043-489-9.
- [4] MUSIL, Petr. *Globální energetický problém a hospodářská politika: se zaměřením na obnovitelné zdroje*. Vyd. 1. Praha: C.H. Beck, 2009. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-112-3.
- [5] SCHULZ, Heinz. *Teplo ze slunce a země: energeticky úsporné topné systémy s podzemními zásobníky tepla, slunečními absorbéry a tepelnými čerpadly: s příspěvkem Doroty Chwiedukové*. Ostrava: HEL, 1999. ISBN 80-86167-09-7
- [6] *Jak fungují plošné zemní kolektory pro TČ v praxi* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/5719-jak-funguji-plosne-zemni-kolektory-pro-tepelna-cerpadla-v-praxi>
- [7] *Kolik spotřebuje tepelné čerpadlo elektrické energie* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.silekro.cz/tepelna-cerpadla/pruvodce/kompletni-pruvodce/kolik-spotrebuje-tepelne-cerpadlo-elektricke-energie>
- [8] *Registrace necertifikovaných zařízení* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13770-komentar-k-situaci-ohledne-registrace-necertifikovanych-zarizeni>
- [9] *Asociace pro využití tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.avtc.cz/>

[10] *Štítkování a ekodesign tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13141-stitkovani-a-ekodesign-tepelnych-cerpadel-pro-vytapani-a-kombinovanych-tepelnych-cerpadel>

[11] *Chladiva používaná v tepelných čerpadlech* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>

[12] *Kdy se vyplatí tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/kdy-se-vyplati-tepelne-cerpadlo.aspx>

[13] *Kolik stojí pořízení zdroje tepla?* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/starsi-rodinny-dum-16-kw>

[14] *Podklady pro vytápění TČ* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/podklady/vyt/tepcerp/>

[15] *Kolik emisí CO<sub>2</sub> ušetří TČ?* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.ekoblog.cz/?q=node/284>

[16] *Carnotův cyklus* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: [http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/molekul/4\\_2](http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/molekul/4_2)

[17] *Přehled cen zemního plynu* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

[18] *Kolik emisí CO<sub>2</sub> ušetří tepelná čerpadla?* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.ekoblog.cz/?q=node/284>

[19] *Vyhláška stanovující pravidla vytápění a dodávku teplé vody* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-194>

## Přílohy

Den	čas	T <sub>VOO</sub> (°C)	T <sub>OUT</sub> (°C)	T <sub>IN</sub> (°C)	K (hod)	PČ (hod)	PČT (hod)	ČTUV (hod)	T <sub>TUV</sub> (°C)	T <sub>CH</sub> (°C)	PTT (hod)
<b>3.3.2016</b>	18:00	28,6	3,2	21,6	17337	18086	47295	2320	43,6	-2	4894
<b>4.3.2016</b>	18:00	26,7	3,1	23,4	17346	18095	47316	2321	43	-4	4895
<b>5.3.2016</b>	18:00	34,4	5,4	22,7	17355	18104	47337	2322	39,1	-6,2	4896
<b>6.3.2016</b>	23:00	31,6	-0,6	24,6	17367	18117	47361	2323	55,5	-6,3	4898
<b>7.3.2016</b>	22:20	27,5	0,0	22,8	17374	18125	47381	2324	56,5	4,2	4899
<b>8.3.2016</b>	18:25	26,7	0,9	21,9	17382	18133	47399	2325	43,6	-6	4899
<b>9.3.2016</b>	18:00	30,6	3,3	22,2	17393	18143	47421	2325	44,1	-1,6	4900
<b>10.3.2016</b>	21:00	25,6	5,3	22,6	17401	18152	47444	2325	44,7	1,8	4901
<b>11.3.2016</b>	18:45	26,5	5,4	21,7	17409	18160	47459	2326	41,4	-5,4	4901
<b>12.3.2016</b>	18:40	27,1	4,1	21,8	17419	18170	47477	2328	56,1	-5,6	4903
<b>13.3.2016</b>	18:00	27,5	4,0	24,2	17428	18179	47495	2328	55,1	-5,7	4904
<b>14.3.2016</b>	19:45	27,1	3,0	23,7	17436	18189	47517	2329	56	-4,6	4905
<b>15.3.2016</b>	19:20	29,8	2,4	21,8	17446	18198	47538	2330	52,4	-6,6	4906
<b>16.3.2016</b>	20:50	27,0	3,8	22,1	17455	18208	47561	2330	56,4	2,3	4908
<b>17.3.2016</b>	19:00	28,8	5,7	22,8	17460	18213	47575	2330	41,6	-6	4908
<b>18.3.2016</b>	18:10	24,6	10,7	23,8	17467	18221	47590	2331	40	-1,8	4909
<b>19.3.2016</b>	18:55	24,0	6,1	22,1	17473	18227	47608	2332	42,9	7,2	4910
<b>20.3.2016</b>	18:00	24,8	5,4	22,4	17479	18233	47624	2332	39,9	-5,6	4911
<b>21.3.2016</b>	20:00	26,7	6,1	22	17487	18241	47640	2333	40,5	-5,4	4913
<b>22.3.2016</b>	19:00	25,6	4,8	21,1	17493	18247	47655	2334	43,4	0,4	4914
<b>23.3.2016</b>	19:45	24,6	6,2	21,6	17498	18252	47671	2335	48,2	6	4915
<b>24.3.2016</b>	18:30	23,9	6,7	20,9	17504	18259	47685	2335	50,6	6,2	4916
<b>25.3.2016</b>	19:15	24,7	5,8	20,6	17511	18267	47705	2336	55,6	5,4	4917
<b>26.3.2016</b>	19:45	24,8	5,6	20,3	17518	18273	47721	2336	42,5	2,4	4917
<b>27.3.2016</b>	19:00	22,3	10,6	20,7	17525	18280	47737	2337	48	15,6	4918
<b>28.3.2016</b>	21:00	23,8	8,4	21,7	17531	18286	47750	2337	53,5	2,1	4919
<b>29.3.2016</b>	20:00	24,0	9,2	21,3	17535	18291	47762	2338	54,6	-6	4920
<b>30.3.2016</b>	19:45	23,5	9,6	20,9	17541	18297	47776	2339	56,5	-4	4921
<b>31.3.2016</b>	19:25	21,8	13,1	22,7	17545	18301	47787	2340	49,7	-2,3	4922
<b>1.4.2016</b>	19:30	25,7	6,2	22,1	17550	18307	47803	2340	44,7	0,4	4922
<b>2.4.2016</b>	19:15	22,3	12,3	22,4	17558	18315	47817	2341	55,6	11,7	4923
<b>3.4.2016</b>	19:10	22,2	16,2	22,5	17562	18319	47828	2342	56,6	10,3	4925
<b>4.4.2016</b>	21:00	21,2	13,2	22,6	17566	18324	47838	2342	52,2	4,3	4925
<b>5.4.2016</b>	20:40	20,5	17,4	22,8	17569	18326	47847	2342	41,3	16,3	4926

*Legenda:*

$T_{VOO}$  - teplota vody v otopném okruhu

$T_{OUT}$  - venkovní teplota

$T_{IN}$  - vnitřní teplota referenční místnosti

$K$  – počet hodin chodu kompresoru

$P\check{C}$  - počet hodin chodu primárního čerpadla

$P\check{C}T$  - počet hodin chodu čerpadla otopné soustavy

$\check{C}TUV$  - počet hodin chodu čerpadla na TUV

$T_{TUV}$  - teplota teplé užitkové vody

$T_{CH}$  - teplota chladiva

$PTT$  - počet hodin chodu přídatného topného tělesa