

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ  
ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Hybridní technologie tepelných čerpadel pro rodinné  
domy**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2018/2019

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

Jméno a příjmení: **Jan BOŠTÍK**  
Osobní číslo: **E15B0044K**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Hybridní technologie tepelných čerpadel pro rodinné domy**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište fyzikální princip tepelných čerpadel, základní komponenty a systémová řešení.
2. Zpracujte rešerši hybridních technologií tepelných čerpadel.
3. Proveďte technicko-ekonomické posouzení vybraných typických konfigurací a systémových zapojení hybridních a klasických tepelných čerpadel.
4. Zpracujte případovou studii pro alespoň dva modelové případy rodinných domů.

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

1. Stavíme tepelné čerpadlo, Ing. Antonín Žeravík, ISBN: 80-239-0275-X.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Sirový, Ph.D.  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018  
Termín odevzdání bakalářské práce: 13. června 2019

  
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu provozu hybridního tepelného čerpadla. Je rozdělena na několik částí podle zásad pro její vypracování.

První část je věnována současnému stavu technologie a dnes nejčastěji používaným typům tepelných čerpadel.

V druhé části je uvedena ekonomická analýza, technická analýza a jednotlivé součásti analyzovaného provozu.

Třetí část ukazuje přednosti a nedostatky daného provozu.

## **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, kompresor, chladivo, tepelný výměník, nízkopotenciální teplo, topný faktor, topný výkon, sezónní faktor, alternativní zdroje energie ...

**Abstract**

This bachelor thesis deals with the analysis of hybrid heat pump operation. It is divided into several chapters focusing on assigned topics. The first chapter concerns the current state of the abovementioned technology and the most frequently used types of heat pumps. The second chapter presents economic and technical analyses as well as individual parts of the analysed operation. The third part pays attention to the advantages and disadvantages of the aforementioned operation.

**Key words**

Heat pump, compressor, refrigerant, heat exchanger, low-potential heat, rating factor, heating capacity, seasonal performance factor, alternative energy sources ...

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval 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 6.5.2019

Jan Boštík

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinovi Sirovému, Ph.D., Ing. Miroslavu Rohlovi a Doc. Ing. Tomáši Matuškoví, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

ÚVOD .....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	10
<b>1 TEPELNÁ ČERPADLA .....</b>	<b>11</b>
1.1 FYZIKÁLNÍ PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA .....	11
1.1.1 Obrácený Carnotův cyklus .....	11
1.1.2 Topný faktor .....	13
1.1.3 Skutečný topný faktor COP <sub>sk</sub> .....	14
1.2 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY TČ .....	15
1.2.1 Kompresory .....	15
1.2.2 Kondenzátory .....	16
1.2.3 Expanzní ventily .....	17
1.2.4 Výparníky .....	17
1.2.5 Ventilátory .....	17
1.2.6 Chladiva .....	17
1.2.7 Solanka .....	19
1.2.8 Akumulační (taktovací) nádrž .....	19
1.3 DRUHY TEPELNÝCH ČERPADEL .....	19
1.3.1 TČ Vzduch – Voda .....	20
1.3.2 TČ Vzduch – Vzduch .....	20
1.3.3 TČ Země – Voda .....	20
1.3.4 TČ Voda – Voda .....	21
1.3.5 Hybridní tepelná čerpadla .....	22
<b>2 HYBRIDNÍ TEPELNÁ ČERPADLA .....</b>	<b>22</b>
2.1 MOŽNÉ ZAPOJENÍ TČ NA PRIMÁRNÍ STRANĚ .....	22
2.1.1 Využití sluneční energie s TČ .....	22
2.1.2 Využití rekuperačních jednotek s TČ .....	23
2.1.3 Využití kombinace nízkopotencionální energie vzduchu a země pomocí dvou TČ .....	24
2.1.4 Využití kombinace nízkopotencionální energie pomocí jednoho TČ .....	25
<b>3 POSOUZENÍ TČ ZEMĚ-VODA A VZDUCH-VODA .....</b>	<b>26</b>
3.1 SEZÓNŇÍ TOPNÝ FAKTOR SPF (SEASONAL PERFORMANCE FACTOR) TAKY SCOP A NEBO SEER. ....	27
3.2 PROVOZ TČ .....	31
3.3 REŽIMY PROVOZU .....	31
3.3.1 Monovalentní provoz .....	32
3.3.2 Bivalentní provoz .....	32
3.4 STANOVENÍ BODU BIVALENCE .....	33
3.5 EKVITERMNÍ REGULACE TČ .....	34
<b>4 NÁVRH VYTÁPĚNÍ PRO DVA DOMY .....</b>	<b>34</b>
4.1 RODINNÝ DŮM – BĚŽNÝ STANDARD .....	35
4.2 RODINNÝ DŮM – PASIVNÍ STANDARD .....	39
<b>5 VÝSLEDKY HODNOCENÍ TČ .....</b>	<b>43</b>
5.1 VÝSLEDEK ÚSPORY U RODINNÉHO DOMU – BĚŽNÝ STANDARD (11,3 kW) .....	43
5.2 VÝSLEDEK ÚSPORY U RODINNÉHO DOMU – PASIVNÍ STANDARD (3,76 kW) .....	43
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>44</b>
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....	45



<b>PŘÍLOHY:</b> .....	<b>1</b>
1.1 ZJEDNODUŠENÁ MĚSÍČNÍ BILANCE TEPELNÉ SOUSTAVY S TČ BILANCE TC 2017/V2 .....	1
1.2 DIAGRAMY K DIMENZOVÁNÍ TČ FIRMY VALLANT GEOTHERM .....	2
1.2.1 Kraslice – běžný standard .....	2
1.2.2 Sokolov pasivní – standard .....	5
1.3 TABULKY VÝPOČTŮ SPF A VÝKONŮ TČ .....	7
1.3.1 Kraslice – běžný standard .....	7
1.3.2 Sokolov pasivní – standard .....	12

## Úvod

Tato práce řeší návrh instalace hybridního tepelného čerpadla do otopného systému dvou rodinných domů s různými parametry, za účelem optimalizace vytápění a snížení nákladů na vytápění.

V první části se věnuji teoretickému úvodu do světa tepelných čerpadel. Principiálně popisuji tepelné čerpadlo. Kromě toho ozřejmím, dle způsobu získávání nízkopotenciální energie, druhy tepelných čerpadel.

Ve druhé části nastíním způsob a optimalizaci využití hybridity tepelných čerpadel. Verze provozu více zdrojů pro jeden objekt vytápění.

Ve třetí části objasním technicko-fyzikální principy tepelných čerpadel a úspory jejich použití. Vysvětlím různé výhody a nevýhody těchto technologií a jejich provoz.

Ve čtvrté části představím konkrétní objekty. Budou popsány základní parametry, umístění a všechny důležité informace s tím spojené. V této kapitole se také budu zabývat výběrem a dimenzováním tepelného čerpadla do daného objektu.

## Seznam symbolů a zkratk

$T\check{C}$ .....	tepelné čerpadlo
$T$ .....	teplota [K]
$T_{in}$ .....	teplota zdroje tepla [K]
$T_{out}$ .....	teplota na výstupu [K]
$Q_{in}$ .....	energie získaná z nízkoteplotního zdroje
$Q_{out}$ .....	energie dodané do pracovního stroje při kompresi
$S$ .....	entropie [ $kJ.K^{-1}/kg$ ]
$Q_{pVYT}$ .....	celková spotřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících, v [kWh]
$DH_j$ .....	počet hodinostupňů výpočtového teplotního intervalu $j$ , v [Kh]
$DH$ .....	počet hodinostupňů za otopné období v jednotlivých měsících, v [Kh]
$\tau_j$ .....	doba trvání výpočtového teplotního intervalu $j$ , v [h]
$t_i$ .....	vnitřní teplota vzduchu, ve [°C]
$t_{em,j}$ .....	střední teplota v intervalu $j$ , ve [°C]
$f_{VYT,j}$ .....	podíl z celkové potřeby tepla na vytápění na měsíc ve výpočtovém teplotním intervalu $j$ , na základě hodnot v příloze A (pro roční nebo měsíční rozlišení). TNI 73 0351 stejně jako $DH_j$ , $DH$ , $\tau_j$ ,

$t_{e,N}$ .....	venkovní výpočtová teplota, ve [°C]
$t_{W1,N}$ .....	návrhová teplota přívodní otopné vody, ve [°C]
$t_{W2,N}$ .....	návrhová teplota vratné otopné vody, ve [°C]
$T_{out}$ .....	teplota na výstupu [K]
$t_{em,j}$ .....	střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu, ve [°C]
$m$ .....	teplotní exponent otopných ploch
$COP$ .....	topný faktor
$HTČ$ .....	hybridní tepelné čerpadlo

## 1 Tepelná čerpadla

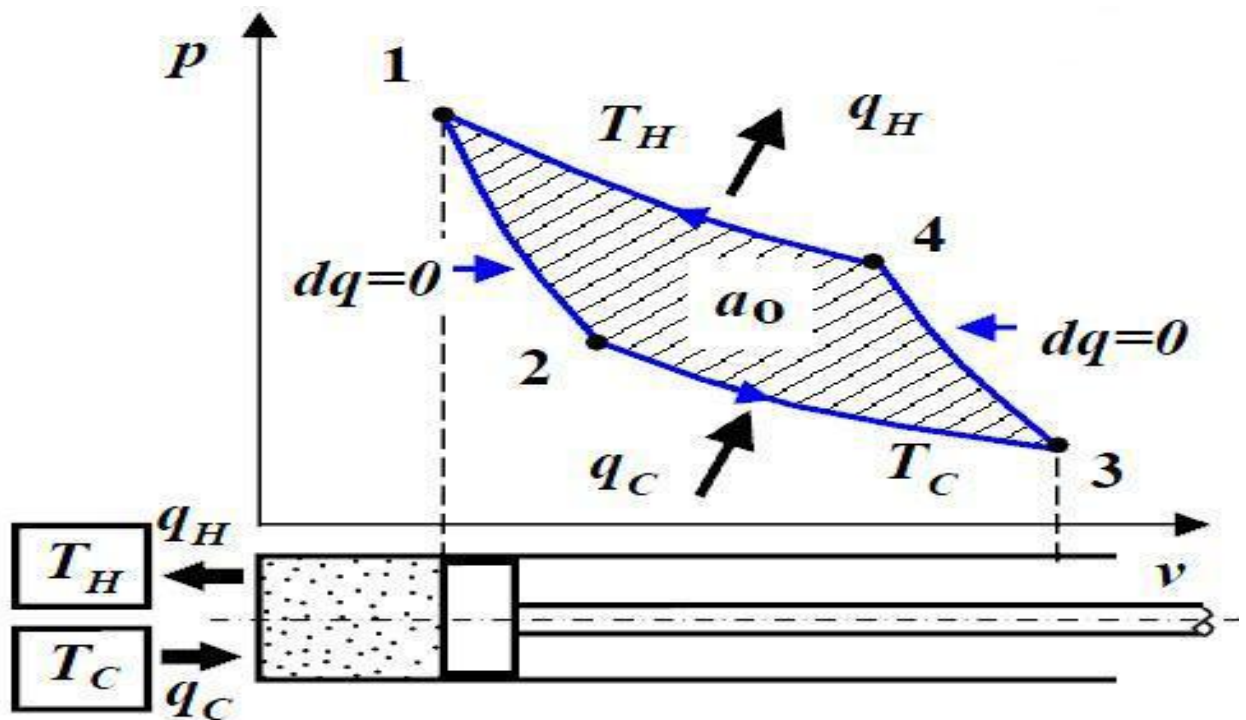
### 1.1 Fyzikální princip tepelného čerpadla

Tepelná čerpadla (dále jen „TČ“) se řadí mezi alternativní zdroje energie. Jedná se o zařízení, odebírající nízkopotenciální teplo z prostředí o velkém objemu. Tato energie je obsažena v okolním *vzduchu*, *zemi*, *vodě podzemní* nebo *povrchové* a pro svou nízkou teplotu je běžnými způsoby nevyužitelné. Z celkového výkonu TČ tvoří většinou 1/3 dodaná elektrická energie a zbylé 2/3 teplo odnímané z ochlazovaného prostředí. Přeměna tepelné energie TČ tkví v přečerpání energie z nižší teplotní úrovně na energii s vyšší teplotní úrovní.

Princip kompresorového tepelného čerpadla využívá skutečnosti, že teplota varu (resp. kondenzace) různých látek závisí na tlaku. Například čpavek ( $\text{NH}_3$ ) se vaří při atmosférickém tlaku (0,1 MPa) již při  $-33^\circ\text{C}$ . Pokud ho, ale stlačíme na tlak 2 MPa (tj. dvacetinásobek atmosférického tlaku), začne kondenzovat (resp. vřít) až při  $50^\circ\text{C}$ . Čpavek se tedy dá dobře využít, jako chladivo i pro TČ, v současnosti se ale používají jiné typy chladiv (viz. [1.2.6.](#)) Jednoduše se dá říci, že TČ spočívá v obrácené činnosti kompresorové chladničky. Odnímá ve výparníku okolní teplo o nižší teplotě a přenáší jej pomocí kompresoru do vytápěcí soustavy s vyšší teplotou, prostřednictvím kondenzátoru. Celý cyklus se uzavírá přes expanzní ventil kterým se sníží tlak a teplota chladiva při vstupu do výparníku. Jedná se o uzavřený Carnotův cyklus.

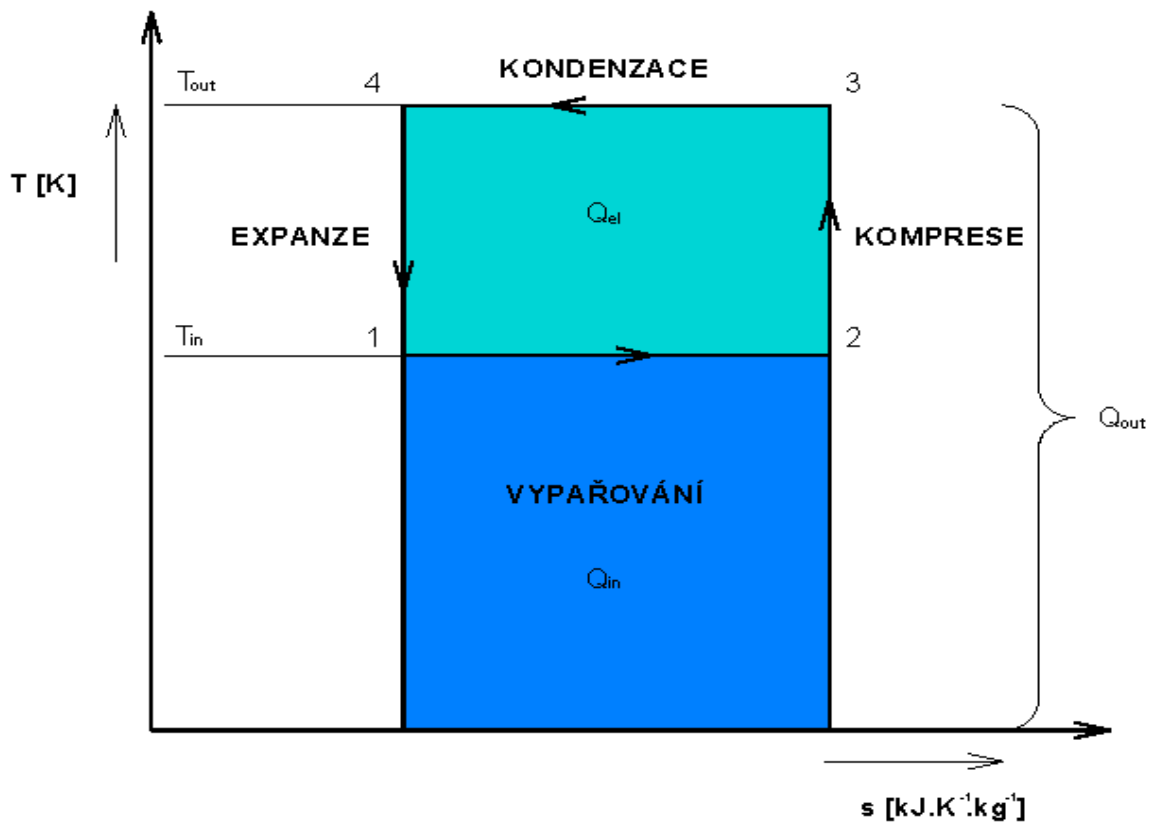
#### 1.1.1 Obrácený Carnotův cyklus

Princip činnosti tepelného čerpadla spočívá odnímáním tepla ve výparnících, z prostředí s relativně nízkou teplotou a přenáší jej do vytápěcí soustavy s vyšší teplotou prostřednictvím kondenzátoru. Jde o uzavřený Carnotův cyklus viz. *Obr. 1*

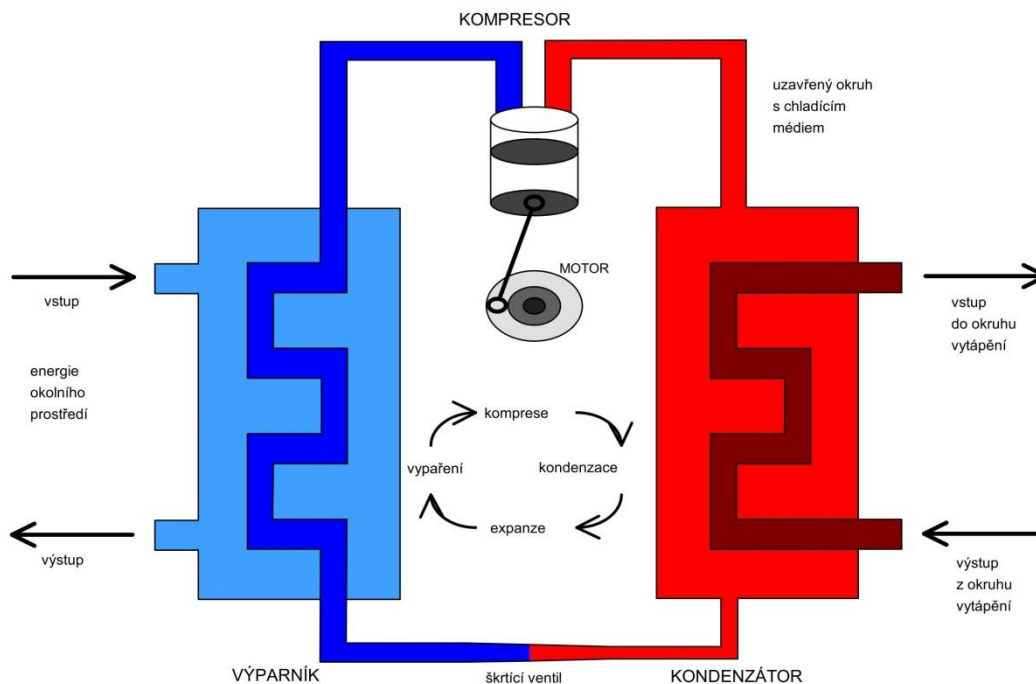
Obr. 1 Obrácený Carnotův cyklus v  $p-v$  diagramu. [11]

Popis dějů obráceného Carnotova cyklu:

- 1 – 2 adiabatická expanze
- 2 – 3 izotermická expanze
- 3 – 4 adiabatická komprese
- 4 – 1 izotermická komprese

Obr.2 Grafické znázornění teoretického pracovního cyklu TČ v  $t-s$  diagramu. [12]

Ve výparníku se teplotně médium (chladiivo) vypaří za nízké teploty, neboť je zde nižší tlak. Tím, že se změní z kapaliny na páru, spotřebuje teplo. Toto teplo je právě tím, které odebere teplotně látce (např. ze vzduchu v okolí domu nebo ze země). Toto vyjadřuje druhý termodynamický zákon. Poté je chladiivo ve formě plynu (par) stlačeno kompresorem na vyšší tlak. Kompresor stlačením dodá chladiivo další energii, tentokrát nikoli formou tepla, ale práce. energii pro tuto práci dodá motor, nejčastěji elektrický. Spotřeba kompresoru je tedy energií, kterou musíme zaplatit. Ve výparníku se teplo předává do topné soustavy a z kondenzované médium se vrací přes expanzní ventil zpět, do výparníku. Vzhledem že médium má nízký tlak, začne se odpařovat při odnímání tepla. Celý cyklus se opakuje. [11]



Obr. 3 Princip TČ. [14]

### 1.1.2 Topný faktor

Topný faktor je jedním z nejdůležitějších parametrů TČ. Udává spotřebu elektřiny na produkci tepla. Topný faktor označovaný jako COP (Coefficient of performance) dle charakteristiky konkrétních TČ je bezrozměrné číslo a udává „účinnost“ TČ. COP je veličinou, která se mění dle podmínek TČ ve kterých zrovna pracuje.

$$COP = \frac{Q_{out}}{Q_{el}} = \frac{(Q_{in} + Q_{el})}{(Q_{out} - Q_{in})} = \frac{T_{out}}{(T_{out} - T_{in})} \quad (1.1)$$

Vratná změna entropie za jeden cyklus je dána vztahem:

$$\Delta s = \left( \frac{Q_{out}}{T_{out}} \right) - \left( \frac{Q_{in}}{T_{in}} \right) = 0 \quad (1.2)$$

$\Delta s$  – změna entropie za jeden cyklus [ $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

Pomocí vztahu (1.2) lze vyjádřit poměr mezi  $Q_{out}$  a  $Q_{in}$  díky jímž nahradíme poměr energií poměrem teplot:

$$\frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{T_{out}}{T_{in}} \quad (1.3)$$

$T$  - teplota [K]

$T_{in}$  - je teplota zdroje tepla [K]

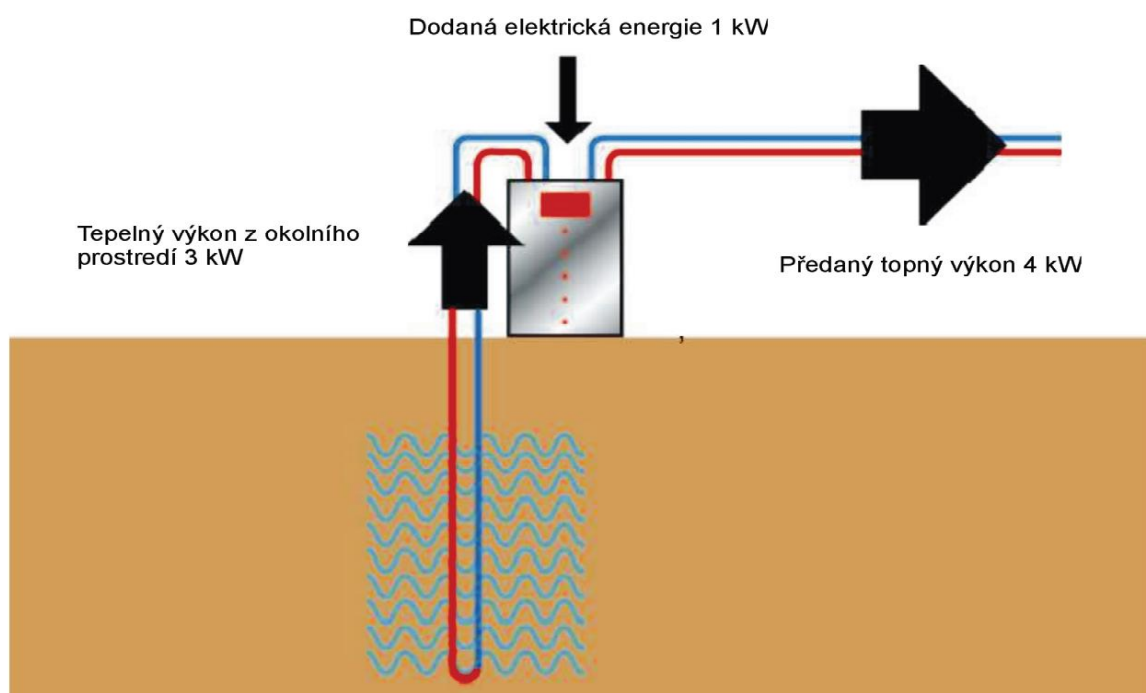
$T_{out}$  - je teplota na výstupu [K]

$Q_{in}$  - je energie získaná z nízkoteplotního zdroje při teplotě  $T_{in}$

$Q_{el}$  - je energii dodané do pracovního stroje při kompresi

$Q_{out}$  - je součtem energií  $Q_{in}$  a  $Q_{el}$ . Je to výsledná, která je při teplotě  $T_{out}$  dodávaná do topného systému. [8]

Z obr. 3 vyplývá, že topný faktor je vždy větší než 1 a nabývá vyšších hodnot tehdy, je – li rozdíl mezi  $T_{in}$  a  $T_{out}$  co nejmenší.

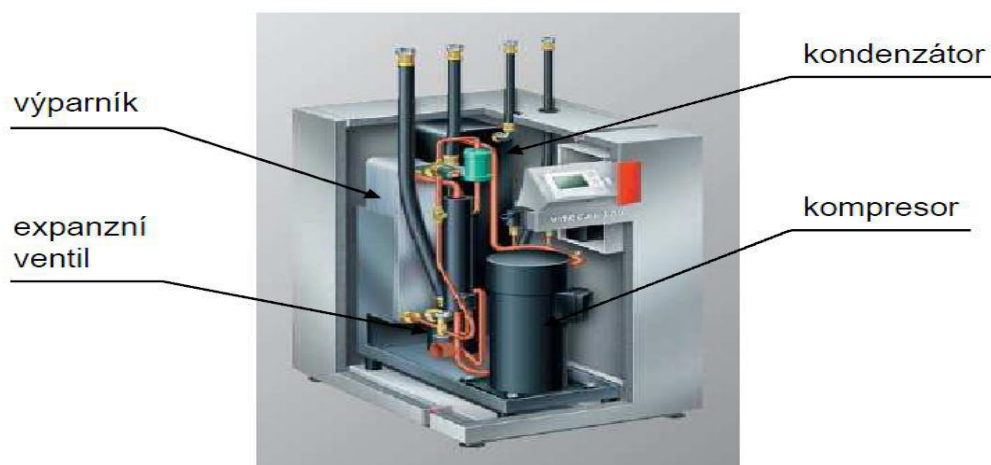


Obr. 4 Princip topného faktoru tepelného čerpadla. [19]

### 1.1.3 Skutečný topný faktor COP<sub>sk</sub>

V praxi zjistíme, že TČ potřebuje elektřinu nejen na pohon kompresoru, ale i pro oběhová čerpadla, případně ventilátory a jiné. Udává tedy poměr tepelného výkonu a součtu příkonů všech prvků topné soustavy. (viz odstavec 3.1)

## 1.2 Základní komponenty TČ



Obr.5 Základní prvky TČ [11]

### 1.2.1 Kompresory

Základem TČ je kompresor upravený pro stlačování par chladicích kapalin. Kompresor nasává přehřáté páry při konstantním vypařovacím tlaku a stlačuje je na vyšší kondenzační tlak. U běžně používaných chladiv se pracuje s tlaky max. do 2,6 MPa. Tomuto tlaku odpovídají výstupní teploty 55 - 60°C. Zda je požadovaná vyšší teplota, je nutné také zvýšit tlaky, se kterými kompresor pracuje. Tím, ale dochází k nárůstu spotřeby elektrické energie, a tím i vyššímu namáhání kompresoru. Základní požadavky kladené na kompresor, jsou schopnost práce v požadovaném rozsahu tlaků a teplot, provozní spolehlivost, dlouhodobá životnost a minimální údržba.

Pohon kompresoru může být spalovací, naftový, s plynovým motorem a nejčastěji se používá s elektromotorem.

#### 1.2.1.1 Kompresor podle provedení:

První druh, hermetický, je charakterizován společnou olejovou náplní, nádobou a též hřídelí, která spojuje elektromotor s kompresorem, což zajišťuje těsnost, a tím eliminuje možný únik chladiva. Příkladem může být hermetický spirálový kompresor Scroll.

Polohermetický druh kompresoru je podobné konstrukce jako druh hermetický, rozdíl spočívá v přístupnosti k jednotlivým součástem pomocí demontovatelných vík. Nejčastěji se tento druh používá pro větší chladicí zařízení, a to u pístových kompresorů.

Dalším druhem je kompresor otevřený. Toto provedení představuje samotný kompresor, jehož hřídel je utěsněna a pro pohon může být použit jakýkoliv motor. Použití se uplatňuje v klimatizacích automobilů.

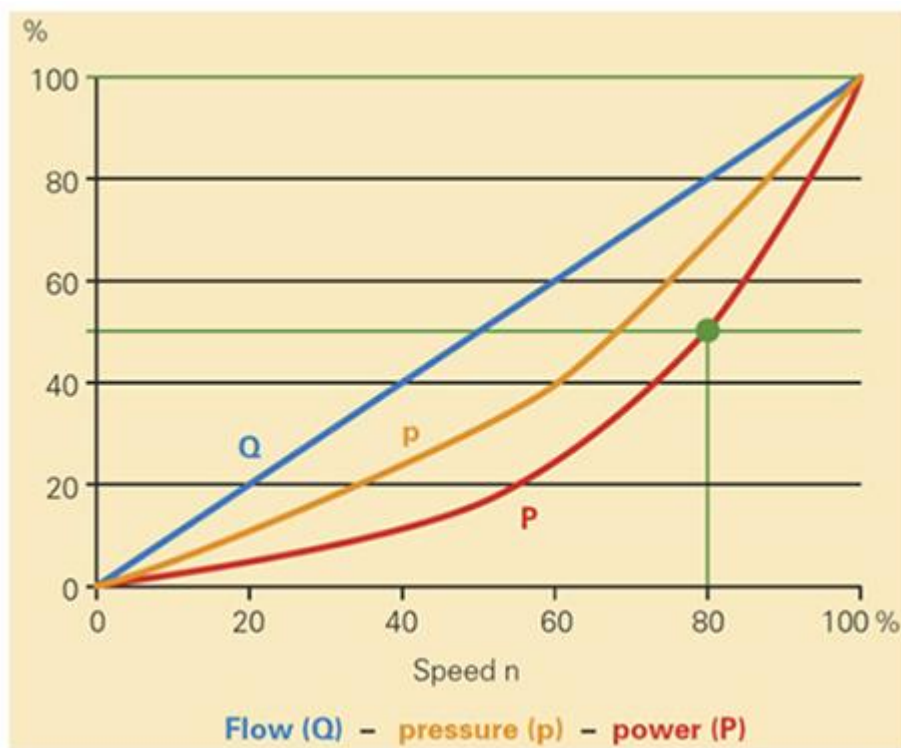
Nutno připomenout také kompresor rotační a šroubový.

#### 1.2.1.2 Druhy kompresorů podle druhu regulace:

*Invertorové – (používá se i výraz frekvenční měnič).* Tento druh je schopen měnit velikost napětí, proudu či frekvence, ale také i změny mezi střídavým a stejnosměrným proudem. Podstatou této technologie je regulace výkonu zařízení v rámci aktuálních potřeb, která spočívá v řízení otáček kompresoru, tedy výkonu zařízení pomocí invertoru vestavěného v zařízení. To vede k eliminaci častých startů zařízení, dochází k plynulé regulaci výkonu, a tím úspoře elektrické energie a snížení rozběhového proudu. Mezi výhody invertoru tedy

řadíme zvýšení COP a tím je dosaženo větší stability výkonu zařízení. Celý systém se tímto způsobem obejde bez akumulární nádrže. Je-li kompresor řízen invertorem ve venkovní jednotce, dochází též ke snížení hlučnosti a zvýšení energetické účinnosti. Ačkoliv je použitím invertoru kompresor výrobně náročnější, a tedy dražší, jsou jeho rozměry menší oproti klasickému kompresoru stejného výkonu. Ovšem tento systém tak v sobě nemusí zahrnovat nákladné prvky, např. akumulární (taktovací) nádobu, dále také směšovací ventily, další oběhová čerpadla. Díky invertoru nejsou potřeba tyto další prvky, které nahradil řídicí regulační systém – přirozená součást zařízení. Finanční úspora je dána také jednodušší montáží.

Mezi kompresory s regulací výkonu se řadí např. Dvojitý rotační kompresor, který reguluje výkon v rozmezí 20 až 100%. Výhodou tohoto kompresoru je velmi malé mechanické namáhání, menší potřeba mazání při nízkých otáčkách, vynikají nízkou vibrací a tím i nízkou hlasitostí s vysokou účinností. Výrobci tohoto typu jsou například Toshiba (již od osmdesátých let), Daikin, IVT a Mitsubishi. [21] Na obr. 6 je patrný rozdíl mezi tlakem, výkonem a dodávaným teplem. Průběh tlaku a výkonu je exponenciální na rozdíl od tepla který je lineární od 0 do 100 % otáček.



Obr. 6 Závislost mezi průtokem (Q), tlakem (p), výkonem (P) a otáčkami (n) [23]

*On – Off* (také jako *zapnuto – vypnuto*). Kompresory umí pracovat jen v režimu zapnuto/vypnuto. Aby se vyrovnalo množství vyráběného tepla s tím, co právě dům potřebuje, musí se použít akumulární (taktovací) nádoba, oběhová čerpadla a směšovací ventily. Nejčastější typ kompresoru u těchto systémů je Scroll.

### 1.2.2 Kondenzátory

Kondenzátor je výměník, ve kterém dochází k výměně tepla mezi chladivem a topným systémem. Do kondenzátoru vstupuje přehřátá pára chladiva, která předává teplo otopné vodě a následně kondenzuje, až pod mez syté kapaliny. Kondenzační teplota chladiva je vždy vyšší, než výstupní teplota otopné vody z TČ. U TČ se jako kondenzátory používají *deskové výměníky*. Konstrukce je stejná, jako u výparníku. [11]



### 1.2.3 Expanzní ventily

Expanzní ventil je škrticím prvkem chladicího oběhu a udržuje tlakový rozdíl mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou a reguluje tok chladiva z kondenzátoru do výparníku. Škracením par v expanzním ventilu klesne tlak, čímž dojde k tomu, že se část chladiva vypaří. Do výparníku pak chladivo vstupuje jako mokrá pára. U TČ se jako expanzní zařízení používá *termostatický (TEV, MOP)* nebo *elektronicky řízený expanzní ventil*, který reguluje průtok chladiva v závislosti na teplotě na výstupu z výparníku.

**Termostatický expanzní ventil (TEV)** – někdy nazývaný vstříkovací je řídicí člen, který propouští takové množství chladiva do výparníku, kolik je potřeba k přenosu požadovaného tepelného výkonu. Systémy tepelných čerpadel dále obsahují mnoho dalších prvků, které se starají o bezpečnost, životnost a efektivnost provozu. [9]

### 1.2.4 Výparníky

Výměník tepla slouží k odebrání tepla z okolního prostředí expanzí, tj. vypařením chladiva. Konstrukce výparníků musí odolávat vlivům použitého chladiva nejen z hlediska tlaků, ale také z hlediska chemického a korozivního působení. V praxi jsou použity stejné konstrukce i stejné materiály jako u kondenzátorů. Výparníky mohou být u TČ dvojího druhu. Ty první jsou s TČ spojeny ihned při výrobě. Jsou vyrobeny zpravidla z měděných trubek, již naplněných chladivem. Výrobce jsou určeny pro zakopání do země, ale také mohou být ponořeny do vody nebo do hlubinného vrtu. Délka trubek tj. uzavřené smyčky se nedá vůbec změnit, a výrobcem dodaná teplosměnná plocha zaručuje dostatek energie pro chladivo k dalšímu využití. Do konstrukce tohoto typu nelze zasahovat.

Druhý typ TČ má v okruhu zabudovány deskové výměníky jako na straně topného systému. Tepelná energie musí být přivedena přímo do těchto výměníků, například potrubím ze studny, z řeky, rybníka apod.

Třetím typem jsou výparníky pro přívod tepla vzduchem. Konstrukce je převážně trubková s nalisovanými lamelami. Tyto výparníky jsou zabudovány přímo u agregátu a vzduch je přiveden vzduchotechnikou z teplého prostoru půdy, nebo se využívá tzv. technologického tepla apod. Zde se dá hovořit o klimatizační jednotce. Nebo se tento výparník umístí přímo do venkovního prostředí, a dostatečný přívod vzduchu, jako nositele teplené energie, mu opět zajistí ventilátor. [15]

Pro TČ se používají výparníky lamelové pro TČ (vzduch-chladivo), deskové z nerezových desek s tvarovanými prolisy z jedné strany obtékané teplonosnou látkou, z druhé chladivem nebo trubkové žebrové. [6] Trubkové jsou vhodné pro chlazení vzduchem. [8]

### 1.2.5 Ventilátory

Tento druh výměníku prohání vzduch pomocí jednoho či více ventilátorů, což je dáno výkonem a konstrukcí vnějších jednotek. Pohon ventilátorů zajišťují asynchronní jednofázové elektromotory s rozběhovými kondenzátory anebo dnes již elektromotory využívající plynulou regulaci invertorů (FM), a tím dosáhnout i nízké hladiny hluku. [8]

### 1.2.6 Chladiva

Chladivo je v TČ nositelem energie a systém by bez něj nemohl fungovat. Snadno se odpařuje a zkapalňuje. Pro toto použití musí splňovat optimální termodynamické a také chemické vlastnosti. Na trhu nalezneme mnoho druhů chladiv, ale pro použití v TČ jsou vhodná jen některá.

Skleníkový efekt, který přispívá na dlouhodobé oteplování země, ovlivňují také chladiva. Tento vliv se označuje koeficientem GWP (Global Warming Potencial). Tato hodnota je

vztahována k CO<sub>2</sub> za 100 let, u kterého je stanoven koeficient 1. Čím vyšší je koeficient GWP dané látky, tolikrát vyšší je její negativní vliv. Náhraza starých chladiv za ekologické nástupce mají spíše negativní vliv na snížení topného faktoru a nezbytného zásahu do části zařízení. Je potřeba přihlížet i na životní prostředí a kvalitu ovzduší. Spousta chladiv je již zakázána úplně. [22]

		R417a	R22
molekulová hmotnost	[g/mol]	109	86,47
tlak par 25°C	[kPa]	985	910
bod varu	[°C]	-39	-40,8
kritická teplota	[°C]	87,1	96,1
kritický tlak	[kPa]	4039	4990
kritická hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]	520	523,8
hustota kapaliny při 25°C	[kg/m <sup>3</sup> ]	1149	1409
hustota syté páry při 25°C	[kg/m <sup>3</sup> ]	47,7	4,7
měrná tep. kap. kapaliny	[kJ/kg·K]	1,446	2,91
měrná tep. kap. páry	[kJ/kg·K]	0,856	1,88
výparné teplo	[kJ/kg]	197,9	233,8
tepelná vodivost při 25°C	[W/m·K]		
-kapaliny		0,0714	0,0639
-páry		0,0143	0,0058
ODP	[-]	0	0,034
GWP	[-]	1950	5300

Obr. 7 Příklad náhrady R22 za R417a [22]

Chladiva můžeme rozdělit podle fyzikálních vlastností na *azeotropní* a *zeotropní*.

#### **Chladiva dle fyzikálních vlastností:**

*Azeotropní chladiva* - chladiva s neměnným chováním při fázové přeměně z páry na kapalinu. V podstatě se chovají jako čisté kapaliny. Příkladem je R290, R22 a směs R507,R502.

*Zeotropní chladiva* – složení chladiv se skládá z více druhů a při fázové přeměně z páry na kapalinu mění složení. Příkladem je R407a. Teplotní skluz (Glide) udává rozdíl mezi teplotou varu za stejného tlaku. V praxi to znamená vzrůst teploty při vypařování a pokles teploty při kondenzaci. Má příznivý vliv na topný faktor COP.

#### **Chladiva dle chemického složení:**

Podle chemického složení můžeme chladiva rozdělit na čtyři skupiny. První skupina je CFC. Tato skupina tvoří plně halogenizované uhlovodíky a jejich směsi. Jsou to tzv. tvrdé freony (R502, R12, R113, R11, atd.). Druhá skupina je HCFC. Tzv. měkké freony jsou chlorfluorované uhlovodíky (R123, R21, R141b, atd.). Třetí skupina je HFC a mají v molekule jen fluor (R218, R125, R134a, R404a, atd.) a poslední skupinou je HC s obsahem přírodních uhlovodíků, které nemají škodlivý vliv na ozón, ale jsou hořlavé. Nelze opomenout také další chladiva jako anorganická (R744 - CO<sub>2</sub>, R729 - vzduch, R718 – voda, atd.) a dále pak sloučeniny dusíku. Čpavek (NH<sub>3</sub>) s obsahem dusíku je použit

hlavně ve velkých chladicích zařízeních, ale je ovšem jedovatý. Vzhledem k životnímu prostředí byl objeven v 80. letech neblahý vliv freonů na ozónovou vrstvu. [8]

### 1.2.7 Solanka

Je nemrznoucí kapalina primárního zemního okruhu složená z vody a anorganických solí. Parametry solanky by měly splňovat ekologickou nezávadnost, netoxicitu a na druhé straně také přiměřenou cenu, která je nezanedbatelná vzhledem k množství. Objem solanky na primární straně TČ se pohybuje v rozsahu 250 a 400 litry. Pořizovací cena by tím vzrostla na významnou hodnotu celého systému s TČ.

Nejčastější druhy solanky jsou:

#### **Polyethylenglykol + voda**

Tato směs v poměru objemu 3/10 polyethylenglykolem a 7/10 vodou, vykazuje dobré vlastnosti odolávající až -15 °C teplot. Mezi nevýhody patří nižší tepelná kapacita, vyšší viskozita a toxicita. Směs polypropylenglykol je oproti tomu se stejnými vlastnostmi nejedovatý.

#### **Alkohol + voda**

Složení této směsi většinou v poměru ¼ etanolem a ze ¾ objemu vodou, vykazuje také nižší tepelnou kapacitu, ale viskozita nerovnoměrně roste vzhledem k nižší teplotě. Při smíšení těchto látek, dochází k jevům a to k rostoucí teplotě, což není zásadní, ale také k tzv. kontrakci. Ke kontrakci dochází při smíšení lihu a vody. Tento jev má za důsledek zmenšení celkového objemu v průměru o 3,7 %. [12]

### 1.2.8 Akumulační (taktovací) nádrž

Nejběžnější řešení problému s regulací a průtokem je zařazení akumulací nádrže. Tepelné čerpadlo pak vyhřívá vodu v akumulací nádrži se stálým průtokem a podle potřeby spíná tak, aby byla teplota v nádrži přibližně konstantní. Nádrž slouží k akumulaci tepelné energie vytvořené tepelným čerpadlem. [10]

## 1.3 Druhy tepelných čerpadel

TČ pracují na různých principech, podle toho jak je tepelná energie získávána a jak předávána. Tedy podle zdroje primárního okruhu a ohřivanému médiu v sekundárním okruhu. Volba primárního nízkopotenciálního zdroje má zásadní vliv na konstrukci, vlastnosti a cenu TČ. Nejčastěji pracují sekundární okruhy s vodou, jako s médiem pro distribuci tepla. Další sekundární okruhy mohou pracovat se vzduchem, který je méně častý, ale také se uplatní pro vytápění objektů, především u klimatizačních jednotek. Ovšem okruh s vodou jednoznačně dominuje. Dalšími principy TČ jsou například termoelektrické, absorpční se stirligovým a paroproudým oběhem. [10]



Obr. 8 Instalace tepelných čerpadel [10]

### **Zdroje nízkopotenciálního tepla pro TČ na primárním okruhu:**

#### **1.3.1 TČ Vzduch – Voda**

Tento systém má mnoho výhod vyplývajících ze snadné instalace a velké univerzality. Tento druh TČ lze snadno a jednoduše instalovat na jakoukoliv stavbu. TČ vzduch-voda nepodléhají nutnosti složité zemní práce vzhledem k TČ země-voda a je jasné, že i pořizovací náklady budou nižší. Výkon TČ je vzhledem k vzrůstající venkovní teplotě nižší a naopak. Bod bivalence je kolem  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Minimální teplota, při které TČ ještě pracuje, je  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lze se setkat i se stroji pracujícími až do  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nejčastější jsou tři varianty provedení. Jedna se nazývá *samostatná venkovní a vnitřní jednotka* (tzv. *splitové jednotky*). Vyskytují se také *kompaktní venkovní tepelná čerpadla*, která jsou umístěna venku. A *kompaktní vnitřní tepelná čerpadla*. Teplota zdroje tepla je závislá na klimatických podmínkách dané lokality, na ročním období a na změnách teploty v průběhu roku. Důležité je si uvědomit, že se na výparníku sráží vodní pára ze vzduchu a při nízkých teplotách kolem  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  vzniká námraza, kterou je nutné odstraňovat. To se provádí buď reverzační tepelného čerpadla, nebo vhodně umístěným topným tělesem. [8]

#### **1.3.2 TČ Vzduch – Vzduch**

Tyto TČ pracují na stejném principu jako TČ vzduch-voda, jen s tím rozdílem, že tepelný výkon předávají vnitřnímu vzduchu objektu. Instalace těchto čerpadel se objevuje jen zřídka. Své uplatnění nachází v menších objektech (chaty, chalupy). Často se využívají jako rekuperační zařízení (z odpadního vzduchu), s kombinací výměníků tepla. [9]

#### **1.3.3 TČ Země – Voda**

Typ Země – Voda se mezi tepelnými čerpadly řadí mezi velmi významné systémy. Ve venkovních klimatických podmínkách funguje tento typ nejstabilněji, a proto lze odebírat teplo po celý rok, včetně ohřevu TUV a bazénu. Nezávislost tohoto typu TČ na venkovních podmínkách, pak dovoluje jeho využití prakticky kdekoliv, včetně horských oblastí, kde často klesají teploty i pod  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 1.3.3.1 Geotermální vrty a plošné kolektory

Tradičním primárním zdrojem energie pro TČ jsou geotermální vertikální vrty. V ČR jsou vrty nejrozšířenějším způsobem získávání geotermální, nízkopotencionální energie. Jde o zdroj absolutně nezávislý na vlivu počasí. S teplotou kolem 8 °C až 12 °C i s možností chlazení objektů v letním období. Obvyklé hloubky vrtů se pohybují od 70 – 140 m, v některých případech lze dosáhnout i 160 m. V případě většího množství vrtů se celková délka rozdělí do více vrtů stejné délky. U tohoto typu jsou možné dvě nejčastější konstrukce. První typ konstrukce odebírá teplo přímo chladivem a druhý způsob konstrukce je využití nemrznoucí směsi (např. solanky). Materiál na zemní sondy se používá polyetylén (PE), polypropylen (PP) nebo polybutylen. Médium nesmí způsobit znečištění spodních vod nebo půdy v případě netěsnosti. [9]

Dimenzování vrtu se provádí stanovení celkového topného výkonu vzhledem k tepelným ztrátám domu, součtem přídatného výkonu na ohřev TV a přídatkem na dobu zablokování provozovatelem napájecí sítě (HDO). Celková hloubka vrtu je dána násobkem celkového topného výkonu a vydatnosti (m/1 kW). V případě omezení hloubky vrtu se mohou vrty pospojovat do více vrtů. Počet hlubinných vrtů je dán rozdílem celkové hloubky a maximální hloubky vrtu.

Dimenzování kolektorů vychází za předpokladů 1 800 hodin provozu za rok, vzdálenost mezi zemními sondami min. 5 m (doporučeno 10 % z jejich délky) a maximální hloubka zemní sondy 100 m (vrt). Hodnoty mohou kolísat v důsledku rozpukání, zvětrávání atd. [24]

Plošné kolektory jsou v praxi nejméně náročné na realizaci a finance. Podmínka je dostatečně velký pozemek v okolí budovy. Technologicky se pracuje s energií slunce, která se v letním období, ve formě tepla, akumuluje do vrchních vrstev země. Tuto akumulovanou energii TČ průběžně odebereme pro ohřev teplé vody a vytápění objektu. Kolektory se ukládají do 1,2 m až 1,5 m pod úroveň země. Potrubí se může ukládat do klasického uložení pro rovnoměrné čerpání energie z plochy. Další možností je uložení do spirály, které ideálně rozloží čerpání energie, kdy je nejstudenější potrubí ohříváno nejteplejším a speciální uložení tzv. do slínek. Slinky jsou vhodné do lokalit kde je prostorové omezení pro pokládku. V případě více okružové zapojení je výhodnější paralelní spojení než spojení do série. [9]

Dimenzování plošných kolektorů se stanovuje z celkového topného výkonu jako u geotermálního vrtu. Plocha položení je násobek celkového topného výkonu a vydatnosti podloží (m<sup>2</sup>/kW). Celková délka potrubí je dána plochou položení (m<sup>2</sup>) / vzdálenost při položení. Počet kolektorových okruhů je dán celkovým kolektorovým potrubím (m) / max. délkou okruhu (m). Při více okruzích se dodržuje stejná délka a nebo regulační ventily na jednotlivých větvích. Dimenzování kolektorů vychází za předpokladů 1 800 hodin provozu za rok, hloubka položení je v rozmezí 1,2 – 1,5 m, povrch kolektorů nad zemí nesmí být zastavěný atd. [24]

### 1.3.4 TČ Voda – Voda

Odběr tepla ze spodní vody patří k nejkomplicovanějším systémům. Na jedné straně se nabízí zdroj tepla s relativně vysokou teplotou 7 °C až 12 °C, na straně druhé je toto řešení spojeno s určitými riziky. V první řadě musí být k dispozici dostatek spodní vody o dostatečné čistotě. Další podmínkou je hloubka, ze které se má voda čerpat. V případě využití povrchové vody není takové využití TČ možné až na výjimky a to přímo čerpat vodu pro ohřev. Důvodem jsou nízké teploty vody v zimním období, kdy by voda při ochlazení v TČ zamrzala.

Další možností získání nízkopotenciální energie pro TČ je využití stavebních konstrukcí budov resp. základů budov. Jedná se o *energetické piloty*, *energetické stěny*, *energetické základy* dle způsobu instalace. [8]

### 1.3.5 Hybridní tepelná čerpadla

Tento systém využívá dvou či více možných zdrojů nízkopotenciální energie. Jako zdroj se může použít vzduch, země, voda, ale i světelná energie ze slunce nebo rekuperační jednotky odpadní vody či vzduchu. Kombinace různých zdrojů na primární straně TČ se mohou přivádět do jednoho společného výparníku nebo do dvou oddělených tepelných čerpadel se společnou regulací aby byla docílena optimální hospodárnost celého systému.

## 2 Hybridní tepelná čerpadla

### 2.1 Možné zapojení TČ na primární straně

#### 2.1.1 Využití sluneční energie s TČ

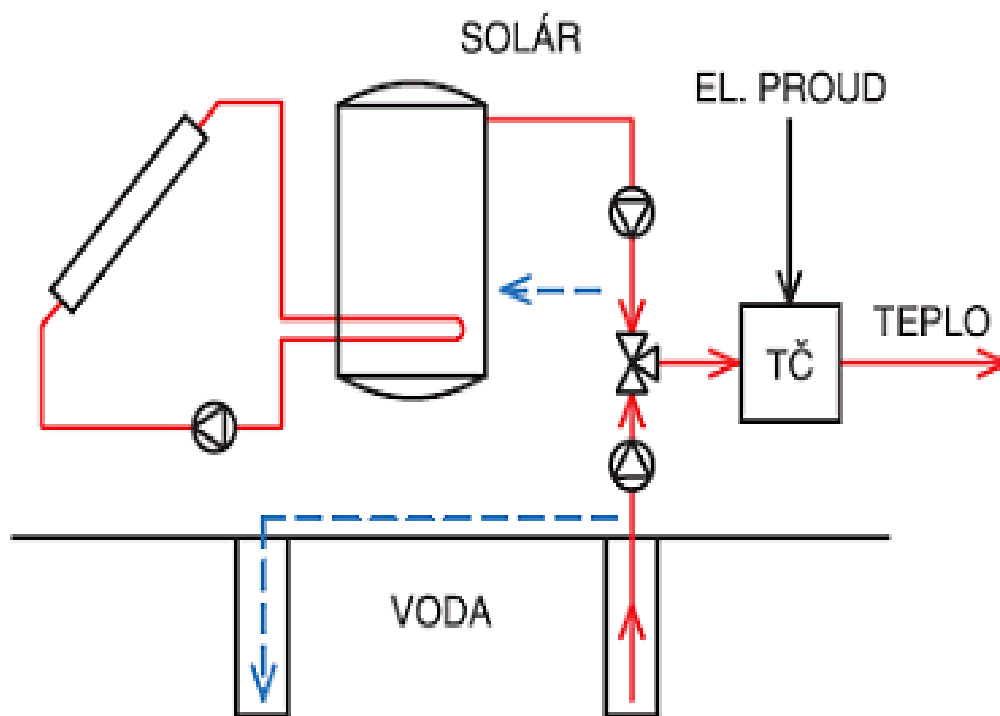
Činnost tepelného čerpadla lze též zkombinovat se sluneční energií, čímž může být dosaženo ekologičtějšího využití tepelné energie. Zatímco v topné sezóně sluneční energie participuje na vytápění domu, v letním období ji lze využít na ohřev vody. U tepelného čerpadla s vrtem se navíc sluneční energie může ukládat do vrtů. Tím se zvýší výkon a topný faktor tepelného čerpadla. [15] Solární systém je v tomto prostředí jako samostatný zdroj neúčinný a proto musí být považován jako sekundární zdroj energie. Výměna tepla se provádí přes akumulaci nádrž, která má princip ohřevu vody menším množstvím solárního tepla o vyšší teplotě. Tím je spojená i větší prostorová náročnost.

Další možnou variantou pro zlepšení topného výkonu a faktoru pro systém je alternativní zdroj energie fotovoltaické články (dále jen „FV“). Tento zdroj je také omezen poměrně nízkou průměrnou roční intenzitou slunečního záření v ČR. Vyznačují se malou účinností přeměny a z toho plynoucí nároky na plochu článků. Vysoké investiční náklady na výstavbu jsou v poměru s malou životností (cca. 20 let) nezanedbatelné. Proto jsou podporovány finanční dotace od státu. K tomu je potřeba ještě záložní zdroje elektřiny. Mezi výhody patří prakticky nevyčerpatelný zdroj energie, při přeměně nevznikají žádné emise ani škodlivé látky a provoz je bezhlučný (žádné pohyblivé díly). V našem prostředí mají smysluplné využití v místech bez možnosti připojení k distribuční síti anebo jako doplňkový zdroj malého výkonu. Mohou se využít k napájení samotného TČ nebo ohřevu vody pro primární okruh v akumulaci nádrži formou topného tělesa. Součástí FV systému je klasický regulátor resp. měnič. Vzhledem ke kolísání napětí na výstupu FV je nutné napětí regulovat. Další možnost je vestavěný měnič DC/AC MTTP. Ve srovnání s klasickým regulátorem je MTTP měnič několikanásobně dražší. Střídač je měnič napětí stejnosměrného napětí na střídavé napětí.

#### Hybridní tepelné čerpadlo Nukleon HPAW18H

Toto zařízení má dva primární okruhy. Přes jeden pracuje jako tepelné čerpadlo vzduch-voda a přes druhý jako tepelné čerpadlo voda-voda. Primární zdroj pro variantu voda-voda tvoří velká beztlaká akumulaci nádoba, která je nabíjena solárními termickými panely. Řídící jednotka tepelného čerpadla pak vyhodnocuje, jakým způsobem bude zařízení

efektivnější a podle toho volí primární okruh. Systém slouží pro vytápění a ohřev užitkové vody. Otopná soustava je tvořena kombinací podlahového a stěnového vytápění. Součástí systému jsou také fotovoltaické panely, které ještě zvyšují ekonomiku provozu objektu. Celý systém je možné dálkově ovládat a monitorovat přes webové rozhraní. [1]



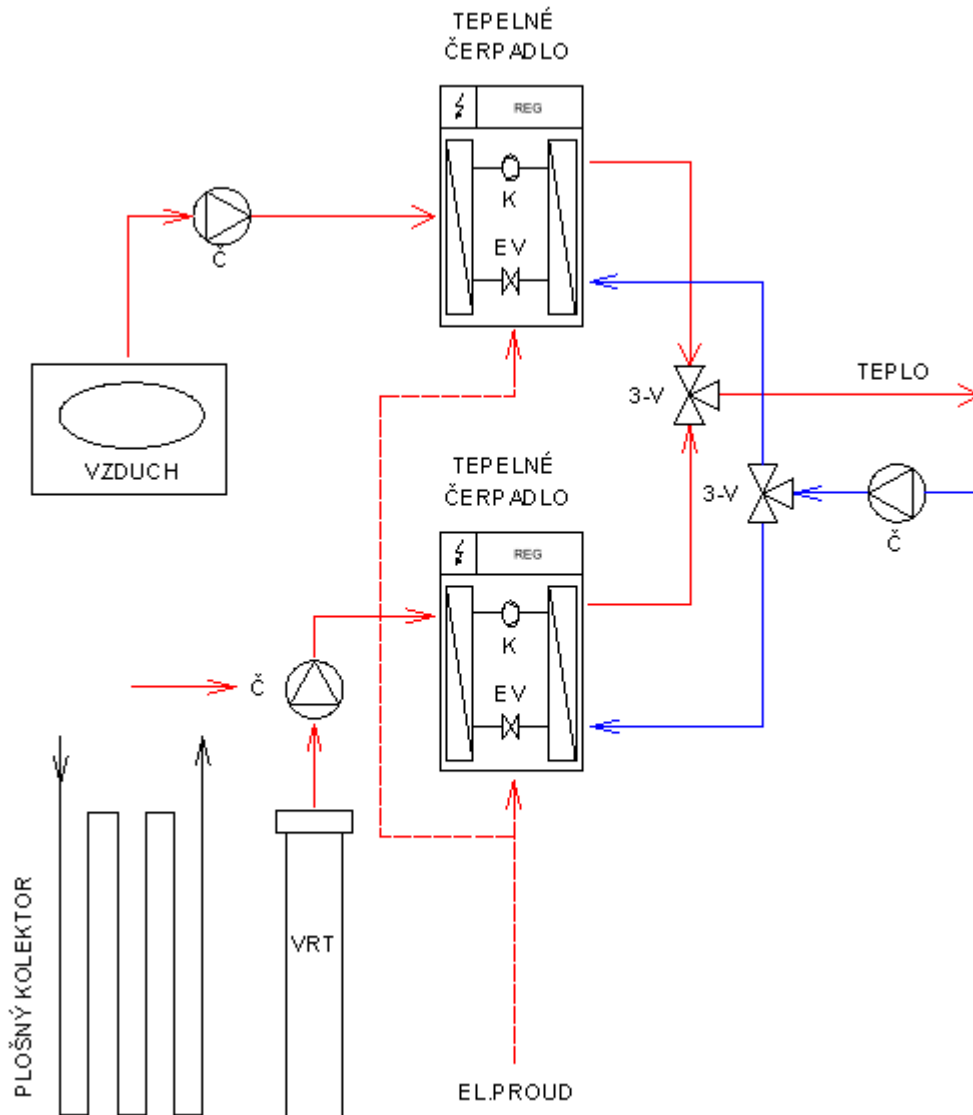
Obr. 9 Využití sluneční energie s tepelným čerpadlem [15]

### 2.1.2 Využití rekuperačních jednotek s TČ

Pro zvýšení topného faktoru a tím i vyšší účinnosti celého topného systému se může zapojit rekuperační jednotka odpadní vody. Využitím stále ještě relativně vysoké teploty odpadní vody z WC, vany, sprchy nebo i z umyvadel je celý systém účinnější. Tím se dosáhne zvýšení vstupní teploty na primární straně TČ a vyššího COP (viz. [kapitola 3.1](#)).

Další možností je rekuperační jednotka vzduchová. Výměna vzduchu v domě je součástí výpočtů celkových tepelných ztrát. Jedná se o zařízení, které využívá teploty odváděného vzduchu z vnitřního prostoru domu ke zvýšení teploty primární strany TČ. Relativně vysoká teplota vzduchu se formou přenosu tepla přes výměník primárního okruhu TČ předává a tím napomáhá k vyššímu COP. Další výhodou je výměna za čerstvý vzduch v objektu.

### 2.1.3 Využití kombinace nízkopotencionální energie vzduchu a země pomocí dvou TČ



Obr.10 HTČ pomocí dvou TČ v zapojení země-voda a vzduch-voda s regulací

TČ použité v běžném rodinném domě dodává během roku téměř třikrát více tepla otopné soustavě než soustavě přípravy teplé vody. Vzhledem k vysokoteplotní otopné soustavě a přípravě teplé vody na vysokou teplotu 55 °C, jsou sezónní topné faktory relativně nízké. TČ vzduch-voda dosahuje velmi nízkého sezónního topného faktoru  $SPF = 2,7$ . TČ země-voda je zhruba o čtvrtinu úspornější, jeho sezónní topný faktor se pohybuje okolo hodnoty 3,3. Průběh měsíčních hodnot sezónního topného faktoru (viz. kapitola 3.1) celé soustavy je uveden pro obě tepelná čerpadla graf 1 (viz. kapitola 3.1) Z grafu je patrný velmi odlišný průběh. TČ vzduch-voda vykazuje v zimním období nízké hodnoty okolo 2,5 a v letním období i přes nevýhodné podmínky přípravy teplé vody na vysokou teplotu, dosahuje topného faktoru okolo 3,0. TČ země-voda má chování opačné. Vysoké topné faktory dosahuje v otopné sezóně díky stálé teplotě na vstupu do výparníku. Naopak, v letním období hodnota  $SPF$  klesá, až na hodnoty okolo 2,3. Celé zapojení hybridního TČ zcela pokryje veškeré ztráty rodinného domu, neboť při provozu TČ země-voda kryje



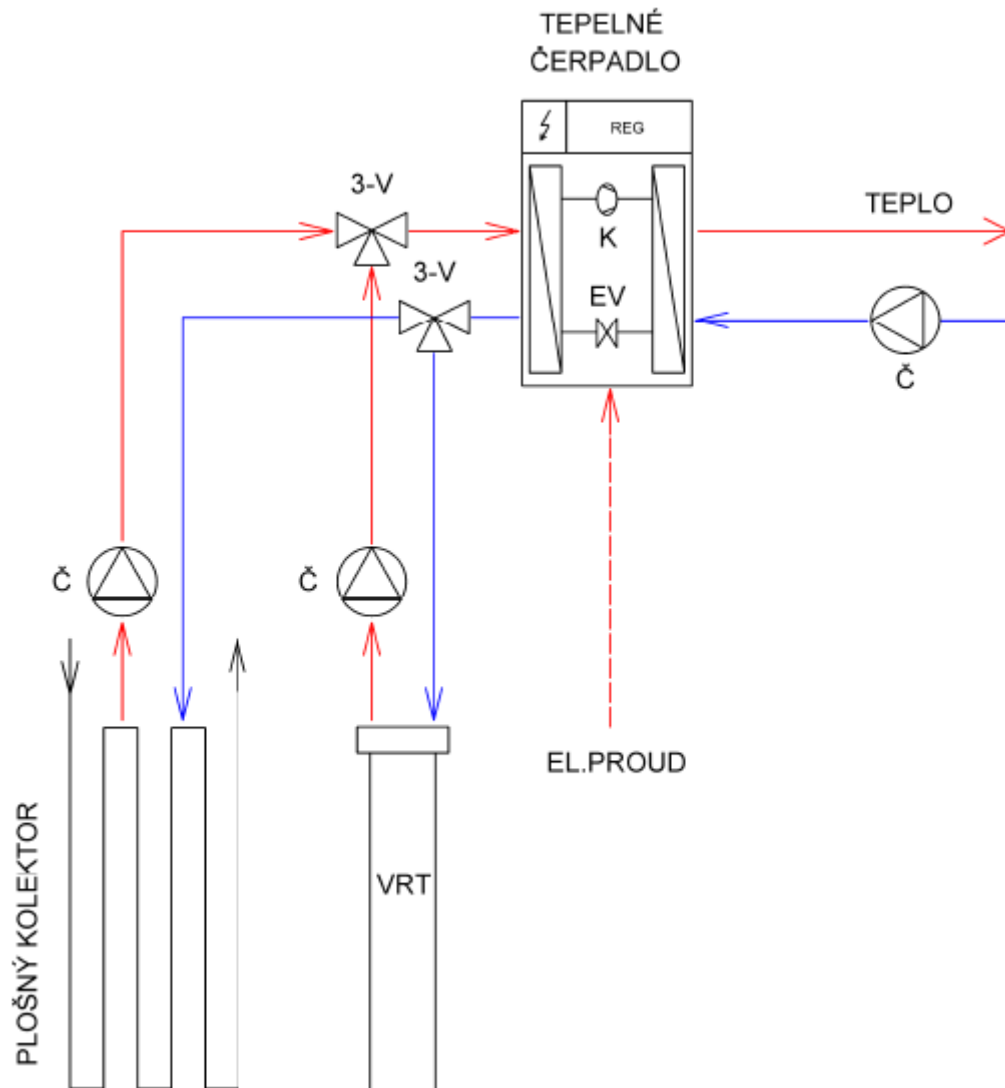
veškeré ztráty tepla.

Na [grafu 1](#). jsou na příkladu pro běžný dům uvedeny výsledky výpočtu intervalovou metodou při uvažování dvou opatření pro zvýšení sezónního topného faktoru: návrhem nízkoteplotní otopné soustavy a snížením teploty přípravy teplé vody. Intervalová metoda hodnotí provoz soustav s TČ, jež využívá tzv. teplotní charakteristiky (údaje o teplotě venkovního vzduchu pro danou lokalitu), která je určena výpočtovými teplotními intervaly v dostačující diferencí (1 K). Tyto intervaly jsou dány střední teplotou vzduchu a dobou trvání, a to na základě hodnot v příloze A (pro roční nebo měsíční rozlišení). TNI 73 0351 [17] Je patrné, že vliv teplot na sezónní topný faktor SPF je významnější u instalace TČ vzduch-voda neboť v zemi je téměř konstantní teplota. Nízkoteplotní aplikace (otopná voda 35 °C, teplá voda 45 °C) může u tepelného čerpadla země-voda (SPF = 4,3) přinést v běžném domě při stejných provozních podmínkách o více než třetinu vyšší úsporu, než při použití TČ vzduch-voda (SPF = 3,1).

Když se podíváme na teplotní rozsah vstupních teplot tepla do TČ, tak by měla být zhruba od 0 °C u země - vody a -20 °C u vzduchu až po maximálně +30 °C u všech těchto médií. Tak široký musí být primární teplotní záběr TČ, abychom mohli získat kolem 55 °C na sekundárním výstupu. U nižších teplot je topný faktor méně výhodný, u vyšších výhodnější. Toto je patrné ve vztahu pro výpočet topného faktoru COP (viz.kapitola [1.1.2](#)).

#### **2.1.4 Využití kombinace nízkopotencionální energie pomocí jednoho TČ**

Tento systém využívá jedno TČ s možností přívodů různých typů nízkopotenciální energie na primární straně. Volba provozu primární strany TČ je opět volena příslušným regulátorem, který rozhoduje v rámci efektivity TČ SPF. Konstruktivně je možné zapojení pomocí geotermálních vrtů a plošných kolektorů pro TČ země-voda.

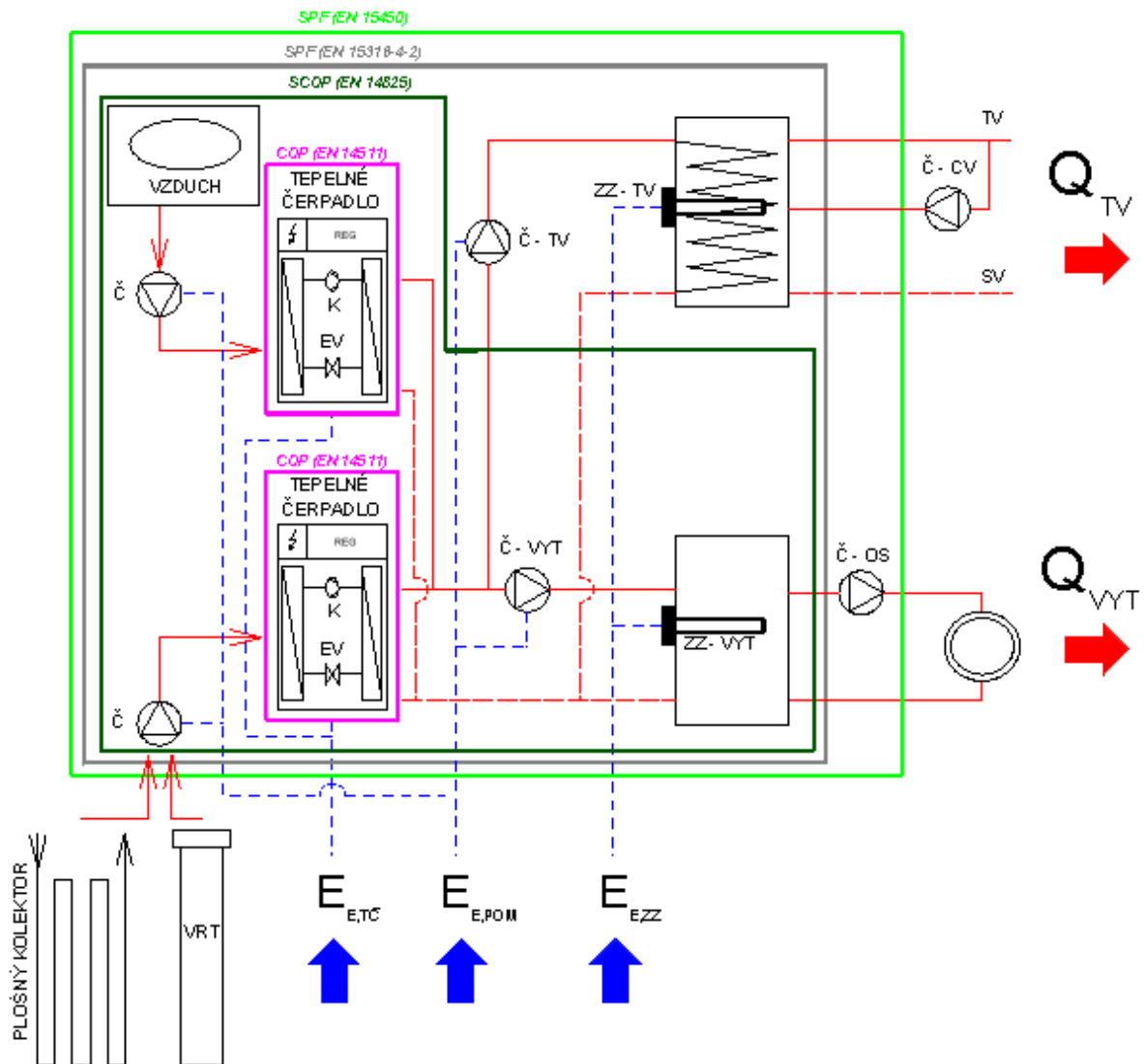


Obr.11 HTČ pomocí jednoho TČ v zapojení země-voda s regulací

### 3 Posouzení TČ země-voda a vzduch-voda

K posouzení rozdílů zadaných hybridních zapojení TČ jsem použil intervalovou metodu pro hodnocení provozu soustav TČ. Výsledkem jsou měsíční a celkový roční sezónní topný faktor SPF a celkové roční náklady na provoz celého topného systému. V úvaze je počítáno i s ohřevem TUV a možností ohřevu bazénu, který jsem do úvahy nezařadil. [4]

### 3.1 Sezónní topný faktor SPF (Seasonal performance factor) taky SCOP a nebo SEER.



Obr. 12 Hranice hodnocení v soustavě s HTČ země-voda a vzduch-voda.

#### Hodnocení provozu soustav HTČ

Východiskem pro výpočet hodnocení provozu soustav s TČ je tzv. intervalová metoda, jež využívá tzv. teplotní charakteristiky (údaje o teplotě venkovního vzduchu pro danou lokalitu), která je určena výpočtovými teplotními intervaly v dostačující diferenci (1 K). Tyto intervaly jsou dány střední teplotou vzduchu a dobou trvání, a to na základě hodnot v příloze A (pro roční nebo měsíční rozlišení). TNI 73 0351 [17]

Energetické hodnocení budov v určitých klimatických podmínkách v topném období, určuje potřebu měsíčního tepla na vytápění  $Q_{p,VYT,j}$ :

$$Q_{p,VYT,j} = Q_{pVYT} \cdot \frac{DH_j}{DH} = Q_{pVYT} \cdot \frac{\tau_j(t_i - t_{em,j})}{\sum_j \tau_j(t_i - t_{em,j})} = Q_{pVYT} \cdot f_{VYT,j} \quad (3.1)$$

kde je

$Q_{pVYT,j}$  celková spotřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících, v kWh;

$DH_j$  počet hodinostupňů výpočtového teplotního intervalu  $j$ , v [Kh];

$DH$  počet hodinostupňů za otopné období v jednotlivých měsících, v [Kh];

$\tau_j$  doba trvání výpočtového teplotního intervalu  $j$ , v [h];

$t_i$  vnitřní teplota vzduchu, ve [°C];

$t_{em,j}$  střední teplota v intervalu  $j$ , ve [°C];

$f_{VYT,j}$  podíl z celkové potřeby tepla na vytápění na měsíc ve výpočtovém teplotním intervalu  $j$ , na základě hodnot v příloze A (pro roční nebo měsíční rozlišení). TNI 73 0351 stejně jako  $DH_j$ ,  $DH$ ,  $\tau_j$ ,

Potřeba měsíčního tepla na přípravu teplé vody  $Q_{pTV,j}$  a bazénu  $Q_{pBAZ,j}$  pro danou obsazenost a vybavenost budovy se počítá obdobným příkladem jako pro  $Q_{pVYT,j}$ .

Výpočet provozních charakteristik soustavy s tepelným čerpadlem se neobejde bez údajů, jak o tepelném výkonu  $\Phi_k$ , tak o topném faktoru COP TČ, které jsou stanoveny zkouškou dle normy ČSN EN 14511 za podmínek  $t_{v1}$  (teplota na vstupu výparníku) a  $t_{k2}$  (teplota na výstupu z kondenzátoru). Aby byla vytvořena relevantní funkční závislost charakteristik TČ na provozních podmínkách  $(t_{v1}, t_{k2})$ , nelze opomenout odpovídající funkci pro proložení souboru údajů daných výrobcí dle *tabulky 1*. Lineární závislosti sice lze za účelem zjednodušení užít v rámci tepelných čerpadel voda-voda a země-voda, ovšem výrazné nelineární charakteristiky, jež vykazují TČ vzduch-voda, vyžadují použití polynomu vyššího řádu.

Regrese výkonových údajů TČ do podoby matematického vztahu:

$$P = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2} \quad (3.2)$$

tk2 / tv1	voda - voda		země - voda			venkovní vzduch – voda				
	10 °C	15 °C	-5 °C	0 °C	5 °C	-15 °C	-7 °C	2 °C	7 °C	12 °C
35 °C										
45 °C										
55 °C										
65 °C										

Tabulka 1 Požadovaná kombinace zkušebních teplotních podmínek pro TČ [17]

Teplotní charakteristika otopné soustavy je dána návrhovými teplotami přívodní, vratné otopné vody  $t_{w1,N}$  /  $t_{w2,N}$  a teplotním exponentem  $m$  (*tabulka 2*) převažujících otopných ploch v otopné soustavě. Ekvitermní teplotu přívodní otopné vody  $t_{w1,j}$  je možno stanovit pro jednotlivé výpočtové teplotní intervaly na základě návrhových parametrů otopné soustavy a střední teploty venkovního vzduchu  $t_{em,j}$  dle následujícího vzorce:

$$t_{W1,j} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} + \left( \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left( \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} \right)^{1/m} \quad (3.3)$$

$t_i$  vnitřní teplota vzduchu, ve [°C];

$t_{e,N}$  venkovní výpočtová teplota, ve [°C];

$t_{W1,N}$  návrhová teplota přívodní otopné vody, ve [°C];

$t_{W2,N}$  návrhová teplota vratné otopné vody, ve [°C];

$t_{em,j}$  střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu, ve [°C];

$m$  teplotní exponent otopných ploch.

Druh otopných ploch	$m$
Sálavé velkoplošné vytápění (podlahové, stropní, stěnové)	1,1
Otopná tělesa	1,3
Konvektory, teplovzdušné vytápění	1,4

Tabulka 2 Teplotní exponent otopných ploch [17]

Pro výpočet požadované teploty otopné vody v oblasti výstupu z tepelného čerpadla  $t_{k2,j}$  se v daném výpočtovém teplotním intervalu pro režim vytápění stanoví na základě teploty přívodní otopné vody  $t_{w1,j}$  takto:

$$t_{k2,j} = t_{w1,j} + \Delta t_w \quad (3.4)$$

Aby se omezilo cyklování TČ, je nutno přičíst zvýšení teploty o  $\Delta t_w$ , čímž je zohledněno nabíjení uvažovaného taktovacího zásobníku otopné vody. Za běžných podmínek lze předpokládat, že  $\Delta t_w = 2$  K.

Pokud se jedná o kombinovanou přípravu teplé vody, vytápění anebo bazénu, je část doby provozu TČ vyhrazena prioritně pro TUV.

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j - \tau_{TC,TV,BAZ,j} \quad [h] \quad (3.5)$$

Následující vztah udává zisk tepla z TČ pro vytápění  $Q_{k,VYT,j}$  za dobu, kdy trvá teplotní interval:

$$Q_{k,VYT,j} = \Phi_{k,VYT,j} \cdot \tau_{k,VYT,j} \quad [kWh] \quad (3.6)$$

$\Phi_{k,VYT,j}$  výkon TČ pro vytápění v podmínkách teplotního intervalu  $j$ , v kW;

$\tau_{k,VYT,j}$  doba trvání výpočtového teplotního intervalu  $j$ , v h;

V teplotním intervalu  $j$  se doba provozu TČ  $\tau_{TC,VYT,j}$  za režimu vytápění vypočte takto:

$$\tau_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{\Phi_{k,VYT,j}} \quad [h] \quad (3.7)$$

Množství elektrické energie  $E_{TC,VYT,j}$  potřebné pro pohon TČ v režimu vytápění v teplotním intervalu  $j$  je dáno vztahem:

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} \quad [kWh] \quad (3.8)$$

Dále pak množství pomocné elektrické energie  $E_{pom,VYT,j}$  soustavy s TČ v režimu vytápění je dáno vztahem:

$$E_{pom,VYT,j} = P_{pom,VYT} \cdot \tau_{TC,VYT,j} \quad [kWh] \quad (3.9)$$

$P_{pom,VYT}$  elektrický příkon pomocných zařízení pracujících v režimu vytápění v jejich pracovním bodě, v kW;

Stanovení hlavních provozních parametrů, které popisují celkovou energetickou bilanci soustavy s tepelným čerpadlem k přípravě teplé vody, vytápění a bazénu, je dáno výpočtovým postupem. Roční či měsíční výsledky jsou stanoveny součtem hodnot

jednotlivých veličin ze všech intervalů:

$$Q_{TC} = \sum_j Q_{TC,TV,j} + \sum_j Q_{TC,VYT,j} + \sum_j Q_{TC,BAZ,j} \quad [kWh] \quad (3.10)$$

Podobným způsobem lze stanovit roční nebo měsíční potřebu elektrické energie  $E_{TC}$ :

$$E_{TC} = \sum_j E_{TC,TV,j} + \sum_j E_{TC,VYT,j} + \sum_j E_{TC,BAZ,j} \quad [kWh] \quad (3.11)$$

Dále je nutné také stanovit roční či měsíční potřebu pomocné elektrické energie  $E_{pom}$ :

$$E_{pom} = \sum_j E_{pom,TV,j} + \sum_j E_{pom,VYT,j} + \sum_j E_{pom,BAZ,j} \quad [kWh] \quad (3.12)$$

Vzorec pro výpočet roční nebo měsíční doby provozu  $\tau_{TC}$  tepelného čerpadla je následující:

$$\tau_{TC} = \sum_j \tau_{TC,TV,j} + \sum_j \tau_{TC,VYT,j} + \sum_j \tau_{TC,BAZ,j} \quad [h] \quad (3.13)$$

Vypočítané provozní parametry dané prametrem “f” jsou pak podkladem a ekonomickým ukazatelem instalace TČ. Na jejich základě je možno následně stanovit energetické ukazatele, které na ně navazují, např. roční pokrytí celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody, vytápění a ohřev vody v bazénu teplem dodaným z tepelného čerpadla:

$$f = \frac{Q_{TC,TV} + Q_{TC,VYT} + Q_{TC,BAZ}}{Q_{p,TV} + Q_{p,VYT} + Q_{p,BAZ}} = \frac{Q_{TC}}{Q_p} \quad [-] \quad (3.14)$$

dále výpočet sezónního topného faktoru tepelného čerpadla:

$$SPF_{TC} = \frac{Q_{TC}}{E_{TC}} \quad [-] \quad (3.15)$$

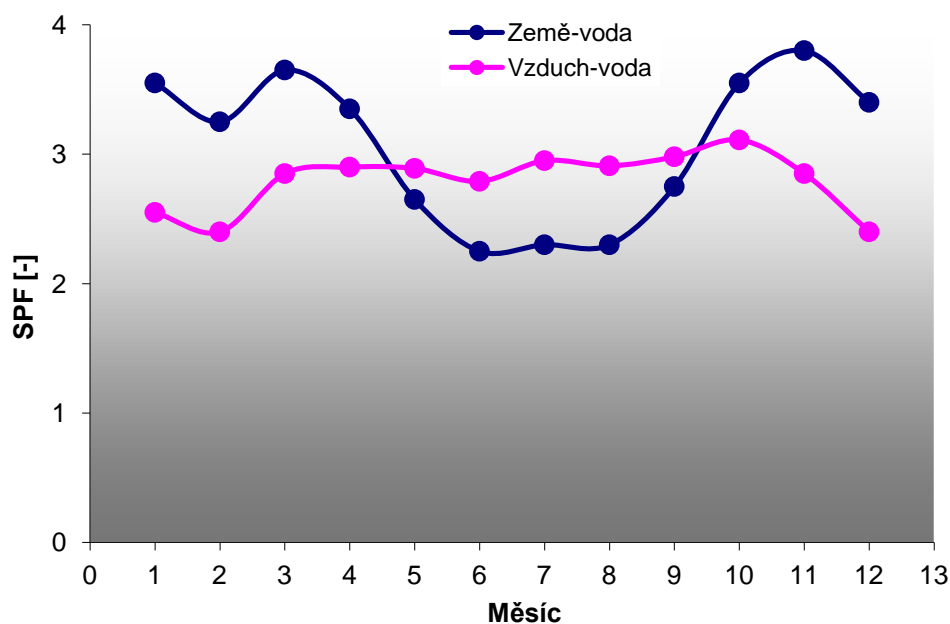
Nebo celkový sezónní topný faktor celé soustavy u soustav s tepelnými čerpadly s elektricky poháněnými kompresory:

$$SPF_{SYS} = \frac{Q_{TC}}{E_{TC} + E_{pom}} \quad [-] \quad (3.16)$$

Výsledek výpočtu tedy udává měsíční a roční provozní parametry soustavy s TČ, jinými slovy teplo, které je dodáváno do tepelné soustavy vytápění, přípravy teplé vody a bazénu TČ, potřeba elektrické energie pro pohon TČ a celková efektivita provozu soustavy s TČ, přičemž zahrnuta je i pomocná energie, která je vyjádřena sezónním topným faktorem soustavy SPF. [17]

Stanovení optimálního výkonu TČ je potřeba výpočtu tepla pro vytápění, ohřev TUV a případně ohřevu bazénu a jejich sečtení ve všech intervalech pro stanovení roční dodávky tepla TČ (3.10). Dále je potřeba sečíst roční potřebu elektrické energie pro všechny pohony (3.11) a také pomocné energie (3.12). Výsledný parametr „f“ (3.14) ukazuje poměr tepelné energie dodané TČ a celkového tepla potřebného pro systém. Pro hodnocení TČ jsem porovnával sezónní topný faktor pro jednotlivé měsíce v roce.

Tepelná čerpadla vysoce účinná při extrémně nízkých venkovních teplotách nejsou podmínkou dosažení vysoké celoroční efektivity soustav s TČ vzduch-voda, ale naopak tepelná čerpadla mající vysokou účinnost, jsou efektivnější zejména za venkovních teplot od cca -2 °C do -13 °C, kdy pokrývají většinu potřeby tepla. Úměrně je tento vliv snížen u TČ země-voda, a to díky využití zemského masívu, jako zdroje tepla s celoročně téměř konstantní teplotou.



Graf 1 Příklad průběhu SPF během roku pro instalace TČ v běžném domě

Na grafu č. 1 jsou zřetelné hranice optimálního provozu HTČ ve srovnání se sezónním tepelným faktorem SPF. Jsou to průsečíky křivek TČ země – voda a TČ vzduch – voda a jejich SPF.

### 3.2 Provoz TČ

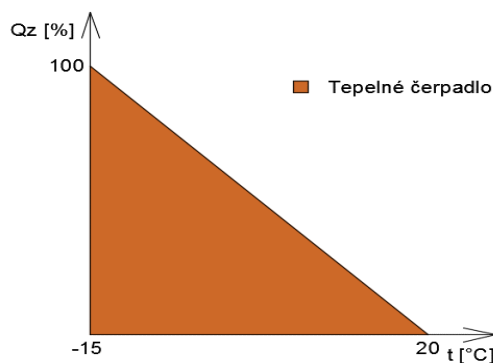
Celkové tepelné ztráty objektu, jsou pouze jedním z faktorů, určujících vhodný výběr TČ. Dimenzovat TČ na maximální potřebný výkon je obvykle neekonomické. Jeho správný energetický provoz má vliv nejen na fungování celého systému, ale i na celkové pořizovací a provozní náklady. Podle procentuálního pokrytí tepelných ztrát objektu výkonem TČ a typu náhradního zdroje se rozeznávají tři provozní stavy TČ. Monovalentní, monoenergetický a bivalentní provoz, v mém případě druhý zdroj nízkopotencionální energie (dále jen „NPZE“).

### 3.3 Režimy provozu

Při dimenzování TČ je nutné se nejprve rozhodnout, v jakém zapojení a režimu se bude TČ provozovat. Tedy jestli bude v systému jako jediný zdroj tepla, nebo jestli bude současně sloužit pro ohřev TUV, bazénu atd. či nikoli. TČ lze provozovat dle následujících režimů provozu, které závisí na zapojení vytápěcí soustavy. Bivalentní provoz se může využít i pro regulaci hybridního TČ pro efektivní využití zdroje tepla. V podstatě jde o náhradu bivalentního zdroje jiným zdrojem tepla na primární straně TČ pomocí elektroventilů.

### 3.3.1 Monovalentní provoz

Jedná se o režim, kdy je v soustavě zapojeno TČ, jako jediný zdroj tepla pro vytápění. TČ proto musí pokrýt veškerou tepelnou ztrátu objektu a to i v nejnepříznivějších podmínkách. Tento režim je vhodný zpravidla pro nízkoenergetické domy, které mají nízké tepelné ztráty. Dále je nutné si pořídit TČ, které dokáže pracovat i v nejextrémnějších podmínkách (např.  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). [10]



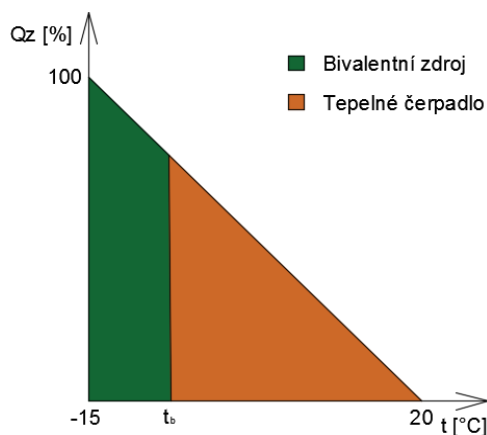
Obr. 13 Monovalentní provoz [10]

### 3.3.2 Bivalentní provoz

V tomto režimu se TČ doplňuje bivalentním zdrojem nebo dalším NPZE. Jelikož je TČ dimenzováno na maximální tepelné ztráty objektu, jeho výkon zůstává po většinu času plně nevyužit. Proto se obvykle doplní jiným zdrojem nebo jiným zdrojem tepla na primární straně TČ, který pokryje tepelné ztráty při nízkých teplotách. Dále je nutno využít tento systém provozu v případě, kdy TČ již nedokáže pracovat při nepříznivých klimatických podmínkách. V zásadě se rozdělují na tři provozní režimy. [10]

#### 3.3.2.1 Alternativně-bivalentní provoz

TČ v tomto režimu pracuje pouze část topné sezóny. Při určité předem nastavené teplotě, je TČ vypnuto a odstaveno z provozu. Následně je sepnut bivalentní zdroj nebo NPZE, který musí pokrýt veškeré tepelné ztráty při nižších teplotách. [10]

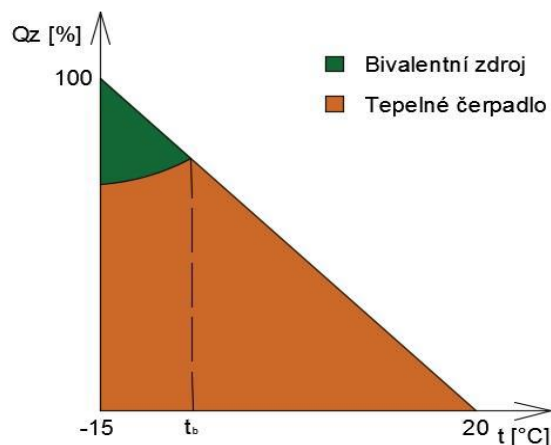


Obr. 14 Alternativně-bivalentní provoz [10]



### 3.3.2.2 Paralelně-bivalentní provoz

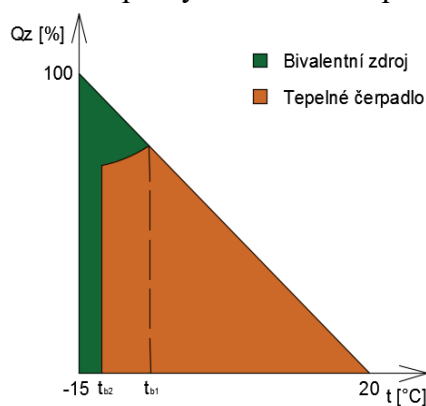
TČ pracuje po celou dobu topné sezóny. Jakmile TČ nestačí na pokrytí ztrát od určité teploty, je připnut bivalentní (špičkový) zdroj nebo NPZE, který pokryje zbylé ztráty. [10]



Obr.15 Paralelně-bivalentní provoz [10]

### 3.3.2.3 Částečně paralelně-bivalentní provoz

TČ pracuje do určité teploty samostatně. Po dosažení této teploty je připnut bivalentní zdroj nebo NPZE, který pracuje současně s čerpadlem. Při extrémně nízkých teplotách, je TČ odstaveno z provozu a pracuje pouze bivalentní zdroj nebo NPZE. Zdroj musí být ovšem dimenzován tak, aby dokázal pokrýt maximální tepelné ztráty. [10]



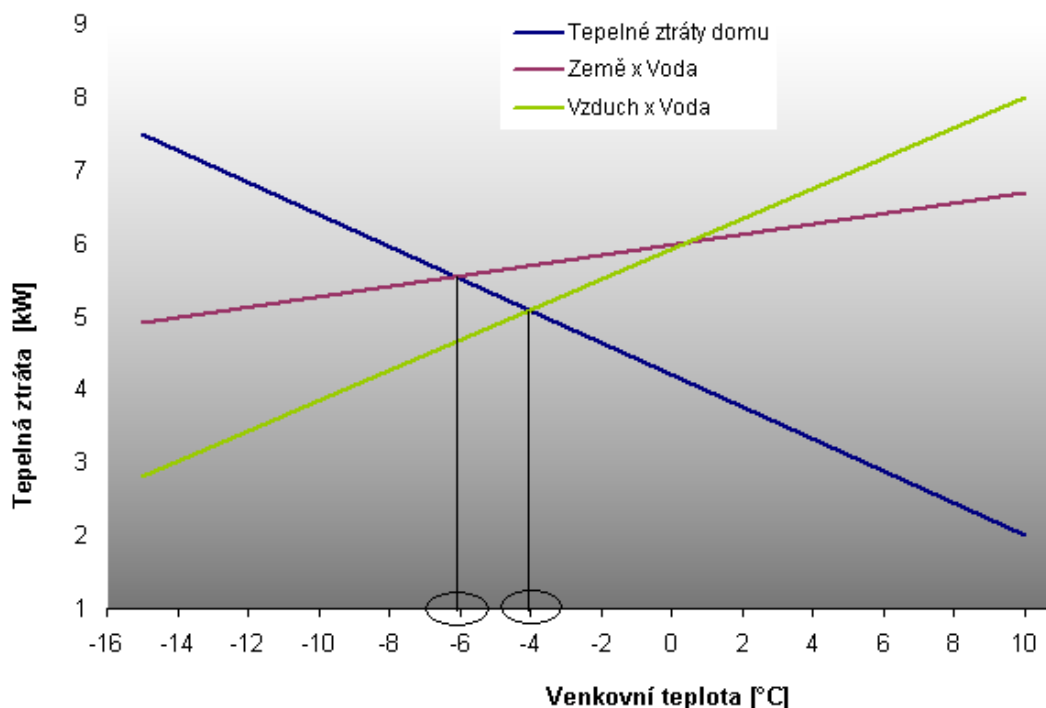
Obr.16 Částečně paralelně-bivalentní provoz [10]

## 3.4 Stanovení bodu bivalence

Bod bivalence udává teplotní rozhraní, do kterého je ekonomické nebo technicky možné provozovat TČ. Teplota bivalence bývá obvykle kolem bodu mrazu. Při nižších teplotách, než je bod bivalence se uplatňuje bivalentní, hybridní nebo monoenergetický provoz. V případě režimu vzduch – voda se i seriózní firmy přiznávají, že efektivní využití sahá jen do  $-5^{\circ}$ .

V průběhu roku se teplota venkovního vzduchu mění, podle místa instalace v České

republiky od  $-25\text{ °C}$  až do  $37\text{ °C}$ . Při volbě TČ je tedy velice důležité si ověřit, zda bude schopné pracovat při těchto venkovních teplotách vzduchu, pokud tedy není uvažováno s 100% dodatkovým zdrojem.



Graf 2 Příklad bodu bivalence pro systém vzduch-voda (vpravo) a země-voda (vlevo) vzhledem k tepelným ztrátám domu

### 3.5 Ekvitermní regulace TČ

Teplota topné vody, jež vstupuje do topného systému, je u tohoto typu regulace upravována dle venkovní teploty, čímž je topný systém hospodárnější. Eventuální doplnění čidla vnitřní teploty pak vede ke zpřesnění regulace teploty topné vody, neboť vnitřní čidlo je schopno zohlednit vnější i vnitřní tepelné zisky, mezi něž patří sluneční záření, hořící krb, ale třeba také větší počet lidí či tepelné spotřebiče. Tyto faktory totiž samotná ekvitermní regulace není s to plně korigovat.

## 4 Návrh vytápění pro dva domy

Návrh vytápění a ohřev TUV pro zadané dva rodinné domy s rozdílnou tepelnou ztrátou budu hodnotit ve třech variantách (A, B a C) aby byl názorně vyjádřen rozdíl mezi klasickým TČ a hybridní technologií TČ. První varianta A bude klasické TČ země x voda, kde využiji u prvního rodinného domu – běžný standard, díky dostupné velké ploše a kopatelné hornině, plošný kolektor. U druhého rodinného domu – pasivní standard, navrhnou díky městské zástavbě svislý kolektor (vrt).

Druhá varianta B bude u obou rodinných domů klasické TČ vzduch x voda. V případě prvního rodinného domu – běžný standard, nebude zajištěno celoroční pokrytí tepelných ztrát domu a proto bude muset nahradit zbylé tepelné ztráty bivalentní zdroj, který není smyslem této práce. Třetí varianta C bude hybridní TČ ve smyslu dvou TČ pracující samostatně v určitých měsících v roce pouze to z TČ, který vykazuje vyšší SPF.

#### 4.1 Rodinný dům – běžný standard

První rodinný dvoupatrový dům se nachází v katastrálním území Kraslice předměstí, 358 01, okres Sokolov, Karlovarský kraj, ulice Smolná 11, nadmořská výška 515 m. Plocha pozemku je převážně rovinná s 2 150 m<sup>2</sup>. Zastavěná plocha domu je 100 m<sup>2</sup>. Z důvodu potřeby základních parametrů pro výpočet bilance TČ je potřeba znát celkovou tepelnou ztrátu budovy  $\Phi_i$ , která se počítá součtem  $\Phi_{T,i}$  (tepelná ztráta prostupem) a  $\Phi_{V,i}$  (tepelná ztráta větráním). Návrhová teplota pro oblast Sokolovsko je -15°C. [20] A vnitřní výpočtová teplota v obytných místnostech je v průměru 20°C. Podlahová plocha s velikostí 200 m<sup>2</sup> a materiálu dřevo + mirelon + beton ( $k = 1,86 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) má tepelnou ztrátu  $Q_p = 2,79 \text{ kW}$ . Střecha je vyplněna izolačním materiálem polystyrenem o 150 mm ( $k = 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) a sklonem 45°. Tepelná ztráta je  $Q_s = 0,63 \text{ kW}$ . Obvodové zdi tvoří cihly plné 450 mm a zateplení fasády polystyrenem o 100 mm. Tepelná ztráta je  $Q_z = 2,75 \text{ kW}$ . Dům má dohromady 13 plastových Euro oken cca. 35,1 m<sup>2</sup> ( $k = 1,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) o tepelných ztrátách  $Q_o = 0,63 \text{ kW}$  a 3 dveře  $Q_d = 0,63 \text{ kW}$ . Celková ztráta domu je  $Q_c = 10,5 \text{ kW}$  s přirozeným větráním, který se provádí otevíracími okny. Ve výpočtu se zohledňuje ohřev TV pro 4 uživatele s běžnou spotřebou (40 l/osobu a den). Dům bude vytápěn stávajícími otopnými tělesy v teplotním spádu 55/45°C (radiátory). U domu je volný pozemek o ploše 2 050 m<sup>2</sup>. Na základě zkušeností z regionu očekáváme běžnou horninu (normální pevná hornina nebo vodou nasycený sediment).

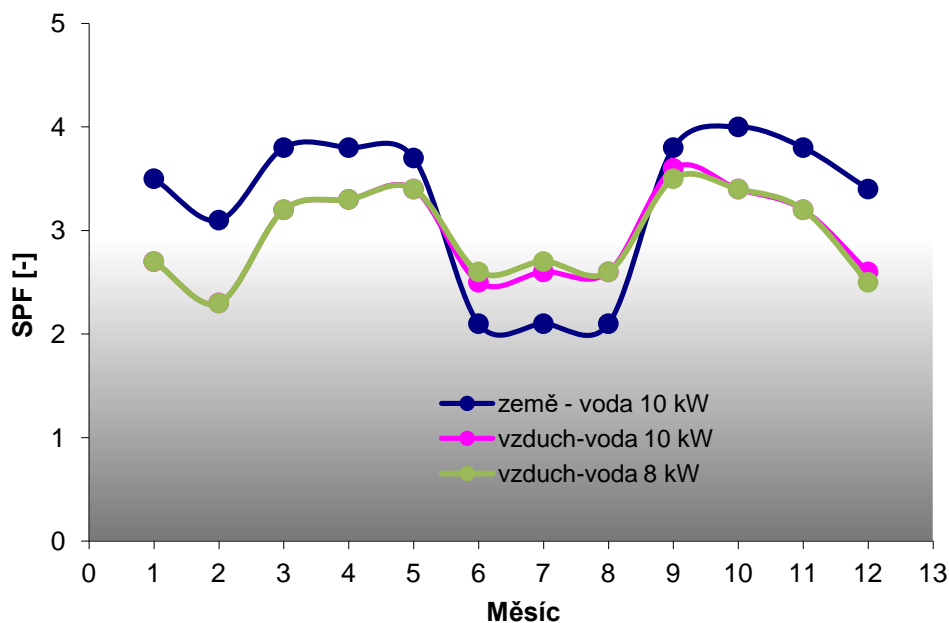
#### Určení velikosti tepelného čerpadla

Je nutné do dimenzování TČ zahrnout i zvednutí výkonu pro ohřev TV, tj.  $4 \cdot 0,2 \text{ kW} = 0,8 \text{ kW}$  pro čtyři osoby. Potřebný výkon kotelny je  $10,5 + 0,8 = 11,3 \text{ kW}$ . Z katalogu výrobce fa.Vaillant volím tepelné čerpadlo geoTHERM VWS 102/3 země-voda o výkonu 10 kW, elektrickém příkonu 3,2 kW(0/55°C) dle (grafu 1) pro variantu A a C. VWL 102/3 S o výkonu 10 kW vzduch-voda, elektrickém příkonu 3,8 kW (0/55°C) dle (grafu 2) jsem zvolil pro variantu B a VWL 82/3 S vzduch-voda o výkonu 8 kW a elektrickém příkonu 2,9 kW (0/55 °C) pro variantu C. V období nízkých teplot bude čerpadlo pro variantu C odbírat tepelnou energii z plošného kolektoru kvůli vyššímu COP než v případě TČ (vzduch - voda). Celkový výkon kotelny je 11,3 kW. Tepelné čerpadlo má vestavěný bojler o objemu 165 l, který bude potřebě čtyřčlenné rodiny plně postačovat.

Roční hodnocení SPF TČ pro varianty A ,B a C (tabulka výpočtů) geoTHERM VWS 102/3 země-voda, VWL 102/3 S a VWL 82/3 S vzduch-voda:

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Země-voda	3,5	3,1	3,8	3,8	3,7	2,1	2,1	2,1	3,8	4	3,8	3,4
Vzduch-voda	2,7	2,3	3,2	3,3	3,4	2,5	2,6	2,6	3,6	3,4	3,2	2,6
Vzduch-voda	2,7	2,3	3,2	3,3	3,4	2,6	2,7	2,6	3,5	3,4	3,2	2,5

Tabulka 3 SPF TČ země-voda a vzduch-voda



Graf 3 Roční průběh SPF TČ země-voda a vzduch-voda

#### Dimenzování zdroje tepla (země-voda)

Při dimenzování plošných kolektorů se vychází z chladicího výkonu tepelného čerpadla, z teoretického zisku kolektoru  $W/m^2$  a také roční energetické bilance. Na základě informací o pozemku je možno provést výpočet pro konkrétní podmínky. V případě, že nejsou tyto informace k dispozici, lze s dostatečnou rezervou počítat s výkonem  $16 W/m^2$ . Důležité je, aby hornina do hloubky uložení kolektoru (1,2 – 1,5 m) byla dobře kopatelná. V případě výskytu skály se vyplatí vhodnost použití plošného kolektoru přehodnotit. Parametry TČ geoTHERM VWS 102/3 při 0/55°C jsou 9,2 kW/3,2 kW (graf 1), COP = 2,9. Pro vytápěcí soustavu 55/45°C je potřebná plocha kolektoru dle:

parametry	topný výkon (kW)	el. příkon (kW)	COP (-)
při 0/35 °C	10,5	2,0	5,3
při 0/45 °C	10,0	2,8	3,6
při 0/55 °C	9,2	3,2	2,9
rozsah teplot	max. teplota topné vody 63 °C		

Tabulka 4 Parametry tepelného čerpadla geoTHERM VWS 102/3 (země-voda) [18]

Chladicí výkon:

$$Q_{ch} = Q_t - P$$

$$Q_{ch} = 9200 - 3200$$

$$Q_{ch} = 6000 W$$

Potřebná plocha kolektoru:

$$S = Q_{ch} / q_{pl}$$

$$S = 6000 / 16$$

$$S = 375 m^2$$

podloží	možný odběr	
	1800 hodin provozu	2400 hodin provozu
suchá nesoudržná hornina	10 W/m <sup>2</sup>	8 W/m <sup>2</sup>
zvodnělé štěrky a písky	20 - 30 W/m <sup>2</sup>	16 - 24 W/m <sup>2</sup>
protékající spodní voda, štěrky a písky	40 W/m <sup>2</sup>	32 W/m <sup>2</sup>

Tabulka 5 Směrné hodnoty pro návrh zemního plošného kolektoru [13]

### Dimenzování zdroje tepla (vzduch-voda)

Postupuje se stejným způsobem jako u zapojení země-voda. Potřebný výkon kotelný je  $10,5 + 0,8 = 11,3$  kW. Z katalogu výrobce volím VWL 102/3 o výkonu 8,7 kW, elektrickém příkonu 3,8 kW při tepelném spádu 0/55°C (graf 2). Tento provoz bude nejčastěji využíván pro vytápění a ohřev TV s ohledem na navrhovaný výkon a COP. Pro ohřev TV plně vyhovuje.

parametry	topný výkon (kW)	el. příkon (kW)	COP ( - )
při 0/35 °C	9,2	2,8	3,3
při 0/45 °C	8,8	3,1	2,8
při 0/55 °C	8,7	3,8	2,3
rozsah teplot	min. teplota vzduchu -15 °C, max. teplota topné vody 63 °C		

Tabulka 6 Parametry tepelného čerpadla VWL 102/3 S (vzduch-voda) [18]

Varianta C disponuje dvěma TČ. Přes jeden pracuje jako tepelné čerpadlo vzduch-voda a přes druhý jako tepelné čerpadlo země-voda. Řídící jednotka tepelného čerpadla pak vyhodnocuje, jakým způsobem bude zařízení efektivnější a podle toho volí primární okruh. Otopná soustava je tvořena běžnými radiátory.

### Úspora systému

Samotný výpočet ročních nákladů energie jsem provedl pomocí výpočetního nástroje, který vychází z technické normalizační informace TNI 73 0351 Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup, vydané ÚNMZ v roce 2014 (viz. kapitola 3.1). Ve výpočtu se zohledňuje konkrétní typ TČ, jeho charakteristiky výkonu a topného faktoru COP, teplotní úroveň vytápění (teplota otopné vody), přípravy teplé vody a bazénu. Výsledkem je potřeba elektrické energie na provoz TČ a celého systému, krytí potřeby tepla TČ a sezónní topný faktor SPF.[4]

Vybral jsem distributora elektrické energie Skupinu ČEZ. Dle jejich podmínek distribučních sazeb pro domácnost je vhodná sazba „Elektrické topení D57 d“. Neboť „D56 d Tepelné čerpadlo“ zaniklo po datu 31. 3. 2016. D57 d je dvoutarifová sazba pro vytápění topným spotřebičem a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin a sepsání výhodnější smlouvy na 3 roky.[5]

### Varianta A

Tepelný výkon za celý rok:

$$7,5 \text{ MWh} \quad \text{sCOP} = 3,5$$

([tabulka výpočtů](#))

Elektrický výkon na provoz TČ a celého systému:

NT

$$7,5 * 1\,718,08 = 12\,885,60 \text{ Kč}$$

Měsíční platby

$$12 * 515,94 = 6\,191,28 \text{ Kč/rok}$$

Nižší výsledek z výpočtů poplatku na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) – podle spotřeby

$$598,95 * 7,5 = 4\,492,13 \text{ Kč}$$

Celkem

$$12\,885,60 + 6\,191,28 + 4\,492,13 = \underline{23\,569 \text{ Kč/rok}}$$

### **Varianta B**

Tepelný výkon za celý rok:

$$9,1 \text{ MWh} \quad \text{sCOP} = 2,9$$

([tabulka výpočtů](#))

Elektrický výkon na provoz TČ a celého systému:

NT

$$9,1 * 1\,718,08 = 15\,634,53 \text{ Kč}$$

Měsíční platby

$$12 * 515,94 = 6\,191,28 \text{ Kč/rok}$$

Nižší výsledek z výpočtů poplatku na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) – podle spotřeby

$$598,95 * 9,1 = 5\,450,45 \text{ Kč}$$

Celkem

$$15\,634,53 + 6\,191,28 + 5\,450,45 = \underline{27\,276,26 \text{ Kč/rok}}$$

### **Varianta C**

Pro nejvhodněji zvolené období funkce primární strany jsem zvolil druh TČ země – voda pro tyto měsíce v roce: leden, únor, březen, duben, květen, září, říjen, listopad a prosinec. A pro TČ vzduch – voda: červen, červenec a srpen ([viz. graf 3](#)). V rámci výpočtu jsou zahrnuty všechny měsíce, byť otopné období není po celý rok, protože je potřeba i ohřevu TV.

Tepelný výkon za celý rok:

$$7,1 + 0,3 = 7,4 \text{ MWh} \quad \text{sCOP} = 3,1$$

([tabulka výpočtů](#))

Elektrický výkon na provoz TČ a celého systému:

NT

$$74 * 1\,718,08 = 12\,713,79 \text{ Kč}$$

Měsíční platby

$$12 * 515,94 = 6\,191,28 \text{ Kč/rok}$$

Nižší výsledek z výpočtů poplatku na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) – podle spotřeby

$$598,95 * 7,4 = 4\,432,23 \text{ Kč}$$

Celkem

$$12\,713,79 + 6\,191,28 + 4\,432,23 = \underline{23\,337,3 \text{ Kč/rok}}$$

## 4.2 Rodinný dům – pasivní standard

Druhý rodinný pasivní dvoupatrový dům se nachází v části města Sokolov ve 402 m nad mořem, okres Sokolov, Karlovarský kraj, ulice tovární 894. Z důvodu potřeby základních parametrů pro výpočet bilance TČ je potřeba znát celkovou tepelnou ztrátu budovy  $\Phi_i$ , která se počítá součtem  $\Phi_{T,i}$  (tepelná ztráta prostupem) a  $\Phi_{V,i}$  (tepelná ztráta větráním). Dům je nepodsklepen a postaven ve svahu s rovinatou spodní částí, ve které se nachází zahrada. Celková plocha pozemku je 400 m<sup>2</sup>. Zastavěná plocha pozemku je 108 m<sup>2</sup>. Návrhová teplota pro oblast Sokolovsko je -15°C [20] a vnitřní výpočtová teplota v obytných místnostech je v průměru 20°C. Podlahová plocha s velikostí 218 m<sup>2</sup> a materiálu lamino (R=0,05)+beton 70+PPS+beton (k = 0,34 W/m<sup>2</sup>.K) má tepelnou ztrátu  $Q_p = 0,55$  kW. Střecha je vystavěna izolačním materiálem značky Thermodach (stabilizovaný, tvrdý hydrofobní polystyren se samozhášivou úpravou, vypěňovaný ve speciálních formách) o 150 mm (k = 0,12 W/m<sup>2</sup>.K) a sklonem 40°. Teplená ztráta je  $Q_s = 0,41$  kW. Obvodové zdi tvoří tvárnice značky Medmax 350 z materiálu Neopor (k = 0,14 W/m<sup>2</sup>.K). Tepelná ztráta je  $Q_z = 0,9$  kW. Dům má dohromady 10 plastových Euro oken cca. 16,8 m<sup>2</sup> (k = 1,1 W/m<sup>2</sup>.K) o tepelných ztrátách  $Q_o = 0,72$  kW a 2 dveře  $Q_d = 0,17$  kW. Celková ztráta domu je  $Q_c = 2,76$  kW s přirozeným větráním, který se provádí otevíracími okny. Ve výpočtu se zohledňuje ohřev TV pro 5 uživatele s běžnou spotřebou (40 l/osobu a den). Dům je vytápěn podlahovým topením v teplotním spádu 35/25°C. Na základě zkušeností z regionu očekáváme běžnou horninu (normální pevná hornina nebo vodou nasycený sediment).

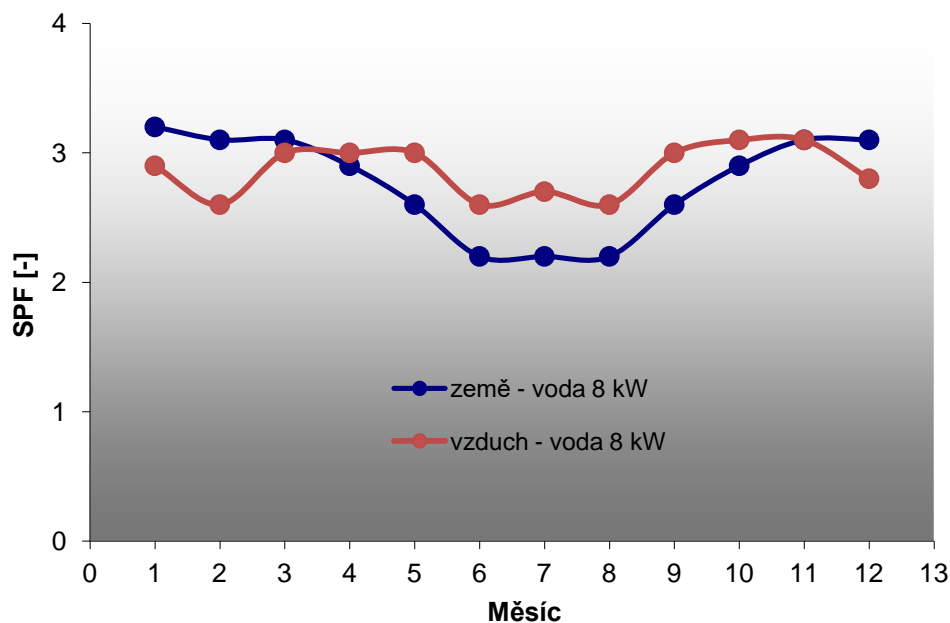
### Určení tepelného čerpadla

Pro tento dům s tepelnou ztrátou a ohřevem TV pro pětičlennou rodinu tj.  $5 * 0,2 = 1,0$  kW je potřeba výkonu TČ 3,76 kW. U této varianty předpokládáme odběr tepla ze vzduchu a svíslého kolektoru. Z katalogu výrobce volím tepelné čerpadlo pro variantu B VWL 62/3 S vzduch-voda o výkonu 5,5 kW, elektrickém příkonu 1,5 kW, COP = 3,7 (0/35°C) (graf 4), pro variantu C VWL 102/3 S vzduch-voda o výkonu 2,6 kW, elektrickém příkonu 9,9 kW, COP = 3,8 (0/35°C) (graf 5) a pro varianty A a C VWS 82/3 země-voda o výkonu 6 kW, elektrickém příkonu 1,4 kW a COP = 4,3 (0/35°C) (graf 3). U variant A i B je zajištěný monovalentní provoz. V případě varianty C bude v období nízkých teplot (leden, únor, březen, listopad a prosinec) čerpadlo odbírat tepelnou energii z vrtu (země – voda) kvůli vyššímu COP než v případě TČ (vzduch - voda). Provoz měsíců v roce (duben, květen, červenec, srpen, září a říjen). Celkový výkon kotelny je 3,76 kW, elektrický příkon (TČ příkon max.) Tepelné čerpadlo má vestavěný bojler o objemu 165 l, který bude potřebě pětičlenné rodiny plně postačovat.

Roční hodnocení SPF TČ pro varianty A, B a C (tabulka výpočtů) geoTHERM VWS 82/3 země-voda, VWL 82/3 S vzduch-voda:

měsíc	SPF											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Země-voda	3,2	3,1	3,1	2,9	2,6	2,2	2,2	2,2	2,6	2,9	3,1	3,1
Vzduch-voda	2,9	2,6	3	3	3	2,6	2,7	2,6	3	3,1	3,1	2,8

Tabulka 7 SPF TČ země-voda a vzduch-voda



Graf 4 Roční průběh SPF TČ země-voda a vzduch-voda

#### Dimenzování zdroje tepla (země-voda)

Při dimenzování vrtů se vychází z chladicího výkonu tepelného čerpadla, z teoretického zisku vrtu W/m a roční energetické bilance. Většinou lze v ČR uvažovat s „normální horninou“ s 1800 hodinovým provozem (tabulka 9). U tohoto zapojení na primární straně předpokládáme odběr tepla z vrtu, pro pokrytí tepelných ztrát domu v určeném časovém období kvůli snížení finanční částky. U vytápěcí soustavy se spádem 55/45°C se v praxi osvědčilo uvažovat chladicí výkon TČ při 0/45°C, u soustav 45/35°C za podmínek 0/35°C. Pro ohřev TV plně vyhovuje. Parametry TČ geoTHERM VWS 82/3 země-voda při 0/35°C jsou 5,9 kW/1,4 kW, COP=4,2. (graf 3) [18]

parametry	topný výkon (kW)	el. příkon (kW)	COP (-)
při 0/35 °C	5,9	1,4	4,2
při 0/45 °C	5,7	1,6	3,6
při 0/55 °C	5,6	2,1	2,7
rozsah teplot	max. teplota topné vody 63 °C		

Tabulka 8 Parametry tepelného čerpadla geoTHERM VWS 82/3 (země-voda) [18]

Chladicí výkon:

$$Q_{ch} = Q_t - P$$

$$Q_{ch} = 5900 - 1400$$

$$Q_{ch} = 4500 \text{ W}$$

Potřebná hloubka vrtu:

$$H = Q_{ch} / q_{vrt}$$

$$H = 4500 / 60$$

$$H = 75 \text{ m}$$



Podloží	možný odběr	
	1800 hodin provozu	2400 hodin provozu
obecné směrné hodnoty:		
horší podloží (suché sedimenty) ( $\lambda < 1,5$ W/(mK))	25 W/m	20 W/m
normální pevná hornina nebo vodou nasycený sediment ( $\lambda < 1,5 - 3,0$ W/(mK))	60 W/m	50 W/m
pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí ( $\lambda < 1,5 - 3,0$ W/(mK))	84 W/m	70 W/m
horniny:		
suché štěrky a písky	< 25 W/m	< 20 W/m
zvodnělé štěrky a písky	65 - 80 W/m	55 - 65 W/m
protékající spodní voda, štěrky a písky	80 - 100 W/m	80 - 100 W/m
vlhký jííl	35 - 50 W/m	30 - 40 W/m
masivní vápenec	55 - 70 W/m	45 - 60 W/m
pískovec	65 - 80 W/m	55 - 65 W/m
kyselé vyvřeliny (žula)	65 - 85 W/m	55 - 70 W/m
zásadité vyvřeliny (čedič)	40 - 65 W/m	35 - 55 W/m
rula	70 - 85 W/m	60 - 70 W/m

Tabulka 9 Směrné hodnoty pro návrh zemního vrtu [13]

#### Dimenzování zdroje tepla (vzduch-voda)

Postupuje se stejným způsobem jako u zapojení země-voda. Potřebný výkon kotelny je  $2,76 + 1,0 = 3,76$  kW. Z katalogu výrobce volím VWL 62/3 S o výkonu 5,6 kW, elektrickém příkonu 1,6 kW při tepelném spádu  $0/35^{\circ}\text{C}$  a  $\text{COP} = 3,5$  (graf 4) pro variantu B a s ohledem na lepší COP v daných měsících (graf 4 této kapitoly) volím VWL 102/3 S pro variantu C (graf 5). Tento provoz bude nejčastěji využíván pro vytápění a ohřev TV s ohledem na navrhovaný výkon a COP. Pro ohřev TV plně vyhovuje.

Varianta C má dvě zařízení s různými typy primárních okruhů. Přes jeden pracuje jako tepelné čerpadlo vzduch-voda a přes druhý, jako tepelné čerpadlo země-voda se svislým kolektorem. Řídící jednotka TČ pak vyhodnocuje, jakým způsobem bude zařízení efektivnější a podle toho volí primární okruh. Otopná soustava je tvořena podlahovým topením.

#### Úspora systému

##### **Varianta A**

Tepelný výkon za celý rok:

3 MWh sCOP = 2,9

([tabulka výpočtů](#))

Elektrický výkon na provoz TČ a celého systému:

NT

$3 * 1\,718,08 = 5\,154,24$  Kč

Měsíční platby

$$12 * 515,94 = 6\,191,28 \text{ Kč/rok}$$

Nižší výsledek z výpočtů poplatku na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) – podle spotřeby

$$598,95 * 3 = 1\,796,85 \text{ Kč}$$

Celkem

$$154,24 + 6\,191,28 + 1\,796,85 = \underline{13\,142,37 \text{ Kč/rok}}$$

### **Varianta B**

Tepelný výkon za celý rok:

$$3 \text{ MWh} \quad \text{sCOP} = 2,9$$

([tabulka výpočtů](#))

Elektrický výkon na provoz TČ a celého systému:

NT

$$3 * 1\,718,08 = 5\,154,24 \text{ Kč}$$

Měsíční platby

$$12 * 515,94 = 6\,191,28 \text{ Kč/rok}$$

Nižší výsledek z výpočtů poplatku na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) – podle spotřeby

$$598,95 * 3 = 1\,796,85 \text{ Kč}$$

Celkem

$$154,24 + 6\,191,28 + 1\,796,85 = \underline{13\,142,37 \text{ Kč/rok}}$$

### **Varianta C**

Pro nejvhodněji zvolené období funkce primární strany jsem zvolil druh TČ země – voda pro tyto měsíce v roce: leden, únor, březen, listopad a prosinec. A pro TČ vzduch – voda: duben, květen, červen, červenec, srpen, září a říjen (*viz.graf 5*). V rámci výpočtu jsou zahrnuty všechny měsíce byť otopné období není po celý rok, protože je potřeba i ohřevu TV.

Tepelný výkon za celý rok:

$$1,6 + 1,3 = 2,9 \text{ MWh} \quad \text{sCOP} = 3$$

([tabulka výpočtů](#))

Elektrický výkon na provoz TČ a celého systému:

NT

$$2,9 * 1\,718,08 = 4\,982,43 \text{ Kč}$$

Měsíční platby

$$12 * 515,94 = 6\,191,28 \text{ Kč/rok}$$

Nižší výsledek z výpočtů poplatku na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) – podle spotřeby

$$598,95 * 2,9 = 1\,736,96 \text{ Kč}$$

Celkem

$$4\,982,43 + 6\,191,28 + 1\,736,96 = \underline{12\,910,67 \text{ Kč/rok}}$$

## 5 Výsledky hodnocení TČ

### 5.1 Výsledek úspory u Rodinného domu – běžný standard (11,3 kW)

Náklady TČ země-voda varianta A

Celkem = 23 569 Kč/rok

Náklady TČ vzduch-voda varianta B

Celkem = 27 276,26 Kč/rok

Náklady HTČ země-voda a vzduch-voda varianta C

Celkem = 23 337,3 Kč/rok

Pro porovnání celkových nákladů HTČ jsem použil TČ země-voda varianty B

Náklady TČ (Varianta B) – Náklady HTČ (Varianta C) = Úspora za rok

$27\,276,26 - 23\,337,3 = \underline{3\,938,96 \text{ Kč/rok}}$

Průměrná životnost TČ je 15 roků.

Úspora za rok \* 15 roků = Úspora za 15 roků

$3\,938,96 * 15 = \underline{59\,084,4 \text{ Kč}}$

Úspora tepleného výkonu za rok (za 15 roků)

$9,1 - 7,4 = 1,7 \text{ MWh (25,5 MWh)}$

### 5.2 Výsledek úspory u Rodinného domu – pasivní standard (3,76 kW)

Náklady TČ země-voda varianta A

Celkem = 13 142,37 Kč/rok

Náklady TČ vzduch-voda varianta B

Celkem = 13 142,37 Kč/rok

Náklady HTČ země-voda a vzduch-voda varianta C

Celkem = 12 910,67 Kč/rok

Pro porovnání celkových nákladů HTČ jsem použil TČ varianty A,B

Náklady TČ (Varianta A,B) - Náklady HTČ (Varianta C) = Úspora za rok

$13\,142,37 - 12\,910,67 = \underline{231,70 \text{ Kč/rok}}$

Průměrná životnost TČ je 15 roků.

Úspora za rok HTČ \* 15 roků = Úspora za 15 roků

$231,70 * 15 = \underline{3\,475,50 \text{ Kč}}$

Úspora tepleného výkonu HTČ za rok (za 15 roků)

$3 - 2,9 = 0,1 \text{ MWh (1,5 MWh)}$

## 6 Závěr

Hybridní zdroj tepla vzniká kombinací více různých nízkopotencionálních zdrojů energie. Předpokladem zájmu o hybrid, jsou jeho přednosti v rámci poskytování jednotlivých zdrojů, přičemž jsou potlačovány jejich nedostatky. To se projeví například v případě, kdy jeden zdroj pracuje optimálně, zatímco druhý s nižší účinností. Díky této kombinaci, může čerpadlo pracovat velmi úsporně za všech povětrnostních podmínek. Například v mrazech, kdy běžná tepelná čerpadla typu vzduch - voda již nejsou tolik efektivní, dojde k přepnutí druhého primárního zdroje. Zařízení se postará také o mimořádně úsporný ohřev teplé vody v domě.

Další příčinou zájmu o hybridní jednotky, jsou vlastnosti jednotlivých zdrojů tepla a napojených otopných soustav. Všechny stávající zdroje tepla jsou optimalizovány na provoz v určitém výkonovém rozsahu, při určitých teplotních a průtokových parametrech. Rovněž tak napojené otopné soustavy mají své optimální provozní parametry.

V případě nové výstavby, kdy je nutno instalovat nový zdroj tepla i novou otopnou soustavu, nalezne zkušený projektant ideální variantu vazby mezi zdrojem tepla a soustavou.

V mém případě jsem udělal srovnání s každým vzorovým typem rodinného domu s klasickým zapojením TČ, který je v porovnání nejméně efektivní. Z výsledků, jsem došel k závěru, že s ohledem na pořizovací náklady, které jsou v řádu statisíců, v kombinaci dvou různých druhů TČ, není v pasivním domě, tak zajímavá úspora, aby se vyplatila její instalace. Možnost optimalizovat celý systém u pasivního domu je vzhledem k vysoké potřebě tepla na ohřev TV, snížení teploty teplé vody například na 45°C. Následek je snížení tepelného komfortu uživatelů a také hygienických požadavků v podobě rizika výskytu legionel ( $TV_{\min.} 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Viditelná finanční i tepelná úspora je nejzajímavější v případě, kdy investor přechází z méně výhodného zdroje tepla, z klasických radiátorů na podlahové vytápění a sníží tepelné ztráty domu na možné minimum. Zejména se jedná o velké objekty s velmi vysokou tepelnou ztrátou.

Výhodou HTČ je i možnost úvahy nad záložním zdrojem tepla, při nečekaném výpadku jednoho z TČ, navzdory nižší efektivitě a i větší spotřebě energie po dobu obnovy druhého TČ. Musí se přihlídnout i na skutečnost, že životnost TČ se úměrně prodlužuje v závislosti na době provozu, která není celoroční a tím zvýší úspory celého systému.

Tato práce neudává náklady na zemní či jiné instalační práce TČ, které jsou ale zásadní a ovlivní ekonomii celého systému. Bylo by zajímavé, se nadále této problematice věnovat a zhodnotit návratnost nákladů, zejména na vrtací práce, které jsou oproti klasickému TČ nižší, z důvodu potřeby nižšího sezónního výkonu HTČ.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] <http://www.nukleon.cz/hybridni-tepelna-cerpadla/hpaw18h/>
- [2] [http://eurosystemy.cz/katalog/tepelna-cerpadla/regulus\\_katalog\\_tepelna\\_cerpadla\\_prospekt\\_podlahove\\_topeni\\_cenik.pdf](http://eurosystemy.cz/katalog/tepelna-cerpadla/regulus_katalog_tepelna_cerpadla_prospekt_podlahove_topeni_cenik.pdf)
- [3] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10347-tepelne-cerpadlo-a-dalsi-zdroje-tepla-z-pohledu-rizeni-topneho-systemu>
- [4] Matuška T., Šourek B. : Bilance TČ – Zjednodušená měsíční metoda pro bilancování soustav s tepelnými čerpadly.  
[http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page\\_id=161](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=161)
- [5] [https://www.cez.cz/cz/cs/podpora/ceniky.html?gclid=EAIAIQobChMIgr7ssbPg3gIVV4fVCh2plAiREAAAYASAAEgLC\\_D\\_BwEhttps://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10347-tepelne-cerpadlo-a-dalsi-zdroje-tepla-z-pohledu-rizeni-topneho-systemu](https://www.cez.cz/cz/cs/podpora/ceniky.html?gclid=EAIAIQobChMIgr7ssbPg3gIVV4fVCh2plAiREAAAYASAAEgLC_D_BwEhttps://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10347-tepelne-cerpadlo-a-dalsi-zdroje-tepla-z-pohledu-rizeni-topneho-systemu)
- [6] <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energi-i-tzb-info>
- [7] Matuška T., Sedlář J., Straka T. – Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy.
- [8] Martin Kubík., vedoucí BP Ing.Libor Chroboczek 2009 – Bakalářská práce – Zhodnocení v současnosti vyráběných tepelných čerpadel.
- [9] Bc. Robert Netrval., vedoucí DP Ing.Hana Benešová 2014 – Diplomová práce – Analýza provozu tepelného čerpadla.
- [10] Viktor Masopust., vedoucí BP Ing.Lubomír Musálek 2018 – Bakalářská práce – Připojení a dimenzování tepelného čerpadla k zadanému objektu.
- [11] Kateřina Španihelová., vedoucí BP Ing.Jiří Hejčík,Ph.D. 2012 – Bakalářská práce – Metodika zkoušení tepelných čerpadel.
- [12] Antonín Žeravík. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. 1. vyd. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.
- [13] Robert Karlík, 1976- – Tepelné čerpadlo pro váš dům. vyd. Praha Grada 2009 s. ISBN 978-80-247-2720-2
- [14] Karel Srdečný, Jan Truxa. EKOWATT 2009 - Teplená čerpadla
- [15] Jan Navrátil. 2006, Domácí kotel a tepelné čerpadlo s. ISBN 80-902244-1-5
- [16] [https://eurosystemy.cz/katalog/tepelnacerpadla/reguluskatalog\\_tepelna\\_cerpadla\\_prospekt\\_podlahove\\_topeni\\_cenik.pdf](https://eurosystemy.cz/katalog/tepelnacerpadla/reguluskatalog_tepelna_cerpadla_prospekt_podlahove_topeni_cenik.pdf)

- [17] TNI 73 0351 Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup
- [18] <https://www.kvalitni-tepelna-cerpadla.cz/wp-content/uploads/file/pp-kl-01-e2-ver-9-geotherm.pdf>
- [19] Pramen: Elektrotepelná technika [Zdeněk Hradílek, Ilona Lázničková, Vladimír Král]
- [20] <https://www.vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypočty/25-venkovní-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [21] <http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>
- [22] <https://vetrani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vetrani-klimatizace/9538-dopad-vymeny-ekologickych-chladiv-na-chladici-techniku>
- [23] <http://www.elektroprumysl.cz/energetika/snizeni-ztrat-pomoci-regulace-otacek-motoru>
- [24] <https://www.kvalitni-tepelna-cerpadla.cz/wp-content/uploads/file/pp-kl-01-e2-ver-9-geotherm.pdf>

# Přílohy:

## 1.1 Zjednodušená měsíční bilance tepelné soustavy s TČ BilanceTC 2017/v2

### Bilance TC 2017/v2

**Měsíční hodnoty tepla  $Q_p$**

"Vložit měsíční údaje."

Lze zadat potřebu tepla v dané aplikaci po jednotlivých měsících, stanovenou externím výpočtem, např. v rámci hodnocení energetické náročnosti budovy

**Tepelná ztráta**

Výpočtová (návrhová) tepelná ztráta budovy, pro návrhové podmínky definované níže (návrhová vnitřní teplota, návrhová venkovní teplota).

**Korekční součinitel**

Hodnota se automaticky doplňuje volbou energetického standardu budovy. Díky korekčnímu součiniteli se roční potřeba tepla může přiblížit reálné potřebě.

**Druh TČ**

Druh tepelného čerpadla, vstupuje do výpočtu, ovlivňuje celoročně teplotní parametry na výparníku.

**Topný výkon**

Hodnoty topného výkonu pro kombinaci teploty na vstupu do výparníku  $t_{v1}$  a teploty na výstupu z kondenzátoru  $t_{k2}$  stanovené v souladu s ČSN EN 14511.

$t_{em}$  [°C]

Střední teplota vzduchu v daném měsíci

$Q_p$  [MWh]

Potřeba tepla  $Q_p$ , která má být kryta TČ za rok.

$Q_{tc}$  [MWh]

Teplo dodané TČ  $Q_{tc}$  pro krytí potřeby tepla za rok.

$Q_{zz}$  [MWh]

Teplo dodané záložním zdrojem  $Q_{zz}$  pro krytí potřeby tepla, uvažuje se elektrický dohřev za rok.

**Teplota přívodní vody**

Návrhová teplota přívodní otopné vody do otopné soustavy.

**Teplota vratné vody**

Návrhová teplota vratné otopné vody do otopné soustavy.

**Měsíční hodnoty tepla  $Q_p$**

"Vypočítat ze zadaných údajů."

měsíční potřeby tepla jsou vypočteny z údajů zadaných pod tabulkou měsíčních potřeb.

**Návrhová vnitřní teplota**

Výpočtová teplota vnitřního vzduchu, pro kterou byla stanovena tepelná ztráta, zároveň je uvažována jako průměrná teplota v otopném období.

**Návrhová venkovní teplota**

Výpočtová teplota venkovního vzduchu, pro kterou byla stanovena tepelná ztráta, výpočtové teploty v oblastech ČR se pohybují mezi -12 až -21 °C.

**Přírážka na ztráty**

Hodnota zohledňuje míru energetické ztráty rozvodů a prvků sdílení otopné soustavy.

**Příkon čerpadel**

Celkový provozní elektrický příkon oběhových čerpadel

**Topný faktor**

Hodnoty topného faktoru pro kombinaci teploty na vstupu do výparníku  $t_{v1}$  a teploty na výstupu z kondenzátoru  $t_{k2}$  stanovené v souladu s ČSN EN 14511.

**Druh teplosměnných ploch**

Podlahové vytápění  
Otopná tělesa  
Teplovzdušné vytápění

**Potřeba el.energie**

Celková potřeba elektrické energie soustavy v MWh/rok

**Sezónní topný faktor**

Celkový sezónní topný faktor celé soustavy (roční) stanovený jako podíl celkové potřeby tepla aplikace a potřeby elektrické energie soustavy

$\tau_{TC}$  [h]

Doba provozu tepelného čerpadla za rok.

SPF [-]

Sezónní topný faktor celého systému SPF za rok

$E_{sys}$  [MWh]

Celková spotřeba elektrické energie celé soustavy  $E_{sys}$  zahrnuje spotřebu elektrické energie tepelného čerpadla, pomocné energie a záložního zdroje tepla.

**Grafické znázornění**

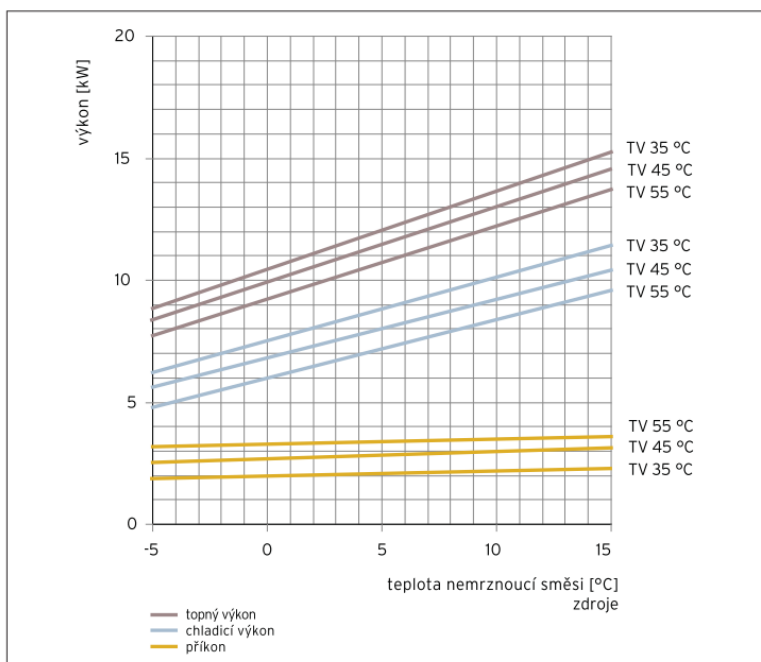
Výsledky jsou doplněny grafickou formou bilance potřeby tepla a potřeby elektrické energie.

## 1.2 Diagramy k dimenzování TČ firmy Vaillant geoTHERM

### 1.2.1 Kraslice – běžný standard

Tepelná čerpadla země/voda

VWS 101/3  
VWS 102/3  
VWS 103/3  
VWS 104/3



Graf 1 Průběh výkonu na teplotě nemrznoucí směsi zdroje [18]

Hodnoty topného výkonu a příkonu:

VWS 102/3 země x voda		-5	0	10	15
35 °C	Topný výkon	8,9	10,5	13,7	15,2
	Příkon	1,9	2	2,1	2,3
45 °C	Topný výkon	8,3	9,9	13	14,5
	Příkon	2,6	2,7	3	3,1
55 °C	Topný výkon	7,8	9,2	12,2	13,8
	Příkon	3,1	3,2	3,5	3,6

Tabulka 1 Topných výkonů a příkonů

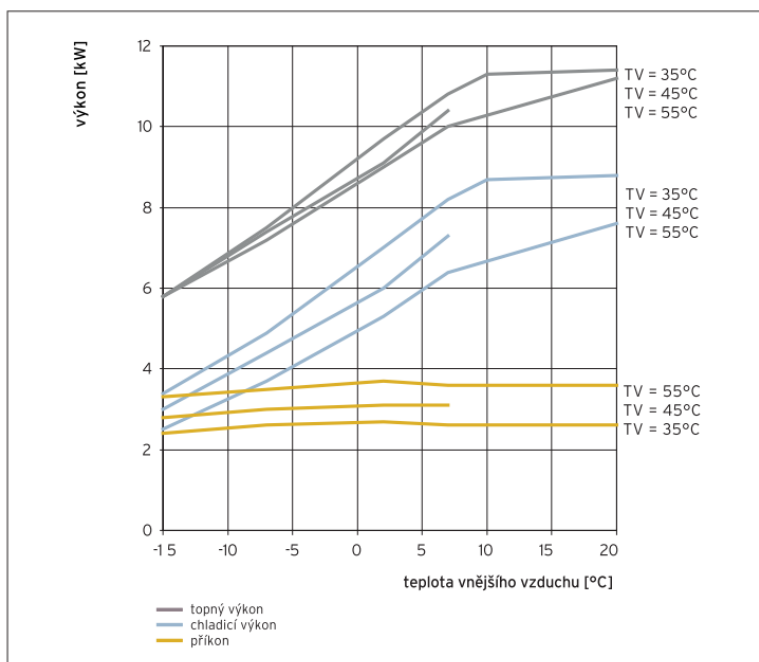
Vypočtený COP (1.1):

VWS 102/3 země x voda				
COP	-5	0	10	15
35 °C	4,7	5,3	6,5	6,6
45 °C	3,2	3,7	4,3	4,7
55 °C	2,5	2,9	3,5	3,8

Tabulka 2 COP



Tepelná čerpadla vzduch/voda

VWL 102/3 S  
VWL 101/3 S

Graf 2 Průběh výkonu na teplotě vnějšího vzduchu [18]

Hodnoty topného výkonu a příkonu:

VWL 102/3 S vzduch x voda		-15	-7	7	15
35 °C	Topný výkon	5,9	7,4	11	11,5
	Příkon	2,5	2,5	2,6	2,6
45 °C	Topný výkon	5,9	7,3	10,5	11
	Příkon	3	3	3,1	3,1
55 °C	Topný výkon	5,9	7,1	10	10,8
	Příkon	3,5	3,5	3,7	3,7

Tabulka 3 Topných výkonů a příkonů

Vypočtený COP (1.1):

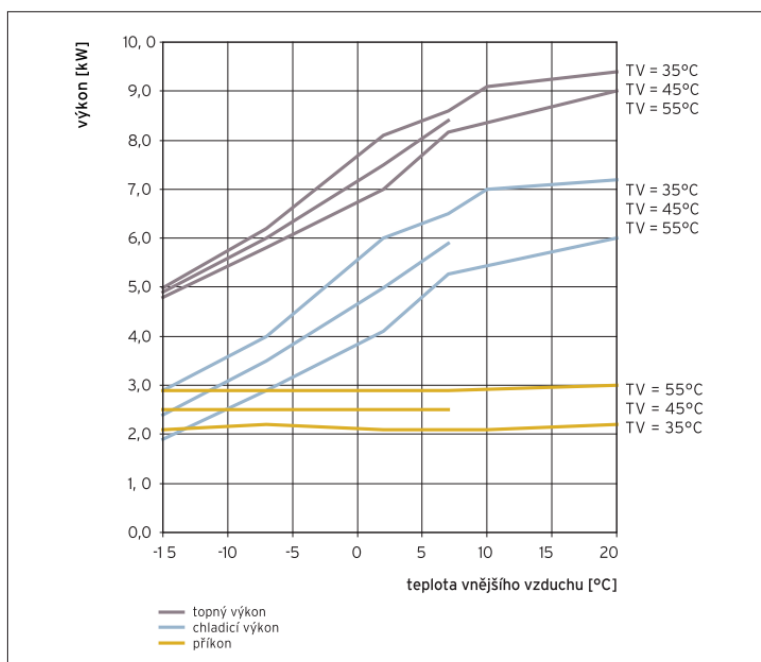
VWL 102/3 S vzduch x voda				
COP	-15	-7	7	15
35 °C	2,4	3,0	4,2	4,4
45 °C	2,0	2,4	3,4	3,5
55 °C	1,7	2,0	2,7	2,9

Tabulka 4 COP

Tepelná čerpadla vzduch/voda

VWL 82/3 S

VWL 81/3 S



Graf 3 Průběh výkonu na teplotě vnějšího vzduchu [18]

Hodnoty topného výkonu a příkonu:

VWL 82/3 S vzduch x voda		-15	-7	7	15
35 °C	Topný výkon	5	6,1	8,7	9,3
	Příkon	2,1	2,2	2,1	2,2
45 °C	Topný výkon	4,9	6	8,5	9
	Příkon	2,5	2,5	2,5	2,6
55 °C	Topný výkon	4,8	5,8	8,3	8,8
	Příkon	2,8	2,9	2,9	3

Tabulka 5 Topných výkonů a příkonů

Vypočtený COP (1.1):

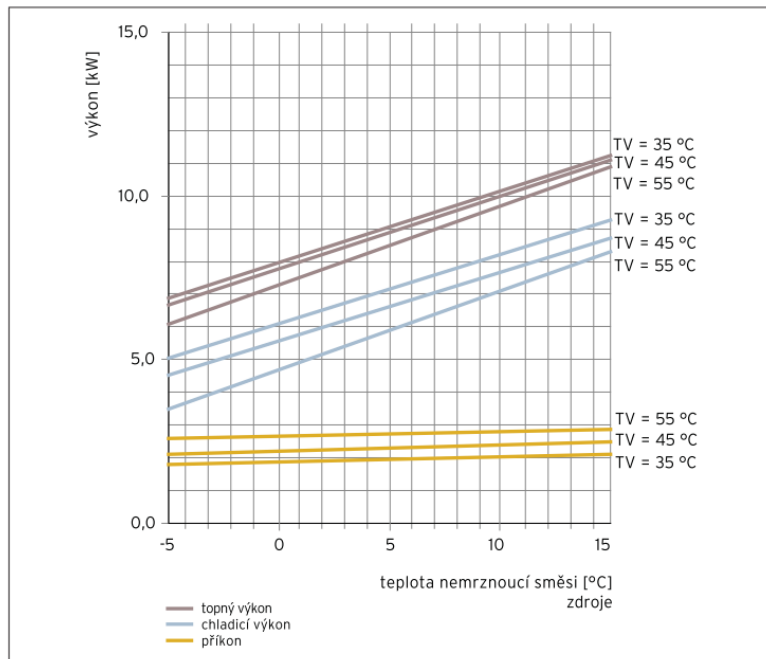
VWL 82/3 S vzduch x voda				
COP	-15	-7	7	15
35 °C	2,4	2,8	4,1	4,2
45 °C	2,0	2,4	3,4	3,5
55 °C	1,7	2,0	2,9	2,9

Tabulka 6 COP

## 1.2.2 Sokolov pasivní – standard

Tepelná čerpadla země/voda

VWS 81/3  
VWS 82/3  
VWS 83/3  
VWS 84/3



Graf 4 Průběh výkonu na teplotě nemrzoucí směsi zdroje [18]

Hodnoty topného výkonu a příkonu:

VWS 82/3 země x voda		-5	2	7	15
35 °C	Topný výkon	7	8,3	9,3	11,2
	Příkon	1,8	1,9	2	2,1
45 °C	Topný výkon	6,7	8,2	9,2	11,1
	Příkon	2,1	2,2	2,3	2,5
55 °C	Topný výkon	6	7,9	9	10,9
	Příkon	2,7	2,8	2,9	2,9

Tabulka 7 Topných výkonů a příkonů

Vypočtený COP (1.1):

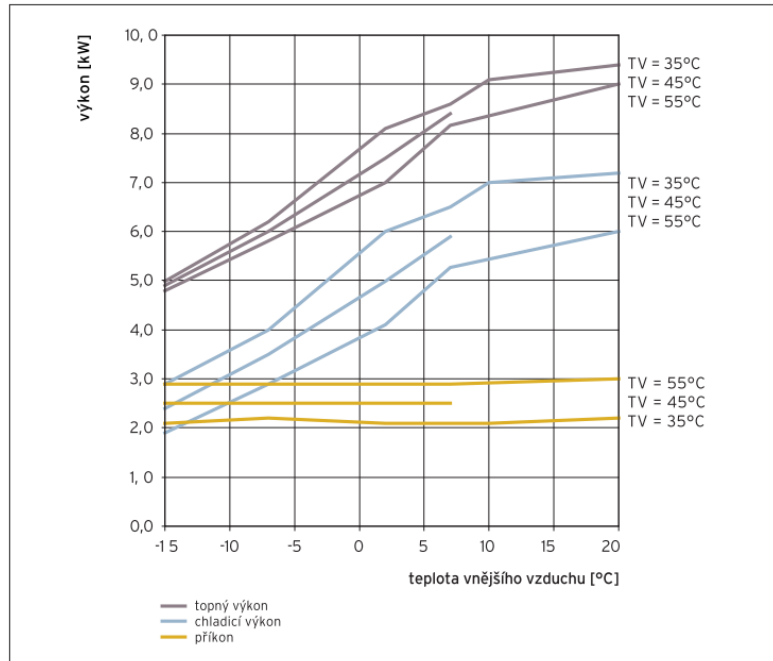
VWS 82/3 země x voda				
COP	-5	2	7	15
35 °C	3,9	4,4	4,7	5,3
45 °C	3,2	3,7	4,0	4,4
55 °C	2,2	2,8	3,1	3,8

Tabulka 8 COP

Tepelná čerpadla vzduch/voda

VWL 82/3 S

VWL 81/3 S



Graf 5 Průběh výkonu na teplotě vnějšího vzduchu [18]

Hodnoty topného výkonu a příkonu:

VWL 82/3 S vzduch x voda		-15	-7	7	15
35 °C	Topný výkon	5	6,1	8,7	9,3
	Příkon	2,1	2,2	2,1	2,2
45 °C	Topný výkon	4,9	6	8,5	9
	Příkon	2,5	2,5	2,5	2,6
55 °C	Topný výkon	4,8	5,8	8,3	8,8
	Příkon	2,8	2,9	2,9	3

Tabulka 9 Topných výkonů a příkonů

Vypočtený COP (1.1):

VWL 82/3 S vzduch x voda				
COP	-15	-7	7	15
35 °C	2,4	2,8	4,1	4,2
45 °C	2,0	2,4	3,4	3,5
55 °C	1,7	2,0	2,9	2,9

Tabulka 10 COP

## **1.3 Tabulky výpočtů SPF a výkonů TČ**

### **1.3.1 Kraslice – běžný standard**

Varianta A, B, C

## Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem

verze 2017/01

Akce: Běžný standard - TČ varianta A  
 Adresa: Kraslice  
 Kontakt:

Vypracoval: Jan Boštík  
 Datum: 25.3.2019

## Příprava teplé vody (TV)

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]
Led	337
Úno	305
Bře	337
Dub	327
Kvě	337
Čer	327
Čvc	253
Srp	253
Zář	327
Říj	337
Lis	327
Pro	337

Počet osob 4 os  
 Potřeba teplé vody 40 l/os.d  
 Teplota SV 10 °C  
 Teplota TV 55 °C  
 Letní snížení potřeby 25 %  
 Přirážka na ztráty 30 %  
 Centrální zásobníkový ohřev s říz

## Vytápění (VYT)

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]
Led	3744
Úno	3191
Bře	2865
Dub	2024
Kvě	1178
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	1106
Říj	2057
Lis	2858
Pro	3428

Běžný standard  
 Tepelná ztráta 10,5 kW  
 Návrhová vnitřní teplota 20 °C  
 Návrhová venk. teplota -15 °C  
 Teplota přívodní vody 55 °C  
 Teplota vratné vody 45 °C  
 Přirážka na ztráty 5 %  
 Korekční součinitel 0,75

## Bazén (BV)

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led	
Úno	
Bře	
Dub	
Kvě	
Čer	
Čvc	
Srp	
Zář	
Říj	
Lis	
Pro	

Vnější zakrývání  
 Plocha bazénu 10 m<sup>2</sup>  
 Provozní doba 12 h  
 Teplota vody (den) 28 °C  
 Teplota vzduchu (den) 30 °C  
 Teplota vody (noc) 24 °C  
 Teplota vzduchu (noc) 20 °C  
 Počet návštěvníků 100 os/m

## Specifikace tepelného čerpadla

Příprava teplé vody a vytápění

Druh: Země-voda Počet: 1 Typ: Vaillant geoTHERM VWS 102/3

Topný výkon  $\Phi$  [kW]

## Topný faktor COP

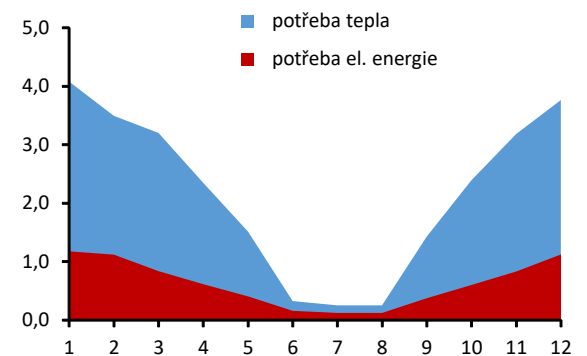
$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	10	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	10	15	Zvýšení teploty TV	5 K
35	8,9	10,5	13,7	15,2	35	4,7	5,3	6,5	6,6	Zvýšení teploty VYT,BV	2 K
45	8,3	9,9	13,0	14,5	45	3,2	3,7	4,3	4,7	Otopná tělesa	
55	7,8	9,2	12,2	13,8	55	2,5	2,9	3,5	3,8	Příkon čerpadel TV,BV	30 W
60	7,3	8,7	11,5	13,1	60	1,6	1,9	2,3	2,8	Příkon čerpadel VYT	30 W

## Výsledky výpočtu

## Souhrnné výsledky

Měsíc	$t_{em}$ °C	$Q_p$ MWh	$Q_{TC}$ MWh	$Q_{ZZ}$ MWh	$E_{sys}$ MWh	$\tau_{TC}$ h	SPF
Led	1,8	4,1	4,1	0,00	1,176	417	3,5
Úno	2,7	3,5	3,5	0,00	1,119	365	3,1
Bře	6,3	3,2	3,2	0,00	0,837	321	3,8
Dub	10,7	2,4	2,4	0,00	0,615	236	3,8
Kvě	16	1,5	1,5	0,00	0,407	152	3,7
Čer	18,6	0,3	0,3	0,00	0,159	37	2,1
Čvc	20,5	0,3	0,3	0,00	0,123	29	2,1
Srp	21,1	0,3	0,3	0,00	0,123	29	2,1
Zář	17,1	1,4	1,4	0,00	0,376	143	3,8
Říj	11,7	2,4	2,4	0,00	0,602	238	4,0
Lis	6,4	3,2	3,2	0,00	0,831	319	3,8
Pro	3,6	3,8	3,8	0,00	1,123	387	3,4
<b>Celkem</b>		<b>26,3</b>	<b>26,3</b>	<b>0,0</b>	<b>7,490</b>	<b>2675</b>	<b>3,5</b>

Potřeba el. energie 7,5 MWh/rok  
 Sezónní topný faktor 3,5  
 Pokrytí potřeby tepla TČ 100 %



Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014

Autor: T. Matuška, 2017

## Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem

verze 2017/01

Akce:   
 Adresa:   
 Kontakt:

Vypracoval:   
 Datum:

## Příprava teplé vody (TV)

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]
Led	337
Úno	305
Bře	337
Dub	327
Kvě	337
Čer	327
Čvc	253
Srp	253
Zář	327
Říj	337
Lis	327
Pro	337

Počet osob  os  
 Potřeba teplé vody  l/os.d  
 Teplota SV  °C  
 Teplota TV  °C  
 Letní snížení potřeby  %  
 Přirážka na ztráty  %  
 Centrální zásobníkový ohřev s ří:

## Vytápění (VYT)

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]
Led	3744
Úno	3191
Bře	2865
Dub	2024
Kvě	1178
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	1106
Říj	2057
Lis	2858
Pro	3428

Běžný standard  
 Tepelná ztráta  kW  
 Návrhová vnitřní teplota  °C  
 Návrhová venk. teplota  °C  
 Teplota přívodní vody  °C  
 Teplota vratné vody  °C  
 Přirážka na ztráty  %  
 Korekční součinitel

## Bazén (BV)

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led	
Úno	
Bře	
Dub	
Kvě	
Čer	
Čvc	
Srp	
Zář	
Říj	
Lis	
Pro	

Vnější zakrývání  
 Plocha bazénu  m<sup>2</sup>  
 Provozní doba  h  
 Teplota vody (den)  °C  
 Teplota vzduchu (den)  °C  
 Teplota vody (noc)  °C  
 Teplota vzduchu (noc)  °C  
 Počet návštěvníků  os/m

## Specifikace tepelného čerpadla

Příprava teplé vody a vytápění

Druh:  Počet:  Typ:

Topný výkon  $\Phi$  [kW]

## Topný faktor COP

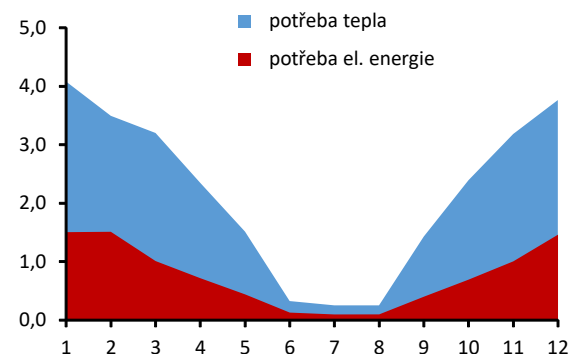
$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-15	-7	7	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-15	-7	7	15	Zvýšení teploty TV	<input type="text" value="5"/> K
35	5,9	7,4	11,0	11,5	35	2,4	3,0	4,2	4,4	Zvýšení teploty VYT, BV	<input type="text" value="2"/> K
45	5,9	7,3	10,5	11,0	45	2,0	2,4	3,4	3,5	Otopná tělesa	<input type="text"/>
55	5,9	7,1	10,0	10,8	55	1,7	2,0	2,7	2,9	Příkon čerpadel TV, BV	<input type="text" value="30"/> W
60	5,9	7,0	9,8	10,5	60	1,4	1,8	2,3	2,6	Příkon čerpadel VYT	<input type="text" value="30"/> W

## Výsledky výpočtu

## Souhrnné výsledky

Měsíc	$t_{em}$ °C	$Q_p$ MWh	$Q_{TC}$ MWh	$Q_{ZZ}$ MWh	$E_{sys}$ MWh	$\tau_{TC}$ h	SPF
Led	1,8	4,1	4,1	0,02	1,508	467	2,7
Úno	2,7	3,5	3,4	0,06	1,514	433	2,3
Bře	6,3	3,2	3,2	0,00	1,013	333	3,2
Dub	10,7	2,4	2,4	0,00	0,719	237	3,3
Kvě	16	1,5	1,5	0,00	0,442	144	3,4
Čer	18,6	0,3	0,3	0,00	0,130	31	2,5
Čvc	20,5	0,3	0,3	0,00	0,099	23	2,6
Srp	21,1	0,3	0,3	0,00	0,099	23	2,6
Zář	17,1	1,4	1,4	0,00	0,403	133	3,6
Říj	11,7	2,4	2,4	0,00	0,694	233	3,4
Lis	6,4	3,2	3,2	0,00	1,007	331	3,2
Pro	3,6	3,8	3,7	0,04	1,466	440	2,6
<b>Celkem</b>		<b>26,3</b>	<b>26,1</b>	<b>0,1</b>	<b>9,094</b>	<b>2830</b>	<b>2,9</b>

Potřeba el. energie  MWh/rok  
 Sezónní topný faktor   
 Pokrytí potřeby tepla TČ  %



Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014

Autor: T. Matuška, 2017

**Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem**

verze 2017/01

Akce:	Běžný standard - HTČ varianta C
Adresa:	Kraslice
Kontakt:	

Vypracoval:	Jan Boštík
Datum:	25.3.2019

**Příprava teplé vody (TV)**

Vložit měsíční údaje

Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]
Led	337
Úno	305
Bře	337
Dub	327
Kvě	337
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	327
Řij	337
Lis	327
Pro	337

Počet osob	4 os
Potřeba teplé vody	40 l/os.d
Teplota SV	10 °C
Teplota TV	55 °C
Letní snížení potřeby	25 %
Přirážka na ztráty	30 %
Centrální zásobníkový ohřev	

**Vytápění (VYT)**

Vložit měsíční údaje

Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]
Led	3744
Úno	3191
Bře	2865
Dub	2024
Kvě	1178
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	1106
Řij	2057
Lis	2858
Pro	3428

Běžný standard	
Tepelná ztráta	10,5 kW
Návrhová vnitřní teplota	20 °C
Návrhová venk. teplota	-15 °C
Teplota přívodní vody	55 °C
Teplota vratné vody	45 °C
Přirážka na ztráty	5 %
Korekční součinitel	0,75

**Bazén (BV)**

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led	
Úno	
Bře	
Dub	
Kvě	
Čer	
Čvc	
Srp	
Zář	
Řij	
Lis	
Pro	

Vnější zakrývaný	
Plocha bazénu	10 m <sup>2</sup>
Provozní doba	12 h
Teplota vody (den)	28 °C
Teplota vzduchu (den)	30 °C
Teplota vody (noc)	24 °C
Teplota vzduchu (noc)	20 °C
Počet návštěvníků	100 os/m

**Specifikace tepelného čerpadla**

Příprava teplé vody a vytápění

Druh: Země-voda Počet: 1 Typ: Vaillant geoTHERM VWS 102/3

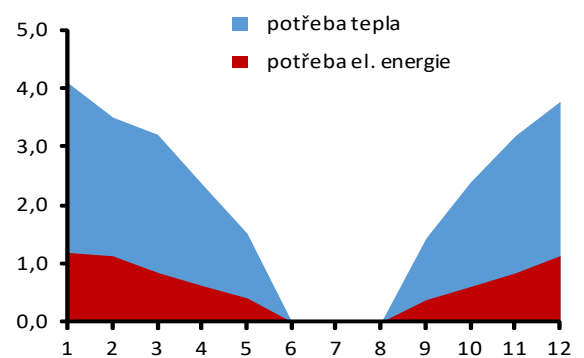
**Topný výkon  $\phi$  [kW]****Topný faktor COP**

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	10	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	10	15
35	8,9	10,5	13,7	15,2	35	4,7	5,3	6,5	6,6
45	8,3	9,9	13,0	14,5	45	3,2	3,7	4,3	4,7
55	7,8	9,2	12,2	13,8	55	2,5	2,9	3,5	3,8
60	7,3	8,7	11,5	13,1	60	1,6	1,9	2,3	2,8

Zvýšení teploty TV 5 K  
Zvýšení teploty VYT,BV 2 K  
Otopná tělesa  
Příkon čerpadel TV,BV 30 W  
Příkon čerpadel VYT 30 W

**Výsledky výpočtu****PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA****Souhrnné výsledky**

Měsíc	$t_{em}$ °C	$Q_p$ MWh	$Q_{TC}$ MWh	$Q_{ZZ}$ MWh	$E_{sys}$ MWh	$\tau_{TC}$ h	SPF
Led	1,8	4,1	4,1	0,00	1,176	417	3,5
Úno	2,7	3,5	3,5	0,00	1,119	365	3,1
Bře	6,3	3,2	3,2	0,00	0,837	321	3,8
Dub	10,7	2,4	2,4	0,00	0,615	236	3,8
Kvě	16	1,5	1,5	0,00	0,407	152	3,7
Čer	18,6	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Čvc	20,5	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Srp	21,1	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Zář	17,1	1,4	1,4	0,00	0,376	143	3,8
Řij	11,7	2,4	2,4	0,00	0,602	238	4,0
Lis	6,4	3,2	3,2	0,00	0,831	319	3,8
Pro	3,6	3,8	3,8	0,00	1,123	387	3,4
<b>Celkem</b>		<b>25,4</b>	<b>25,4</b>	<b>0,0</b>	<b>7,085</b>	<b>2579</b>	<b>3,6</b>

Potřeba el. energie 7,1 MWh/rok  
Sezónní topný faktor 3,6  
Pokrytí potřeby tepla TČ 100 %




## Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem

verze 2017/01

Akce:	Běžný standard - HTČ varianta C	Vypracoval:	Jan Boštík
Adresa:	Kraslice	Datum:	25.3.2019
Kontakt:			

Příprava teplé vody (TV)		Vytápění (VYT)		Bazén (BV)	
Vložit měsíční údaje		Vložit měsíční údaje		Vypočítat ze zadaných údajů	
<b>Měsíc</b>	<b>Q<sub>p,TV</sub> [kWh/měs]</b>	<b>Měsíc</b>	<b>Q<sub>p,VYT</sub> [kWh/měs]</b>	<b>Měsíc</b>	<b>Q<sub>p,BAZ</sub> [kWh/měs]</b>
Led	0	Led	0	Led	
Úno	0	Úno	0	Úno	
Bře	0	Bře	0	Bře	
Dub	0	Dub	0	Dub	
Kvě	0	Kvě	0	Kvě	
Čer	327	Čer	0	Čer	
Čvc	253	Čvc	0	Čvc	
Srp	253	Srp	0	Srp	
Zář	0	Zář	0	Zář	
Řij	0	Řij	0	Řij	
Lis	0	Lis	0	Lis	
Pro	0	Pro	0	Pro	
Počet osob	4 os	Běžný standard		Vnější zakrývaný	
Potřeba teplé vody	40 l/os.d	Tepelná ztráta	10,5 kW	Plocha bazénu	10 m <sup>2</sup>
Teplota SV	10 °C	Návrhová vnitřní teplota	20 °C	Provozní doba	12 h
Teplota TV	55 °C	Návrhová venk. teplota	-15 °C	Teplota vody (den)	28 °C
Letní snížení potřeby	25 %	Teplota přívodní vody	55 °C	Teplota vzduchu (den)	30 °C
Přirážka na ztráty	30 %	Teplota vratné vody	45 °C	Teplota vody (noc)	24 °C
Centrální zásobníkový ohřev		Přirážka na ztráty	5 %	Teplota vzduchu (noc)	20 °C
		Korekční součinitel	0,75	Počet návštěvníků	100 os/m

Specifikace tepelného čerpadla				Příprava teplé vody a vytápění							
Druh:	Vzduch-voda	Počet:	1	Typ:	Vaillant geoTHERM VWL 82/3						
Topný výkon $\phi$ [kW]				Topný faktor COP							
$t_{v1} \backslash t_{k2}$	-15	-7	7	15	$t_{v1} \backslash t_{k2}$	-15	-7	7	15	Zvýšení teploty TV	5 K
35	5,0	6,1	8,7	9,3	35	2,4	2,8	4,1	4,2	Zvýšení teploty VYT,BV	2 K
45	4,9	6,0	8,5	9,0	45	2,0	2,4	3,4	3,5	Otopná tělesa	
55	4,8	5,8	8,3	8,8	55	1,7	2,0	2,9	2,9	Příkon čerpadel TV,BV	30 W
60	4,7	5,7	8,2	8,7	60	1,5	1,8	2,6	2,6	Příkon čerpadel VYT	30 W

Výsledky výpočtu								PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA			Souhrnné výsledky	
<b>Měsíc</b>	<b>t<sub>em</sub> °C</b>	<b>Q<sub>p</sub> MWh</b>	<b>Q<sub>TC</sub> MWh</b>	<b>Q<sub>ZZ</sub> MWh</b>	<b>E<sub>sys</sub> MWh</b>	<b><math>\tau_{TC}</math> h</b>	<b>SPF</b>	Potřeba el. energie	0,3 MWh/rok			
Led	1,8	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-	Sezónní topný faktor	2,6			
Úno	2,7	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-	Pokrytí potřeby tepla TČ	100 %			
Bře	6,3	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-					
Dub	10,7	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-					
Kvě	16	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-					
Čer	18,6	0,3	0,3	0,00	0,125	37	2,6					
Čvc	20,5	0,3	0,3	0,00	0,095	28	2,7					
Srp	21,1	0,3	0,3	0,00	0,096	28	2,6					
Zář	17,1	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-					
Řij	11,7	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-					
Lis	6,4	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-					
Pro	3,6	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-					
<b>Celkem</b>		<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,316</b>	<b>93</b>	<b>2,6</b>					

Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014

Autor: T. Matuška, 2017

### **1.3.2 Sokolov pasivní – standard**

Varianta A, B, C

**Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem**

verze 2017/01

Akce: Pasivní standard - TČ varianta A  
 Adresa: Sokolov  
 Kontakt:

Vypracoval: Jan Bošтік  
 Datum: 25.3.2019

**Příprava teplé vody (TV)**

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	Q <sub>p,TV</sub> [kWh/měs]
Led	422
Úno	381
Bře	422
Dub	408
Kvě	422
Čer	408
Čvc	316
Srp	316
Zář	408
Říj	422
Lis	408
Pro	422

Počet osob: 5 os  
 Potřeba teplé vody: 40 l/os.d  
 Teplota SV: 10 °C  
 Teplota TV: 55 °C  
 Letní snížení potřeby: 25 %  
 Přirážka na ztráty: 30 %  
 Centrální zásobníkový ohřev s ří: ▼

**Vytápění (VYT)**

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	Q <sub>p,VYT</sub> [kWh/měs]
Led	656
Úno	559
Bře	502
Dub	355
Kvě	206
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	194
Říj	360
Lis	501
Pro	601

Pasivní standard  
 Tepelná ztráta: 2,76 kW  
 Návrhová vnitřní teplota: 20 °C  
 Návrhová venk. teplota: -15 °C  
 Teplota přívodní vody: 35 °C  
 Teplota vratné vody: 25 °C  
 Přirážka na ztráty: 5 %  
 Korekční součinitel: 0,5

**Bazén (BV)**

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	Q <sub>p,BAZ</sub> [kWh/měs]
Led	
Úno	
Bře	
Dub	
Kvě	
Čer	
Čvc	
Srp	
Zář	
Říj	
Lis	
Pro	

Vnější zakrývaný  
 Plocha bazénu: 10 m<sup>2</sup>  
 Provozní doba: 12 h  
 Teplota vody (den): 28 °C  
 Teplota vzduchu (den): 30 °C  
 Teplota vody (noc): 24 °C  
 Teplota vzduchu (noc): 20 °C  
 Počet návštěvníků: 100 os/m

**Specifikace tepelného čerpadla**

Příprava teplé vody a vytápění

Druh: Země-voda

Počet: 1

Typ: Vaillant geoTHERM VWS 82/3

Topný výkon  $\phi$  [kW]

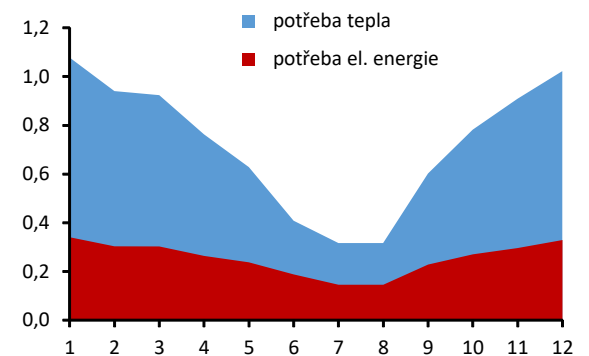
Topný faktor COP

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	2	7	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	2	7	15	Zvýšení teploty TV	5 K
35	7,0	8,3	9,3	11,2	35	3,9	4,4	4,7	5,3	Zvýšení teploty VYT,BV	2 K
45	6,7	8,2	9,2	11,1	45	3,2	3,7	4,0	4,4	Podlahové vytápění	▼
55	6,0	7,9	9,0	10,9	55	2,2	2,8	3,1	3,8	Příkon čerpadel TV,BV	30 W
60	5,7	7,8	8,9	10,8	60	1,8	2,4	2,7	3,4	Příkon čerpadel VYT	30 W

**Výsledky výpočtu****Souhrnné výsledky**

Měsíc	t <sub>em</sub> °C	Q <sub>p</sub> MWh	Q <sub>TC</sub> MWh	Q <sub>ZZ</sub> MWh	E <sub>sys</sub> MWh	$\tau_{TC}$ h	SPF
Led	1,8	1,1	1,1	0,00	0,340	141	3,2
Úno	2,7	0,9	0,9	0,00	0,303	123	3,1
Bře	6,3	0,9	0,9	0,00	0,302	122	3,1
Dub	10,7	0,8	0,8	0,00	0,264	101	2,9
Kvě	16	0,6	0,6	0,00	0,237	85	2,6
Čer	18,6	0,4	0,4	0,00	0,187	58	2,2
Čvc	20,5	0,3	0,3	0,00	0,145	45	2,2
Srp	21,1	0,3	0,3	0,00	0,145	45	2,2
Zář	17,1	0,6	0,6	0,00	0,228	81	2,6
Říj	11,7	0,8	0,8	0,00	0,270	104	2,9
Lis	6,4	0,9	0,9	0,00	0,296	120	3,1
Pro	3,6	1,0	1,0	0,00	0,329	134	3,1
<b>Celkem</b>		<b>8,7</b>	<b>8,7</b>	<b>0,0</b>	<b>3,046</b>	<b>1159</b>	<b>2,9</b>

Potřeba el. energie: 3,0 MWh/rok  
 Sezónní topný faktor: 2,9  
 Pokrytí potřeby tepla TČ: 100 %



Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014

Autor: T. Matuška, 2017

## Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem

verze 2017/01

Akce:	Běžný standard - TČ varianta B	Vypracoval:	Jan Boštík
Adresa:	Sokolov	Datum:	25.3.2019
Kontakt:			

Příprava teplé vody (TV)		Vytápění (VYT)		Bazén (BV)	
Vypočítat ze zadaných údajů		Vypočítat ze zadaných údajů		Vypočítat ze zadaných údajů	
Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]	Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led	422	Led	656	Led	
Úno	381	Úno	559	Úno	
Bře	422	Bře	502	Bře	
Dub	408	Dub	355	Dub	
Kvě	422	Kvě	206	Kvě	
Čer	408	Čer	0	Čer	
Čvc	316	Čvc	0	Čvc	
Srp	316	Srp	0	Srp	
Zář	408	Zář	194	Zář	
Řij	422	Řij	360	Řij	
Lis	408	Lis	501	Lis	
Pro	422	Pro	601	Pro	
Počet osob		Pasivní standard		Vnější zakrývaný	
5 os		Tepelná ztráta		Plocha bazénu	
Potřeba teplé vody		2,76 kW		10 m <sup>2</sup>	
40 l/os.d		Návrhová vnitřní teplota		Provozní doba	
10 °C		20 °C		12 h	
Teplota SV		Návrhová venk. teplota		Teplota vody (den)	
10 °C		-15 °C		28 °C	
Teplota TV		Teplota přívodní vody		Teplota vzduchu (den)	
55 °C		35 °C		30 °C	
Letní snížení potřeby		Teplota vratné vody		Teplota vody (noc)	
25 %		25 °C		24 °C	
Přirážka na ztráty		Přirážka na ztráty		Teplota vzduchu (noc)	
30 %		5 %		20 °C	
Centrální zásobníkový ohřev		Korekční součinitel		Počet návštěvníků	
		0,5		100 os/m	

## Specifikace tepelného čerpadla

Příprava teplé vody a vytápění

Druh: Vzduch-voda Počet: 1 Typ: Vaillant geoTHERM VWL 82/3

Topný výkon  $\phi$  [kW]

## Topný faktor COP

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-15	-7	7	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-15	-7	7	15	Zvýšení teploty TV	5 K
35	5,0	6,1	8,7	9,3	35	2,4	2,8	4,1	4,2	Zvýšení teploty VYT, BV	2 K
45	4,9	6,0	8,5	9,0	45	2,0	2,4	3,4	3,5	Podlahové vytápění	
55	4,8	5,8	8,3	8,8	55	1,7	2,0	2,9	2,9	Příkon čerpadel TV, BV	30 W
60	4,7	5,7	8,2	8,7	60	1,5	1,8	2,6	2,6	Příkon čerpadel VYT	30 W

## Výsledky výpočtu

## PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA

## Souhrnné výsledky

Měsíc	$t_{em}$ °C	$Q_p$ MWh	$Q_{TC}$ MWh	$Q_{ZZ}$ MWh	$E_{sys}$ MWh	$\tau_{TC}$ h	SPF
Led	1,8	1,1	1,1	0,00	0,376	150	2,9
Úno	2,7	0,9	0,9	0,00	0,363	143	2,6
Bře	6,3	0,9	0,9	0,00	0,304	118	3,0
Dub	10,7	0,8	0,8	0,00	0,252	94	3,0
Kvě	16	0,6	0,6	0,00	0,212	73	3,0
Čer	18,6	0,4	0,4	0,00	0,156	47	2,6
Čvc	20,5	0,3	0,3	0,00	0,119	35	2,7
Srp	21,1	0,3	0,3	0,00	0,120	35	2,6
Zář	17,1	0,6	0,6	0,00	0,201	69	3,0
Řij	11,7	0,8	0,8	0,00	0,253	94	3,1
Lis	6,4	0,9	0,9	0,00	0,297	116	3,1
Pro	3,6	1,0	1,0	0,00	0,370	146	2,8
<b>Celkem</b>		<b>8,7</b>	<b>8,7</b>	<b>0,0</b>	<b>3,022</b>	<b>1119</b>	<b>2,9</b>

Potřeba el. energie	3,0 MWh/rok
Sezónní topný faktor	2,9
Pokrytí potřeby tepla TČ	100 %

Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014

Autor: T. Matuška, 2017

## Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem

verze 2017/01

Akce: Pasivní standard -HTČ varianta C  
Adresa: Sokolov země - voda  
Kontakt:

Vypracoval: Jan Boštík  
Datum: 25.3.2019

## Příprava teplé vody (TV)

Vložit měsíční údaje ▼

Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]
Led	422
Úno	381
Bře	422
Dub	0
Kvě	0
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	0
Říj	0
Lis	408
Pro	422

Počet osob: 5 os  
Potřeba teplé vody: 40 l/os.d  
Teplota SV: 10 °C  
Teplota TV: 55 °C  
Letní snížení potřeby: 25 %  
Přirážka na ztráty: 30 %  
Centrální zásobníkový ohřev s ří: ▼

## Vytápění (VYT)

Vložit měsíční údaje ▼

Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]
Led	656
Úno	559
Bře	502
Dub	0
Kvě	0
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	0
Říj	0
Lis	501
Pro	601

Pasivní standard: ▼  
Tepelná ztráta: 2,76 kW  
Návrhová vnitřní teplota: 20 °C  
Návrhová venk. teplota: -15 °C  
Teplota přívodní vody: 35 °C  
Teplota vratné vody: 25 °C  
Přirážka na ztráty: 5 %  
Korekční součinitel: 0,5

## Bazén (BV)

Vypočítat ze zadaných údajů ▼

Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led	
Úno	
Bře	
Dub	
Kvě	
Čer	
Čvc	
Srp	
Zář	
Říj	
Lis	
Pro	

Vnější zakrývaný: ▼  
Plocha bazénu: 10 m<sup>2</sup>  
Provozní doba: 12 h  
Teplota vody (den): 28 °C  
Teplota vzduchu (den): 30 °C  
Teplota vody (noc): 24 °C  
Teplota vzduchu (noc): 20 °C  
Počet návštěvníků: 100 os/m

## Specifikace tepelného čerpadla

Příprava teplé vody a vytápění ▼

Druh: Země-voda ▼ Počet: 1

Typ: Vaillant geoTHERM VWS 82/3

Topný výkon  $\Phi$  [kW]

## Topný faktor COP

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	2	7	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	2	7	15
35	7,0	8,3	9,3	11,2	35	3,9	4,4	4,7	5,3
45	6,7	8,2	9,2	11,1	45	3,2	3,7	4,0	4,4
55	6,0	7,9	9,0	10,9	55	2,2	2,8	3,1	3,8
60	5,7	7,8	8,9	10,8	60	1,8	2,4	2,7	3,4

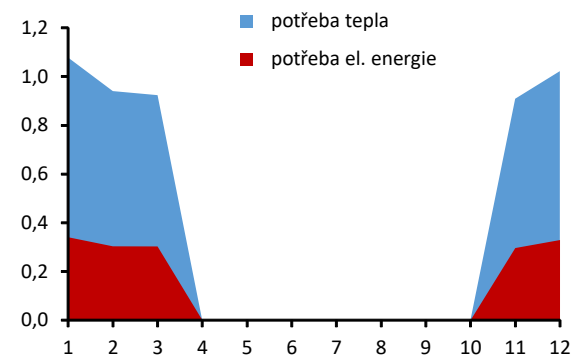
Zvýšení teploty TV: 5 K  
Zvýšení teploty VYT,BV: 2 K  
Podlahové vytápění: ▼  
Příkon čerpadel TV,BV: 30 W  
Příkon čerpadel VYT: 30 W

## Výsledky výpočtu

## Souhrnné výsledky

Měsíc	$t_{em}$ °C	$Q_p$ MWh	$Q_{TC}$ MWh	$Q_{ZZ}$ MWh	$E_{sys}$ MWh	$\tau_{TC}$ h	SPF
Led	1,8	1,1	1,1	0,00	0,340	141	3,2
Úno	2,7	0,9	0,9	0,00	0,303	123	3,1
Bře	6,3	0,9	0,9	0,00	0,302	122	3,1
Dub	10,7	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Kvě	16	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Čer	18,6	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Čvc	20,5	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Srp	21,1	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Zář	17,1	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Říj	11,7	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Lis	6,4	0,9	0,9	0,00	0,296	120	3,1
Pro	3,6	1,0	1,0	0,00	0,329	134	3,1
<b>Celkem</b>		<b>4,9</b>	<b>4,9</b>	<b>0,0</b>	<b>1,570</b>	<b>640</b>	<b>3,1</b>

Potřeba el. energie: 1,6 MWh/rok  
Sezónní topný faktor: 3,1  
Pokrytí potřeby tepla TČ: 100 %



Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014

Autor: T. Matuška, 2017

## Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem

verze 2017/01

Akce:	Pasivní standard - HTČ varianta C	Vypracoval:	Jan Bošтік
Adresa:	Sokolov vzduch - voda	Datum:	25.3.2019
Kontakt:			

Příprava teplé vody (TV)		Vytápění (VYT)		Bazén (BV)	
Vložit měsíční údaje		Vložit měsíční údaje		Vypočítat ze zadaných údajů	
<b>Měsíc</b>	<b>Q<sub>p,TV</sub> [kWh/měs]</b>	<b>Měsíc</b>	<b>Q<sub>p,VYT</sub> [kWh/měs]</b>	<b>Měsíc</b>	<b>Q<sub>p,BAZ</sub> [kWh/měs]</b>
Led	0	Led	0	Led	
Úno	0	Úno	0	Úno	
Bře	0	Bře	0	Bře	
Dub	408	Dub	355	Dub	
Kvě	422	Kvě	206	Kvě	
Čer	408	Čer	0	Čer	
Čvc	316	Čvc	0	Čvc	
Srp	316	Srp	0	Srp	
Zář	408	Zář	194	Zář	
Řj	422	Řj	360	Řj	
Lis	0	Lis	0	Lis	
Pro	0	Pro	0	Pro	
Počet osob	5 os	Pasivní standard		Vnější zakrývaný	
Potřeba teplé vody	40 l/os.d	Tepelná ztráta	2,76 kW	Plocha bazénu	10 m <sup>2</sup>
Teplota SV	10 °C	Návrhová vnitřní teplota	20 °C	Provozní doba	12 h
Teplota TV	55 °C	Návrhová venk. teplota	-15 °C	Teplota vody (den)	28 °C
Letní snížení potřeby	25 %	Teplota přívodní vody	35 °C	Teplota vzduchu (den)	30 °C
Přirážka na ztráty	30 %	Teplota vratné vody	25 °C	Teplota vody (noc)	24 °C
Centrální zásobníkový ohřev		Přirážka na ztráty	5 %	Teplota vzduchu (noc)	20 °C
		Korekční součinitel	0,5	Počet návštěvníků	100 os/m

Specifikace tepelného čerpadla			Příprava teplé vody a vytápění								
Druh:	Vzduch-voda	Počet:	1	Typ:	Vaillant geoTHERM VWL 82/3						
<b>Topný výkon <math>\phi</math> [kW]</b>	<b>Topný faktor COP</b>				Zvýšení teploty TV	5 K					
$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-15	-7	7	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-15	-7	7	15	Zvýšení teploty VYT, BV	2 K
35	5,0	6,1	8,7	9,3	35	2,4	2,8	4,1	4,2	Podlahové vytápění	
45	4,9	6,0	8,5	9,0	45	2,0	2,4	3,4	3,5	Příkon čerpadel TV, BV	30 W
55	4,8	5,8	8,3	8,8	55	1,7	2,0	2,9	2,9	Příkon čerpadel VYT	30 W
60	4,7	5,7	8,2	8,7	60	1,5	1,8	2,6	2,6		

Výsledky výpočtu		PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA					Souhrnné výsledky		
<b>Měsíc</b>	<b><math>t_{em}</math> °C</b>	<b>Q<sub>p</sub> MWh</b>	<b>Q<sub>TC</sub> MWh</b>	<b>Q<sub>ZZ</sub> MWh</b>	<b>E<sub>sys</sub> MWh</b>	<b><math>\tau_{TC}</math> h</b>	<b>SPF</b>	Potřeba el. energie	1,3 MWh/rok
Led	1,8	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-	Sezónní topný faktor	2,9
Úno	2,7	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-	Pokrytí potřeby tepla TČ	100 %
Bře	6,3	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-		
Dub	10,7	0,8	0,8	0,00	0,252	94	3,0		
Kvě	16	0,6	0,6	0,00	0,212	73	3,0		
Čer	18,6	0,4	0,4	0,00	0,156	47	2,6		
Čvc	20,5	0,3	0,3	0,00	0,119	35	2,7		
Srp	21,1	0,3	0,3	0,00	0,120	35	2,6		
Zář	17,1	0,6	0,6	0,00	0,201	69	3,0		
Řj	11,7	0,8	0,8	0,00	0,253	94	3,1		
Lis	6,4	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-		
Pro	3,6	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-		
<b>Celkem</b>		<b>3,8</b>	<b>3,8</b>	<b>0,0</b>	<b>1,312</b>	<b>447</b>	<b>2,9</b>		

Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014

Autor: T. Matuška, 2017

