

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE**



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

**TEPELNÉ ČERPADLO V MODERNÍM
RODINNÉM DOMĚ**

HEAT PUMP IN A MODERN FAMILY HOUSE

KVĚTEN 2021

DAVID KORANDA

Vedoucí: doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Specializace: Aplikovaná elektrotechnika



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Koranda** Jméno: **David** Osobní číslo: **483522**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Tepelné čerpadlo v moderním rodinném domě

Název bakalářské práce anglicky:

Heat pump in a modern family house

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou tepelných ztrát obytných budov
2. Seznamte se s problematikou tepelných čerpadel a možnostmi modelování jejich provozu
3. Pro zvolený objekt odpovídající energetickému hodnocení C podle metodiky Průkazu energetické náročnosti budov porovnejte energetické a ekonomické náročnosti systémů vzduch-voda a zemní vrty-voda.

Seznam doporučené literatury:

- [1] RADA, Josef. Elektrotepelná technika. 1. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1985. 344 s. ISBN 88-86281-64-1.
[2] TZB-info [online]. . Tepelná čerpadla a jejich použití v otopných soustavách. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1271-tepelna-cerpadla-a-jejich-pouziti-v-otopnych-sousta-vach-i->>
[3] TZB-info. Tepelná čerpadla pro každého (I). Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/953-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-i->>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Jan Kyncl, katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.01.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **21.05.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

doc. Dr. Ing. Jan Kyncl
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu práce, panu doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za vstřícnost, cenné rady a odborné vedení při tvorbě mé bakalářské práce.

PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne 20. května 2021

.....

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo porovnání ekonomické a energetické náročnosti systémů vytápění rodinných domů s tepelnými čerpadly vzduch-voda a zemní vrt-voda. Motivací bylo vytvořit automatizovaný výpočet spojující energetické a ekonomické výpočty, pomocí kterého by bylo možné zvolené systémy s tepelnými čerpadly analyzovat a vzájemně porovnat. Výsledek je znázorněn pro zvolenou budovu, která odpovídá energetickému hodnocení C podle Průkazu energetické náročnosti budov.

Klíčová slova:

Tepelné čerpadlo, matematický model tepelného čerpadla, tepelné ztráty, ekonomické hodnocení investic, Wolfram Mathematica.

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was the comparison of heating system with air-source heat pump and ground-source heat pump for family house. The motivation was to create automated calculation that connects energetic and economic calculation. It is possible to compare systems with air-source heat pump and ground-source heat pump by this calculation. The result is shown for the selected building that belongs to energetic rating C according to the Certificate of energy efficiency.

Keywords:

Heat pump, mathematical model of the heating system, heat losses, economic evaluation of investments, Wolfram Mathematica.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 1 |
| KAPITOLA 1: TEPELNÁ ČERPADLA | 3 |
| 1.1 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA | 3 |
| 1.1.1 Základní komponenty tepelného čerpadla | 3 |
| 1.1.2 Popis fungování tepelného čerpadla | 4 |
| 1.2 BILANČNÍ ROVNICE TEPELNÉHO ČERPADLA | 5 |
| 1.3 TOPNÝ FAKTOR | 5 |
| 1.3.1 Sezónní topný faktor | 6 |
| 1.4 TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL | 6 |
| 1.4.1 Tepelné čerpadlo vzduch-voda..... | 6 |
| 1.4.2 Tepelné čerpadlo země-voda..... | 7 |
| 1.5 DIMENZOVÁNÍ TEPELNÉHO ČERPADLA | 9 |
| 1.5.1 Druhy provozu tepelného čerpadla | 10 |
| 1.6 ŽIVOTNOST TEPELNÉHO ČERPADLA | 10 |
| 1.7 SYSTÉM VYTÁPĚNÍ | 10 |
| 1.8 MODELOVÁNÍ PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA | 11 |
| KAPITOLA 2: TEPELNÉ ZTRÁTY | 13 |
| 2.1 ZPŮSOBY SDÍLENÍ TEPLA | 13 |
| 2.1.1 Sdílení tepla vedením (kondukcí)..... | 13 |
| 2.1.2 Sdílení tepla prouděním (konvekci) | 14 |
| 2.1.3 Sdílení tepla sáláním (radiací) | 14 |
| 2.2 VÝPOČET CELKOVÝCH TEPELNÝCH ZTRÁT | 14 |
| 2.2.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem budovy | 15 |
| 2.2.2 Tepelná ztráta větráním | 18 |
| 2.2.3 Tepelné zisky..... | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY..... | 20 |
| KAPITOLA 3: EKONOMICKÉ HODNOCENÍ INVESTIC..... | 22 |
| 3.1 EKONOMICKÁ KRITÉRIA PRO HODNOCENÍ INVESTIC..... | 22 |
| 3.1.1 Doba návratnosti investice | 22 |
| 3.1.2 Čistá současná hodnota | 23 |
| 3.1.3 Roční ekvivalentní peněžní tok..... | 23 |
| KAPITOLA 4: VÝPOČETNÍ PROGRAM..... | 24 |
| 4.1 PODROBNÝ POPIS PROGRAMU | 24 |
| 4.1.1 Volba parametrů | 24 |
| 4.1.2 Načtení reálných teplot | 25 |
| 4.1.3 Výpočet tepelných ztrát | 25 |
| 4.1.4 Výpočet matematického modelu systémů vytápění..... | 25 |
| 4.1.5 Výpočet pro energetické hodnocení | 27 |
| 4.1.6 Výpočet pro ekonomické hodnocení | 27 |
| KAPITOLA 5: VSTUPNÍ PARAMETRY | 28 |
| 5.1 POPIS ZVOLENÉHO OBJEKTU..... | 28 |
| 5.1.1 Konstrukční řešení objektu | 28 |
| 5.1.2 Vnitřní prostředí objektu..... | 29 |
| 5.2 TEPELNÁ ZTRÁTA OBJEKTU | 30 |
| 5.3 POPIS ZVOLENÝCH ZDROJŮ VYTÁPĚNÍ..... | 30 |
| 5.3.1 Provozní charakteristiky tepelných čerpadel..... | 31 |
| 5.3.2 Ekonomické parametry..... | 31 |
| KAPITOLA 6: ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VARIANT..... | 34 |
| 6.1 ENERGETICKÉ POROVNÁNÍ VARIANT | 34 |
| 6.2 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ VARIANT | 35 |
| ZÁVĚR | 37 |

| | |
|---|-----------|
| POUŽITÁ LITERATURA | 39 |
| PŘÍLOHA A: PROGRAM..... | 41 |
| A.1 ###HLAVNI_PROGRAM | 41 |
| A.2 #0ZAKLADNI_PARAMETRY | 43 |
| A.3 #1UPRAVA_DAT_POCASI | 45 |
| A.4 #2TEPELNE_ZTRATY..... | 46 |
| A.5 #3PRUBEHY_TC_V-V | 48 |
| A.6 #3PRUBEHY_TC_Z-V | 51 |
| A.7 #4.1ENERGETICKE ZHODNOCENI..... | 54 |
| A.8 #4.2EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 57 |
| PŘÍLOHA B: OBJEKT | 60 |
| B.1 PŮDORYSY OBJEKTU..... | 60 |
| PŘÍLOHA C: TEPELNÁ ČERPADLA | 62 |
| C.1 PROVOZNÍ CHARAKTERISTIKY UVAŽOVANÝCH TEPELNÝCH ČERPADEL..... | 62 |
| C.2 DIMENZOVÁNÍ PRIMÁRNÍCH OKRUHŮ TEPELNÝCH ČERPADEL | 63 |
| PŘÍLOHA D: SEZNAM PRŮBĚŽNÍCH KOEFICIENTŮ | 64 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1-1: Zjednodušené schéma tepelného čerpadla [6] | 5 |
| Obrázek 1-2: Teploty půdy ve vrstvách zemského masivu [16] | 8 |
| Obrázek 1-3: Průběh teplot během roku 2020, Praha (Wolfram Mathematica [44]) | 9 |
| Obrázek 1-4: Schéma modelu systému vytápění (ProfiCAD [45]) | 11 |
| Obrázek 2-1: Průběh teplot ve stavební části objektu (ProfiCad [45]) | 17 |
| Obrázek 5-1: Ilustrativní náčrt uvažovaného objektu [37]..... | 28 |
| Obrázek 5-2: Závislost tepelné ztráty objektu na venkovní teplotě (Wolfram Mathematica [44]) | 30 |
| Obrázek 6-1: Závislosti elektrických příkonů tepelných čerpadel a bivalentního zdroje tepla na venkovní teplotě (Wolfram Mathematica [44]) | 34 |
| Obrázek 6-2: Průběh ročního peněžního toku a kumulovaného peněžního toku (Wolfram Mathematica [44])..... | 35 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 2-1: Klasifikace prostupu tepla obálkou objektu podle ČSN 730540-2 C.2 [35, str. 52]. | 21 |
| Tabulka 5-1: Požadované hodnoty jednotlivých stavebních částí podle ČSN 73 0540-2 [35, str. 13] | 29 |
| Tabulka 5-2: Souhrn ekonomických parametrů uvažovaných tepelných čerpadel..... | 32 |
| Tabulka 5-3: Přehled cen elektřiny v distribuční sazbě D57d [39] | 32 |
| Tabulka 6-1: Porovnání roční elektrické energie potřebné k vytopení objektu pomocí systémů vytápění s tepelným čerpadlem..... | 34 |
| Tabulka 6-2: Porovnání ročních nákladů na vytápění objektu a roční úspora způsobená investicí do systému vytápění s tepelným čerpadlem | 35 |
| Tabulka 6-3: Přehled výsledných hodnot ekonomických kritérií | 35 |

ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je porovnání tepelných čerpadel různých typů, konkrétně typů zemní vrt-voda a vzduch-voda z ekonomického a energetického hlediska. Dokument by měl čtenáře uvést do problematiky tepelných čerpadel, objasnit modelování provozu tepelných čerpadel a tepelných ztrát objektu a představit kritéria ekonomického hodnocení investic použítá v této práci. Cílem práce je vytvořit automatizovaný výpočetní postup, podle kterého bude možné jednotlivé systémy vytápění pro zvolený objekt jednoduše energeticky a ekonomicky zhodnotit a porovnat.

Teoretickou částí a úvodem do problematiky se zabývají první tři kapitoly této práce. První kapitola popisuje princip tepelných čerpadel, jejich základní rozdělení podle typu využívajícího přírodního zdroje, charakteristické vztahy a parametry nebo dimenzování a možnost modelování jejich provozu. V následující kapitole jsou diskutovány tepelné ztráty, jejich vznik a možnosti jejich určení. Dále je v této části představena metodika hodnocení budovy podle Průkazu energetické náročnosti budov a řazení do jednotlivých klasifikačních tříd. Ve třetí kapitole je představen způsob, jakým jsou jednotlivé investice ekonomicky hodnoceny.

V následující části práce je popsán vytvořený program určený k výpočtům energetických a ekonomických parametrů tepelných čerpadel. Výpočty probíhají pomocí poznatků a vzorců popsáných v teoretické části.

Pro účely přesnějšího hodnocení a porovnání investic do tepelných čerpadel jsem ve vývojovém prostředí Wolfram Mathematica [44] vytvořil automatizovaný výpočetní program, podle něhož lze výsledky tepelných čerpadel vzájemně porovnat z energetického i ekonomického hlediska. Motivací pro vytvoření výpočtu bylo vypracování co nejspolehlivějšího přehledu o energetické a ekonomické náročnosti systémů vytápění pomocí řešení matematického modelu jejich provozu. Cílem též bylo vytvořit program tak, aby veškeré parametry používané při výpočtech byly jednoduše změnitelné a program tak nebyl vázaný na konkrétní zadání, ale byl případně použitelný i pro odlišné objekty a tepelná čerpadla. Výpočetní postup je nutno složit z výpočtů tepelných ztrát, matematického modelu, výpočtů celkových energií a ekonomických kritérií.

Pro co nejrealističtější zhodnocení energií za zvolené období jsou ve výpočtu použity hodnoty skutečných teplot naměřené ve zvolené lokalitě z předchozích let. Pro hodnocení efektivnosti investice je nutné očekávat, že průběhy teplot budou v budoucích letech shodné s teplotami v zadaném období.

Pro správnou funkci programu je nejprve nutné určit potřebné parametry konkrétního zadání. Na základě parametrů charakterizujících vytápěný objekt je následně modelován průběh tepelných ztrát objektu v závislosti na venkovních teplotách. Pomocí modelování provozu tepelných čerpadel a znalosti závislosti tepelné ztráty objektu na venkovní teplotě je možné získat výsledky celkových dodaných energií objektu. Jednotlivé varianty systémů vytápění je následně možno jednoduše porovnat a zhodnotit jejich energetickou a ekonomickou náročnost a efektivitu. Tyto ukazatele se mohou mnohdy rozcházet. Záleží pouze na preferencích uživatele, zda zvolí variantu šetrnější k životnímu prostředí či variantu výhodnější z finančního hlediska.

Zbylá část bakalářské práce se zabývá hodnocením a porovnáním energetické a ekonomické náročnosti konkrétního objektu a dvou systémů vytápění využívající tepelná čerpadla. Nejprve je popsán zvolený objekt, uvažovaná tepelná čerpadla, jejich parametry a ostatní parametry potřebné k výpočtům a porovnání. Zvolený objekt je vybrán tak, aby odpovídal hodnotám energetického hodnocení C podle metodiky Průkazu energetické náročnosti budov. Tepelná čerpadla jsou typu zemní vrt-voda a vzduch-voda spadající do stejné výkonové třídy dimenzované podle vypočtené tepelné ztráty objektu.

V poslední kapitole jsou shrnuty výsledky získané modelováním vytápění zvoleného objektu pomocí tepelných čerpadel různých typů. K těmto výpočtům je použit výše popsaný výpočetní program. Tepelná čerpadla jsou podle získaných výsledků vzájemně porovnávána a diskutována z hlediska celkové spotřeby elektrické energie, doby návratnosti investice a ekvivalentních peněžních toků – RCF.

V Praze dne 20. května 2021

David Koranda

KAPITOLA 1: TEPELNÁ ČERPADLA

Tepelné čerpadlo je cyklicky pracující tepelný stroj, který je schopný přenášet teplo z místa s nižší teplotou na místo s teplotou vyšší [1]. Odebírá tepelnou energii z okolí vytápěného objektu, která je následně využita na vytápění objektu nebo na přípravu teplé vody. Zdrojem nízkopotenciální tepelné energie bývají přírodní zdroje v okolí vytápěného objektu, jako jsou vzduch, půda nebo voda.

Druhý zákon termodynamiky však říká, že „*teplo nemůže samovolně přejít z tělesa studenějšího na těleso teplejší*“ [2] neboli, že teplo se může samovolně šířit pouze z místa teplejšího na místo studenější. Pro případ vytápění z tohoto zákona vyplývá, že nelze **samovolně** přenášet tepelnou energii ze studenějšího zdroje v okolí objektu do teplejšího objektu a tím ho vytápět. Samovolný tok tepla je však možné otočit, a to vhodným dodáním energie.

1.1 Princip tepelného čerpadla

Pro všechny látky platí, že plynný stav látky je energeticky vyšší než kapalný. Pokud teplota látky překročí teplotu varu, přechází z kapalného stavu do stavu plynného (vypařuje se). Při této změně skupenství musí látka přijmout energii. Naopak, pokud teplota látky klesne pod teplotu kondenzace, přechází ze stavu plynného do stavu kapalného (kondenzuje) a musí energii odevzdat. Tyto energie nazýváme výparné a kondenzační teplo. Tohoto jevu využívá tepelné čerpadlo při akumulaci tepla z nízkopotenciálního zdroje do teplotnosného média a při následném předání tepla otopnému systému. [1]

Teplota varu a teplota kondenzace látky je však závislá na tlaku, ve kterém se tato látka nachází. Při vyšším tlaku je teplota varu, popřípadě kondenzace látky vyšší, při nižším tlaku je teplota varu a kondenzace látky naopak nižší. Díky tomuto jevu je tepelné čerpadlo schopno, právě pomocí vhodné změny tlaku, regulovat teplotu varu a teplotu kondenzace látky. [1]

1.1.1 Základní komponenty tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo se skládá ze 4 základních částí, kterými jsou 2 výměníky tepla, kompresor a expanzní ventil.

Výměníky tepla

Výměník tepla zprostředkovává výměnu tepla mezi dvěma látkami o různé teplotě. Při této výměně platí *druhý zákon termodynamiky*, podle kterého se teplo samovolně šíří vždy z prostředí o vyšší teplotě do prostředí o teplotě nižší. Pro správnou funkci výměníků tepla je důležitý i rozdíl teplot mezi prostředími, ve kterých dochází k výměně energie.

Tepelné čerpadlo obsahuje dva výměníky tepla. Nazýváme je výparník a kondenzátor.

Kompresor

Díky dodání elektrické energie kompresoru a následné práci kompresoru dochází ke stlačení par pracovního média na vysoký tlak a přečerpání energie z nižší teplotní hladiny na teplotní hladinu vyšší.

Expanzní ventil

Expanzní ventil udržuje tlakový rozdíl mezi vysokotlakou a nízkotlakou částí okruhu čerpadla [5]. Pomocí expanzního ventilu snižujeme tlak pracovního média do výchozího stavu.

Pracovní médium

Pracovní médium neboli chladivo je látka kolující v okruhu tepelného čerpadla. Aby bylo možné měnit její skupenství i za nízkých teplot, vyznačuje se velmi nízkou teplotou varu. Odebírá teplo od zdroje nízkopotenciálního tepla, které v sobě akumuluje a následně předává otopnému systému. [3]

1.1.2 Popis fungování tepelného čerpadla

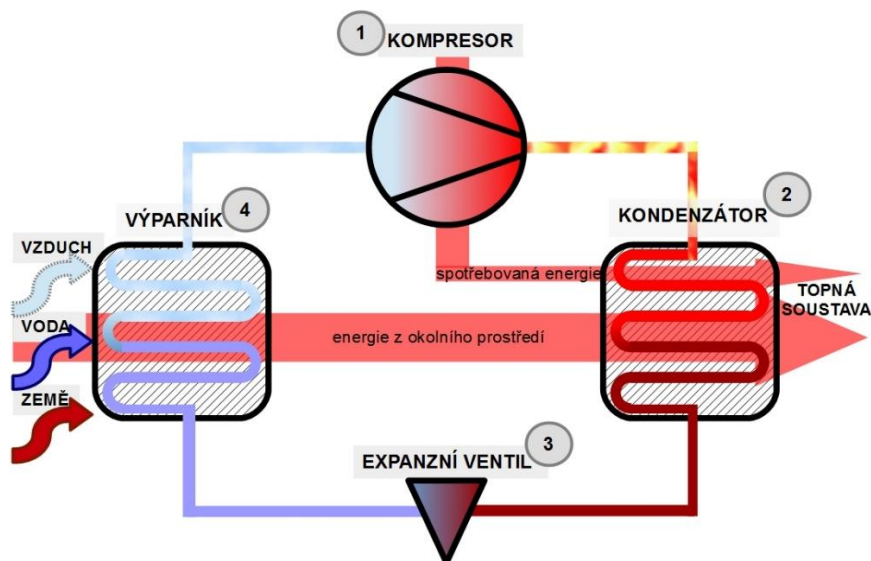
„Tepelné čerpadlo je cyklicky pracující tepelný stroj, kde celý proces probíhá v uzavřeném okruhu a všechny děje se periodicky opakují.“ [1] V takto uzavřeném okruhu proudí teplotně nosná látka, která se nazývá pracovní médium nebo zjednodušeně chladivo. Tato látka slouží jako přenašeč tepla a během jednoho cyklu změní svoje skupenství z kapalného na plynné a zpět. Aby bylo možné měnit její skupenství i za nízkých teplot, vyznačuje se velmi nízkou teplotou varu. [1], [4]

V místě, ve kterém chceme do pracovního média akumulovat energii ze zdroje nízkopotenciálního tepla je umístěn výměník tepla. Ten zprostředkovává odebrání tepla zdroji nízkopotenciálního tepla. Nazýváme ho výparník.

Ve výparníku, nacházejícím se v místě, ve kterém chceme odebrat tepelnou energii, snížíme tlak, díky čemuž klesne teplota pracovního média. Pracovní médium je díky nízkému tlaku studenější než nízkopotenciální zdroj tepla a odebírá tedy (podle druhého zákona termodynamiky) teplo zdroji nízkopotenciálního tepla, čímž roste jeho teplota nad teplotu varu a vypařuje se. Během vypařování pracovní médium spotřebovává výparné teplo od zdroje nízkopotenciálního tepla a akumuluje jej v sobě.

Dále je pracovní médium v plynném stavu vedeno k místu spotřeby tepelné energie. Teplota média však není pro účel vytápění nebo ohřev vody dostatečně velká a je nezbytné jeho teplotu zvýšit. Dochází tedy ke kompresi těchto par kompresorem na vysoký tlak, který způsobí zvýšení teploty těchto par nad teplotu. Tímto způsobem je energie přečerpána z nižší teplotní hladiny na hladinu vyšší. Následně je chladivo vedeno do výměníku tepla, který je nazýván kondenzátor. Kondenzátor je umístěn v místě, ve kterém chceme teplo z pracovního média odevzdat. Topná voda je tímto způsobem ohřívána na požadovanou teplotu. Předáváním tepelné energie otopnému systému klesá teplota chladiva pod teplotu kondenzace a chladivo mění své skupenství zpět na kapalné.

Teplota pracovního média na výstupu z kondenzátoru je však stále příliš vysoká pro opětovnou akumulaci tepelné energie ze zdroje nízkopotenciálního tepla a je nutné ji snížit. Za kondenzátorem je tedy umístěn expanzní ventil, který snižuje tlak a teplotu chladiva. Tlak je nutné snížit natolik, aby teplota pracovního média byla menší než teplota zdroje nízkopotenciálního tepla. Pracovní médium opět připraveno přijímat energii z okolního prostředí, proudí zpět do výparníku a cyklus se uzavírá. [1], [4]



Obrázek 1-1: Zjednodušené schéma tepelného čerpadla [6]

1.2 Bilanční rovnice tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo předává otopné soustavě výstupní výkon $Q_{výstTč}$. Tento výstupní výkon je součtem vstupních příkonů, kterými je výkon zdroje nízkopotenciálního tepla Q_z a elektrický příkon kompresoru $P_{elTč}$, lze tedy počítat podle vztahu:

$$Q_{výstTč} = Q_z + P_{elTč}, \quad (1-1)$$

| | |
|--------------|--|
| $Q_{výstTč}$ | výstupní výkon tepelného čerpadla [W], |
| Q_z | výkon zdroje nízkopotenciálního tepla [W], |
| $P_{elTč}$ | elektrický příkon tepelného čerpadla [W]. |

1.3 Topný faktor

Topný faktor neboli COP je základním parametrem tepelných čerpadel. Jedná se o bezrozměrné číslo, které udává efektivitu provozu tepelného čerpadla v režimu topení při konkrétních podmínkách [7]. Topný faktor je podílem využitelného tepelného výkonu a elektrického příkonu tepelného čerpadla. Elektrický příkon je dodáván kompresoru. Lze jej rovněž definovat pomocí energií, a to jako poměr předané energie topnému médiu ku elektrické energii spotřebované při výrobě tepla P_{el} .

$$COP = \frac{Q_{výstTč}}{P_{elTč}}, \quad (1-2)$$

| | |
|--------------|---------------------|
| COP | topný faktor [-], |
| $Q_{výstTč}$ | výstupní výkon [W], |
| $P_{elTč}$ | vstupní příkon [W]. |

Topný faktor je velmi důležitý ukazatel efektivity tepelného čerpadla. Z předchozího vztahu (1-2) vyplývá, že čím vyšší je hodnota topného faktoru, tím menší je potřebný elektrický

příkon tepelného čerpadla pro daný výstupní výkon, tepelné čerpadlo má nižší provozní náklady a jeho provoz je levnější.

Hodnotu topného faktoru ovlivňují především teplotní podmínky, ve kterých tepelné čerpadlo funguje a jeho velikost se v závislosti na těchto podmínkách velmi výrazně liší. U tepelných čerpadel topný faktor nejvíce ovlivňuje rozdíl teplot mezi teplotou nízkopotenciálního zdroje tepla a teplotou ohřívání vody v otopném systému. Čím menší rozdíl těchto teplot je, tím vyššího topného faktoru je tepelné čerpadlo schopno dosáhnout. Důležitým faktorem je též kvalita komponentů tepelného čerpadla a správné dimenzování [7].

Pozn.: Efektivitu provozu tepelného čerpadla v režimu chlazení udává koeficient pro režim chlazení EER. [7]

1.3.1 Sezónní topný faktor

Efektivitu provozu během celé topné sezóny vystihuje sezónní topný faktor SCOP. Sezónní topný faktor je poměr celkové roční vyrobené tepelné energie tepelným čerpadlem ku celkové roční spotřebě elektrické energie dodané kompresoru tepelného čerpadla. Sezónní topný faktor SCOP charakterizuje skutečnou účinnost tepelného čerpadla daleko reálněji než tepelný faktor COP, neboť je stanoven pro celou topnou sezónu, nikoliv pro jednu konkrétní situaci. [9]

1.4 Typy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla se dělí na základní typy podle přírodních zdrojů, ze kterých je nízkopotenciální tepelná energie odebírána. Mezi tyto základní zdroje řadíme vzduch, zemi a vodu. Výběr nejvhodnějšího typu tepelného čerpadla závisí na mnoha faktorech, mezi které patří například dostupnost zdroje tepla, investiční náklady, provozuschopnost, životnost nebo provozní náklady.

1.4.1 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Zdrojem nízkopotenciálního tepla je pro tepelné čerpadlo tohoto typu venkovní vzduch, který se nachází v okolí vytápěného objektu. Z venkovního vzduchu získává čerpadlo tepelnou energii, kterou následně předává otopnému systému.

Tento typ tepelných čerpadel je oblíbený především pro jejich jednoduchou instalaci, při níž není nutné provádět zemní práce a není tedy nutné zasahovat do pozemku či zahrady. Instalace tohoto druhu tepelných čerpadel je díky absenci zemních prací jednodušší a rychlejší, než je tomu u ostatních druhů tepelných čerpadel. Zároveň jsou tepelná čerpadla vzduch-voda prostorově nenáročná a nekladou speciální požadavky na velikost nebo lokalitu pozemku.

Z finančního hlediska je pak prvotní počáteční investice, právě díky absenci zemních prací, v porovnání s tepelnými čerpadly země-voda znatelně nižší.

Nevýhodou je však nestálost zdroje (okolního vzduchu) během roku v porovnání s ostatními zdroji (země, voda), jejichž teplota je během roku o poznání stálejší [11]. Teploty okolního vzduchu mají velmi výrazný vliv na topný faktor, který se tedy během roku u tohoto typu tepelného čerpadla také značně mění. Při nízkých venkovních teplotách, které nastávají zejména v zimních měsících tak dochází u tepelných čerpadel vzduch-voda k velmi výraznému poklesu topného faktoru COP a výkonu tepelného čerpadla [10]. Tento pokles při nízkých teplotách řeší

zpravidla bivalentní neboli náhradní zdroj tepla. Z tohoto důvodu je nutné dbát na optimální dimenzování tepelného čerpadla.

Dále je při návrhu tepelného čerpadla vzduch-voda zapotřebí započítat také jeho hlučnost. Venkovní jednotku tepelného čerpadla je vhodné umístit tak, aby nerušila uživatele vytápěného objektu, ani jeho sousedy.

Tepelná čerpadla vzduch-voda jsou vzhledem k velmi snadné instalaci, nižším investičním nákladům a snižujícím se ztrátám moderních domů velice oblíbená zejména pro novostavby. V porovnání s klasickými zdroji tepla mají výrazně nižší provozní náklady a mohou tedy uživatelům objektu ušetřit nemalé peníze. [11]

1.4.2 Tepelné čerpadlo země-voda

Pro tepelné čerpadlo země-voda se jako zdroj tepla využívá zemský masiv. Existují dvě odlišné realizace tepelného čerpadla země-voda, kterými jsou „plošné uspořádání“ a „uspořádání s vrtem“.

V případě tepelného čerpadla s vrtem odebírá tepelné čerpadlo teplo z hloubky pod povrchem země. V hloubce pod povrchem země nedochází k výrazným poklesům teploty zdroje, jako tomu bývá u tepelného čerpadla vzduch-voda, díky čemuž bývá topný faktor během topné sezóny vyšší. Dále dochází k nižším výkyvům teploty zdroje a topný faktor je tedy v průběhu topné sezóny velice stabilní. [12]

Instalace tohoto typu čerpadla je však v porovnání s ostatními druhy tepelných čerpadel náročnější. Kolektor, většinou plastové potrubí, je potřeba instalovat dostatečně hluboko pod povrch země. Toto potrubí je naplněno teplotnosným médiem, obvykle nemrznoucí směsí. Tato kapalina přenáší teplo z horninového podloží na povrch do tepelného čerpadla [13]. Hloubka a počet vrtů se liší podle velikosti vytápěného objektu nebo geologických podmínek, ve kterých se objekt nachází. Hloubka vrtů se podle [14] obvykle pohybuje v rozmezí 80 m až 250 m. K aplikaci tohoto typu tepelného čerpadla je zapotřebí vhodné podloží, které umožňuje realizaci dostatečně hlubokých vrtů. Prostorově je však instalace nenáročná a vrt lze umístit i pod budovu.

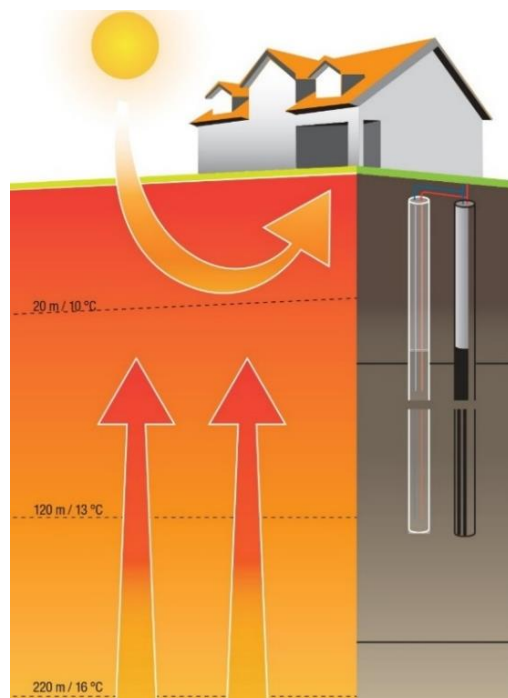
Tepelná čerpadla zemní vrt-voda dosahují během topné sezóny vyšších hodnot topného faktoru COP než tepelná čerpadla vzduch-voda. Příčinou je vyšší průměrná teplota zemského masivu během topné sezóny oproti venkovnímu vzduchu. Vysoký výkon a topný faktor jsou stabilní i při nízkých venkovních teplotách v zimních měsících, což umožňuje nižší spotřebu elektrické energie, a tedy i nižší provozní náklady v porovnání s tepelnými čerpadly typu vzduch-voda.

Výhodou je i dlouhá životnost takto realizovaného tepelného čerpadla. Životnost vrtu zpravidla vysoce přesahuje životnost samotného tepelného čerpadla. Toto řešení je navíc téměř bezhlučné. [14]

1.4.2.1 Návrh zemního vrtu pro tepelné čerpadlo zemní vrt-voda

Vrty se obvykle umísťují v blízkosti vytápěného objektu. Pro co nejefektivnější funkci tepelného čerpadla je nutné optimální navržení vrtu, které musí zohledňovat geologické i energetické poměry lokality a vytápěného objektu. Nedostatečně hluboké vrty mohou mít za následek vyšší provozní náklady, na druhou stranu příliš hluboké vrty značně zvyšují náklady investiční. [15]

Teplota zeminy v oblastech do hloubky přibližně 15 metrů není stálá. Až od hloubky přibližně 15 metrů pod povrchem země se přestává projevovat vliv venkovní teploty, ročního období nebo slunečního svitu. V těchto vrstvách má vliv převážně přísun vnitřního tepla Země. Toto teplo je produkováno především rozpadem radioaktivních prvků. V hloubce 20 metrů pod povrchem země se teplota pohybuje kolem 10 °C. Při rostoucí hloubce se teplota půdy zvyšuje. Na každých 30 metrů hloubky lze uvažovat zvýšení teploty o 1 °C. [15]



Obrázek 1-2: Teploty půdy ve vrstvách zemského masivu [16]

Pro správné navržení vrtů je potřeba stanovit základní parametry, a to celkový počet vrtů, jejich hloubku a vzájemné rozestupy mezi jednotlivými vrty. Tyto parametry závisí na kombinaci požadovaného výkonu tepelného čerpadla a geologických, případně hydrologických podmínkách. Je doporučeno zachovávat rozestupy mezi jednotlivými vrty rovnající se alespoň 10 % jejich hloubky. Dále je nutné dodržovat dostatečnou vzdálenost vrtů od sousedních pozemků a inženýrských sítí. [17]

Pro návrhové parametry je důležitou veličinou měrný výkon jímání. Tento výkon je závislý na podloží a jeho hodnota se v závislosti na typu podloží může velmi výrazně lišit. Udává, jaké teplo je možné získat z 1 metru délky vrtu. Jeho hodnoty se většinou pohybují v rozmezí 30 až 100 W/m. Pro menší tepelná čerpadla lze tuto hodnotu odhadnout z dříve vypořizovaných hodnot. [15]

| Hornina | Měrný výkon jímání |
|--|--------------------|
| Významně zvodnělé horninové systémy | 100 W/m a více |
| Pevné skalní horniny o vysoké tepelné vodivosti | 80 W/m |
| Skalní až poloskalní horniny s nevýznamným zvodněním | 50 W/m |
| Bezvodé (suché) horniny | 30 W/m a méně |

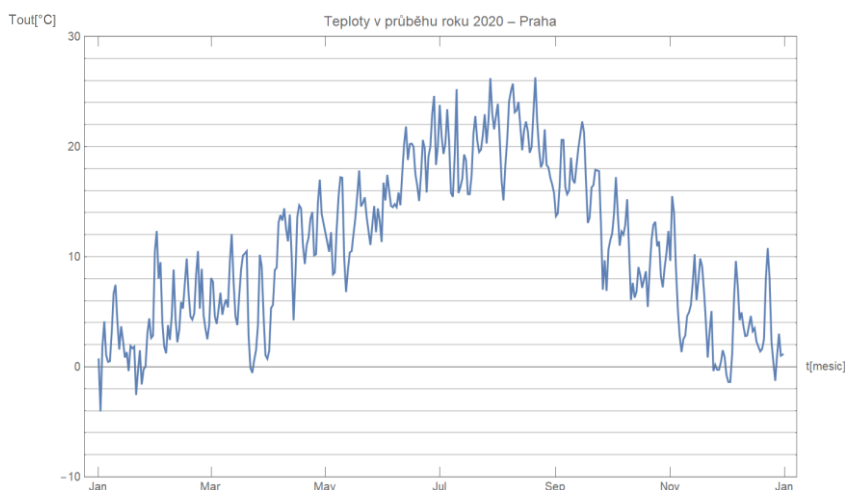
Tab. 1-1: Orientační údaje měrného výkonu jímání tepla z vrtů dle různých typů hornin v ČR, v závislosti na míře jejich zvodnění [15]

1.5 Dimenzování tepelného čerpadla

Přesné dimenzování výkonu tepelného čerpadla velmi výrazně ovlivňuje investiční náklady i dobu návratnosti tepelného čerpadla.

Vytápění objektů tepelným čerpadlem je oproti ostatním tepelným zdrojům finančně výhodnější, je tedy vhodné pokrýt co největší část tepelných ztrát právě pomocí tepelného čerpadla. Cena tepelného čerpadla však velmi výrazně závisí na jeho instalovaném výkonu a s každou instalovanou kW se cena tepelného čerpadla zvyšuje. Předimenzovaná tepelná čerpadla tedy sice pokryjí většinu tepelných ztrát objektu během roku, což sníží provozní náklady na vytápění domácnosti, avšak úspory nejsou větší než investice do výkonnějšího tepelného čerpadla. Naopak poddimenzovaná tepelná čerpadla vytápí samostatně objekt kratší část roku a provozní náklady na vytápění objektu jsou vlivem využití bivalentního zdroje vyšší.

Pro přesné dimenzování je nutné znát tepelnou ztrátu domu, která se počítá pro výpočtovou teplotu v dané lokalitě. Jedná se o venkovní teplotu pro předpokládaný extrém v místě, ve kterém se zvolený objekt nachází. V ČR se tyto teploty většinou pohybují v rozmezí -15 °C až -12 °C . Výrazný vliv na tepelnou ztrátu objektu má také požadovaná vnitřní teplota. Nastavení vnitřní teploty je individuální, obvykle se však uvažuje teplota 20 °C . Nejčastější zimní teploty se v České republice pohybují od -5 °C do 5 °C , nižší teploty nastávají během roku pouze zřídka. Proto je výhodné dimenzovat tepelná čerpadla s teplotou bivalence v rozmezí -4 °C až -7 °C . [8]



Obrázek 1-3: Průběh teplot během roku 2020, Praha (Wolfram Mathematica [44])

Teplota bivalence je minimální venkovní teplota, při které vytopí tepelné čerpadlo objekt samostatně, bez pomoci bivalentního zdroje. Při teplotách pod teplotou bivalence pomáhá tepelnému čerpadlu právě bivalentní zdroj, což může být elektrokotel, plynový kotel či kotel na tuhá paliva.

Pokud se v okolí objektu vyskytuje využitelný nízkopotenciální zdroj tepla o vysoké teplotě, případně pokud je odběr tepla v topné sezóně konstantní, vyplatí se navrhovat tepelné čerpadlo na 100 % tepelné ztráty objektu. Pro objekty, kde jsou maximální tepelné ztráty dosahovány pouze zřídka se vyplatí dimenzovat tepelné čerpadlo na nižší výkon, než je maximální tepelná ztráta objektu. Úspora, kterou získáme levnějším provozem tepelného čerpadla většinou nepokryje zvýšené počáteční náklady potřebné na instalaci zdroje s větším výkonem nebo hlubším zemním vrtem.

1.5.1 Druhy provozu tepelného čerpadla

Z hlediska nutnosti použití záložního zdroje tepla rozlišujeme provoz monovalentní a provoz bivalentní.

Za monovalentní provoz je považován provoz tepelného čerpadla bez potřeby záložního (bivalentního) zdroje tepla. Výkon tepelného čerpadla je nutné dimenzovat tak, aby bylo schopno pokrýt plnou tepelnou ztrátu budovy po celou topnou sezónu. Při návrhu výkonu tepelného čerpadla je při monovalentním provozu nutno počítat s rezervou tohoto výkonu, která pokrývá dobu nečinnosti tepelného čerpadla při vysokém tarifu, při kterém tepelné čerpadlo nepracuje. Podle [18] je cena elektřiny v levnějším tarifu 20 hodin denně. Tepelná čerpadla dimenzovaná na monovalentní provoz jsou však velmi nákladná a provoz na plný výkon je využíván jen při velmi nízkých venkovních teplotách, ke kterým dochází v topné sezóně pouze ojedinele.

Z důvodu málo častého využití plného výkonu tepelného čerpadla během topné sezóny se častěji volí provoz bivalentní, při kterém není tepelné čerpadlo dimenzováno na krytí plné tepelné ztráty objektu a je doplněno záložním (bivalentním) zdrojem. Při takovém provozu pokrývá do teploty bivalence tepelnou ztrátu pouze tepelné čerpadlo. Při nízkých teplotách, pod teplotou bivalence, není výkon tepelného čerpadla dostatečný a potřebný výkon doplňuje bivalentní zdroj. [10]

1.6 Životnost tepelného čerpadla

Životnost tepelných čerpadel hraje zásadní roli při výběru nejvhodnějšího tepelného čerpadla i pro jeho ekonomické hodnocení.

Životnost tepelných čerpadel je omezena především kvalitou jednotlivých dílů, zejména pak kvalitou nejvíce namáhané části. Nejvíce namáhanou částí tepelných čerpadel je kompresor, jehož životnost je omezena počtem startů. Doba životnosti tepelného čerpadla tedy závisí na četnosti jeho spínání. Důležité je tedy správné dimenzování a regulace tepelného čerpadla. [19]

Další faktor významně ovlivňující životnost tepelného čerpadla je teplota topné vody, která je určena typem otopné soustavy. Tepelná čerpadla vytápějící vodu na nižší teploty mají obecně vyšší životnost než tepelná čerpadla vytápějící vodu na teplotu vyšší.

1.7 Systém vytápění

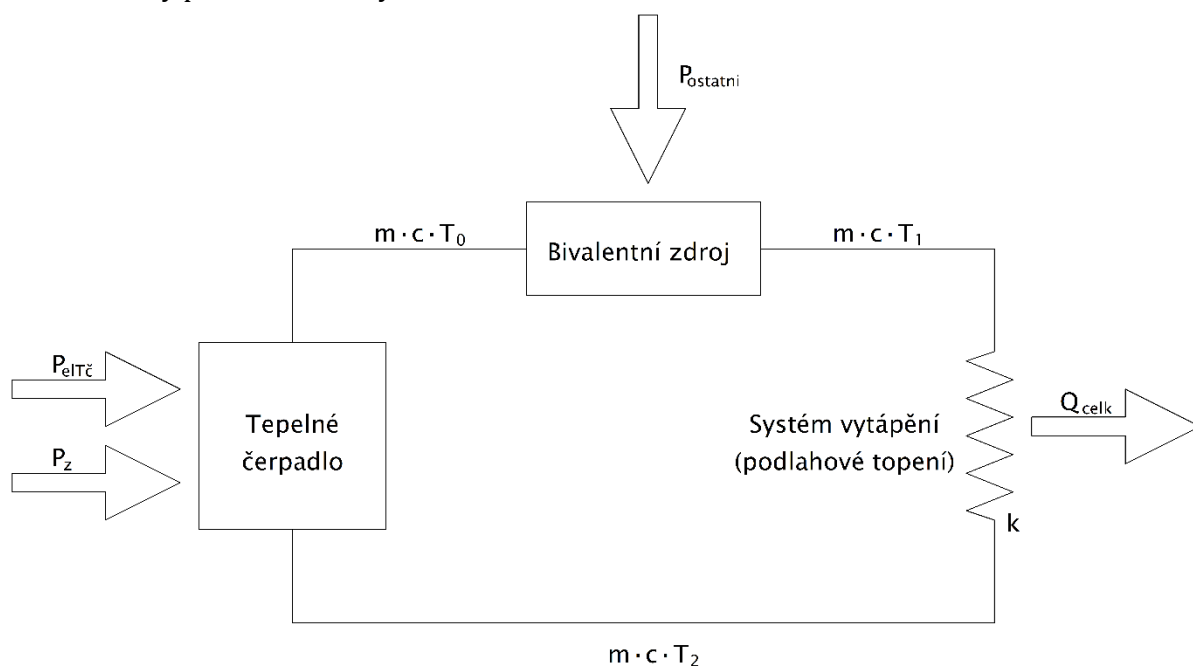
Pro novostavby je při použití tepelného čerpadla doporučeno využívat velkoplošné topné systémy. Mezi velkoplošné topné systémy řadíme podlahové, stěnové a stropní vytápění. Tyto systémy dokážou, díky velké otopné ploše, zajistit dostatečné předání tepla vytápěným prostorům i při nižších teplotách topné vody. Při vyšších teplotách vody klesá topný faktor tepelného čerpadla a s ním i jeho účinnost. Provoz tepelného čerpadla je tedy při nižších teplotách vody otopného systému úspornější.

Velkoplošné systémy sdílejí teplo do vytápěného prostoru především sáláním [20]. „Podíl tepelného toku sáláním u stropního vytápění je zhruba 80 %, u stěnového 65 % a u podlahového 55 %.“ [20] Z hlediska tepelné pohody se ideálnímu prostorovému rozložení teplot blíží nejvíce podlahové vytápění.

Z hlediska životnosti tepelného čerpadla mají systémy vytápějící vodu na nižší teploty obecně vyšší životnost, což je další podstatná výhoda pro výběr podlahového vytápění v kombinaci s tepelným čerpadlem.

1.8 Modelování provozu tepelného čerpadla

Model otopného systému je uvažován jako systém složený z tepelného čerpadla, bivalentního tepelného zdroje a systému vytápění. Takto složený otopný systém lze popsat pomocí schématu nebo matematicky pomocí soustavy rovnic.



Obrázek 1-4: Schéma modelu systému vytápění (ProfiCAD [45])

Matematický popis modelu otopného systému pomocí soustavy rovnic:

$$COP \cdot P_{elT\check{c}} = \dot{m} \cdot c \cdot (T_0 - T_2), \quad (1-3)$$

$$P_{ostatni} = \dot{m} \cdot c \cdot (T_1 - T_0), \quad (1-4)$$

$$Q_{celk} = \dot{m} \cdot c \cdot (T_1 - T_2), \quad (1-5)$$

$$Q_{celk} = k \cdot \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_{IN} \right), \quad (1-6)$$

- \dot{m} hmotnostní tok vody v otopném systému $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$,
- c měrná tepelná kapacita vody $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right]$,
- k konstanta otopné soustavy $\left[\frac{\text{J}}{\text{K}}\right]$,
- T_0 výstupní teplota otopné vody z tepelného čerpadla [K],
- T_1 vstupní teplota do systému vytápění [K],
- T_2 výstupní teplota ze systému vytápění [K],

| | |
|--------------------|---|
| COP | topný faktor tepelného čerpadla [-], |
| $P_{elT\check{c}}$ | elektrický příkon tepelného čerpadla [W], |
| P_z | elektrický výkon nízkopotenciálního zdroje [W], |
| $P_{ostatni}$ | výkon bivalentního zdroje tepla [W], |
| Q_{celk} | celkové ztráty objektu [W]. |

Rovnice (1-3) a (1-4) popisují, jaký výkon musí být dodáván jednotlivými tepelnými zdroji na ohřátí vody v otopném systému. V rovnici (1-3) je tímto zdrojem tepelné čerpadlo s topným faktorem COP. Dodávaný elektrický příkon je $P_{elT\check{c}}$. Tento příkon je dodán kompresoru tepelného čerpadla. Součin topného faktoru a elektrického příkonu tepelného čerpadla je podle rovnice (1-2) právě tepelný výkon, kterým tepelné čerpadlo ohřívá vodu v otopné soustavě. V rovnici (1-4) je zdrojem tepla bivalentní zdroj.

Rovnice (1-5) popisuje výkon, který soustava předává vytápěnému objektu při ochlazení teploty otopné vody. Tento tepelný přenos probíhá pomocí *systemu vytápění*, např. podlahového vytápění nebo radiátorů.

Rovnice (1-6) popisuje přestup tepla z otopné soustavy do interiéru objektu, linearizovaný nejjednodušší popis, doporučený vedoucím práce.

KAPITOLA 2: TEPELNÉ ZTRÁTY

Pro přesné dimenzování tepelného čerpadla je zapotřebí stanovit co nejpřesnější tepelnou ztrátu posuzovaného objektu. U budov, pro které známe potřebné konstrukční parametry lze tepelnou ztrátu objektu určit pomocí výpočtu. Stanovením tepelné ztráty budovy se zabývalo mnoho norem. Aktuální normou je česká verze evropské normy ČSN EN 12831-1 účinná od 1.10.2018 [21].

Tepelná ztráta budovy je teplo, které uvažovaný objekt ztratí únikem do exteriéru. Jednotkou tepelných ztrát je Wh (Watt hodina). Obvykle však tepelné ztráty dosahují řádu MWh. Teplo z domu uniká především prostupem dveřmi, okny, podlahami nebo stěnami a větráním. Tyto ztráty můžeme snížit odečtením tepelných zisků, pokud je dům dokáže využít. [21]

Celkové tepelné ztráty domu tvoří ztráty prostupem a ztráty větráním. Ztráty větráním dále dělíme na přirozené větrání a nucené větrání.

2.1 Způsoby sdílení tepla

Sdílení tepla popisují zákony šíření tepla, které patří do části fyziky zvané termomechanika. Šíření tepla probíhá třemi základními způsoby a to vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací).

2.1.1 Sdílení tepla vedením (kondukcí)

Sdílení tepla kondukcí probíhá v pevné látce, mají-li různé části tělesa různé teploty. Teplejší molekuly mají vyšší střední kinetickou energii než molekuly studenější. Kvůli vzájemným srážkám, předávají rychleji kmitající molekuly energii pomaleji kmitajícím molekulám, pomaleji kmitající molekuly naopak přijímají energii od rychleji kmitajících molekul. Tím se studenější část tělesa ohřívá, teplejší část tělesa se naopak ochlazuje a rozdíl teplot různě teplých částí tělesa se snižuje. Mají-li všechny části tělesa stejnou teplotu, sdílení tepla vedením neprobíhá.

Tepelné ztráty konvekcí jsou způsobeny prostupem tepla konstrukcí objektu. Prostup tepla je závislý na součiniteli tepelné vodivosti a tloušťce materiálu. Tyto veličiny spojuje tepelný odpor. Tepelné ztráty kondukcí se pro rovinnou plochu počítají podle vzorce:

$$Q_{\lambda} = \frac{\lambda}{d} \cdot S \cdot (T_{int} - T_{ext}), \quad (2-1)$$

| | |
|---------------|---|
| Q_{λ} | ztráty tepla kondukcí [W], |
| λ | součinitel tepelné vodivosti [$\frac{W}{m \cdot K}$], |
| d | tloušťka konstrukce [m], |
| S | plocha, kterou probíhá prostup [m^2], |
| T_{int} | vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}C$], |
| T_{ext} | venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}C$]. |

2.1.2 Sdílení tepla prouděním (konvekcí)

Sdílení tepla konvekcí neboli prouděním probíhá při styku tekutiny s pevným tělesem, v případě budovy probíhá mezi vzduchem a stěnou objektu. Sdílení tepla prouděním je možné právě díky transportu částic, který je možný pouze v tekutinách, nikoliv v pevných látkách. Konvekci lze rozlišovat na přirozenou a nucenou.

Přirozená konvekce je způsobena změnou hustoty kapaliny při změně její teploty. Teplejší část tekutiny má nižší hustotu než část studenější, tím dochází k vzájemnému pohybu jednotlivých částic. Příčinou nucené konvekce jsou vnější vlivy, kterými mohou být čerpadla, ventilátory nebo vítr. Sdílení tepla konvekcí tedy ovlivňuje nejen rozdíl teplot, ale i rychlost proudění vzduchu. Sdílení tepla bude tím intenzivnější, čím větší bude rychlost proudění vzduchu [23]. [23]

U tepelných ztrát konvekcí charakterizuje materiál z tepelného hlediska součinitel přestupu tepla konvekcí, následně tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy. Tepelné ztráty konvekcí se na rozhraní pevné látky a vzduchu se počítají podle vzorce:

$$Q_{\alpha} = \alpha \cdot S \cdot (T_{1k} - T_{2k}), \quad (2-2)$$

| | |
|--------------|--|
| Q_{α} | tepelné ztráty konvekcí [W], |
| α | součinitel přestupu tepla konvekcí [$\frac{W}{m^2K}$], |
| S | plocha, kterou probíhá prostup [m^2], |
| T_{1k} | vnitřní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}C$], |
| T_{2k} | teplota okolí objektu [$^{\circ}C$]. |

2.1.3 Sdílení tepla sáláním (radiací)

Sdílení tepla sáláním probíhá, pokud těleso vyzařuje energii ve formě elektromagnetického záření. Proto pro sdílení tepla sáláním není potřeba látkové prostředí a přenos tepla tak může probíhat i ve vakuu. Vyzařovaná energie závisí na teplotě tělesa, obsahu vyzařující plochy a barvě povrchu tělesa. Při dopadu záření na těleso se část dopadajícího záření odráží, část tělesem prochází a část tohoto záření těleso pohltí. Poměry těchto částí vyjadřuje odrazivost, průteplivost a pohltivost. Pro výpočet tepelných ztrát se sdílení tepla sáláním se kvůli své obtížnosti zanedbává.

2.2 Výpočet celkových tepelných ztrát

Navrhovaný tepelný výkon je počítán podle aktuálně platné normy ČSN EN 12831-1 [21]. Postup výpočtu je v normě uveden v kapitole 8 „Zjednodušená metoda pro výpočet návrhového tepelného výkonu pro budovu“. Návrhová tepelná ztráta vytápěné budovy je stanovena podle [21] jako součet návrhové tepelné ztráty prostupem budovy a návrhové tepelné ztráty větráním budovy. Od těchto ztrát je následně možné odečíst tepelné zisky a snížit tak celkovou ztrátu budovy. Návrhová tepelná ztráta vytápěné budovy je počítána ze vzorce:

$$Q_{celk} = Q_{prostup} + Q_{větrání} - \sum_i Q_{zisk,i}, \quad (2-3)$$

| | |
|----------------------------|--|
| Q_{celk} | návrhová tepelná ztráta budovy [W], |
| Q_{prostup} | návrhová tepelná ztráta prostupem budovy [W], |
| $Q_{\text{větrání}}$ | návrhová tepelná ztráta větráním budovy [W], |
| $\sum_i Q_{\text{zisk},i}$ | součet trvalých tepelných zisků pro vytápěné prostory (i) [W]. |

Při výpočtu tepelných ztrát uvažujeme extrémní podmínky, tedy nejvíce nepříznivé podmínky v dané lokalitě. Za výpočtové teploty se považují nejnižší předpokládané teploty, ve kterých se objekt nachází.

2.2.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem budovy

Ztráty prostupem tepla jsou zapříčiněny prostupem tepla z interiéru přes konstrukce objektu do exteriéru. Velikost ztrát prostupem je ovlivněna materiálem konstrukce objektu, konkrétně závisí zejména na jeho celkové tepelné vodivosti. Celkové ztráty tepla prostupem uvažujeme z tepelných ztrát konvekcí (prouděním) a tepelných ztrát kondukcí (vedením).

Pro výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem Q_{prostup} je nutné určit obálku vytápěné části objektu. Obálka budovy je podle [21] definována jako povrch, oddělující uvažovaný prostor od venkovního prostředí a od nevytápěných prostor. Následně je nutné určit součinitele prostupu tepla pro každou stavební část obálky, teplotního opravného činitele jednotlivých stavebních částí a následně teplo, které prostoupí těmito částmi konstrukce. Celkové ztráty prostupem objektu jsou pak součtem těchto jednotlivých ztrát prostupem každou stavebních částí obálky objektu.

Navrhovaná tepelná ztráta prostupem budovy je podle [21] definována jako:

$$Q_{\text{prostup}} = \sum_k Q_{\text{prostup},k} = \sum_k S_k \cdot (U_k + \Delta U_{\text{TB}}) \cdot f_{x,k} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}), \quad (2-4)$$

| | |
|------------------------|---|
| Q_{prostup} | návrhová tepelná ztráta prostupem budovy [W], |
| $Q_{\text{prostup},k}$ | tepelná ztráta prostupem stavební části (k) [W], |
| S_k | plocha stavební části (k) [m^2], |
| U_k | součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$], |
| ΔU_{TB} | přirážka na vliv tepelných vazeb, zanedbáno $\Delta U_{\text{TB}} = 0$ [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$], |
| $f_{x,k}$ | teplotní opravný činitel (pro stavební část k) [-], |
| T_{int} | vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$], |
| T_{ext} | venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]. |

Pro výpočet navrhované tepelné ztráty prostupem podle vzorce (2-4) je potřeba zjistit součinitele prostupu tepla a teplotního opravného činitele pro každou stavební část obálky budovy.

2.2.1.1 Součinitel prostupu tepla

„**Součinitel prostupu tepla konstrukcí** U vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory, oddělenými od sebe stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami“ [24]. „Tato vlastnost hodnotí vliv celé konstrukce a k ní přilehlých vzduchových vrstev na šíření tepla prostupem.“ [25]. Součinitel prostupu tepla je odvozen z celkového tepelného odporu konstrukce. Vypočítat lze jako převrácená hodnota celkového tepelného odporu konstrukce při prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{R_T}. \quad (2-5)$$

Tepelný odpor jedné vrstvy konstrukce R_i je tepelně izolační vlastnost vrstvy materiálu. Vyjadřuje schopnost materiálu klást odpor průchodu tepla [24]. Tento odpor záleží především na součiniteli tepelné vodivosti. Součinitel tepelné vodivosti vyjadřuje rychlost šíření tepla z teplejší části konstrukce do části studenější neboli jak rychle předávají rychle kmitající molekuly energii molekulám pomaleji kmitajícím. Součinitel tepelné vodivosti se značí řeckým písmenem λ . Jeho hodnotu určíme z tabulek či z údajů udávaných výrobcí materiálu. Tepelný odpor jedné vrstvy konstrukce se počítá ze vztahu:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}. \quad (2-6)$$

Konstrukce budov se však většinou skládají z více vrstev materiálu, které mají navzájem různé tloušťky i tepelné vodivosti. Pro výpočty je tedy nutné uvažovat celkový tepelný odpor konstrukce složené z více materiálů. **Tepelný odpor konstrukce** se stanoví jako součet tepelných odporů jednotlivých vrstev, ze kterých je tato konstrukce složena [26].

$$R = \sum R_j. \quad (2-7)$$

Tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy R_{si} , R_{se} „je tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy, přiléhající bezprostředně k vnitřní nebo vnější straně konstrukce.“ [24] Je odvozen od součinitele prostupu tepla konvekcí. Tento součinitel udává tepelný tok, který přestupuje mezi materiálem pevného skupenství a vzduchem. Součinitel prostupu tepla konvekcí se značí řeckým písmenem α a jeho hodnoty získáme z tabulek. U budov je potřeba uvažovat tento odpor na vnitřní a vnější straně konstrukce. Spočítá se jako převrácená hodnota příslušného součinitele přestupu tepla konvekcí:

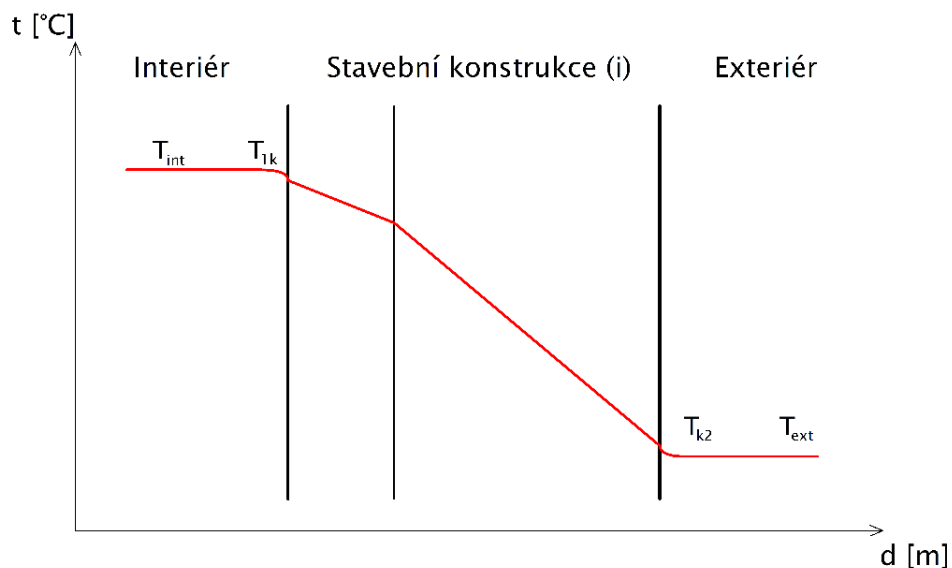
$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_{int}}. \quad (2-8)$$

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_{ext}}. \quad (2-9)$$

Tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla je „úhrnný tepelný odpor bránící výměně tepla mezi prostředními oddělenými od sebe stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami“ [26]. Je definován vztahem:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}. \quad (2-10)$$

| | |
|----------------|--|
| U | součinitel prostupu tepla stavební konstrukce $[\frac{W}{m^2K}]$, |
| R_T | tepelný odpor při prostupu tepla konstrukce složené z více vrstev $[\frac{m^2K}{W}]$, |
| R | tepelný odpor konstrukce složené z více vrstev $[\frac{m^2K}{W}]$, |
| R_j | tepelný odpor stavební části $[\frac{m^2K}{W}]$, |
| R_{si} | tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy na vnitřní straně konstrukce $[\frac{m^2K}{W}]$, |
| R_{se} | tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy na vnější straně konstrukce $[\frac{m^2K}{W}]$, |
| d_j | tloušťka vrstvy stavební části [m], |
| λ_j | součinitel tepelné vodivosti materiálu vrstvy stavební části $[\frac{W}{m \cdot K}]$, |
| α_{int} | součinitel prostupu tepla konvekcí na vnitřní straně objektu $[\frac{W}{m^2K}]$, |
| α_{ext} | součinitel prostupu tepla konvekcí na vnější straně objektu $[\frac{W}{m^2K}]$. |



Obrázek 2-1: Průběh teplot ve stavební části objektu (ProfiCad [45])

Ze vzorců (2-3) a (2-4) vyplývá, že pro minimální tepelné ztráty prostupem objektu je důležité, aby hodnota součinitele prostupu tepla U jednotlivých částí konstrukce objektu byla co možná nejmenší. Při návrhu objektu s minimálními tepelnými ztrátami je tedy nutné (podle (2-5)), aby tepelný odpor materiálů, ze kterých se konstrukce budovy skládá, byl co největší.

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy je také jedním z kritérií hodnocení objektu podle Průkazu energetické náročnosti budov. Zařazení do klasifikačních tříd vychází z porovnání s průměrnými hodnotami součinitele prostupu tepla budovy stejného druhu.

2.2.1.2 Teplotní opravný činitel

Pro určení návrhové tepelné ztráty budovy je dále zapotřebí určit teplotní opravný činitel jednotlivých částí konstrukce. Teplotní opravný činitel zohledňuje teplotní rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí objektu a venkovní výpočtovou teplotou. Sousedním prostředím s odlišnou teplotou může být například zemina sousedící s podlahovou částí objektu, část budovy vytápěná na odlišnou teplotou nebo nevytápěný prostor budovy. Teplotní opravný činitel lze podle [21] spočítat ze vztahu:

$$f_{i,x,k} = \frac{T_{int} - T_x}{T_{int} - T_{ext}}, \quad (2-11)$$

$f_{i,x,k}$ teplotní opravný činitel vytápěného prostoru (i) do jiného prostředí nebo prostoru (x) přes stavební část (k) [-],
 T_{int} vnitřní výpočtová teplota [°C],
 T_{ext} venkovní výpočtová teplota [°C],
 T_x teplota sousedního prostoru nebo prostředí (x) [°C].

Pokud má sousední prostředí stejnou teplotu jako je teplota výpočtová, vychází teplotní opravný činitel rovný jedné a návrhovou tepelnou ztrátu budovy neovlivní.

2.2.2 Tepelná ztráta větráním

Další kategorie tepelných ztrát, kterou je nutné připočítat při výpočtu celkových ztrát objektu jsou tepelné ztráty větráním. Hlavním úkolem větrání je hygienická výměna vzduchu v místnosti. Ukazatelem kvality vzduchu je koncentrace oxidu uhličitého ve vnitřním vzduchu. Vysoký obsah CO₂ má za následek pokles soustředěnosti nebo pocit únavy, může však být příčinou i mnoha zdravotních komplikací. Proto musí být podle závazných předpisů každá místnost v rodinném domě dostatečně větrána [27]. Tuto podmínku lze splnit pomocí větrání přirozeného nebo větrání nuceného.

Podle vyhlášky č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby [27] musí být v obytných místnostech zajištěno dostatečné přirozené či nucené větrání. V době pohybu osob je vyhláškou [27] stanoveno minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu na 25 m³/h nebo minimální intenzita větrání na 0,5 h⁻¹. Koncentrace oxidu uhličitého pak nesmí překročit hodnotu 1 500 ppm. [27]

2.2.2.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání domů probíhá především pomocí otevření oken. Vzduch je v místnosti vyměňován díky rozdílnému tlaku vzduchu uvnitř a vně místnosti. Dále může být přirozené větrání realizováno pomocí infiltrace neboli pronikání vzduchu do místnosti. Tento způsob probíhá především u starších budov. U budov moderních je díky dnes používaným materiálům s výbornými izolačními vlastnostmi téměř nemožný. [28]

2.2.2.2 Nucené větrání

Druhým způsobem sloužící k obměně vzduchu v budově je větrání nucené. Tento způsob je u současných budov realizován především pomocí rovnotlakého systému, který zajišťuje řízenou výměnu vzduchu v místnosti, filtraci vzduchu, zpětné získávání tepla, případně ohřev dodávaného vzduchu [28].

Dříve bylo nucené větrání realizováno pomocí podtlakových systémů. Při této metodě byl vzduch z místnosti odváděn pomocí ventilátorů. Odváděný vzduch byl nahrazen infiltrovaným vzduchem. Infiltrace však je v moderních domech nežádoucí, a tento systém je tudíž pro moderní budovy nevhodný. [28]

2.2.2.3 Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním

Tepelné ztráty větráním jsou velmi závislé na rozdílu teplot uvnitř a vně objektu a také na intenzitě větrání. Výpočet tepelných ztrát větráním probíhá podle normy ČSN EN 12831-1 [21] podle vzorce:

$$Q_{\text{větrání}} = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot n \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}), \quad (2-12)$$

| | |
|----------------------|--|
| $Q_{\text{větrání}}$ | návrhová tepelná ztráta větráním budovy [W], |
| V | vnitřní objem vzduchu budovy [m^3], |
| ρ | hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$], |
| c_p | měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě [$\frac{\text{Wh}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$], |
| n | intenzita větrání budovy [h^{-1}], |
| T_{int} | vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [$^{\circ}\text{C}$], |
| T_{ext} | venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]. |

2.2.3 Tepelné zisky

Pro potřebu výpočtu energie nutnou k vytápění budovy je také potřeba vyhodnotit tepelné zisky této budovy, které mohou výrazně ovlivnit celkovou energetickou bilanci a snížit náklady na vytápění. Tepelné zisky můžeme rozdělit na tepelné zisky od vnitřních zdrojů a pasivní solární tepelné zisky. Celkové tepelné zisky se získají součtem těchto jednotlivých tepelných zisků.

2.2.3.1 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů

Tepelné zisky od vnitřních zdrojů neboli vnitřní tepelné zisky jsou teplo, které vzniká uvnitř budovy v důsledku pohybu jejích uživatelů (metabolické teplo) a od spotřebičů jako jsou například svítidla, domácí spotřebiče, elektromotory a elektronické zařízení. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů jsou součtem všech hodnot jednotlivých vnitřních zdrojů tepla [29].

2.2.3.2 Pasivní solární tepelné zisky

Sluneční energie se v budovách často projevuje v pozitivním smyslu jako zdroj tepelných zisků. Jedná se o energii, která proniká do vnitřního prostoru objektu přes zasklené plochy, neprůsvitné

stěny a střechy tohoto objektu. Solární zisky lze ovlivnit především orientací objektu, propustností slunečního záření zasklenými plochami a plochou zasklené části objektu. U těchto ploch závisí především na tepelně-izolačních vlastnostech materiálu neboli součiniteli prostupu tepla a na prostupu tepelného slunečního záření.

Nejjednodušší výpočet tepelných zisků ze zasklení pro jednotlivé měsíce je možný dle platné normy ČSN 73 0542 [30] a [31] podle vzorce:

$$E_{Zm} = E_{gm} \cdot A_{ok,p} \cdot T \cdot c_m \cdot c_n, \quad (2-13)$$

E_{Zm} průměrný tepelný zisk zasklení ze slunečního záření za měsíc $[\frac{kWh}{m\acute{e}s}]$,

E_{gm} globální sluneční záření $[\frac{kWh}{m^2 \cdot m\acute{e}s}]$,

$A_{ok,p}$ plocha průsvitné části okna $[m^2]$,

T celková propustnost slunečního záření okna $T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3$ [-]

T_1 propustnost slunečního záření zasklení [-],

T_2 znečištění zasklení, není-li známá konkrétní hodnota ... $T_2 = 0,9$ [-],

T_3 činitel stínění okna [-],

c_m činitel využití slunečního záření [-],

c_n činitel korigující skutečnost, že dopad slunečních paprsků není kolmý, $c_n = 0,9$ [-].

2.3 Energetická náročnost budovy

Průkaz energetické náročnosti budov (zkráceně PENB) hodnotí veškerou energii, která je potřeba na celkový provoz objektu. Zohledňuje, z jakého materiálu je objekt postaven, ale také energetickou náročnost technologií používaných na vytápění a chlazení objektu, ohřev teplé vody, osvětlení a větrání objektu. Podle těchto parametrů rozděluje PENB objekty podle jejich energetické náročnosti do sedmi energetických tříd označených písmeny A až G. [32]

Důvodem zavedení PENB je stále se zvyšující tlak na snižování spotřeby elektrické energie a omezování emisí oxidu uhličitého. Podle *Evropské komise* [33] připadá na budovy přibližně 40 % spotřeby energie v EU a 36 % emisí skleníkových plynů. Cílem je dosáhnout vyšší energetické účinnosti budov, snižovat jejich uhlíkovou stopu a směřovat tak k postupnému dosažení tzv. uhlíkové neutrality. Proto byl zaveden minimální požadavek pro nově postavené a rekonstruované budovy. "*Minimální požadavek na novou a rekonstruovanou budovu je stanoven horní hranici třídy C*" [34], což znamená, že nově postavený objekt musí spadat do energetických tříd A, B nebo C.

Zařazení do jednotlivých energetických tříd se provádí porovnáním vypočtených hodnocení budovy s hodnotami referenční budovy, tedy budovy stejného druhu o stejném geometrickém tvaru, stejnou velikostí zasklených ploch a stejnou orientací.

Jedním z kritérií je ukazatel součinitele prostupu tepla budovy. Hodnocení objektu (podle součinitele prostupu tepla) vychází z porovnání průměrného součinitele prostupu tepla počítané budovy s hodnotami součinitele prostupu tepla referenční budovy. Za referenční hodnoty součinitele prostupu tepla jsou zvoleny „*Požadované hodnoty*“ podle ČSN 73 0540-2 *Tabulka 3* [35, str. 13]. Pro obě budovy je nutné vypočítat průměrný vážený součinitel prostupu tepla.

Klasifikační třída obálky budovy vychází z poměru těchto průměrných součinitelů prostupu tepla neboli:

$$CI = \frac{U_{em}}{U_{en,N}}, \quad (2-14)$$

CI klasifikační ukazatel [-],

U_{em} průměrný ukazatel prostupu tepla počítané budovy [$\frac{W}{m^2K}$],

$U_{en,N}$ průměrný ukazatel prostupu tepla referenční budovy [$\frac{W}{m^2K}$].

Klasifikační třída obálky budov se na základě klasifikačního ukazatele volí podle Tabulky 2-1.

| Klasifikační třídy | Slovní vyjádření klasifikační třídy | Klasifikační ukazatel CI [-] |
|--------------------|-------------------------------------|---|
| A | Velmi úsporná | ← 0,5 ← 0,75 ← 1,0 ← 1,5 ← 2,0 ← 2,5 |
| B | Úsporná | |
| C | Vyhovující | |
| D | Nevyhovující | |
| E | Nehospodárná | |
| F | Velmi nehospodárná | |
| G | Mimořádně nehospodárná | |

Tabulka 2-1: Klasifikace prostupu tepla obálkou objektu podle ČSN 730540-2 C.2 [35, str. 52]

Podle PENB lze odvodit roční náklady za energie při typickém užívání objektu, a proto může hrát Průkaz energetické náročnosti budovy velmi významnou roli při oceňování budovy na trhu. [32]

KAPITOLA 3: EKONOMICKÉ HODNOCENÍ INVESTIC

V případě ekonomického hodnocení jednoho či více projektů a následném výběru, zda a do jakého projektu investovat je zapotřebí tyto projekty zhodnotit pomocí kritérií určených pro ekonomické hodnocení investic. Stejně to platí i pro hodnocení investic do různých druhů tepelných čerpadel. Kritérií pro ekonomické hodnocení investic je více a je potřeba vybrat ty, které nejlépe vyhovují zadaným hodnotám a parametrům.

3.1 Ekonomická kritéria pro hodnocení investic

Při hodnocení projektů, které mají dlouhou dobu životnosti by ekonomické hodnocení mělo respektovat cenový vývoj neboli inflaci. Současná hodnota peněz se v čase mění. Peníze získané na konci životnosti projektu mají nižší současnou hodnotu než peníze získané na začátku životnosti. Očekávané získané peníze v budoucích letech tedy musíme diskontovat neboli snížit jejich současnou hodnotu. Výpočet diskontovaných budoucích peněžních toků získáme vynásobením skutečného peněžního toku v čase t anuitním faktorem neboli:

$$CF_{diskont,t} = CF_t \cdot (1 + r)^{-t}, \quad (3-1)$$

| | |
|------------------|---|
| $CF_{diskont,t}$ | diskontovaný peněžní tok v čase t [Kč], |
| CF_t | peněžní tok v čase t [Kč], |
| r | diskontní sazba [-], |
| t | čas [rok]. |

3.1.1 Doba návratnosti investice

Jedním z nejjednodušších ukazatelů ekonomické efektivnosti investice je doba návratnosti investice. Pro započítání časové hodnoty peněz je zapotřebí počítat s diskontovanou dobu návratnosti, která tento parametr zohledňuje. Doba návratnosti zahrnuje peněžní toky pouze do doby návratnosti. Peněžní toky, jako je například zůstatková hodnota nebo naopak likvidační a servisní výdaje nejsou po době splacení zohledněny. Při porovnání a výběru nejvhodnější varianty vybíráme investici s co možná nejkratší dobou návratnosti. Doba životnosti investice vychází ze vztahu:

$$PP: Inv = \sum_{t=1}^{PP} \frac{CF_t}{(1 + r)^t}, \quad (3-2)$$

| | |
|--------|-----------------------------------|
| PP | doba návratnosti investice [rok], |
| Inv | investice [Kč], |
| CF_t | peněžní tok v čase t [Kč], |
| r | diskontní sazba [-] |
| t | čas [rok]. |

Tato metoda je díky své jednoduchosti a názornosti často využívána, obsahuje však mnoho zjednodušení, a proto není příliš vhodná pro hodnocení „složitějších“ investic.

3.1.2 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (NPV) je naopak jedním z nevhodnějších kritérií při ekonomickém hodnocení investic. Tato metoda respektuje všechny zásady ekonomického hodnocení investic. Sčítá peněžní toky, a to za celou dobu životnosti projektu až do likvidace a respektuje časovou hodnotu peněz. Kritérium NPV však nelze použít pro hodnocení více investic s různými dobami životnosti. Optimální variantou v případě vylučujících se investic je investice s maximální hodnotou NPV. Čistá současná hodnota se počítá podle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} CF_t \cdot (1+r)^{-t}, \quad (3-3)$$

| | |
|---------------|----------------------------------|
| NPV | čistá současná hodnota [Kč], |
| $T_{\dot{z}}$ | doba životnosti investice [rok], |
| r | diskontní sazba [-], |
| CF_t | peněžní tok v čase t [Kč], |
| t | čas [rok]. |

3.1.3 Roční ekvivalentní peněžní tok

Roční ekvivalentní peněžní tok (RCF) je dalším z neobjektivnějších kritérií používaných při ekonomickém hodnocení projektů. „Jedná se o čistou současnou hodnotu projektu vydělenou anuitním faktorem.“ [36] Dojde tak k rovnoměrnému rozdělení peněžních toků do jednotlivých let celé životnosti investice. Díky tomu je kritérium vhodné zejména pro porovnání investic s rozdílnými dobami životnosti, které mají shodný počáteční rok investice. V případě vylučujících se investic, vybereme investici, která má hodnotu RCF co největší. Hodnotu ekvivalentního peněžního toku lze získat ze vzorce:

$$RCF = \frac{r}{(1-(1+r)^{-T_{\dot{z}}})} \cdot NPV, \quad (3-4)$$

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| RCF | roční ekvivalentní peněžní tok [Kč], |
| $T_{\dot{z}}$ | doba životnosti investice [rok], |
| r | diskontní sazba [-], |
| NPV | čistá současná hodnota [Kč]. |

KAPITOLA 4: VÝPOČETNÍ PROGRAM

Pro porovnání systémů vytápění s tepelnými čerpadly vzduch-voda a zemní vrt-voda je zapotřebí vytvoření matematických modelů jednotlivých systémů vytápění. Pomocí nich je modelován provoz jednotlivých tepelných čerpadel. Cílem modelů je získat závislosti výkonů souvisejících s vytápěním objektu na venkovní teplotě, které jsou základem pro energetické a ekonomické porovnání systémů. Výpočet je pro delší časové období náročný, proto je nutné použít výkonný matematický aparát. V této práci je matematický model zpracován v prostředí Wolfram Mathematica [44].

Pro účel porovnání energetické a ekonomické náročnosti systémů jsem v softwaru Wolfram Mathematica [44] vytvořil výpočetní program, jehož výsledky slouží k porovnání různých tepelných čerpadel. Na základě zvolených parametrů vyhledá a zpracuje data reálných teplot předchozích let ve zvolené lokalitě (kapitola 4.1.2), počítá závislost tepelných ztrát vytápěného objektu na venkovní teplotě (kapitola 4.1.3) a podle matematického modelu vytvoří závislosti výkonů tepelných čerpadel a bivalentního zdroje tepla opět v závislosti na venkovní teplotě (kapitola 4.1.4). Z těchto průběhů jsou díky znalosti skutečných teplot vypočteny celkové energie potřebné k vytápění objektu za uvažované období (kapitola 4.1.5) a pomocí ekonomických kritérií uvedených v kapitole 3.1 je porovnána výhodnost investic do jednotlivých variant tepelných čerpadel (kapitola 4.1.6). Takřka všechny parametry lze téměř libovolně měnit podle konkrétních rozměrů a charakteristických veličin uvažovaného objektu, lokality, ve které se objekt nachází nebo parametrů, cen a životností zvolených tepelných čerpadel. Kód programu a matematických výpočtů vytvořených v prostředí Wolfram Mathematica je přiložen v Příloze A.

Program není vázaný na zvolené parametry. Všechny parametry nacházející se v notebooku „#Ozakladni_parametry.nb“ lze měnit. Program je tedy použitelný pro porovnání libovolných tepelných čerpadel, pro které jsou známy charakteristiky výkonů i pro objekty nacházejících na různých místech, s různou stavební konstrukcí nebo s rozlišnými požadavky na vnitřní teplotu či systém vytápění.

Dále program umožňuje vypsát či graficky znázornit průběžné hodnoty nebo průběhy stěžejních mezivýsledků vyskytujících se ve výpočtu.

Pozn.: před prvním spuštěním programu je nutné zadat přesné umístění spouštěných souborů do proměnné „UmisteniSouboru“.

4.1 Podrobný popis programu

Část programu, pomocí níž jsou propojeny jednotlivé výpočty a dochází v ní ke spuštění jednotlivých notebooků s výpočty obsahuje soubor s názvem „###hlavni_program.nb“. Vzdálené spuštění notebooků s dílčími výpočty, je realizováno pomocí příkazu „NotebookEvaluate“. Tyto výpočty jsou diskutovány v následujících odstavcích.

4.1.1 Volba parametrů

Volba všech nastavitelných parametrů, které jsou ve výpočtech uvažovány probíhá v samostatném notebooku „#Ozakladni_parametry.nb“. Takto nastavit lze nejprve charakteristiky elektrického příkonu a topného výkonu tepelných čerpadel v závislosti na požadované teplotě

vody v otopném systému a venkovní teplotě. Tato data popisují chování tepelného čerpadla a pro správné modelování reálného provozu je nutné uvedené charakteristiky pro konkrétní tepelná čerpadla získat. Dále je možné nastavit teploty vody otopné soustavy, například v závislosti na zvoleném systému vytápění objektu, nastavit lokalitu objektu a uvažované období, za které mají být celkové energie počítány. V další části jsou nastavovány parametry vytápěného objektu, které jsou nezbytné k určení tepelných ztrát tohoto objektu. Jedná se o obsahy jednotlivých stavebních částí obálky a jejich součinitele prostupu tepla. V poslední části jsou voleny ekonomické parametry tepelného čerpadla, kterými jsou investice do jednotlivých tepelných čerpadel s jejich životnostmi, diskont a celková cena za MWh elektrické energie. U tepelného čerpadla zemní vrt-voda je dále možné zadat vyšší investice do zemního vrtu a jeho životnost.

Pro ukládání předem nastavených parametrů a průběžných výsledků, které je třeba mezi jednotlivými notebooky přenášet, slouží soubor „*zakladni_parametry*“. Zápis do souboru je možný pomocí příkazu „*Get*“ nebo pomocí zkráceného příkazu „*<<*“. Do souboru je možné ukládat a následně z něj také čerpat uložené hodnoty používané při výpočtech. Soubor má předem nastavenou strukturu a každá hodnota má při zápisu předem určené umístění. Zápis je realizován tak, aby při změně určitého parametru byla přepsána pouze hodnota tohoto změněného parametru, ostatní data a průběžné výsledky uložené v souboru jsou zachovány beze změny.

4.1.2 Načtení reálných teplot

Při použití modelu pro energetické a ekonomické účely a objektivní porovnání tepelných čerpadel je vhodné volit skutečné teploty pro zvolenou lokalitu. Reálné teploty z minulých let lze, při zadání lokality a uvažovaného období, zjistit pomocí příkazu „*WeatherData*“. Uvažovaná období je vhodné volit tak, aby obsahovala všechny teplotní podmínky vyskytující se v průběhu roku. Doporučuje se tedy za uvažované období volit násobky jednoho roku s libovolným počátečním datem. Za lokalitu lze zvolit libovolné místo, pro které jsou k dispozici data s teplotami z předchozích let.

Pomocí příkazu „*WeatherData*“ lze získat požadované teploty pouze ve formě „*TimeSeries*“. K těmto hodnotám nelze přistupovat jednotlivě a pro účely dalších výpočtů je nutné převést tyto data do tabulky, která přiřazuje jednotlivým dnům příslušné hodnoty venkovních teplot. K tomuto účelu byl vytvořen notebook „*#1uprava_dat_pocasi.nb*“.

4.1.3 Výpočet tepelných ztrát

Pro zjištění potřebného tepelného výkonu, který musí systém vytápění objektu dodávat je zapotřebí znát také celkovou tepelnou ztrátu vytápěného objektu. Pro tento výpočet tepelných ztrát slouží notebook „*#2tepelne_zraty.nb*“. Výpočet probíhá podle postupu uvedeného v kapitole 2.2. Tepelná ztráta objektu je závislá na venkovním prostředí, proto je nutné získat její spojitou funkci závislou právě na venkovní teplotě. Závislost tepelné ztráty objektu na venkovní teplotě je však lineární, a proto je tepelná ztráta počítána pouze pro dvě venkovní teploty, které jsou proloženy přímkou. Rovnici této přímky získáme pomocí funkce „*Fit*“.

4.1.4 Výpočet matematického modelu systémů vytápění

Pro vyhodnocení celkové roční spotřeby energie potřebné k vytápění objektu je zapotřebí získání závislostí elektrického příkonu tepelného čerpadla a bivalentního zdroje tepla na venkovní

teplotě. Tyto příkony by měly být nastaveny tak, aby celkový topný výkon obou zdrojů tepla v každém okamžiku vyrovnal tepelnou ztrátu objektu. Výkony získáme řešením matematických modelů soustav vytápění sestavených podle kapitoly 1.8. Matematický model je shodný pro všechny druhy tepelných čerpadel. Za účelem porovnání jsou modelovány dva systémy vytápění. Systém vytápění s tepelným čerpadlem vzduch-voda v notebooku „#3prubehy_TC_V-V.nb“, systém vytápění s tepelným čerpadlem zemní vrt-voda pak v notebooku „#3prubehy_TC_Z-V.nb“.

Před výpočty matematických modelů provozu tepelných čerpadel je nejprve nutné zjistit hraniční teploty tepelných čerpadel. Těmito teplotami je teplota bivalence neboli minimální teplota, do které je tepelné čerpadlo schopno vytopit objekt bez pomoci bivalentního zdroje tepla a teplota při nulové tepelné ztrátě objektu, nad kterou je požadovaná vnitřní teplota dosahována i bez použití tepelného čerpadla či bivalentního zdroje tepla. Po znalosti těchto hraničních teplot následuje modelování tří možných způsobů vytápění popsanych v následujícím odstavci.

Při provozování tepelného čerpadla v kombinaci s bivalentním zdrojem tepla mohou v průběhu roku nastat tři různé situace provozu. Při vysokých venkovních teplotách, kdy je tepelná ztráta objektu nulová není potřeba objekt vytápět. Požadovaný celkový tepelný výkon je při této situaci nulový a nulové jsou tedy i elektrické příkony všech zdrojů tepla. Druhá provozní situace nastává při venkovních teplotách v rozmezí mezi teplotou hranice nulové ztráty objektu a teplotou bivalence. V této oblasti teplot je požadováno vyrovnat tepelnou ztrátu objektu co nejlevněji. Jelikož jsou venkovní teploty vyšší než teploty bivalence, tepelnou ztrátu objektu vyrovná samotné tepelné čerpadlo, jehož provozní náklady jsou v porovnání s provozními náklady bivalentního zdroje tepla nižší. Při těchto teplotách je tedy nejvýhodnější vytápět objekt pouze pomocí tepelného čerpadla. Třetí provozní situace nastává během roku při správném dimenzování tepelného čerpadla nejméně často, je však nutné ji ve výpočtu respektovat. V případě zimních teplotních špiček je tepelná ztráta objektu příliš velká a topný výkon tepelného čerpadla ji nedokáže vyrovnat. V této situaci je, i za cenu vyšších provozních nákladů, nutno použít kombinaci tepelného čerpadla s bivalentním zdrojem tepla, který svým topným výkonem doplní rozdíl tepelné ztráty objektu a topného výkonu tepelného čerpadla.

Prvním modelovaným provozním stavem je provoz samotného tepelného čerpadla. Tento model je použitelný pro oblast teplot mezi hraničními teplotami. Výsledkem modelu je závislost elektrického příkonu tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě. Výkon bivalentního zdroje tepla je v tomto případě nulový.

Druhým modelovaným stavem je provoz tepelného čerpadla společně s bivalentním zdrojem tepla. Výsledkem modelu je opět závislost elektrických příkonů, v tomto případě tepelného čerpadla a bivalentního zdroje tepla na venkovní teplotě.

Následně jsou získané závislosti elektrických příkonů spojeny. Jednotlivé výsledky modelování získané předchozími výpočty jsou omezeny teplotami jejich působení. Závislost elektrického příkonu získaného modelováním provozu kombinace obou zdrojů tepla je omezen pouze do hodnoty teploty bivalence. V oblasti teplot mezi teplotou bivalence a teplotou nulových ztrát objektu je uvažován pouze příkon tepelného čerpadla získaný modelováním jeho samotného provozu. Nad teplotou nulových ztrát objektu jsou elektrické příkony obou zdrojů tepla nulové.

4.1.5 Výpočet pro energetické hodnocení

Pro vyhodnocení celkové elektrické energie, která je spotřebována na vytápění objektu během celého zvoleného období je zapotřebí propojit závislosti elektrických příkonů zdrojů tepla získané v předchozí části programu s reálnými hodnotami venkovních teplot. Tím je získán skutečný průběh elektrických příkonů za uvažované období, například za rok. Pro určení celkových hodnot energií je potřeba integrovat tyto reálné průběhy příkonů za celé uvažované období. Integrace funkce lze v prostředí Wolfram Mathematica realizovat pomocí příkazu „*NIntegrate*“. Tento postup však byl na doporučení vedoucího práce nahrazen výpočtem pomocí diferenciálních rovnic a příkazu „*NDSolve*“. Výsledkem jsou celkové hodnoty elektrických energií dodané zdrojům tepla a celková tepelná energie potřebná k vytápění objektu za zvolené období. Energie jsou počítány pro oba typy tepelných čerpadel a lze je tak snadno porovnat. Dále jsou pro tepelná čerpadla vypočítány podle vzorce (1-2) skutečné sezónní topné faktory.

V další části notebooku jsou shrnuty další výsledky související s výsledky simulace. Pro obě tepelná čerpadla jsou uvedeny teploty bivalence nebo na kolik procent tepelné ztráty je tepelné čerpadlo dimenzováno.

4.1.6 Výpočet pro ekonomické hodnocení

Ekonomické porovnání je provedeno v notebooku „#4.2ekonomické zhodnocení“. Hodnocení probíhá podle kapitoly 3.1. Na počátku jsou načteny všechny důležité parametry potřebné pro ekonomické výpočty. Dále program podle zvolené celkové ceny za MWh dodané elektrické energie vypočte náklady na vytápění objektu za uvažované období pro obě varianty tepelného čerpadla a pro vytápění pouze bivalentním tepelným zdrojem. Finanční úspora při vytápění pomocí tepelného čerpadla je získána jako rozdíl nákladů za elektrickou energii potřebnou k vytápění objektu pomocí tepelných čerpadel a nákladů na vytápění pouze pomocí bivalentního zdroje tepla. Cenu elektrické energie uvažujeme jako časově neměnnou. Doba životnosti tepelného čerpadla je však značně dlouhá, a proto je nutné respektovat časovou hodnotu peněz, jak je uvedeno v kapitole 3.1. Úspora je tedy pro všechna období stejná, je ji však nutné pro budoucí roky diskontovat podle vzorce (3-1).

Prvním ekonomickým kritériem, který je v programu počítán a podle kterého je možno investici do tepelného čerpadla hodnotit je diskontovaná doba návratnosti. Výpočet probíhá podle vzorce (3-2). Peněžní toky jednotlivých let a jejich postupné součty jsou pro přehlednost vyjádřeny graficky.

Následně jsou vypočteny hodnoty ekonomických parametrů čisté současné hodnoty NPV a ekvivalentního peněžního toku RCF. Informace o těchto metodách jsou uvedeny v kapitolách 3.1.2 a 3.1.3, počítány jsou pomocí vzorců (3-3) a (3-4).

KAPITOLA 5: VSTUPNÍ PARAMETRY

Ke zhodnocení a porovnání hodnot energií spotřebovaných na vytápění objektu je zapotřebí zvolit konkrétní objekt a dvě tepelná čerpadla, pro které budou výpočty a porovnání uvažovány.

Konkrétní parametry uvažované při porovnání a hodnocení jsou popsány v následujících odstavcích. Tyto hodnoty lze ve vytvořeném výpočetním programu snadno měnit a výpočty tak lze realizovat i pro jiný objekt, umístění nebo jiné typy tepelných čerpadel. Změna parametrů ve výpočtu je popsána v kapitole 4.1.1.

5.1 Popis zvoleného objektu

Podle zadání bakalářské práce bylo nutné zvolit objekt, který odpovídá energetickému hodnocení C podle metodiky Průkazu energetické náročnosti budov. Hodnocení objektu a následně zařazení do klasifikační třídy bylo realizováno pouze z hlediska průměrného součinitele prostupu tepla. Pro přesné určení tepelných ztrát, podle kterých jsou počítány všechny spotřebované energie při vytápění objektu je nutné znát všechny potřebné parametry objektu.

5.1.1 Konstrukční řešení objektu

Objekt, který je pro výpočty uvažován je inspirovaný podle skutečného rodinného domu a jeho nákresy a rozměry jsou reálné. Jedná se o jednogenerační dvoupodlažní rodinný dům o zastavěné ploše 142,4 m² se zahradou. Ilustrativní nákres objektu je znázorněn na Obrázku 5-1, ostatní půdorysy objektu jsou přístupné v příloze B.1. Lokalitou, ve které je objekt uvažován jsou Klatovy.



Obrázek 5-1: Ilustrativní nákres uvažovaného objektu [37]

Součinitele prostupu tepla jednotlivými stavebními částmi obálky objektu jsou zvoleny tak, aby odpovídaly požadovaným hodnotám součinitelů prostupu tepla podle aktuálně platné normy ČSN 73 0540-2 [35], tedy hodnotám referenční budovy. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 5-1. Takto zvolený objekt se tedy nachází na spodní hranici energetické třídy C. Právě dosažení alespoň energetické třídy C je nutnou podmínkou při stavbě nového rodinného domu. [34]

| Stavební část obálky objektu | Součinitel prostupu tepla [$\frac{W}{m^2K}$] |
|---|--|
| | Požadovaná hodnota |
| Stěna vnější | 0,30 |
| Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně | 0,24 |
| Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině | 0,45 |
| Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří | 1,5 |
| Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu) | 1,7 |

Tabulka 5-1: Požadované hodnoty jednotlivých stavebních částí podle ČSN 73 0540-2 [35, str. 13]

5.1.2 Vnitřní prostředí objektu

Celý objekt je vytápěn na jednotnou požadovanou vnitřní teplotu, která byla stanovena na 20 °C.

Vytápění objektu je realizováno pomocí velkoplošného systému, konkrétně pomocí podlahového vytápění. Díky velké předávací ploše dokáže systém zajistit vytápění objektu i při nízkých teplotách topné vody, což zajišťuje efektivnější provoz a prodlužuje životnost tepelného čerpadla. Takto navržený systém vytápění pracuje s teplotou topné vody v okolí 35 °C a teplotním spádem kolem 5 °C.

Větrání jednotlivých místností je zajištěno pomocí přirozeného větrání. Výměna vzduchu v místnostech tedy probíhá především pomocí otevření oken. Systém zajišťující nucenou výměnu vzduchu není v objektu uvažován. Podle vyhlášky č. 268/2009 Sb. [27] musí být v obytných místnostech zajištěno dostatečné větrání. Minimální intenzita větrání v obytných místnostech je touto vyhláškou stanovena na 0,5 h⁻¹, což odpovídá 25 m³ vyměňovaného vzduchu za hodinu. Nepobytné místnosti objektu je možno větrat méně intenzivně. Pro zajištění hygienických požadavků a omezení koncentrace CO₂ byla průměrná intenzita větrání celého objektu stanovena na 0,3 h⁻¹.

Vnitřní tepelné zisky objektu výrazně závisí na pohybu obyvatel v domácnosti, kteří přispívají k tepelným ziskům svým metabolickým teplem. Dále jsou zisky závislé na způsobu osvětlení objektu a všech přístrojích a spotřebičích, které při svém provozu produkují jako vedlejší produkt své činnosti teplo. Celkové vnitřní tepelné zisky objektu byly podle normy ČSN EN ISO 13790 [43] stanoveny na 4 W/m².

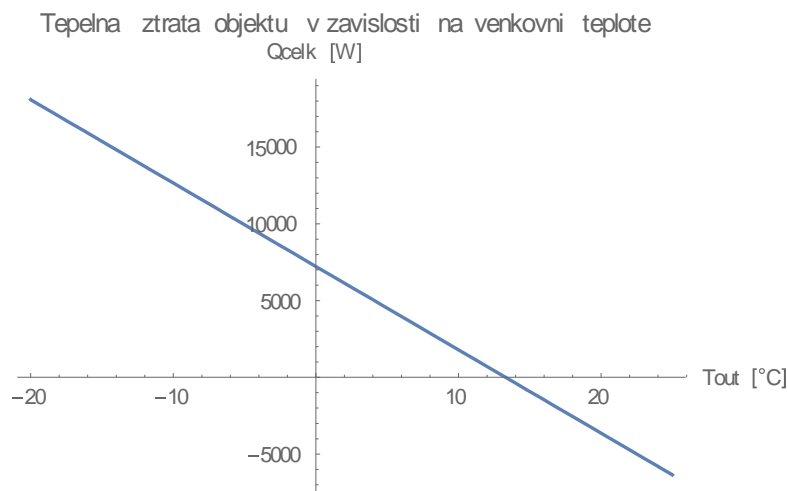
Další faktor ovlivňující tepelné zisky objektu jsou solární tepelné zisky, které se projevují díky sluneční energii, která do objektu proniká především zasklenými částmi objektu. Tyto tepelné zisky tedy závisejí na velikosti zasklené plochy objektu a celkové propustnosti slunečního záření okny. Pro okna uvažovaného objektu jsou zvoleny hodnoty celkové propustnosti záření pro okna s dvojskly. Podle [31] je hodnota propustnosti slunečního záření zasklení $T_1=0,81$ a hodnota stínícího součinitele $T_3=0,9$. Činitel využití slunečního záření za celé vytápěcí období je $c_{mp}=0,91$.

5.2 Tepelná ztráta objektu

Jelikož tepelná ztráta objektu závisí na venkovní teplotě, která se během roku velmi výrazně mění, mění se i tepelná ztráta objektu. Z tohoto důvodu byla tepelná ztráta objektu vyjádřena pomocí lineární funkce:

$$Q_{celk} = 7224,88 - 543,04 \cdot T_{out}, \quad (5-1)$$

Q_{celk} návrhová tepelná ztráta budovy [W],
 T_{out} vnitřní výpočtová teplota [°C].



Obrázek 5-2: Závislost tepelné ztráty objektu na venkovní teplotě (Wolfram Mathematica [44])

5.3 Popis zvolených zdrojů vytápění

Pro porovnání energetické a ekonomické náročnosti systémů tepelných čerpadel vzduch-voda a zemní vrty-voda je nutné zvolit optimální tepelná čerpadla těchto typů. Kvůli objektivnímu porovnání byla zvolena tepelná čerpadla se stejnými instalovanými výkony.

Jako zástupce tepelných čerpadel typu vzduch-voda bylo vybráno tepelné čerpadlo *IVT AIR X 130*, za zástupce tepelných čerpadel zemní vrt-voda pak tepelné čerpadlo *IVT Premiumline EQ E 13*. Obě tepelná čerpadla jsou podle výrobců zařazeny do výkonové třídy s instalovaným výkonem 13 kW.

Bivalentním neboli záložním zdrojem tepla je ve zvoleném objektu uvažován elektrokotel. Elektrokotle běžně dosahují účinnosti 99 %. Tato účinnost je uvažována i pro bivalentní zdroj tepla používaný uvažovaným objektem. Pořizovací náklady tohoto zdroje nejsou ve výpočtech uvažovány. Jedná se totiž o investici nutnou se stejnými investičními náklady pro oba posuzované typy tepelných čerpadel.

5.3.1 Provozní charakteristiky tepelných čerpadel

Provozní charakteristiky tepelných čerpadel udávají, jaký je skutečný topný výkon a elektrický příkon tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě a teplotě, na kterou je ohřívána voda v otopném systému. Součástí provozních charakteristik bývá často i závislost topného faktoru. Charakteristika topného faktoru lze však v bodech, pro které jsou charakteristiky udávány jednoduše zjistit, jak je uvedeno ve vzorci (1-2). Provozní charakteristiky nejsou běžně udávány, pro model tepelného čerpadla je však zapotřebí charakteristiky konkrétních porovnávaných tepelných čerpadel znát.

Provozní charakteristiky pro tepelná čerpadla *IVT AIR X 130* a *IVT Premiumline EQ E 13* jsou přístupné pro registrované uživatele na webu [40]. V této práci jsou uvažované charakteristiky přiloženy v příloze C.1 .

5.3.2 Ekonomické parametry

Tepelná čerpadla různých typů se liší také v pořizovací ceně a životnosti. Oba systémy mají odlišné provozní náklady a také odlišnou vstupní investici. Na pořízení tepelného čerpadla vzduch-voda je potřeba nižší investice, avšak provoz tohoto čerpadla je o poznání dražší. Náklady spojené s instalací tepelného čerpadla typu zemní vrt-voda jsou obvykle vyšší, a to převážně kvůli zemním pracím, udávaná životnost zemního vrtu je však 4× až 5× vyšší než životnost tepelného čerpadla.

Podle aktuálních ceníků uváděných výrobcem na stránkách [40] je cena tepelného čerpadla *IVT AIR X 130* typu vzduch-voda bez zásobníku vody 207 500 Kč. Cena tepelného čerpadla *IVT Premiumline EQ E 13* typu zemní vrt-voda je 198 000 Kč.

Tepelná čerpadla různých typů se liší také svou životností. Tepelná čerpadla vzduch-voda jsou více namáhána, budou mít tedy kratší životnost a vyšší pravděpodobnost potřeby servisního zásahu. Výrobce udává životnost tepelných čerpadel tohoto typu 15 až 20 let. U tepelného čerpadla zemní vrt-voda je životnost udávaná výrobcem v rozmezí 20 až 25 let. Pokud je voda v otopném systému ohřívána na nižší teploty, je životnost tepelných čerpadel vyšší. Z tohoto důvodu je uvažována životnost na horní hranici životností udávaných výrobcem, a to pro tepelné čerpadlo *IVT AIR X 130* 20 let a pro tepelné čerpadlo *IVT Premiumline EQ E 13* 25 let. Tyto údaje byly konzultovány s regionálním manažerem společnosti IVT Tepelná čerpadla s.r.o.

5.3.2.1 Zemní vrt

Zemní vrt bývá velmi výraznou finanční položkou při investici do tepelného čerpadla typu zemní vrt-voda. Cena, kterou za realizaci zemního vrtu zaplatíme závisí na řadě faktorů. Odvíjí se zejména od typu podloží, průměru a hloubky vrtu [41]. Cena je vyšší pro vrty prováděné do nestabilního podloží. Vyšší cenu je nutné uvažovat i pro hlubší a širší vrty. Tepelná čerpadla čerpající energii z větších hloubek však dosahují vyššího topného faktoru a vykazují nižší provozní náklady. Dimenzování hloubky zemního vrtu je tedy dalším důležitým faktorem ovlivňující dobu návratnosti tepelného čerpadla a další ekonomická kritéria. [41]

Optimální hloubky zemních vrtů pro tepelná čerpadla řad *IVT Premiumline EQ E* udává výrobce na webu [40], tabulka s doporučenými hloubkami zemních vrtů je uvedena v příloze C.2. Pro zvolené tepelné čerpadlo *IVT Premiumline EQ E 13* je doporučená hloubka zemního vrtu

217 m. Doporučený průměr vrtu pro vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem je podle [41] 12 až 16 cm.

Podle společnosti zabývající se právě zemními vrty [42] je cena vrtu o průměru 15 cm v soudržné hornině 1 100 Kč za každý metr. K počáteční investici je dále nutné připočítat ceny projektové dokumentace a zajištění stavebního povolení. Cena 217 m hlubokého zemního vrtu je tedy stanovena na 279 700 Kč. Životnost zemního vrtu je odhadována na 100 let.

| | Typ tepelného čerpadla | |
|------------------------------|------------------------|----------------|
| | vzduch-voda | zemní vrt-voda |
| Pořizovací cena | 207 500 Kč | 198 000 Kč |
| Cena vrtu | - | 279 700 Kč |
| Životnost tepelných čerpadel | 20 let | 25 let |
| Životnost vrtu | - | 100 let |

Tabulka 5-2: Souhrn ekonomických parametrů uvažovaných tepelných čerpadel

5.3.2.2 Distribuční sazba

Uživatelé, kteří používají pro vytápění svého objektu tepelné čerpadlo mají možnost využívat distribuční sazby navržené pro domácnosti vytápějící objekt topným elektrickým spotřebičem. Tyto dvoutarifové sazby mají každý den garantovaný minimální počet hodin, kdy je možné odebírat elektrickou energii za výhodnější cenu za kWh elektrické energie.

Aktuálně nejvýhodnější sazba pro uživatele tepelných čerpadel je distribuční sazba D57d, která zaručuje 20 hodin denně cenu elektřiny v levnějším tarifu. Ceny této distribuční sazby podle [39] ve vysokém a nízkém tarifu jsou uvedeny v Tabulce 5-3.

| Distribuční sazba D57d | Distribuční sazba [Kč/MWh] |
|---|----------------------------|
| Cena za dodávku elektřiny | |
| Vysoký tarif | 1886,39 |
| Nízký tarif | 1886,39 |
| Cena za distribuci elektřiny | |
| Vysoký tarif | 254,06 |
| Nízký tarif | 156,66 |
| Celková cena za MWh el. energie včetně daně z elektřiny a systémových plateb | |
| Vysoký tarif | 2287,59 |
| Nízký tarif | 2190,18 |

Tabulka 5-3: Přehled cen elektřiny v distribuční sazbě D57d [39]

V ceně tarifu je respektována pouze variabilní složka. Periodické fixní poplatky jako jsou stálé platby za rezervovaný příkon, činnost OTE nebo podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů nejsou v této hodnotě započteny. Jedná se o náklady stejné pro všechny uvažované varianty vytápění a jsou domácnosti účtovány i bez ohledu na provoz tepelného čerpadla kvůli spotřebě běžných spotřebičů, osvětlení apod.

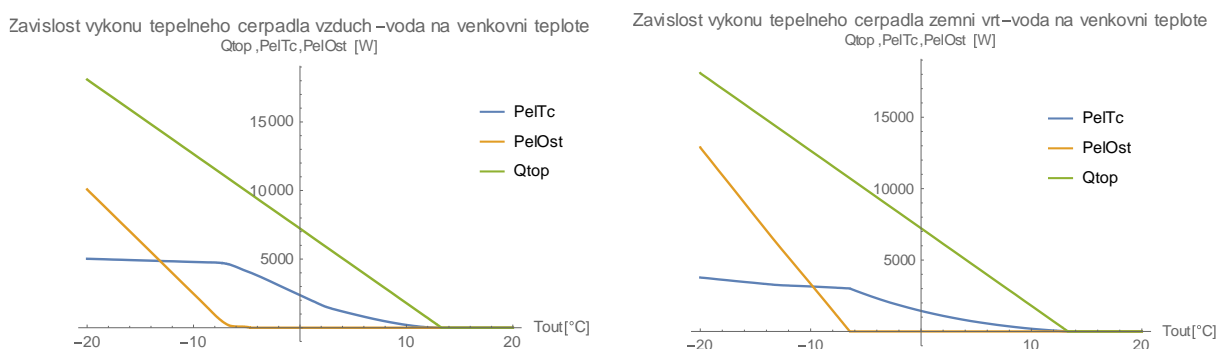
5.3.2.3 Diskont

Diskont zohledňuje inflaci, opportunity cost a rizikovost investice. Inflace v dnešní době dosahuje výše 2 až 3 %. Jelikož se jedná o investici do systému vytápění je rizikovost investice téměř zanedbatelná. Opportunity cost neboli výnos nejlepší alternativní investice výši diskontu nepatrně zvýší. Hodnota diskontu byla pro účely ekonomických výpočtů v této práci stanovena na 5 %.

KAPITOLA 6: ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VARIANT

6.1 Energetické porovnání variant

Díky řešení matematického modelu ve výpočetním programu je možno graficky znázornit chování systémů vytápění pro všechny uvažované venkovní teploty. Závislosti příkonů, které spotřebovávají jednotlivé zdroje tepla tak, aby v každém okamžiku pokryly tepelnou ztrátu objektu jsou pro všechny uvažované teploty znázorněny na Obrázku 6-1.



Obrázek 6-1: Závislosti elektrických příkonů tepelných čerpadel a bivalentního zdroje tepla na venkovní teplotě (Wolfram Mathematica [44])

Spojením závislostí příkonů a údajů o skutečných teplotách v uvažované lokalitě je možné určit průběhy příkonů tepelných čerpadel a bivalentního zdroje tepla v průběhu uvažovaného období. Pro výpočet je uvažováno období jednoho roku, od 1.1.2020 do 31.12.2020.

Elektrické energie spotřebované za uvažované období jsou shrnuty v Tabulce 6-1.

| | Systém vytápění | |
|--|------------------|------------------|
| | vzduch-voda | zemní vrt-voda |
| SCOP | 3,50 | 5,51 |
| spotřeba tepelného čerpadla | 27 445 MJ | 17 749 MJ |
| spotřeba elektrokotle | 15 MJ | 4 MJ |
| celková spotřeba elektrické energie | 27 460 MJ | 17 753 MJ |

Tabulka 6-1: Porovnání roční elektrické energie potřebné k vytopení objektu pomocí systémů vytápění s tepelným čerpadlem

Z výsledků celkové spotřeby elektrické energie je zřejmý výrazný rozdíl mezi jednotlivými systémy vytápění. Pro tepelná čerpadla o stejném instalovaném výkonu je energeticky úspornější řešení instalace tepelného čerpadla zemní vrt-voda. Varianta vytápění pomocí tepelného čerpadla zemní vrt-voda spotřebuje pro roční vytápění objektu o 35,3 % méně elektrické energie. Tepelnému čerpadlu typu zemní vrt-voda vychází podle očekávání i vyšší sezónní topný faktor.

Energeticky výhodnějším řešením se tedy v případě zvoleného objektu spadajícího do klasifikační třídy C podle PENB, který je popsán v kapitole 5.1 jeví investice do systému vytápění s tepelným čerpadlem zemní vrt-voda.

6.2 Ekonomické porovnání variant

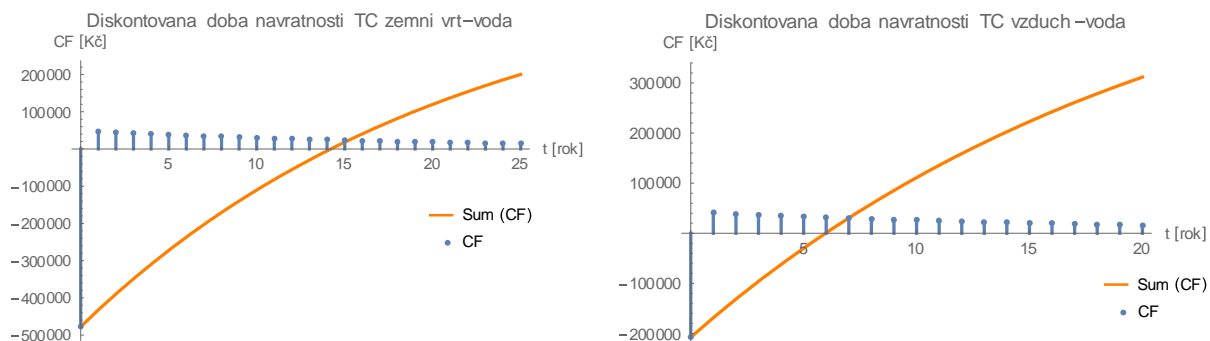
S využitím znalosti celkových dodaných energií potřebných k vytápění objektu je možné vyčíslit roční náklady na vytápění objektu a úspory vzniklé investicemi do různých druhů tepelných čerpadel. Roční náklady na vytápění objektu bez využití tepelných čerpadel činí 59 094 Kč. Náklady na vytápění objektu pomocí systémů vytápění s tepelným čerpadlem jsou shrnuty v Tabulce 6-2.

| | systém vytápění | |
|--|-----------------|----------------|
| | vzduch-voda | zemní vrt-voda |
| roční náklady na vytápění objektu | 16 706 Kč | 10 800 Kč |
| roční úspora | 42 388 Kč | 48 294 Kč |

Tabulka 6-2: Porovnání ročních nákladů na vytápění objektu a roční úspora způsobená investicí do systému vytápění s tepelným čerpadlem

Nyní jsou k dispozici všechna data pro ekonomické hodnocení a porovnání investic do různých typů tepelných čerpadel.

Doba návratnosti tepelných čerpadel při prvotním pořízení je pro lepší názornost zobrazena graficky pomocí diskontovaných peněžních toků v jednotlivých letech na Obrázku 6-2. V roce investice je patrný značný záporný peněžní tok způsobený investicí do pořízení a instalace tepelných čerpadel, realizaci zemního vrtu a nákladů spojených s jeho výstavbou. V dalších letech domácnost díky provozu tepelných čerpadel šetří náklady za vytápění objektu a peněžní toky jsou díky této úspoře kladné. Křivka znázorňuje kumulovaný peněžní tok od roku instalace tepelného čerpadla po celou dobu jeho životnosti.



Obrázek 6-2: Průběh ročního peněžního toku a kumulovaného peněžního toku (Wolfram Mathematica [44])

Další možné porovnání nabízí ekonomické kritérium RCF, díky kterému lze ekonomicky zhodnotit investice s rozdílnými dobami životnosti a rovnoměrně rozdělit peněžní toky do jednotlivých let celé životnosti investice. Výše ekvivalentních peněžních toků je spolu s dobami návratnosti znázorněna v Tabulce 6-3.

| | systém vytápění | |
|--|-----------------|----------------|
| | vzduch-voda | zemní vrt-voda |
| doby návratnosti tepelného čerpadla | 6 let | 14 let |
| RCF | 25 738 Kč | 21 140 Kč |

Tabulka 6-3: Přehled výsledných hodnot ekonomických kritérií

Z grafů na Obrázku 6-2 je patrné, že doba návratnosti tepelných čerpadel různých typů se značně liší. Provozní náklady tepelného čerpadla typu zemní vrt-voda jsou výrazně nižší oproti provozním nákladům tepelného čerpadla vzduch-voda. Investice do zemního vrtu je však natolik vysoká, že hodnoty ekvivalentních peněžních toků tepelného čerpadla zemní vrt-voda jsou vyšší než pro tepelné čerpadlo vzduch-voda. Hodnoty ekvivalentních peněžních toků jsou v obou případech systému vytápění kladné. Doby návratnosti obou systémů jsou nižší než doby jejich životnosti. Z tohoto pohledu je tedy výhodné realizovat obě investice. Investice se však navzájem vylučují a je možné realizovat pouze jednu z nich.

Ekonomicky výhodnějším řešením se tedy v případě zvoleného objektu spadajícího do klasifikační třídy C podle PENB, který je popsán v kapitole 5.1 jeví investice do systému vytápění s tepelným čerpadlem vzduch-voda.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit výpočetní postup pro energetické a ekonomické hodnocení tepelných čerpadel různých druhů, podle kterého by bylo možné zvolená tepelná čerpadla efektivně porovnat. Následně bylo požadováno výpočetní postup představit a s jeho pomocí porovnat systémy vytápění využívající tepelná čerpadla typu zemní vrt-voda a vzduch-voda.

V úvodu tato práce seznamuje s problematikou tepelných čerpadel a modelováním jejich provozu. Diskutována jsou především tepelná čerpadla typu zemní vrt-voda a vzduch-voda. Model systému vytápění je uvažován pro tepelné čerpadlo a bivalentní zdroj tepla, který vodu v otopném systému ohřívá pouze tehdy, pokud výkon tepelného čerpadla není pro vytápění domu dostatečný.

Dále je v práci diskutována problematika tepelných ztrát objektu a možnost jejího výpočtu, pomocí kterého je možné tepelné ztráty objektu modelovat. Celková tepelná ztráta objektu, tepelné ztráty prostupem a větráním jsou počítány pomocí postupu uvedeného v aktuální normě ČSN EN 12831-1 [21]. Způsoby výpočtů tepelných zisků v této normě nejsou uvedeny, pro stanovení byla tedy použita metoda uvedená v ČSN 73 0542 [30].

V závěru teoretické části jsou uvedena ekonomická kritéria, která jsou v závěrečném hodnocení a porovnávání tepelných čerpadel uvažována. Vývoj ceny elektrické energie je obtížné v dlouhodobém časovém horizontu předpovídat, proto je pro ekonomická porovnání uvažována jako neměnná. Zahrnuta je ovšem proměnná časová hodnota peněz, která je v této práci respektována diskontem.

Pro analýzu celkových energií a nákladů na vytápění objektu byl vytvořen automatizovaný výpočetní postup využívající poznatků uvedených v teoretické části této práce. Slouží především jako nástroj usnadňující porovnání jednotlivých typů tepelných čerpadel. Jedním z cílů bakalářské práce bylo vytvořit tento program tak, aby výpočet nebyl závislý pouze na parametrech zadání této práce, ale byl použitelný i pro odlišné objekty a tepelná čerpadla. Tento cíl byl splněn. Všechny volitelné parametry výpočtu jsou voleny v samostatném notebooku a výpočetní postup tak lze provést i pro změněné parametry. Mezi nastavitelné parametry patří typ tepelného čerpadla, jeho cena a životnost, druh systému vytápění, lokalita objektu nebo parametry budovy. Dále je možno nastavit požadovanou vnitřní teplotu, hodnotu diskontu, modelové období uvažované pro výpočet nebo cenu za MWh elektrické energie.

Pro co nejrealističtější zhodnocení energií za uvažované období jsou použity hodnoty skutečných teplot naměřené ve zvolené lokalitě z předchozích let. Tyto hodnoty se automaticky mění podle lokality objektu. Pro hodnocení efektivnosti investice očekáváme, že obdobné průběhy teplot budou naměřeny i v budoucích letech.

Po zadání všech parametrů program pomocí výpočetních postupů uvedených v teoretické části bakalářské práce počítá závislost tepelných ztrát vytápěného objektu na venkovní teplotě a podle matematického modelu vytvoří závislosti výkonů tepelných čerpadel a bivalentního zdroje tepla opět v závislosti na venkovní teplotě. Z těchto průběhů jsou díky znalosti skutečných teplot vypočteny celkové energie potřebné k vytápění objektu za uvažované období a ekonomická kritéria potřebná k ekonomickému porovnání. Veškeré dílčí notebooky jsou vzdáleně spouštěny z hlavního notebooku „###hlavni_program“. Výsledky jsou mezi jednotlivými notebooky

přenášeny průběžným ukládáním do úložného souboru s názvem „*parametry_soubor*“. Volitelně je pak možno zobrazovat důležité mezivýsledky. Konečné výsledky důležité pro porovnání jsou hodnoty celkových elektrických energií spotřebovaných systémem vytápění na vyrovnání tepelných ztrát během uvažovaného období a ekonomická kritéria pro hodnocení investic. Porovnáním těchto hodnot pro dvě různá tepelná čerpadla je možné zvolit tepelné čerpadlo, které je energeticky úspornější. Ekonomické porovnání variant systémů vytápění vychází z hodnot ekvivalentních peněžních toků – RCF a dob návratností investic.

V poslední části práce je výpočet realizován pro zvolený objekt a parametry. Uvažovaný objekt odpovídá, podle zadání, energetické třídě C podle metodiky hodnocení Průkazu energetické náročnosti budov. Tepelná čerpadla jsou pro objektivní porovnání vybrána ze stejné výkonové třídy 13 kW. Dimenzování tepelných čerpadel je provedeno na základě znalosti tepelné ztráty objektu a průběžích ročních teplot. Jako zástupce tepelných čerpadel zemní vrt-voda byl zvolen typ *IVT Premiumline EQ E 13*, jako zástupce vzduch-voda typ *IVT AIR X 130*.

Z energetického i ekonomického hlediska je oproti vytápění objektu pouze záložním zdrojem tepla – elektrokotlem výhodné realizovat obě investice. Investice se však navzájem vylučují a je možné realizovat pouze jednu z nich.

Energeticky nejúspornějším řešením je v případě námi uvažovaného objektu energetického hodnocení C podle PENB systém vytápění využívající tepelné čerpadlo typu zemní vrt-voda, který má roční spotřebu o 35,3 % nižší než systém využívající tepelné čerpadlo vzduch-voda. Sezónní topný faktor tohoto čerpadla je vyšší a tepelné čerpadlo pracuje v průběhu topné sezóny efektivněji.

Ekonomicky nejvýhodnější variantou je v případě námi uvažovaného objektu energetického hodnocení C podle PENB tepelné čerpadlo typu vzduch-voda. Úspory získané nižšími provozními náklady v případě vytápění objektu pomocí tepelného čerpadla zemní vrt-voda nepřeváží velmi vysokou investici nutnou k realizaci zemního vrtu.

Energetické a ekonomické hodnocení se v konkrétním zadání této práce rozcházejí. Ekonomicky je tepelné čerpadlo typu zemní vrt-voda méně výhodné, nicméně z hlediska dopadů na životní prostředí je výhodnější a je také možno jej lépe využít pro chlazení interiérů v letním období. Záleží tedy pouze na preferencích uživatele, zda se přikloní k variantě energeticky úspornější (zemní vrt-voda), nebo variantě finančně nenáročnější (vzduch-voda).

Další směřování této práce by mohlo vést k doplnění modelu systému vytápění ve výpočetním programu o akumulární nádobu, střešní fotovoltaiku nebo ohřev vody pomocí solárních kolektorů a porovnání těchto systémů z energetické a ekonomické náročnosti.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Jak funguje tepelné čerpadlo? Viessmann [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/tepelne-čerpadlo-princip.html>
- [2] 4.3 Druhý termodynamický zákon. Univerzita Karlova [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/molekul/4_3
- [3] ING. KAPOUN, Michal. Co je to tepelné čerpadlo - základní části, druhy. *TZB-info* [online]. 30.4.2015 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12629-co-je-to-tepelne-čerpadlo-zakladni-casti-druhy>
- [4] Tepelná čerpadla: Princip TČ. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla>
- [5] Tepelná čerpadla: Přehled základních komponent. *TZB-info* [online]. <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla> [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla>
- [6] ING. LACHNIT, Petr. Tepelné čerpadlo: Jak funguje? *ESTAV.cz* [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3184.tepelne-čerpadlo-jak-funguje>
- [7] ING. KUCHYNKA, Lubomír. AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel. *TZB-info* [online]. 10.10.2012 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-čerpadel>
- [8] FAQ - Tepelná čerpadla. *Buderus* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/informace/obecne-o-tepelnych-čerpadlech-/faq-tepelna-čerpadla/>
- [9] Třída energetické účinnosti tepelných čerpadel. *MasterTherm* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://mastertherm.cz/tepelne-čerpadlo/energeticka-ucinnost/?fbclid=IwAR2ZuS5X0To6gKD6cUV-KnlxriRoKjsUTZ2v0i5mPvNAXeDAM2mAlXHrmsc>
- [10] ING. HONZÍK, Jiří. Dimenzování tepelného čerpadla vzduch-voda, bivalentní/záložní zdroj. *TZB-info* [online]. 3.11.2011 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/7995-dimenzovani-tepelného-čerpadla-vzduch-voda-bivalentni-zalozni-zdroj>
- [11] Typy tepelných čerpadel. *Viessmann* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/typy-tepelnych-čerpadel.html>
- [12] ING. LACHNIT, Petr. Tepelné čerpadlo: Jak ho dimenzovat. *ESTAV.cz* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3360.tepelne-čerpadlo-jak-ho-dimenzovat>
- [13] Uvažujete o vrtech pro tepelné čerpadlo? - I. *ESTAV.cz* [online]. 12. 2. 2018 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6038.uvazujete-o-vrtech-pro-tepelne-čerpadlo>
- [14] Země/voda - vrt. *IVT* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-čerpadla-zeme-voda-vrt>
- [15] Geologické poměry vrtu tepelného čerpadla - IV. *ESTAV.cz* [online]. 6. 3. 2018 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6041.geologicke-pomery-vrtu-tepelného-čerpadla-iv>
- [16] Potřebná hloubka vrtu s instalovaným kolektorem - III. *ESTAV.cz* [online]. 27. 2. 2018 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6040.potrebna-hloubka-vrtu-s-instalovanim-kolektorem-iii>
- [17] Návrh vrtů pro tepelná čerpadla - V. *ESTAV.cz* [online]. 13. 3. 2018 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6042.navrh-vrtu-pro-tepelna-čerpadla-v>
- [18] PŘEHLED DISTRIBUČNÍCH SAZEB ELEKTRINY: PŘEHLED DISTRIBUČNÍCH SAZEB. *SKUPINA ČEZ* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/vsechny-clanky/prehled-distribucnich-sazeb-elekriny-93426>
- [19] Životnost systému tepelných čerpadel země - voda. *GEROtop* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/zivotnost-tepelneho-čerpadla>
- [20] Podlahové vytápění. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>
- [21] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění*, Modul M3-3. Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [22] HANZELÍN, Pavel. Tepelné ztráty rodinných domů. *Stavebniny* [online]. 3.7.2015 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: http://www.stavebniny-rychle.cz/tepelne-ztraty-rodinnych-domu.html?fbclid=IwAR2JZ1ZT4Hq3Mmn-8Lfwe9odwiCWDlv3Z_qtloULHQ96-4p_j5sMlgn-Un4
- [23] DOC. ING. JELÍNEK, Vladimír, CSc. Vliv obvodového pláště na tepelnou pohodu a návrh technického zařízení budov: Část 1: Obecné zásady. *TZB-info* [online]. 11.1.2010 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/6167-vliv-obvodoveho-plaste-na-tepelnou-pohodu-a-navrh-technickeho-zarizeni-budov>

- [24] *BH059 Tepelná technika budov*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Brno. Dostupné také z: https://www.fce.vutbr.cz/PST/bantova.s/BH059Dal/Konzultace_1_BH059_dalkari.pdf
- [25] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Český normalizační institut, 2005.
- [26] Tepelný odpor R. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r#odporRT>
- [27] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. In: *268/2009 Sb.*. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009, 81/2009 Sbírky zákonů. Dostupné také z: <https://mmr.cz/getmedia/2bf72909-e837-4dc8-9488-599950e8f9f6/Vyhlaska-MMR-268-2009>
- [28] Větrání rodinných a bytových domů - proč se jím zabývat? *TZB-info* [online]. 18.9.2020 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/21155-vetrani-rodinnych-a-bytovych-domu-proc-se-jim-zabyvat>
- [29] Tepelné zisky od vnitřních zdrojů. *TZB-info* [online]. 15.2.2006 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/3065-tepelne-zisky-od-vnitrnich-zdroju>
- [30] ČSN 73 0542. *Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [31] ING. AMBROŽOVÁ, Iva a Ing. Petr HORÁK, PH.D. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. *TZB-info* [online]. 27.8.2012 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>
- [32] Průkaz energetické náročnosti budov. *TZB-info* [online]. 17.12.2016 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/15123-prukaz-energeticke-narocnosti-budov>
- [33] Renovační vlna: zdvojnásobení míry renovací za účelem snížení emisí, podpory oživení a zmírnění energetické chudoby. *Evropská komise* [online]. 14.10.2020 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/czech-republic/news/201014_renovation_wave_cs
- [34] ING. HŮLKA, Ctibor. Průkaz energetické náročnosti je zákonná povinnost při prodeji a pronájmu. *NEMO PAS* [online]. 4.3.2013 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://nemopas.cz/clanky/Prukaz-energeticke-narocnosti-je-zakonna-povinnost-pri-prodeji-a-pronajmu>
- [35] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [36] MGR. CHADIM, Tomáš. Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II): Příklad použití. *TZB-info* [online]. 17.10.2005 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [37] Hotový projekt domu. *Náš domek* [online]. 11.3.2012 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <http://nasdomek.cz/hotovy-projekt-domu/>
- [38] Půdorysy. *Náš domek* [online]. 11.3.2012 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <http://nasdomek.cz/pudorysy/>
- [39] Ceník. *SKUPINA ČEZ* [online]. 11.12.2020 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2021/moo/web-new-cenik-elektrina-dobu-neurcitou-moo-2020-12-cezdi.pdf>
- [40] *Projektuj-tepelna-čerpadla* [online]. [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/>
- [41] K čemu slouží a kolik stojí vrty pro tepelná čerpadla? *E.ON Rádce* [online]. [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vrty-pro-tepelna-čerpadla>
- [42] Cena vrtu pro tepelné čerpadlo. *VODOVRTY* [online]. [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.vodovrty.cz/clanky-cena-vrtu-pro-tepelne-čerpadlo.html>
- [43] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov - Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [44] Wolfram Research. Wolfram Mathematica 12 Student Edition [software]. 6.4.2019.[cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.wolfram.com/mathematica/?source=nav>
- [45] ProfiCAD - Electrical Software. ProfiCAD 11.1.0 [software]. 3.3.2021. [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.proficad.cz/Stahnout.aspx>

PŘÍLOHA A: PROGRAM

A.1 ###hlavni_program

```
In[ ]:= Quiet@Remove["Global`*"];
$HistoryLength = 2;
Off[FindRoot::lstol, InterpolatingFunction::dmval]
SetDirectory[NotebookDirectory[]];

(*Start / reset vsech parametru*)
paramVzor = {"paramPtopPelZV" {"dataPtopZV", "dataPelZV"},
"paramPtopPelVV" {"dataPtopVV", "dataPelVV"}, "paramSoustava",
"paramPocasi" {"paramMisto", "paramObdobi"}, "paramBudova"
{"Tint", "paramBudovaS" {"S1", "S2", "..."}, "paramBudovaU" {"U1", "U2", "..."}},
"paramEkonom" {"paramEkonomZV" {"Investice→", "Zivotnost→"},
"paramEkonomVV" {"Investice→", "Zivotnost→"},
"paramEkonomVrt" {"Investice→", "Zivotnost→"}}, "dataTeploty",
"rovniceZtrat", "dataVykonyTcZV" {"PelektrickyCelk→PelFinalData",
"PelektrickyCelk→PelFinalData", "PelektrickyCelk→PelFinalData"},
"dataVykonyTcVV" {"PelektrickyCelk→PelFinalData", "PelektrickyCelk→PelFinalData",
"PelektrickyCelk→PelFinalData"}, "vysledekVykonyTcZV"
{"EnergieTcCelk→EnergieTcZV", "EnergieOstatniCelk→EnergieOstatniZV",
"EnergieTopnaCelk→EnergieTopnaZV"}, "vysledekVykonyTcVV"
{"EnergieTcCelk→EnergieTcVV", "EnergieOstatniCelk→EnergieOstatniVV",
"EnergieTopnaCelk→EnergieTopnaVV"} >> "vzor_parametry";
paramVzor >> "zakladni_parametry";

(*pozn. před prvním spuštěním programu je nutné zadat umístění souboru do
proměnné „UmisteniSouboru“ ... Lze nalest v Vlastnosti → Umisteni: ...*)
UmisteniSouboru = "zadat presne umisteny souboru ";

In[ ]:= (*Nacteni zakladnich parametru*)
NotebookEvaluate[StringJoin[UmisteniSouboru, "\\#0zakladni_parametry.nb"]]

(*Zjištění a výpočet dat počasí*)
NotebookEvaluate[StringJoin[UmisteniSouboru, "\\#1uprava_dat_pocasi.nb"]]

In[ ]:= (*Výpočet rovnice ztrát*)
NotebookEvaluate[StringJoin[UmisteniSouboru, "\\#2tepelne_ztraty.nb"]]
printRovniceZtraty[1]
(*Show[grafRovniceZtraty]*)
```

```

In[ ]:=
(*Výpočet průběhu čerpadel*)
(*Zemní vrt-Voda*)
NotebookEvaluate[StringJoin[Umistenisouboru, "\\#3prubehy_TC_Z-V.nb"]]
(*printTeplotaBivalenceZV [[1]]*)
Show[grafPelPostPtopZV]
(*Vzduch-Voda*)
NotebookEvaluate[StringJoin[Umistenisouboru, "\\#3prubehy_TC_V-V.nb"]]
(*printTeplotaBivalenceVW [[1]]*)
Show[grafPelPostPtopVW]

In[ ]:=
(*Výpočet energetických parametrů*)
NotebookEvaluate[StringJoin[Umistenisouboru, "\\#4.1energeticke_zhodnoceni.nb"]]
Print[]
printVykonyZV[[1]]
Print[]
printDimenzovaniZV[[1]]
Print[]
Print[]
printVykonyVW[[1]]
Print[]
printDimenzovaniVW[[1]]
Print[]
(*Show[grafTeplotyBival] *)

In[ ]:=
(*Vypocet ekonomickych parametru*)
NotebookEvaluate[
StringJoin[Umistenisouboru, "\\#4.2ekonomické_zhodnocení.nb"]]

printCena[[1]]

(*Diskontovana doba navratnosti*)
Show[grafDiskDobaZivZVSource, grafDiskDobaZivZV]
Show[grafDiskDobaZivVWSource, grafDiskDobaZivVW]
(*printNPV[[1]]*)
printRCF[[1]]

```

```

(*Quiet@Remove["Global`*"];*)
$HistoryLength = 2;
Off[FindRoot::lstol, InterpolatingFunction::dmval]
SetDirectory[NotebookDirectory[]];

(*pocet hlavnich bunek souboru*)
EndParam = Length[<< "vzor_parametry"];

(*charakteristiky tepelneho cernadla*)
(* data prubehu TC1*) (*IVT PremiumLine EQ_13kW*)
(*Topny vykon a elektricky prikon TC udavany vyrobcom*)

(*****VOLITELNE*****
dataPtopZV = {{0, 35, 13.30}, {10, 35, 17.10},
{0, 45, 12.80}, {10, 45, 16.30}, {0, 55, 12.10}, {10, 55, 15.60}};
dataPelZV = {{0, 35, 2.8}, {10, 35, 2.76}, {0, 45, 3.37},
{10, 45, 3.47}, {0, 55, 4.17}, {10, 55, 4.22}};
*****

paramPtopPelZV = {dataPtopZV, dataPelZV}; (*Ptop, Pel*)
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[{paramPtopPelZV}, Join[puvodni[[#]] & /@ Range[2, EndParam, 1]]] >>
"zakladni_parametry";

(*data prubehu TC2*) (*IVT AIR X 130_13kW*)
(*Topny vykon a elektricky prikon TC udavany vyrobcom*)

(*****VOLITELNE*****
dataPtopVV = {{-15, 35, 8.43}, {-7, 35, 10.79}, {2, 35, 6.49},
{7, 35, 4.93}, {-7, 45, 10.70}, {7, 45, 4.77}, {-7, 55, 10.97}, {7, 55, 4.45}};
dataPelVV = {{-15, 35, 3.53}, {-7, 35, 4.00}, {2, 35, 1.64}, {7, 35, 1.07},
{-7, 45, 4.46}, {7, 45, 1.33}, {-7, 55, 4.97}, {7, 55, 1.62}};
*****

paramPtopPelVV = {dataPtopVV, dataPelVV}; (*Ptop, Pel*)
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[1, 1, 1], {paramPtopPelVV},
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[3, EndParam, 1]]] >> "zakladni_parametry";

(*parametry otopne soustavy*)
(*****VOLITELNE*****
paramSoustava = {T2 -> 30, T1 -> 35, Tin -> 20}; (*Teplota vody po ... ,
Teplota vody pred predanim tepla objektu, Vnitri vypoctova teplota*)
*****

puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[1, 2, 1], {paramSoustava},
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[4, EndParam, 1]]] >> "zakladni_parametry";

(*Lokalita objektu a obdobi uvazovane pro vypocet celkovych energii*)
(*****VOLITELNE*****

```

```

paramMisto = "Klatovy"; (*Lokalita objektu*)
paramObdobi = {{2020, 1, 1}, {2020, 12, 31}};
(*Zacatek uvazovaneho obdobi, Konec uvazovaneho obdobi*)
(*****)

paramPocasi = {paramMisto, paramObdobi};
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[1, 3, 1], {paramPocasi},
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[5, EndParam, 1]] >> "zakladni_parametry";

(*parametry budovy*)
(***rozmary, obsahy jednotlivych stavebnich casti budovy***)
(*****VOLITELNE*****)
paramBudovaS = {
    SOb → 625.88,
    SStr → 145.96,
    SPod → 145.96,
    SD → 10.43,
    SO → 196.58,
    SS → 126.95
};
(***soucinitele prostupu tepla jednotlivych konstrukci budovy***)
paramBudovaU = {
    UStr → 0.24,
    UPod → 0.45,
    UD → 1.7, (*W/m2.K*)
    UO → 1.5, (*W/m2.K*)
    US → 0.3 (*W/m2.K*)
};
(*****)

paramBudova = {Tin → 20, paramBudovaS, paramBudovaU};
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[1, 4, 1], {paramBudova},
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[6, EndParam, 1]] >> "zakladni_parametry";

(*ekonomicke parametry TC*)
(*****VOLITELNE*****)
paramEkonomZV = {Investice → -198000, Zivotnost → 25};
paramEkonomVV = {Investice → -207500, Zivotnost → 20};
paramEkonomVrt = {Investice → -279700, Zivotnost → 100};
paramEkonom = {paramEkonomZV, paramEkonomVV,
paramEkonomVrt, diskont → 0.05, NizkyTarif → 2190.18 (*Kc/MWh*)};
(*****)

puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[1, 5, 1], {paramEkonom},
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[7, EndParam, 1]] >> "zakladni_parametry";

(*potvrzeni nacteni*)
Print[Style[" Zakladni parametry nacteny do zakladni_parametry", Red]]

```



```

SetDirectory[NotebookDirectory[]];

(*Nacteni vzoru souboru*)
paramVzor = << "vzor_parametry";
EndParam = Length[<< "vzor_parametry"];

(*Nacteni parametru ze souboru*)
Misto = << "zakladni_parametry"[[4]][[1]];
Obdobi = << "zakladni_parametry"[[4]][[2]];

(*Kontrolni vypis parametru*)
(*{Print["Vypis parametru: "],
  Print["Lokalita: ",Misto],
  Print["Obdobi: od ",Obdobi[[1]][[3]],
    ".",Obdobi[[1]][[2]],".",Obdobi[[1]][[1]]," do ",
    Obdobi[[2]][[3]],".",Obdobi[[2]][[2]],".",Obdobi[[2]][[1]]]}*)

VenkovniTeplota = WeatherData[Misto, "Temperature", Obdobi ];

VenkovniTeplotaList = VenkovniTeplota["Path"];
(*vypise, vsechny (konkretni) hodnoty listu*)

pom = VenkovniTeplotaList /. Quantity[t_, "DegreesCelsius"] => t;
(*nahradi vsechny hodnoty s "°C" tim co je za ":->" ...
takze cislem puvodnim cislem bez "°C"*)

(*Quantity["hodnota", "jednotka"]*)
t0 = pom[[1, 1]];
dataTeploty = DeleteCases[pom /. {a_, b_} => {a - t0, b}][[1]];
(*nahradi hodnoty {a_,b_} ... "a" posune abych začínal v 0 ... "b" necha *)

(*ulozeni vysledku do souboru*)
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[1, 6, 1], {dataTeploty},
Join[puvodni[[#]] & /@ Range[8, EndParam, 1]] >> "zakladni_parametry";

Print[Style["    Data teplot nactena do " zakladni_parametry " ", Red]]

```

```

SetDirectory[NotebookDirectory[]];

(*Nacteni vzoru souboru*)
paramVzor=<<"vzor_parametry";
EndParam=Length[<<"vzor_parametry"];

(*Nacteni parametru budovy ze souboru*)
paramBudova=Flatten[<<"zakladni_parametry"[5]]; (*spojeni vsech parametru pro budovu do jedn

(*****VYPOCET TEPELNYCH ZTRAT*****)

(*TEPELNE ZTRATY PROSTUPEM*)
(***teplotni opravny cinitel a tepelna ztrata stavebni casti***)
(*Steny*)
fS=1;
QS[Tout_]:=SS*US*fS*(Tin-Tout)/.paramBudova;
(*PodLaha*)
fPod[Tout_]:=

$$\frac{Tin - (Tout+5)}{Tin - Tout} /.paramBudova;$$

QPod[Tout_]:=SPod*UPod*fPod*(Tin-(Tout+5))/.paramBudova;
(*Strecha*)
fStr=1;
QStr[Tout_]:=SStr*UStr*fStr*(Tin-Tout)/.paramBudova;
(*Dvere*)
fD=1;
QD[Tout_]:=SD*UD*fD*(Tin-Tout)/.paramBudova;
(*Okna*)
fO=1;
QO[Tout_]:=SO*UO*fO*(Tin-Tout)/.paramBudova;

(***celkova tepelna ztrata prostupem***)
Qprostup[Tout_]:=QS[Tout]+QD[Tout]+QO[Tout]+QPod[Tout]+QStr[Tout]/.paramBudova

(*TEPELNE ZTRATY VETRANIM*)
V=16.4*6.6*8.9; (*[m³]*)
n=0.3; (*[h⁻¹]*)
c0=1010; (*[J/kg·K]*)
c=c0/3600; (*[Wh/(kg·K)]*)
ρ=1.188; (*[kg/m³]*)

(***celkova tepelna ztrata vetranim***)
Qvetrani[Tout_]:=ρ*c*V*n*(Tin-Tout)/.paramBudova;

(*TEPELNE ZISKY*)

(***Vnitřni tepelne zisky***)
g1=4; (*[W/m²]*)
Qi=g1*SPod/.paramBudova; (*[W]*)

(***Pasivni solarni zisky***)

```

```

EgVO=211.23; (* [kWh/m2.rok] *)
Egm=EgVO/12; (* [kWh/m2.mesic] *)
Aok=50/.paramBudova; (* plocha zaskleni [m2] *)
T1p=0.81; (* propustnost slunečního záření [-] *)
T2p=0.9; (* znečištění zasklení [-] *)
T3p=0.9; (* činitel stínění [-] *)
Tp=T1p*T2p*T3p;
cmp=0.91; (* [-] *)
cm=cmp; (* [-] *)
cn=0.9; (* [-] *)
mesic=30*24*3600; (* [s] *)

Ezm=Egm*Aok*Tp*cm*cn; (* prumerny tepelny zisk zaskleni ze sluncniho zarení za 1 *)
Qzm=Ezm*( $\frac{3600}{mesic}$ *1000); (* prumerny tepelny zisk zaskleni ze slunečního zarení [W] *)

Qzisk=Qi+Qzm;

(* CELKOVE TEPELNE ZTRATY OBJEKTU *)
Pcelk[Tout_]:=Qprostup[Tout]+Qvetrani[Tout]-Qzisk/.paramBudova

(* FUNKCE ZTRAT *)
rovniceZtraty=Fit[{{7,Pcelk[7]}, {-7,Pcelk[-7]}}, {1,Tout}, Tout]; (* prolozeni hodnot tepelny *)

(* vypsani do hlavniho programu *)
printRovniceZtraty:={Print[" Rovnice tepelných ztrát: ", rovniceZtraty]};
grafRovniceZtraty:=Plot[rovniceZtraty, {Tout, -20, 25}, AxesLabel->{"Tout [°C]", "Qcelk [W]"}

(* Ulozeni rovnice ztrat do souboru *)
puvodni=<<"zakladni_parametry";
Join[puvodni[[]]&/@Range[1,7,1], {rovniceZtraty}, Join[puvodni[[]]&/@Range[9,EndParam,1]]

Print[Style[" Funkce ztrat nactena do "zakladni_parametry" ", Red]]

```

```

(*Quiet@Remove["Global`*"];*)
Clear[kmParametry, PtopMAX, k, m, Tin, T1, T2, kmParametry]
$HistoryLength = 2;
Off[FindRoot::lstol, InterpolatingFunction::dmval]
SetDirectory[NotebookDirectory[]];

(*Nacteni vzoru souboru*)
paramVzor = << "vzor_parametry";
EndParam = Length[<< "vzor_parametry"];

(*Konstanty*)
Kelvin = 273.;
c = 4186.;

(*Nacteni prubehu cernadla ze souboru*)
DataPtopkW = << "zakladni_parametry"[[2]][[1]];
DataPelkW = << "zakladni_parametry"[[2]][[2]];

DataPtopW = DeleteCases[DataPtopkW /. {a_, b_, c_} => {a, b, c * 1000}][[1]];
DataPelW = DeleteCases[DataPelkW /. {a_, b_, c_} => {a, b, c * 1000}][[1]];

(*Interpolace prubehu ... spojite charakteristiky*) Ptop[Tout_, T1_] =
Quiet@(Interpolation[DataPtopW, InterpolationOrder -> {1, 1}][Tout, T1]);
Pel[Tout_, T1_] = Quiet@
(Interpolation[DataPelW, InterpolationOrder -> {1, 1}][Tout, T1]);

COP[Tout_, T1_] := 
$$\frac{\text{Ptop}[Tout, T1]}{\text{Pel}[Tout, T1]}$$
;

(*Nacteni tepelne ztraty objektu v zavislosti na Tout ze souboru*)
Q[Tout_] = << "zakladni_parametry"[[8]] ;

(*Nacteni parametru otopne soustavy*)
ParametryTeploty = << "zakladni_parametry"[[3]];

(*Vypocet parametru k, m*)
PtopMAX = Max[DataPtopW] / 2;
kmParametry =
Solve[{PtopMAX == k  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ , c * m * (T1 - T2) == PtopMAX}, {k, m}][[1]] /.
ParametryTeploty;
kmParametry = Join[kmParametry, {<< "zakladni_parametry"[[3]][[3]]}];
(*pridat Tin*)

(*****VYPOCET*****
***Vypocet teploty bivalence***
(*matematicky model*)
rceBivalence[Tout_] = {Q[Tout] == m * c * (T1 - T2), Q[Tout] == k *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ ,
Q[Tout] == COP[Tout, T1] * Pelx, Q[Tout] == Ptop[Tout, T1]} /. {kmParametry};
(*reseni*)
TbivalenceRES =

```

```

Quiet@FindRoot[rceBivalence[Tout], {{Tout, 0}, {T1, 30}, {T2, 30}, {Pelx, 2000}}];
Tbivalencepomoc = TbivalenceRES[[1]];
Tbivalence = Tout /. Tbivalencepomoc;

(*Vypocet hranicni teploty s nulovou tepelnou ztratom objektu *)
Thranice = Solve[Q[Tout] == 0][[1, 1, 2]];

(*Vypis teploty bivalence TC do hlavniho programu*)
printTeplotaBivalenceV :=
{Print["Teplota bivalence tepelneho cernadla vzduch-voda je ", Tbivalence, "°C"]};

(*graficke znazorneni teploty bivalence*)
Plot[{Q[Tout], Ptop[Tout, T1 /. TbivalenceRES[[2]]]},
{Tout, Tbivalence-1, Tbivalence+1}, AxesLabel->{"Tout [°C]", "Q[W]"},
PlotLabel->"Graficke znazorneni teploty bivalence TC vzduch-voda",
PlotLabels->{Callout["Qcelk", {Scaled[0.75], Below}],
Callout["Ptop", {Scaled[0.75], Above}]}, GridLines->{Automatic}]*

(*Vypocet situace, kdy dum vytopi samotne TC*)
ClearAll[rceCernadlo];
(*matematicky model*)
rceCernadlo[Tout_] := {Q[Tout] == m * c * (T1 - T2),
Q[Tout] == k *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ , Q[Tout] == COP[Tout, T1] * Pelx} /. kmParametry;
(*reseni*)
vysledekCernadlo[Tout_] :=
Quiet@FindRoot[rceCernadlo[Tout], {{T1, 45}, {T2, 40}, {Pelx, 2000}}];

PelxxNadBival[Tout_] := Pelx /. vysledekCernadlo[Tout];
T1NadBival[Tout_] := T1 /. vysledekCernadlo[Tout];
T2NadBival[Tout_] := T2 /. vysledekCernadlo[Tout];

(*hodnoty Pel pro teploty od Tbivalence do Thranice... {{Tout1, Pel1}, ...}*)
dataPelNadBival = {#, PelxxNadBival[#]} & /@ Range[Tbivalence, Thranice, 1];
(*& ... znaci, ze # je argument funkce
/@ ... "do prvniho argumentu co je predtim dam to co je zatim"*)

(*vytvoreni spojite funkce zavislosti Pel na Tout*)
intPelNadBival = Interpolation[dataPelNadBival];

(*Vypocet situace,
kdy TC dum zcela nevytopi ... pritapime bivalentnim zdrojem*)
ClearAll[rceCernadlo];
(*matematicky model*)
rceCernadlo[Tout_] := {Q[Tout] == m * c * (T1 - T2), Q[Tout] == k *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ ,
Pelx == Pel[Tout, T1], Q[Tout] == Ptop[Tout, T1] + Post * 0.99} /. kmParametry;
(*reseni*)
vysledekCernadlo[Tout_] :=
Quiet@FindRoot[rceCernadlo[Tout], {{T1, 45}, {T2, 40}, {Pelx, 2000}, {Post, 2000}}];

PelxxPodBival[Tout_] := Pelx /. vysledekCernadlo[Tout];

```

```

PostPodBival[Tout_] := Post /. vysledekCerpadlo[Tout];
T1PodBival[Tout_] := T1 /. vysledekCerpadlo[Tout];
T2PodBival[Tout_] := T2 /. vysledekCerpadlo[Tout];

(*hodnoty Pel pro teploty od Tbivalence do Thranice... {{Tout1,Pel1},...}*)
dataPelPodBival = {#, PelxxPodBival[#]} & /@Range[Tbivalence - 30, Tbivalence, 1];
(*hodnoty PelBival pro teploty od Tbivalence do Thranice...
{{Tout1,PelBival1},...}*)
dataPostPodBival = {#, PostPodBival[#]} & /@Range[Tbivalence - 30, Tbivalence, 1];

(*vytvoreni spojitych funkci zavislosti Pel na Tout*)
intPelPodBival = Interpolation[dataPelPodBival];
intPostPodBival = Interpolation[dataPostPodBival];

(*slozeni zavislosti podle Tout*)
(*"/;"... pouze pokud je za nim pravda*)
Pelpom[Tout_] := intPelNadBival[Tout] /; Tout ≥ Tbivalence
Pelpom[Tout_] := intPelPodBival[Tout] /; Tout < Tbivalence

Postpom[Tout_] := 0. /; Tout ≥ Tbivalence
Postpom[Tout_] := intPostPodBival[Tout] /; Tout < Tbivalence

(*nad Thranice ... vynulujeme vykon*)
ClearAll[PelFinal];
PelFinal[Tout_] := Pelpom[Tout] /; Tout ≤ Thranice
PelFinal[Tout_] := 0. /; Tout > Thranice

PostFinal[Tout_] := Postpom[Tout] /; Tout ≤ Thranice
PostFinal[Tout_] := 0. /; Tout > Thranice

PtopFinal[Tout_] := Q[Tout] /; Tout ≤ Thranice
PtopFinal[Tout_] := 0 /; Tout > Thranice

(*Vytvoreni spojite funkce vykonu*)
PelFinalData = Interpolation[{#, PelFinal[#]} & /@Range[-30, 30, 0.05]];
PostFinalData = Interpolation[{#, PostFinal[#]} & /@Range[-30, 30, 0.05]];
PtopFinalData = Interpolation[{#, PtopFinal[#]} & /@Range[-30, 30, 0.05]];

(*vykresleni vykonu v hlavnim programu*)
grafPelPostPtopVW := Plot[{PelFinal[Tout], PostFinal[Tout], PtopFinal[Tout]},
{Tout, -20, 20}, AxesLabel → {"Tout[°C]", "Qtop,PelTc,PelOst [W]"},
PlotLabel → "Zavislost vykonu tepelneho cerpada vzduch-voda na venkovni teplotě",
PlotLegends → {"PelTc", "PelOst", "Qtop"}];

(*Ulozeni prubehu souboru*)
dataVykonyTcVW = {PelDR → PelFinalData, PostDR → PostFinalData,
PtopDR → PtopFinalData, teplotaBivalence → Tbivalence};
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[ {#} ] & /@Range[1, 9, 1], {dataVykonyTcVW},
Join[puvodni[ {#} ] & /@Range[11, EndParam, 1]] >> "zakladni_parametry";

Print[Style[" Prubehy TC vzduch-voda nacteny do " zakladni_parametry " ", Red]]

```

```

(*Quiet@Remove["Global`*"];*)
Clear[kmParametry, PtopMAX, k, m, Tin, T1, T2, kmParametry]
$HistoryLength = 2;
Off[FindRoot::lstol, InterpolatingFunction::dmval]
SetDirectory[NotebookDirectory[]];

(*Nacteni vzoru souboru*)
paramVzor = << "vzor_parametry";
EndParam = Length[<< "vzor_parametry"];

(*Konstanty*)
Kelvin = 273.;
c = 4186.;

(*Nacteni prubehu cerpadla ze souboru*)
DataPtopkW = << "zakladni_parametry"[[1]][[1]];
DataPelkW = << "zakladni_parametry"[[1]][[2]];

DataPtopW = DeleteCases[DataPtopkW /. {a_, b_, c_} => {a, b, c * 1000}][[1]];
DataPelW = DeleteCases[DataPelkW /. {a_, b_, c_} => {a, b, c * 1000}][[1]];

(*Interpolace prubehu ... spojite charakteristiky*)
Ptop[Tout_, T1_] =
Quiet@(Interpolation[DataPtopW, InterpolationOrder -> {1, 1}][Tout, T1]);
Pel[Tout_, T1_] = Quiet@
(Interpolation[DataPelW, InterpolationOrder -> {1, 1}][Tout, T1]);

COP[Tout_, T1_] := 
$$\frac{\text{Ptop}[Tout, T1]}{\text{Pel}[Tout, T1]}$$
;

(*Nacteni tepelne ztraty objektu v zavislosti na Tout ze souboru*)
Q[Tout_] = << "zakladni_parametry"[[8]] ;

(*Nacteni parametru otopne soustavy*)
ParametryTeploty = << "zakladni_parametry"[[3]];

(*Vypocet parametru k, m*)
PtopMAX = Max[DataPtopW] / 2;
kmParametry =
Solve[{PtopMAX == k  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ , c * m * (T1 - T2) == PtopMAX}, {k, m}][[1]] /.
ParametryTeploty;
kmParametry = Join[kmParametry, {<< "zakladni_parametry"[[3]][[3]]}];
(*pridat Tin*)

(*****VYPOCET*****
**Vypocet teploty bivalence**
*matematicky model*)
rceBivalence[Tout_] = {Q[Tout] == m * c * (T1 - T2), Q[Tout] == k *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ ,
Q[Tout] == COP[Tout, T1] * Pelx, Q[Tout] == Ptop[Tout, T1]} /. {kmParametry};
(*reseni*)
TbivalenceRES =

```

```

Quiet@FindRoot[rceBivalence[Tout], {{Ttout, 0}, {T1, 30}, {T2, 30}, {Pelx, 2000}}];
Tbivalencepomoc = TbivalenceRES[[1]];
Tbivalence = Tout /. Tbivalencepomoc;

(*Vypocet hranicni teploty s nulovou tepelnou ztrátou objektu *)
Thranice = Solve[Q[Tout] == 0][[1, 1, 2]];

(*Vypis teploty bivalence TC do hlavniho programu*)
printTeplotaBivalenceZV := {Print[
  "Teplota bivalence tepelneho cerpadla zemni vrt-voda je ", Tbivalence, "°C"]};

(*graficke znazorneni teploty bivalence*)
Plot[{Q[Tout], Ptop[Tout, T1 /. TbivalenceRES[[2]]]},
  {Ttout, Tbivalence-1, Tbivalence+1}, AxesLabel->{"Ttout [°C]", "Q[W]"},
  PlotLabel->"Graficke znazorneni teploty bivalence TC zemni vrt-voda",
  PlotLabels->{Callout["Qcelk", {Scaled[0.75], Below}],
  Callout["Ptop", {Scaled[0.75], Above}]}, GridLines->{Automatic}];

(*Vypocet situace, kdy dum vytopi samotne TC*)
ClearAll[rceCerpadlo];
(*matematicky model*)
rceCerpadlo[Ttout_] := {Q[Ttout] == m * c * (T1 - T2),
  Q[Ttout] == k *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ , Q[Ttout] == COP[Ttout, T1] * Pelx} /. kmParametry;
(*reseni*)
vysledekCerpadlo[Ttout_] :=
Quiet@FindRoot[rceCerpadlo[Ttout], {{T1, 45}, {T2, 40}, {Pelx, 2000}}];

PelxxNadBival[Ttout_] := Pelx /. vysledekCerpadlo[Ttout];
T1NadBival[Ttout_] := T1 /. vysledekCerpadlo[Ttout];
T2NadBival[Ttout_] := T2 /. vysledekCerpadlo[Ttout];

(*hodnoty Pel pro teploty od Tbivalence do Thranice... {{Ttout1, Pel1}, ...}*)
dataPelNadBival = {#, PelxxNadBival[#]} & /@ Range[Tbivalence, Thranice, 1];
(*# ... znaci, ze # je argument funkce
/@ ... "do prvnio argumentu co je predtim dam to co je zatim"*)

(*vytvoreni spojite funkce zavislosti Pel na Ttout*)
intPelNadBival = Interpolation[dataPelNadBival];

(*Vypocet situace,
kdy TC dum zcela nevytopi ... pritapime bivalentnim zdrojem*)
ClearAll[rceCerpadlo];
(*matematicky model*)
rceCerpadlo[Ttout_] := {Q[Ttout] == m * c * (T1 - T2), Q[Ttout] == k *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ ,
  Pelx == Pel[Ttout, T1], Q[Ttout] == Ptop[Ttout, T1] + Post * 0.99} /. kmParametry;
(*reseni*)
vysledekCerpadlo[Ttout_] :=
Quiet@FindRoot[rceCerpadlo[Ttout], {{T1, 45}, {T2, 40}, {Pelx, 2000}, {Post, 2000}}];
vysledekCerpadlo[Tbivalence - 10]; (*pro zkousku*)

PelxxPodBival[Ttout_] := Pelx /. vysledekCerpadlo[Ttout];

```



```

PostPodBival[Tout_] := Post /. vysledekCerpadlo[Tout];
T1PodBival[Tout_] := T1 /. vysledekCerpadlo[Tout];
T2PodBival[Tout_] := T2 /. vysledekCerpadlo[Tout];

(*hodnoty Pel pro teploty od Tbivalence do Thranice... {{Tout1,Pel1},...}*)
dataPelPodBival = {#, PelxxPodBival[#]} & /@Range[Tbivalence - 30, Tbivalence, 1];
(*hodnoty PelBival pro teploty od Tbivalence do Thranice...
{{Tout1,PelBival1},...}*)
dataPostPodBival = {#, PostPodBival[#]} & /@Range[Tbivalence - 30, Tbivalence, 1];

(*vytvoreni spojitych funkci zavislosti Pel na Tout*)
intPelPodBival = Interpolation[dataPelPodBival];
intPostPodBival = Interpolation[dataPostPodBival];

(*slozeni zavislosti podle Tout*)
(*"/;"... pouze pokud je za nim pravda*)
Pelpom[Tout_] := intPelNadBival[Tout] /; Tout ≥ Tbivalence
Pelpom[Tout_] := intPelPodBival[Tout] /; Tout < Tbivalence

Postpom[Tout_] := 0. /; Tout ≥ Tbivalence
Postpom[Tout_] := intPostPodBival[Tout] /; Tout < Tbivalence

(*nad Thranice ... vynulujeme vykon*)
ClearAll[PelFinal];
PelFinal[Tout_] := Pelpom[Tout] /; Tout ≤ Thranice
PelFinal[Tout_] := 0. /; Tout > Thranice

PostFinal[Tout_] := Postpom[Tout] /; Tout ≤ Thranice
PostFinal[Tout_] := 0. /; Tout > Thranice

PtopFinal[Tout_] := Q[Tout] /; Tout ≤ Thranice
PtopFinal[Tout_] := 0 /; Tout > Thranice

(*Vytvoreni spojite funkce vykonu*)
PelFinalData = Interpolation[{#, PelFinal[#]} & /@Range[-30, 30, 0.05]];
PostFinalData = Interpolation[{#, PostFinal[#]} & /@Range[-30, 30, 0.05]];
PtopFinalData = Interpolation[{#, PtopFinal[#]} & /@Range[-30, 30, 0.05]];

(*vykresleni vykonu v hlavnim programu*)
grafPelPostPtopZV := Plot[{PelFinal[Tout], PostFinal[Tout], PtopFinal[Tout]},
{Tout, -20, 20}, AxesLabel → {"Tout [°C]", "Qtop, PelTc, PelOst [W]"}, PlotLabel →
"Zavislost vykonu tepelneho cerpadla zemni vrt-voda na venkovni teplotu",
PlotLegends → {"PelTc", "PelOst", "Qtop"}];

(*Ulozeni prubehu souboru*)
dataVykonyTcZV = {PelDR → PelFinalData, PostDR → PostFinalData,
PtopDR → PtopFinalData, teplotaBivalence → Tbivalence};
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[{#}] & /@Range[1, 8, 1], {dataVykonyTcZV},
Join[puvodni[{#}] & /@Range[10, EndParam, 1]] >> "zakladni_parametry";

Print[Style[" Prubehy TC zeme-voda nacteny do " zakladni_parametry " ", Red]]

```

```

In[ ]:= (*Quiet@Remove["Global`*"];*)
$HistoryLength = 2;
Off[FindRoot::lstol, InterpolatingFunction::dmval]
SetDirectory[NotebookDirectory[]];

paramVzor = << "vzor_parametry";
EndParam = Length[<< "vzor_parametry"];

(*Nacteni dat teploty ze souboru*)
dataTeploty = << "zakladni_parametry"[[7]];
intTeploty = Interpolation[dataTeploty];
{tStart, tEnd} = intTeploty[[1, 1]];

(*Nacitani tepelných ztrát ze souboru*)
Q[Tout_] = << "zakladni_parametry"[[8]];

(*Nacteni průběhu TC ze souboru*)
dataVykonyTcZV = << "zakladni_parametry"[[9]];
dataVykonyTcVW = << "zakladni_parametry"[[10]];

TbivalenceZV = teplotaBivalence /. << "zakladni_parametry"[[9]][[4]];
TbivalenceVW = teplotaBivalence /. << "zakladni_parametry"[[10]][[4]];

In[ ]:= (*Vypocet energie ... plochy pod křivkami výkonu*)
rceEnergie[paramEnergeticke_] := {
  Eel'[t] == Pe1DR[intTeploty[t]],
  Eel[0] == 0,
  Eost'[t] == PostDR[intTeploty[t]],
  Eost[0] == 0,
  Etop'[t] == PtopDR[intTeploty[t]],
  Etop[0] == 0
} /. paramEnergeticke;

resEnergie[paramEnergeticke_] :=
NDSolve[rceEnergie[paramEnergeticke], {Eel, Eost, Etop}, {t, tStart, tEnd}][[1]]
energieElCerpadlo[paramEnergeticke_] := Eel[tEnd] /. resEnergie[paramEnergeticke];
energieOstatni[paramEnergeticke_] := Eost[tEnd] /. resEnergie[paramEnergeticke];
energieTopna[paramEnergeticke_] := Etop[tEnd] /. resEnergie[paramEnergeticke];

(*Vypocet celkových energie TC zemní vrt-voda*)
EnergieTcZV = energieElCerpadlo[dataVykonyTcZV] * 10-9;
EnergieOstatniZV = energieOstatni[dataVykonyTcZV] * 10-9;
EnergieTopnaZV = energieTopna[dataVykonyTcZV] * 10-9;
ScopZV = 
$$\frac{\text{energieTopna[dataVykonyTcZV]}}{\text{energieElCerpadlo[dataVykonyTcZV] + energieOstatni[dataVykonyTcZV]}}$$
;

(*Vypis celkových energie TC zemní vrt-voda do hlavního programu*)
printVykonyZV := {Print["Spotřeba tepelného čerpadla zemní vrt-voda za ",

$$\frac{tEnd + 3600}{3600 * 24}$$
, " dní je ", NumberForm[EnergieTcZV, {6, 3}], " GJ"],
Print["Spotřeba elektrokotle za ", 
$$\frac{tEnd + 3600}{3600 * 24}$$
,
" dní je ", NumberForm[EnergieOstatniZV, {5, 3}], " GJ"],

```

```

Print["Energie potrebna na vytapeni za ",  $\frac{tEnd + 3600}{3600 * 24}$ ,
" dni je ", NumberForm[EnergieTopnaZV, {5, 3}], " GJ"],
Print["Celkove COP systemu zemni vrt-voda je ", NumberForm[ScopZV, {4, 2}]]}

(*Ulozeni celkovych energii do souboru*)
vysledekVykonyTcZV = {EnergieTcCelk → EnergieTcZV,
EnergieOstatniCelk → EnergieOstatniZV, EnergieTopnaCelk → EnergieTopnaZV};
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[ [#] ] & /@ Range[1, 10, 1], {vysledekVykonyTcZV},
Join[puvodni[ [#] ] & /@ Range[12, EndParam, 1]]] >> "zakladni_parametry";

Print[
Style[" Celkove energie TC zeme-voda nacteny do " zakladni_parametry " ", Red]]

(*Vypocet celkovych energii TC vzduch-voda*)
EnergieTcVW = energieElCerpadlo[dataVykonyTcVW] * 10-9;
EnergieOstatniVW = energieOstatni[dataVykonyTcVW] * 10-9;
EnergieTopnaVW = energieTopna[dataVykonyTcVW] * 10-9;
ScopVW =  $\frac{energieTopna[dataVykonyTcVW]}{energieElCerpadlo[dataVykonyTcVW] + energieOstatni[dataVykonyTcVW]}$ ;

(*Vypis celkovych energii TC zemni vrt-voda do hlavniho programu*)
printVykonyVW := {Print["Spotreba tepelneho cerpadla vzduch-voda za ",
 $\frac{tEnd + 3600}{3600 * 24}$ , " dni je ", NumberForm[EnergieTcVW, {6, 3}], " GJ"],
Print["Spotreba elektrokotle za ",  $\frac{tEnd + 3600}{3600 * 24}$ , " dni je ",
NumberForm[EnergieOstatniVW, {5, 3}], " GJ"],
Print["Energie potrebna na vytapeni objektu za ",  $\frac{tEnd + 3600}{3600 * 24}$ ,
" dni je ", NumberForm[EnergieTopnaVW, {5, 3}], " GJ"],
Print["Celkove COP systemu vzduch-voda je ", NumberForm[ScopVW, {4, 2}]]}

(*Ulozeni celkovych energii do souboru*)
vysledekVykonyTcVW = {EnergieTcCelk → EnergieTcVW,
EnergieOstatniCelk → EnergieOstatniVW, EnergieTopnaCelk → EnergieTopnaVW};
puvodni = << "zakladni_parametry";
Join[puvodni[ [#] ] & /@ Range[1, 11, 1], {vysledekVykonyTcVW} (*,
Join[puvodni[ [#] ] & /@ Range[12, EndParam, 1]] *)] >> "zakladni_parametry";

Print[
Style[" Celkove energie TC vzduch-voda nacteny do " zakladni_parametry " ", Red]]

```

```

(*maximalni ztrata objektu za uvazovane obdobi*)
QMax = Q[Tmin];
(*minimalni teplota za uvazovane obdobi*)
Tmin = Min[dataTeploty];
(*vypis do hlavniho programu*)
printDimenzovaniZV :=
{Print["Minimalni teplota za ",  $\frac{tEnd + 3600}{3600 * 24}$ , " dni = ", Tmin, " °C"],
Print["Tepelna ztrata pri teto teplotě = ", QMax/1000, " kW"]};

(*ostatni (doplňující) vypočty a vypis do hlavniho programu*)
printDimenzovaniZV :=
{(*Print["Tepelne cerpadlo doda ", PodilTcZV =  $\frac{100 * (EnergieTopnaZV - EnergieOstatniZV)}{EnergieTopnaZV}$ ,
" % celkove energie potrebne k vytapeni objektu"],*)
Print["Teplota bivalence TC zemni vrt-voda je ",
NumberForm[TbivalenceZV, {3, 2}], " °C"],
PtopBivalZV = Q[TbivalenceZV]/1000,
Print["TC zemni vrt-voda je dimenzováno na ",
NumberForm[ $\frac{PtopBivalZV * 100}{QMax / 1000}$ , {4, 2}], " % tepelne ztraty objektu"]}

printDimenzovaniVV :=
{(*Print["Tepelne cerpadlo topi ", PodilTcVV =  $\frac{100 * (EnergieTopnaVV - EnergieOstatniVV)}{EnergieTopnaVV}$ ,
" % celkove energie potrebne k vytapeni objektu"],*)
Print["Teplota bivalence TC vzduch-voda je ",
NumberForm[TbivalenceVV, {3, 2}], " °C"],
PtopBivalVV = Q[TbivalenceVV]/1000,
Print["TC je tedy dimenzováno na ",
NumberForm[ $\frac{PtopBivalVV * 100}{QMax / 1000}$ , {4, 2}], " % tepelne ztraty objektu"]}

(*vykresleni prubehu teplot a teploty bivalence do hlavniho programu*)

tStartDEN = tStart / ((tEnd - tStart) / 365);
tEndDEN = tEnd / ((tEnd - tStart) / 365);

intTeplotyGrafData =
DeleteCases[dataTeploty /. {a_, b_} -> {a / ((tEnd - tStart) / 365), b}][[1]];
intTeplotyGraf = Interpolation[intTeplotyGrafData];
grafTeplotyBival := {Plot[{intTeploty[t], TbivalenceZV, TbivalenceVV},
{t, tStartDEN, tEndDEN}, AxesLabel -> {"t[den]", "Tout[°C]"},
PlotLabel -> "Prubeh teplot za uvazovane obdobi s teplotami bivalence", PlotLabels ->
{"Tout", "Tbivalence TC zemni vrt-voda", "Tbivalence TC vzduch-voda"}]};

```

In[]:=

```

(*Quiet@Remove["Global`*"];*)
$HistoryLength = 2;
Off[FindRoot::lstol, InterpolatingFunction::dmval]
SetDirectory[NotebookDirectory[]];

(*nacteni teplot ze souboru*)
dataTeploty = << "zakladni_parametry"[[7]];

intTeploty = Interpolation[dataTeploty];
{tStart, tEnd} = intTeploty[[1, 1]];

(*Nacteni diskontu ze souboru*)
r = diskont /. << "zakladni_parametry"[[6]][[4]];

(*Nacteni celkovych vykonu ze souboru*)
paramTcZvEner = << "zakladni_parametry"[[11]];
paramTcVvEner = << "zakladni_parametry"[[12]];

(*Nacteni ceny za MWh*)
Tarif = NizkyTarif /. << "zakladni_parametry"[[6]][[5]];

(*Vypocet rocnich nakladu na vytapeni s TC a bez TC*)
(*Pocet MWh a cena spotrebovane elektricke
energie pri vytapeni kombinaci TC a elektrokotle*)
PocetMWh[paramTC_] := (EnergieTcCelk + EnergieOstatniCelk) * 1000 / 3600 /. paramTC;
Cena[paramTC_] := PocetMWh[paramTC] * Tarif /. paramTC
(*Pocet MWh spotrebovane elektricke energie pri vytapeni pouze elektrokotlem*)
PocetMWhBezTC[paramTC_] := EnergieTopnaCelk * 1.01 * 1000 / 3600 /. paramTC;
CenaBezTC[paramTC_] := PocetMWhBezTC[paramTC] * Tarif /. paramTC;

(*Vypis rocnich napkaldu za vytapeni do hlavniho programu*)
printCena := {
Print["Priblizna rocní cena za vytapeni s TC zemni vrt-voda je ",
Cena[paramTcZvEner], " Kc"],
Print["Priblizna rocní cena za vytapeni s TC vzduch-voda je ",
Cena[paramTcVvEner], " Kc"],
Print["Priblizna rocní cena za vytapeni bez TC je ",
CenaBezTC[paramTcVvEner], " Kc"]}

(*Rocni uspora*)
Usetreno[paramTC_] := CenaBezTC[paramTC] - Cena[paramTC] /. paramTC

(*Rocni CF za dobu zivotnosti ... nediskontovane*)
(*Celkove investice*)
InvesticeCelkZV = (Investice /. << "zakladni_parametry"[[6]][[1]]) +
(Investice /. << "zakladni_parametry"[[6]][[3]]);
InvesticeCelkVv = Investice /. << "zakladni_parametry"[[6]][[2]];

paramTcZvEkonom = Join[<< "zakladni_parametry"[[6]][[1]],
{CF → Usetreno[paramTcZvEner]}, {InvesticeCelk → InvesticeCelkZV}];
paramTcVvEkonom = Join[<< "zakladni_parametry"[[6]][[2]],
{CF → Usetreno[paramTcVvEner]}, {InvesticeCelk → InvesticeCelkVv}];
paramVrt = Join[<< "zakladni_parametry"[[6]][[3]], {CF → 0}];

```

```

(*Spojení energetických a ekonomických parametru*)
paramTcZV = Flatten[Join[{paramTcZVEkonom}, {paramTcZVEnerg}]];
paramTcVV = Flatten[Join[{paramTcVVEkonom}, {paramTcVVEnerg}]];

(*Roční CF za dobu zivotnosti ... diskontovane ...
bez zapocteni investice do vrtu*)
NediskontCF[paramTC_] :=
Flatten[Join[{{Investice}}, Table[{CF}, Zivotnost /. paramTC[[2]]]]] /. paramTC
pomDiskontCF[paramTC_] :=
Map[{{  $\frac{CF}{(1+r)^n}$  } &, Range[1, Zivotnost /. paramTC[[2]], 1]] /. paramTC
DiskontCF[paramTC_] :=
Flatten[Join[{{Investice}}, pomDiskontCF[paramTC]]] /. paramTC

(*Vypocet diskontovane doby navratnosti tepelných čerpadel*)
(*Roční CF za dobu zivotnosti ... diskontovane ...
s zapoctenim investice do vrtu*)
pomDiskontUsetreno[paramTC_] :=
Map[{{  $\frac{Usetreno[paramTC]}{(1+r)^n}$  } &, Range[1, Zivotnost /. paramTC[[2]], 1]] /. paramTC
DiskontUsetreno[paramTC_] :=
Flatten[Join[{{InvesticeCelk}}, pomDiskontUsetreno[paramTC]]] /. paramTC

(*soucet CF za jednotlivé roky*)
SumDiskontUsetreno[paramTC_] := Table[
Sum[DiskontUsetreno[paramTC][[i]], {i, 1, j}], {j, 1, Zivotnost /. paramTC[[2]]}]

(*graficke znazorneni CF ... doba navratnosti*)
grafDiskDobaZivZV := ListPlot[DiskontUsetreno[paramTcZV],
DataRange -> {0, Length[DiskontUsetreno[paramTcZV]] - 1}, PlotRange -> All,
Filling -> Axis, FillingStyle -> Thick, PlotStyle -> {Thick},
AxesLabel -> {"t [rok]", "CF [Kč]"}, PlotLegends -> {"CF"}];
grafDiskDobaZivZVSouc := ListPlot[SumDiskontUsetreno[paramTcZV],
DataRange -> {0, Length[DiskontUsetreno[paramTcZV]] - 1},
PlotRange -> All, Joined -> True, PlotStyle -> {Thick, Orange},
PlotLabel -> "Diskontovana doba navratnosti TC zemni vrt-voda",
AxesLabel -> {"t [rok]", "CF [Kč]"}, PlotLegends -> {"Sum (CF)"}];
grafDiskDobaZivVV := ListPlot[DiskontUsetreno[paramTcVV],
DataRange -> {0, Length[DiskontUsetreno[paramTcVV]] - 1}, PlotRange -> All,
Filling -> Axis, FillingStyle -> Thick, PlotStyle -> {Thick},
AxesLabel -> {"t [rok]", "CF [Kč]"}, PlotLegends -> {"CF"}];
grafDiskDobaZivVVSouc := ListPlot[SumDiskontUsetreno[paramTcVV],
DataRange -> {0, Length[DiskontUsetreno[paramTcVV]] - 1},
PlotRange -> All, Joined -> True, PlotStyle -> {Thick, Orange},
PlotLabel -> "Diskontovana doba navratnosti TC vzduch-voda",
AxesLabel -> {"t [rok]", "CF [Kč]"}, PlotLegends -> {"Sum (CF)"}];

(*NPV ... cista soucasna hodnota*)
NPV[paramTC_] :=
Sum[DiskontCF[paramTC][[i]], {i, 1, Length[DiskontCF[paramTC]]}] /. paramTC
(*Vypis NPV do hlavniho programu*)
printNPV :=
{Print["NPV tepelneho čerpadla zemni vrt-voda je ", NPV[paramTcZV], " Kc"],
Print["NPV zemniho vrtu vrt-voda je ", NPV[paramVrt], " Kc"],

```

```

Print["NPV tepelneho cerpadla vzduch-voda je ", NPV[paramTcVV], " Kc"];

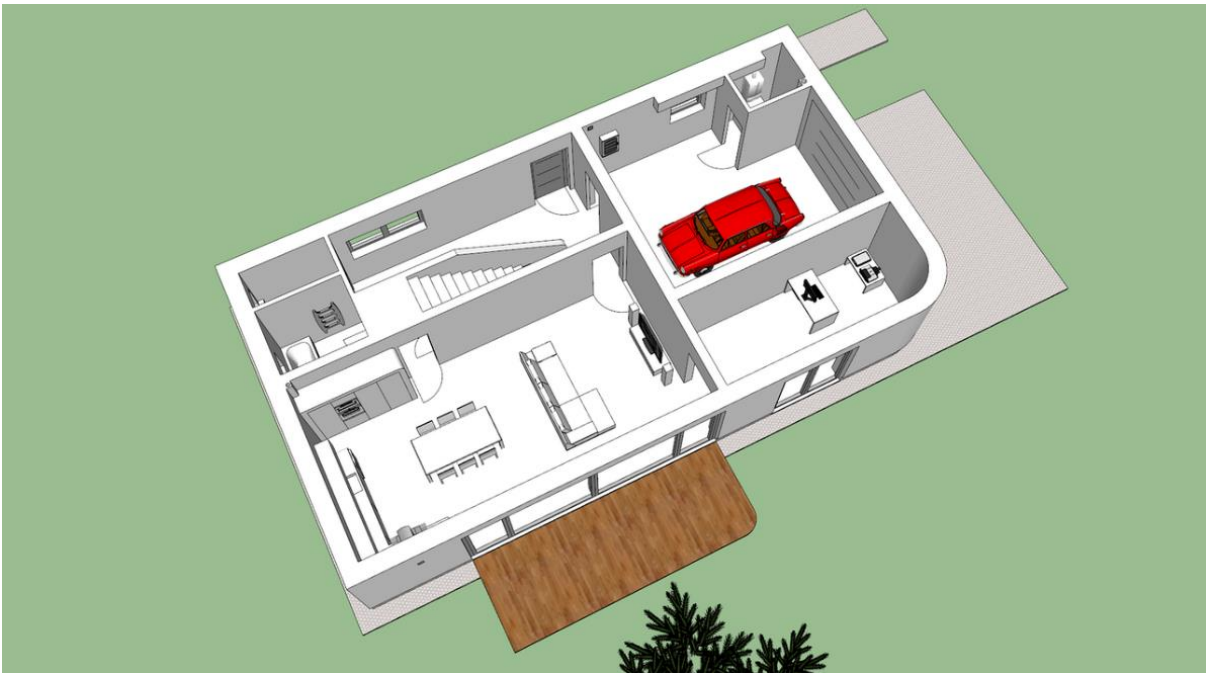
(*RCF ... ekvivalentni penezni tok*)
RCF[paramTC_] := 
$$\frac{r}{1 - (1 + r)^{-\text{Zivotnost}}}$$
 * NPV[paramTC] /. paramTC;
(*Vypis RCF do hlavniho programu*)

printRCF := {Print["RCF tepelneho cerpadla vzduch-voda je ", RCF[paramTcVV], " Kc"],
             Print["RCF tepelneho cerpadla zemni vrt-voda je ",
                   RCF[paramTcZV] + RCF[paramVrt], " Kc"]};

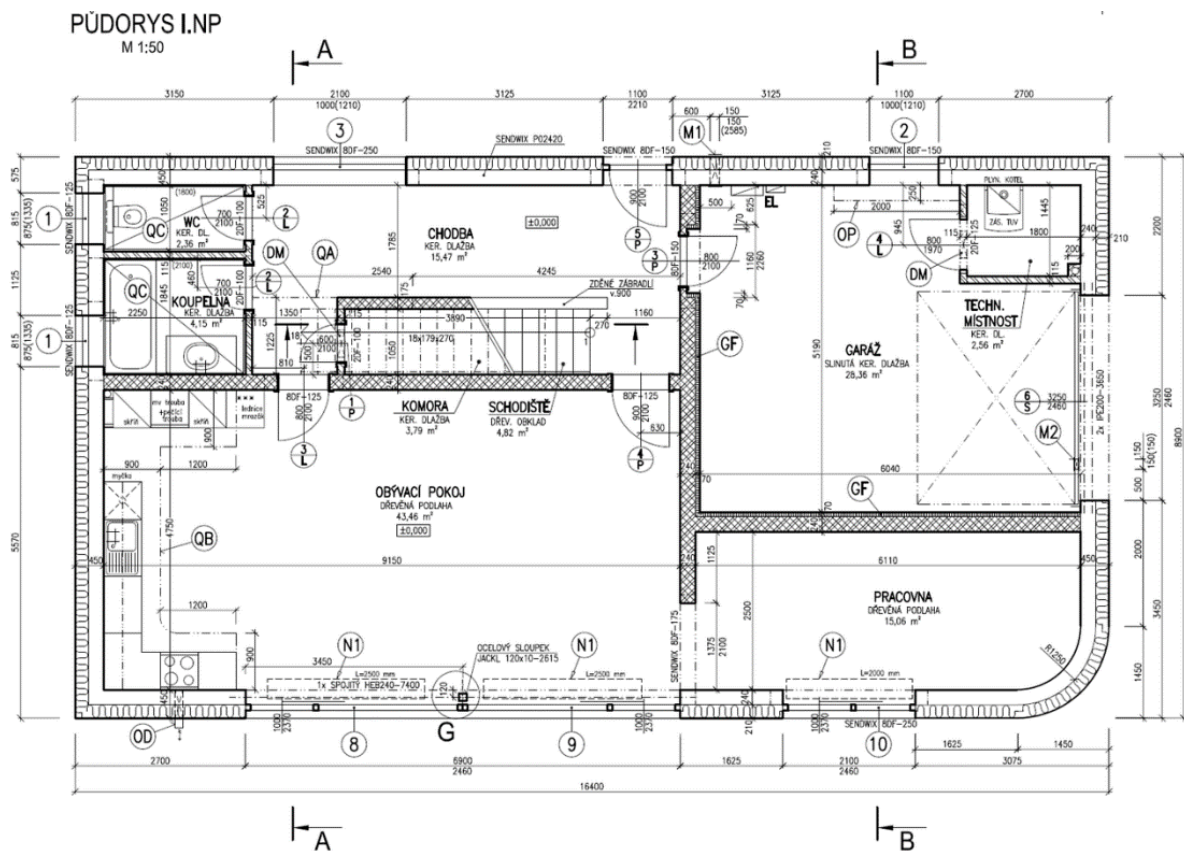
```

PŘÍLOHA B: OBJEKT

B.1 Půdorysy objektu



Půdorys 1. nadzemního podlaží [38]



Půdorys 1. nadzemního podlaží [38]

PŘÍLOHA C: TEPELNÁ ČERPADLA

C.1 Provozní charakteristiky uvažovaných tepelných čerpadel

Parametry tepelného čerpadla IVT PremiumLine EQ E13



Měřeno dle EN 14511

| | Primár | 0° | 10° |
|------------|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Výstup 35° | Topný výkon Chladicí výkon Elektrický příkon COP | 13,30 10,50 2,80 4,80 | 17,10 14,34 2,76 6,20 |
| Výstup 45° | Topný výkon Chladicí výkon Elektrický příkon COP | 12,80 9,43 3,37 3,80 | 16,30 12,83 3,47 4,70 |
| Výstup 55° | Topný výkon Chladicí výkon Elektrický příkon COP | 12,10 7,93 4,17 2,90 | 15,60 11,38 4,22 3,70 |

Provozní charakteristiky tepelného čerpadla IVT PremiumLine EQ E13 (zemní vrt-voda) [40]

Parametry tepelného čerpadla IVT AIR X 130



Parametry změřené dle normy EN 14511

| | Teplota primár | -15 | -7 | 2 | 7 |
|------------------|---|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Teplota sekundár | | | | | |
| Výstup 35° | Topný výkon Elektrický příkon COP | 8,43 3,53 2,39 | 10,79 4,00 2,70 | 6,49 1,61 4,03 | 4,93 1,07 4,62 |
| Výstup 45° | Topný výkon Elektrický příkon COP | - - - | 10,70 4,46 2,40 | - - - | 4,77 1,33 3,59 |
| Výstup 55° | Topný výkon Elektrický příkon COP | - - - | 10,97 4,97 2,21 | - - - | 4,45 1,62 2,75 |

7°C - měřeno při 40 % otáček

2°C - měřeno při 60 % otáček

-7 a -15°C - měřeno při 100 % otáček

Provozní charakteristiky tepelného čerpadla IVT Air X 130 (vzduch-voda) [40]

C.2 Dimenzování primárních okruhů tepelných čerpadel

|  IVT TEPELNÁ ČERPADLA | | | Dimenzování primárních okruhů pro tepelná čerpadla IVT PremiumLine EQ | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------------|---|------------|-------|------------|------------|-------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | Vrty (m) | | | | | | Kolektory (m plochy) | | | | | |
| | | | Radiátory | | | Podlahovka | | | Radiátory | | | Podlahovka | | |
| | | | Hornina | | | Hornina | | | Zemina | | | Zemina | | |
| TZ | Spotřeba energie | Čerpadlo IVT | Vlhká | Normální | Suchá | Vlhká | Normální | Suchá | Vlhká | Normální | Suchá | Vlhká | Normální | Suchá |
| kW | kWh | | m | m | m | m | m | m | m ² | m ² | m ² | m ² | m ² | m ² |
| 5-8,5 | 20 150 | IVT PremiumLine EQ 6 | 73 | 94 | 157 | 77 | 100 | 166 | 202 | 267 | 356 | 214 | 302 | 402 |
| 9-11 | 24 900 | IVT PremiumLine EQ 8 | 91 | 118 | 196 | 97 | 127 | 212 | 252 | 349 | 465 | 269 | 397 | 529 |
| 12-15 | 33 000 | IVT PremiumLine EQ 10 | 122 | 158 | 264 | 129 | 171 | 285 | 339 | 482 | 643 | 356 | 535 | 713 |
| 15-19 | 41 100 | IVT PremiumLine EQ 13 | 153 | 197 | 329 | 161 | 217 | 362 | 423 | 614 | 819 | 446 | 678 | 904 |
| 20-25 | 52 500 | IVT PremiumLine EQ 17 | 190 | 246 | 410 | 206 | 285 | 474 | 528 | 758 | 1010 | 572 | 889 | 1186 |

Výše uvedené návrhy primárních okruhů jsou pouze orientační. Pro přesný návrh kontaktujte firmu Tepelná čerpadla IVT s.r.o., 272 191 405, ivt@ivtcentrum.cz, www.cerpadla-ivt.cz.

Spotřeba energie - celkové množství tepelné energie spotřebované v objektu pro které jsou sběrače dimenzované (vytápění + ohřev TUV + ohřev vody v bazénu)

Upozorňujeme, že výsledky ve sloupcích "Vlhká hornina a zemina" lze použít pouze za zcela mimořádně příznivých okolností. Jinak hrozí zásadní poddimenzování primárního okruhu TČ.

Vydáno 04/2012

Dimenzování primárních okruhů pro tepelná čerpadla IVT PremiumLine EQ [40]

PŘÍLOHA D: SEZNAM PRŮBĚŽNÍCH KOEFICIENTŮ

| | |
|-----|------------------------|
| k | stavební část budovy, |
| j | vrstva stavební části, |
| i | vytápěný prostor, |
| x | nevytápěný prostor. |

