



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Optimalizace vytápění rodinného domu

Optimization of the heating of a family house

Bakalářská práce

Martin Knápek

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Jan Kyncl

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Knápek** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **457009**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimalizace vytápění rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Optimization of heating of a family house

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s postupy určování potřeby energie na vytápění
2. Vybrané otopné systémy popište rovnicemi
3. Ve vhodném programovacím prostředí vytvořte program pro výpočet potřeby energie na vytápění
4. Optimalizujte dimenzování jednotlivých prvků otopné soustavy s cílem snížení nákladů na vytápění.

Seznam doporučené literatury:

- [1] www.tzb-info.cz
[2] Stephen Wolfram: The Mathematica Book, Cambridge University Press, 1999

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: **13.02.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
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

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 25.5. 2018

podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za odborné vedení, za vstřícnost při konzultacích a za cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Tématem této bakalářské práce je optimalizace otopné soustavy určené pro vytápění nízkoenergetického rodinného domu. V teoretické části práce je popsán způsob výpočtu tepelných ztrát pomocí tokové metody a možné zdroje pro vytápění. V praktické části této práce byly vypočítány tepelné ztráty modelového rodinného domu (dřevostavby), a hledány možné varianty otopného systému a dimenzování jeho jednotlivých prvků. Závěrečná kapitola této práce je věnována ekonomickému posouzení jednotlivých variant otopného systému.

Klíčová slova

Tepelné ztráty, vytápění, otopné soustavy, dimenzování

Abstract

The topic of this bachelor thesis is the optimization of the heating system designed for heating of a low energy family house. The theoretical part of this thesis describes the method of calculation of heat losses using the flow method and possible sources for heating. In the practical part of this thesis the thermal losses of the model family house (wooden building) were calculated, as well as possible variants of the heating system for the model (reference) family house and dimensioning of the individual elements of the heating system. The final chapter of this work is devoted to the economic assessment of individual variants of the heating system.

Key words

Heat losses, heating, heating systems, dimensioning

Obsah:

Seznam obrázků, tabulek a grafů	10
1. Úvod	13
2. Analýza typů tepelných ztrát budov	15
2.1. Typy tepelných ztrát.....	15
2.2. Způsob určení tepelných ztrát	16
2.3. Větrání a tepelné ztráty větráním	18
2.4. Další faktory ovlivňující spotřebu energie na vytápění	20
3. Tepelné zisky budovy a zdroje vytápění	22
3.1. Pasivní solární zisky	22
3.2. Zdroje tepla.....	24
3.2.1. Vytápění přímotopy.....	24
3.2.2. Vytápění tepelným čerpadlem	25
3.2.3. Vytápění kotlem či krbem na tuhá paliva	27
3.3. Matematický popis vybraných otopných systémů	27
3.3.1. Otopný systém s křbovými kamny a akumulací.....	27
3.3.2. Otopný systém doplněný o FV systém.....	29
3.3.3. Otopný systém s krbem, tepelným čerpadlem a akumulací.....	29
4. Základní informace o modelovém objektu	32
4.1. Stavební řešení budovy	33
4.2. Stávající otopný systém	33
5. Určení tepelných ztrát objektu pomocí výpočtu	34
5.1. Výpočet ztrát větráním	34
5.1.1. Nucené větrání	34
5.1.2. Problematika nuceného větrání v objektu	35
5.2. Výpočet ztrát prostupem.....	37
5.3. Solární tepelné zisky okny.....	38
5.4. Alternativní metody pro určení tepelných ztrát objektu	39
5.4.1. Určení tepelných ztrát pomocí údajů o spotřebě elektrické energie	39
5.4.2. Odhad tepelných ztrát pomocí tepla uloženého v akumulaci.....	40
5.5. Porovnání výsledků výpočtu ztrát tokovou metodou s alternativními metodami	44
5.6. Způsoby určení celkové spotřebované energie na vytápění.....	45
6. Alternativní způsoby vytápění.....	48
6.1. Varianty řešení otopného systému pro modelový objekt.....	48
6.2. Dimenzování technických řešení	51

6.3.	Zavrhnuté varianty řešení otopného systému	52
6.3.1.	Vytápění pomocí podlahového topení	52
6.3.2.	Solární tepelné kolektory namísto fotovoltaických panelů	52
6.3.3.	Tepelná čerpadla vzduch-vzduch	53
6.4.	Posouzení jednotlivých variant vytápění	53
6.4.1.	Varianta A) – krbová kamna s akumulací	53
6.4.2.	Varianta B) – doplnění systému o FV	56
6.4.3.	Varianta C) – využití tepelného čerpadla vzduch-voda	61
6.5.	Ekonomické posouzení jednotlivých variant otopného systému	62
6.5.1.	Obecná metodika ekonomického hodnocení způsobu vytápění rodinného domu..	62
6.5.2.	Posuzované varianty	65
6.6.	Výsledky uvažovaných variant	68
7.	Závěr	70
	Použité zdroje	72
	Seznam příloh	76

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Seznam obrázků

Obrázek 1.: *Teplotní oblasti v zimním období*

Obrázek 2.: *Roční suma sluneční energie v kWh/m² dopadající na vodorovnou plochu*

Obrázek 3.: *Princip tepelného čerpadla*

Obrázek 4.: *Schéma otopného systému s kamny a akumulací nádobou*

Obrázek 5.: *Schéma otopného systému s kamny, FV ohřevem a akumulací nádobou*

Obrázek 6.: *Schéma otopného systému s kamny, tepelným čerpadlem a akumulací nádobou*

Obrázek 7.: *Dispozice přízemí modelované budovy*

Obrázek 8.: *Schéma otopné soustavy, systém Regulus s akumulací nádobou*

– schéma číslo 23

Obrázek 9.: *Zadané parametry pro výpočet do programu PVGIS*

Seznam tabulek

Tabulka 1 : *Hodnoty R_{si} a R_{se} dle směru tepelného toku*

Tabulka 2 : *Hodnoty základní návrhové teploty venkovního vzduchu a teplotního gradientu v dané teplotní oblasti*

Tabulka 3 : *Výpočtové vnitřní teploty pro trvale užívané obytné budovy*

Tabulka 4 : *Tepelný výkon krbových kamen*

Tabulka 5 : *Intenzita větrání rekuperační jednotky Dimplex DL50WE*

Tabulka 6 : *Příklady koncentrace CO₂*

Tabulka 7 : *Přehled důležitých stavebních materiálů z tepelně-technického hlediska*

Tabulka 8 : *Záznam z měření vnitřních a venkovních teplot a poklesu teploty v akumulací nádobě dne 24. 2. 2018*

Tabulka 9 : *Záznam z měření vnitřních a venkovních teplot a poklesu teploty v akumulací nádobě dne 8. 1. 2017*

Tabulka 10 : *Celkové tepelné ztráty vytápěného objektu*

Tabulka 11 : *Maximální, minimální a průměrná venková teplota v období 28.1 až 5. 2. 2018*

Tabulka 12 : *Porovnání jednotlivých vypočtených hodnot tepelných ztrát*

- Tabulka 13 : *Přehled parametrů vhodných krbových kamen s teplovodní vložkou*
- Tabulka 14 : *Bilance tepelných ztrát při různých teplotách*
- Tabulka 15 : *Akumulační nádrže a jejich užitiný objem*
- Tabulka 16 : *Množství tepla, které je možné akumulovat do nádob*
- Tabulka 17 : *Poměr dopadajícího záření pro různý sklon a orientaci panelů (Praha) – model PVGIS.*
- Tabulka 18 : *Uvažované bojlerů na TV*
- Tabulka 19 : *Vhodné panely pro instalaci*
- Tabulka 20 : *Pokrytí potřeby energie na ohřev TV pro 3 osoby FV systémem*
- Tabulka 21 : *Struktura tarifu D26d – obchodní produkt Elektřina na dobu neurčitou, území ČEZ Distribuce, dodavatel ČEZ Prodej, platné od 1.6.2018*
- Tabulka 22: *Výnosnost investice jednotlivých variant*

Seznam grafů

- Graf 1: *Změřená koncentrace CO₂ v místnosti*
- Graf 2: *Určení tepelných ztrát pomocí údajů o spotřebě el. energie v NT*
- Graf 3: *Průběh venkovní teploty v období od 29. 1. 2018 do 5. 2. 2018*
- Graf 4: *Průběh venkovní teploty v období od 5. 2. 2018 do 12. 2. 2018*
- Graf 5: *Průměrná denní teplota v lokalitě*
- Graf 6: *Odhadovaná měsíční výroba elektrické energie FV systému dle kalkulačky PVGIS*

1. Úvod

Návrh vhodného otopného systému je jednou ze základních součástí každého projektovaného objektu. Vzhledem k cílům stanoveným Evropskou Unií na snížení emisí skleníkových plynů a zvýšení energetické efektivity, bude výstavba nových objektů od roku 2020 značně ovlivněna požadavky evropské legislativy na spotřebu energií. Budovy, které nové předpisy splňují, se výrazně liší od výstavby, která v našich končinách probíhala v minulosti, a to jak technologiemi otopných systémů, tak velikostí tepelných ztrát apod.

Teoretická část této práce se zabývá analýzou tepelných ztrát budov, jejich fyzikálním původem a způsobem výpočtu tepelných ztrát pomocí Metody tepelných toků. Další část práce se zabývá rešerší dostupných technologií pro vytápění rekonstruovaných budov a novostaveb, a také pasivními solárními zisky.

Poznatky uvedené v teoretické části byly následně aplikovány při výpočtu tepelných ztrát konkrétního existujícího objektu – nově realizované dřevostavby v nízkoenergetickém standardu. Tento objekt je možné, vzhledem k jeho dispozicím a způsobu řešení, považovat za v současnosti typické řešení dřevostaveb s dispozicí 4+kk, které splňují aktuální nároky na energetickou efektivnost.

Pro výpočet tepelných ztrát konkrétního domu byl vytvořen program v aplikaci Wolfram Mathematica.

Velikost tepelných ztrát byla vypočtena díky znalostem skladby konstrukce, použitých materiálů a dalších parametrů objektu. Při modelových výpočtech byla použita data z ceníků výrobců a z jednotlivých technických listů uváděných výrobcem. Dále byla použita reálná data změřená instalovanými měřicími přístroji (vnitřní a venkovní teplota, spotřeba elektrické energie apod.).

Na základě velikosti vypočtených tepelných ztrát byly v další části této práce posuzovány možnosti vytápění modelového objektu při zadaných preferencích uživatelů. Pro další posuzování byly identifikovány realizovatelné varianty otopného systému, které by odpovídaly dané lokalitě, tepelně technickým charakteristikám modelové budovy a stavebně technickým omezením.

Problematika dimenzování jednotlivých prvků realizovatelných variant otopného systému byla řešena ze dvou odlišných úhlů pohledu.

Návrh byl proveden pro případ opětovné realizace obdobného projektu, kdy je možné do koncepce otopného systému více zasáhnout.

V druhém případě byly návrh a dimenzování otopné soustavy provedeny pro existující objekt. V tomto případě není možné realizovat některé z variant otopného systému, které by počítaly s větším zásahem do koncepce již existujícího otopného systému, či se zásadním zásahem do samotné konstrukce objektu. Uvažována tak byla pouze možnost doplnění systému o instalaci střešních FV panelů pro dotápění otopné soustavy a přehřev teplé vody.

Proveditelné varianty byly na konci práce posouzeny z ekonomického hlediska. Výhodnost jednotlivých variant otopného systému byla zhodnocena pomocí kritéria čisté současné hodnoty – NPV.

2. Analýza typů tepelných ztrát budov

2.1. Typy tepelných ztrát

Tepelným ztrátám nelze v žádném objektu zamezit. V každém objektu, ať už se jedná o novostavbu, postavenou s pomocí nejmodernějších technologií a izolací, nebo o starou kamennou budovu, bude v určité míře k tepelným ztrátám docházet. Každý obytný dům z tohoto důvodu musí být vybaven nějakým otopným systémem. Protože ale velikost tepelných ztrát různých objektů je různá, hraje výpočet tepelných ztrát důležitou roli při výběru a dimenzování otopného systému.

Tepelné ztráty jsou způsobeny 3 fyzikálními jevy:

- **Ztráty způsobené vedením tepla**

K tepelné výměně v případě vedení tepla (kondukcí) dochází při styku 2 těles s různou teplotou, kdy částice teplejšího tělesa, které mají vyšší střední kinetickou energii, předávají část své energie pomocí vzájemných srážek částicím s tělesa s nižší teplotou. K tomuto přenosu nedochází pouze v případě, kdy mají obě tělesa stejnou teplotu. Schopnost hmoty vést teplo vyjadřujeme pomocí veličiny součinitel tepelné vodivosti.

- **Ztráty způsobené konvekcí**

Ke ztrátám konvekcí dochází v kapalinách a plynech vlivem pohybu samotné kapaliny a plynu. K přirozené konvekcí dochází vlivem rozdílu hmotnosti teplého a studeného plynu nebo kapaliny. Tohoto jevu využívají například systémy ústředního vytápění se samovolným oběhem, které k zajištění cirkulace média (vody) nepotřebují čerpadla. Množství tepla, které projde stěnou o ploše 1 m^2 do plynu či kapaliny za 1 sekundu, označujeme jako součinitel přestupu tepla.

- **Ztráty způsobené sáláním**

Sáláním rozumíme fyzikální proces, při kterém těleso vyzařuje energii ve formě elektromagnetického záření. K sálání dochází hlavně v plynech a ve vakuu. Fyzikální popis sálání je poměrně komplikovaný, proto se v praxi často ztráty sáláním spojí se ztrátami způsobenými konvekcí tak, že se do součinitele přestupu tepla zahrne i přenos tepla sáláním. Toto zjednodušení není možné použít tam, kde nedochází k významnému přenosu tepla radiací, například tedy na lesklých kovových površích.

2.2. Způsob určení tepelných ztrát

Celkové ztráty objektu se skládají ze dvou druhů – ztrát prostupem a ztrát větráním. Přesný a platný výpočet tepelných ztrát je popsán normou ČSN EN 12831¹.

$$Q_c = Q_p + Q_v \quad (1)$$

Q_c - celkové ztráty [W]

Q_p - ztráty prostupem [W]

Q_v - ztráty větráním [W]

V této práci budeme pro výpočet tepelných ztrát využívat Metody tepelných toků (tokovou metodu).

Výpočet ztrát prostupem

Ztráty prostupem jsou teplem, které projde konstrukcí budovy v důsledku rozdílů teplot uvnitř a vně budovy. Velikost ztrát prostupem je dále dána velikostí plochy, přes kterou k prostupu dochází, a součinitelem prostupu tepla. Součinitel prostupu tepla pro daný materiál závisí na jeho vlastnostech a vyjadřuje množství tepla, které projde konstrukcí o ploše 1 metru čtverečního vyrobené z tohoto materiálu při rozdílu teplot 1 Kelvin. Vlastnosti konstrukce jsou tím lepší, čím nižší je hodnota součinitele prostupu.

Ztráty prostupem lze určit pomocí rovnice:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n (U_i * S_i * (T_{vnitř} - T_{ven})) \quad (2)$$

Q_p ... [W] - ztráty prostupem

U_i ... [W*m⁻²*K⁻¹] - součinitel prostupu tepla i -té části budovy

S_i ... [m²] - plocha i -té části budovy

$T_{vnitř}$... [°C] – uvažovaná vnitřní teplota

T_{ven} ... [°C] – uvažovaná venkovní teplota

n ... [-] – počet uvažovaných částí konstrukce

Součinitel prostupu tepla lze určit jako převrácenou hodnotu součtu 3 tepelných odporů – součtu tepelných odporů jednotlivých částí konstrukce a tepelných odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce.

¹ AUTOR NEUVEDEN. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-12831-2005-03>

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_{ti} + R_{se}} \quad (3)$$

U ... $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ – součinitel prostupu tepla
 $\sum R_{ti}$... $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ – suma tepelných odporů jednotlivých vrstev konstrukce při přestupu tepla
 R_{si}, R_{se} ... $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ – odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce

Odpor při přestupu tepla na vnitřní (vnější) straně konstrukce je definován jako převrácená hodnota součinitele přestupu tepla na vnitřní (vnější) straně konstrukce.²

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}} ; R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad (4)$$

h_{si}, h_{se} ... $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ – součinitel přestupu tepla na vnitřní (vnější) straně konstrukce

Součinitel přestupu tepla na vnitřní (vnější) straně konstrukce je definován vztahem:²

$$h_{si} = \frac{q}{t_{ai} - t_{si}} \quad h_{se} = \frac{q}{t_{se} - t_{ae}} \quad (5)$$

q ... $[W \cdot m^{-1}]$ – hustota tepelného toku
 t_{ai} ... $[^{\circ}C]$ – teplota vnitřního vzduchu
 t_{si} ... $[^{\circ}C]$ – vnitřní povrchová teplota konstrukce
 t_{se} ... $[^{\circ}C]$ – vnější povrchová teplota konstrukce
 t_{ae} ... $[^{\circ}C]$ – teplota vnějšího vzduchu

Hodnoty R_{si} a R_{se} závisí na směru tepelného toku, viz Tabulka 1.

Směr toku tepla	Nahoru	Vodorovně	Dolů
$R_{se} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	0,10	0,13	0,17
$R_{si} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	0,04	0,04	0,04

Tabulka 1: Hodnoty R_{si} a R_{se} dle směru tepelného toku³

Tepelný odpor jednotlivé vrstvy konstrukce je definován jako poměr součinitele tepelné vodivosti vrstvy a její tloušťky:

² WWW.TZB-INFO.CZ. *Odpor při přestupu tepla* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/314-odpor-pri-prestupu-tepla>

³ EKOWATT; ČEA 2005. *Hestia2on-line* [cdrom]. [cit. 6.1.2018].

$$R_i = \delta/\lambda \quad (6)$$

R_i	...[$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] – tepelný odpor vrstvy (stěny)
δ	...[m] – tloušťka vrstvy (stěny)
λ	...[$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] – součinitel tepelné vodivosti vrstvy

Tepelný odpor stěny je pak součtem jednotlivých podílů.

Nevýhodou výše zmíněné tokové metody je to, že nezohledňuje tepelné kapacity jednotlivých typů konstrukce ani vnitřních předmětů.

Tento zjednodušený postup byl použit z důvodu jednoduchosti, a zároveň s využitím postupu vytvořeného v rámci disertační práce na téma *Energetický management chytrého domu*⁴, podle které: „pro objekty typu dřevostaveb, kde nejsou větší tepelné kapacity, které by byly spojeny s venkovní teplotou lze bez větší ztráty přesnosti využít zjednodušený model, který neuvažuje tepelné kapacity.“

2.3. Větrání a tepelné ztráty větráním

Kvalita vzduchu má zásadní vliv na zdraví a pohodlí osob uvnitř budov. Základní způsob pro zajištění dobré kvality vzduchu je jeho obměna pomocí větrání. Ačkoli je tepelná kapacita vzduchu relativně malá (pouze cca 1,2 kJ/kg·K), díky velkým objemům vzduchu v místnostech nejsou tepelné ztráty větráním zanedbatelné. Tato skutečnost je jedním z důvodů, proč je intenzita větrání spolu s jeho provedením (například pomocí rekuperačních jednotek) velmi diskutovaným parametrem, zejména proto, že z důvodu minimalizace tepelných ztrát, a tedy snížení spotřeby energie na vytápění, dochází v současnosti ke kladení velmi vysokých nároků na izolaci a neprůvzdušnost některých stavebních prvků (okna, dveře).

K definování požadavků na rekuperaci a trvalé větrání se používá veličina intenzita větrání [h^{-1}]. Tato veličina vyjadřuje poměr objemového průtoku přiváděného venkovního vzduchu k objemu vnitřního větraného prostoru. Požadavky na intenzitu větrání jsou stanoveny národní přílohou normy ČSN EN 15 665/Z1, která stanoví doporučenou hodnotu intenzity větrání 0,5 h^{-1} . Minimální dávka čerstvého vzduchu pro 1 osobu za 1 hodinu činí 25 m^3 . V době, kdy se v budově nenachází žádné osoby, by intenzita větrání měla být přibližně 0,1 h^{-1} .⁵

⁴ NAJMAN, Richard. *Energetický management chytrého domu*. Praha, 2015. Disertační práce (Ph.D.), České vysoké Učení Technické, Fakulta elektrotechnická, katedra elektroenergetiky

⁵ ZMRHAL V., *Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1* Tzb-info [online]. [cit. 17.1.2018]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>

Intenzita větrání se používá také při výpočtu ztrát větráním, definovaných normou ČSN 060210⁶. Ta uvažuje minimální intenzitu větrání 0,5 h⁻¹. Tepelné ztráty větráním jsou pak dány vzorcem:

$$Q_v = 1300 * V * (t_u - t_p) \quad (7)$$

Q_v	...[W] – tepelné ztráty větráním
V	...[m ³ /s] – objemový tok větracího vzduchu
t_u-t_p	...[K] – rozdíl mezi teplotou vzduchu v budově a teplotou přiváděného vzduchu

Způsoby větrání

Dle způsobu provedení dělíme větrání do dvou kategorií:

- **Přirozené větrání**

Nejjednodušším způsobem větrání je větrání přirozené. K přirozenému větrání u starších budov dochází skrze spáry a různé netěsnosti. Nové, nebo rekonstruované domy jsou osazeny moderními okny a dveřmi, ta mají mnohem lepší izolační vlastnosti než stará. Jejich instalací se ale zamezí přirozenému větrání skrze okenní spáry a jiné netěsnosti. U dobře zatěsněných oken je proto třeba zajistit větrání občasným otevřením oken, ideálně pomocí krátkodobého průvanu.

- **Větrání nucené**

Další způsob, jak zajistit dostatečnou obměnu vzduchu, je nucené větrání, které zaručuje ventilátor. Výhodou nuceného větrání je jeho nezávislost na venkovních podmínkách, a také možnost jeho regulace podle potřeby. Nevýhodou nuceného větrání jsou nezanedbatelné investiční náklady. Dodatečná instalace systému pro nucené větrání navíc nemusí být vždy možná.

Nucené větrání může probíhat také se zpětným využíváním tepla (rekuperací). Rekuperační jednotky využívají toho, že vzduch z budovy zároveň vysávají i jej dovnitř nasávají. Oba proudy prochází skrze výměník, kde se část tepla z teplého odpadního vzduchu předá nasávanému vzduchu.

Další možností je využití předehřevu vzduchu v zemním výměníku. V tomto případě je vzduch nasáván několik metrů od objektu a dovnitř je přiváděn skrze potrubí uložené až 2 metry pod zemí. Protože od určité hloubky teplota již neklesá pod bod mrazu, je venkovní nasávaný vzduch zemí ohříván. V letních měsících je naopak možné systém využít k ochlazování horkého venkovního vzduchu a zajištění nižších teplot uvnitř budovy.

⁶ KOL. AUTORŮ. *TZB pro FBI - kapitola 6. tepelné ztráty objektu* [online]. [cit. 24.2.2018]. Dostupný na WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/6.html>

2.4. Další faktory ovlivňující spotřebu energie na vytápění

Významným faktorem, který ovlivňuje velikost tepelných ztrát, a tím také výběr otopného systému, jsou klimatické podmínky. Klimatické podmínky jsou ovlivněny geografickou polohou, významnými faktory jsou dále například nadmořská výška a dostupnost slunečního záření. Aby bylo možné určovat tepelné ztráty budov v celé České republice jednotným způsobem, je území ČR rozděleno na několik teplotních oblastí, kdy každá z těchto oblastí má stanovenou velikost takzvané „základní návrhové teploty“.

Výpočet návrhové teploty venkovního vzduchu

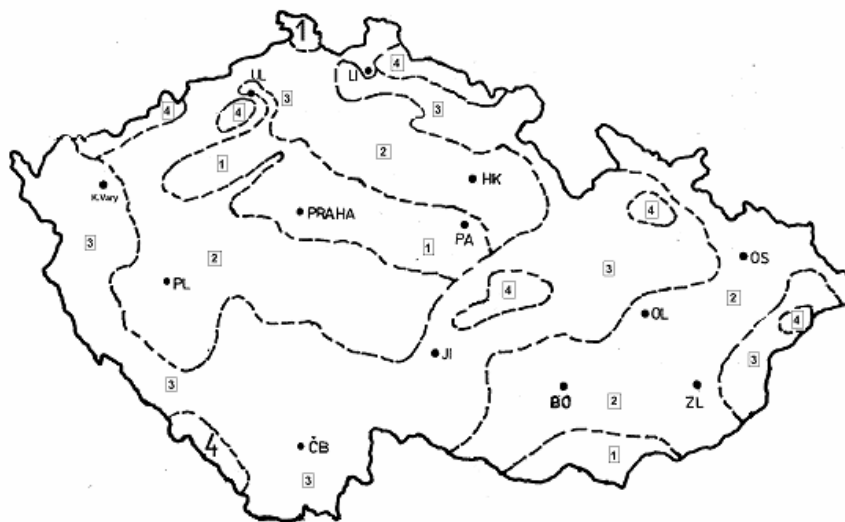
Návrhová teplota venkovního vzduchu je jednou ze základních hodnot používaných při tepelně technických výpočtech. Tato teplota závisí hlavně na zeměpisné poloze a nadmořské výšce, a je stanovena následujícím vzorcem:

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_{e,100} * \frac{h-100}{100} \quad (8)^7$$

$\theta_{e,100}$...[°C] – základní návrhová teplota venkovního vzduchu v nadmořské výšce 100 m n. m. v dané teplotní oblasti, viz

$\Delta\theta_{e,100}$...[°C] – teplotní gradient v dané teplotní oblasti

h ...[m] – nadmořská výška úrovně ±0,00 objektu v m (tedy nadmořská výška 1.nadzemního podlaží)



Obrázek 1. Teplotní oblasti v zimním období ⁷

⁷ SVOBODA Z., *Okrajové podmínky pro tepelně technické výpočty*. FSV - ČVUT - Katedra konstrukcí pozemních staveb [online]. [cit. 6.1.2018]. Dostupný na WWW: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=7904

Oblast	$\theta_{e,100}$ [°C]	$\Delta\theta_{e,100}$ [°C]
1	-12	-0,5
2	-14	-0,3
3	-16	-0,2
4	-18	-0,2

Tabulka 2 : Hodnoty základní návrhové teploty venkovního vzduchu a teplotního gradientu v dané teplotní oblasti ⁸

Délka otopného období

Celková spotřeba energie na vytápění závisí také na délce topného období. Délka topného období je u rodinných domů velmi individuální a závisí na několika faktorech. Délka tohoto období například závisí na tom, při jaké velikosti venkovní teploty se začíná topit. To úzce souvisí mimo jiné s kvalitou izolace – moderní nízkoenergetické budovy s dobrou izolací mají topnou sezónu kratší.

Vnitřní výpočtové a průměrné hodnoty teploty

S rostoucím rozdílem venkovních a vnitřních teplot velikost tepelných ztrát roste přímou úměrou. Na rozdíl od teplot venkovních, které jsou závislé na mnoha faktorech (roční období, poloha budovy, počasí atd.), jsou vnitřní teploty v budově spíše neměnné. Vnitřní teplota v jednotlivých místnostech závisí spíše na individuálních požadavcích na tepelný komfort a na účelu místnosti. Vnitřní výpočtové teploty místností jsou stanoveny normou ČSN EN 12831.

druh místnosti	vnitřní výpočtová teplota
Obývací místnosti	20°C
Kuchyně	20°C
Koupelny	24°C
Klozety	20°C
Vytápěné vedlejší místnosti	15°C
Vytápěná schodiště	10°C

Tabulka 3: Výpočtové vnitřní teploty pro trvale užívané obytné budovy⁹

⁸ SVOBODA Z., *Okrajové podmínky pro tepelné technické výpočty*. FSV - ČVUT - Katedra konstrukcí pozemních staveb [online]. [cit. 6.1.2018]. Dostupný na WWW: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=7904

⁹ ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

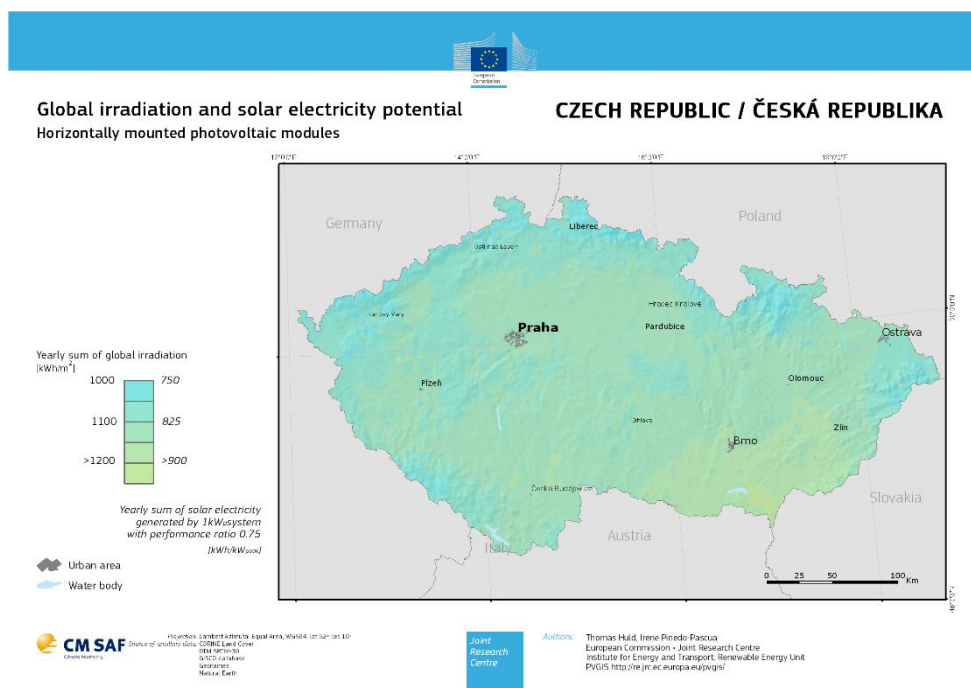
3. Tepelné zisky budovy a zdroje vytápění

Vzhledem k poloze České republiky a klimatickým podmínkám, které u nás panují, potřebuje prakticky každá budova nějaký otopný systém, který bude za jakýchkoli klimatických podmínek schopný zajistit vytopení budovy na požadovanou hodnotu teploty. Způsob provedení otopného systému, tedy jeho princip a instalovaný výkon, se odvíjí hlavně od tepelných ztrát budovy, kterou má vytápět.

3.1. Pasivní solární zisky

Při návrhu otopného systému a posuzování tepelných ztrát je třeba uvažovat i takzvané pasivní solární zisky. Ty totiž nemusí být, za určitých okolností, zanedbatelné. Pasivní solární zisky jsou spjaty s prosklenými částmi budovy (okna, francouzská dveře). Vyhřívání budovy je způsobeno dopadajícím slunečním zářením, které téměř bez pohlcení prochází skleněnými plochami do budovy, kde dojde k jeho pohlcení, tedy přeměně energie světelného záření na energii dlouhovlnného tepelného záření. Na rozdíl od slunečního záření toto dlouhovlnné tepelné záření je sklem odráženo, což zamezuje jeho úniku mimo budovu. Energie se proto v budově hromadí, což má za následek nárůst teploty.

Na velikost solárních zisků má vliv zeměpisná poloha budovy, konkrétně dostupnost slunečního záření v dané lokalitě.



Obrázek 2: Roční suma sluneční energie v kWh/m² dopadající na vodorovnou plochu¹⁰

¹⁰ HULD, T; PINEDO-PASCUA I., *Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_CZ.png

Vliv orientace, zastínění a slunečního faktoru

Velký vliv na pasivní solární zisky má orientace oken, která ovlivňuje množství slunečního záření, dopadajícího na okno. Největší tepelné zisky mají okna orientovaná směrem na jih, čím více je okno orientováno k severu, tím jsou tepelné zisky menší. Tepelné zisky oken orientovaných na sever jsou během celého roku velmi malé a je možné je zanedbat. V tomto ohledu je dalším důležitým faktorem také zastínění okna. Je zřejmé, že tepelné zisky zastíněných oken budou mnohem menší, než když by okna zastíněna nebyla. Proto pokud chceme mít tepelné zisky co nejvyšší, je vhodné okna nestínit žaluziemi a záclonami. Ale například v prosinci a lednu, kdy je slunce nízko nad obzorem, se často určitému zastínění oken nevyhneme. Tepelné zisky v tomto období budou menší také proto, že během zimy je opravdu slunečných dnů méně a zároveň jsou dny kratší.

Dalším faktorem, který velikost pasivních solárních zisků ovlivňuje, je propustnost zasklení pro sluneční záření. Tato veličina je známa také pod názvem „sluneční faktor“ a vyjadřuje poměr mezi množstvím energie, které sklem projde, k množství energie, které na něj dopadne. I když slunce vyzařuje maximální množství energie v oblasti viditelného záření, určité množství energie slunce vyzařuje také v oblasti blízkého infračerveného záření. Toto záření je ale sklem daleko méně propustné. Výrobci oken proto uvádějí zpravidla 2 hodnoty propustnosti. První hodnota propustnosti se uvádí pro viditelné záření, kterou je třeba uvažovat při výpočtech osvětlení místností, druhá hodnota propustnosti platí pro sluneční energii. Tuto hodnotu je třeba uvažovat při výpočtech tepelných zisků.

Výpočet pasivních solárních zisků je dále komplikován faktem, že propustnost závisí na úhlu dopadu paprsků světla na sklo, který se s polohou slunce na obloze mění.

Je dobré taktéž zmínit, že solární zisky nemusí mít pouze pozitivní účinky. Během slunečných dnů mohou tepelné zisky být mnohem větší, než jsou tepelné ztráty místnosti, což vede k přehřátí místnosti nad snesitelnou teplotu.

Nejjednodušší způsob stanovení solárních zisků je dle normy ČSN 730542¹¹.

$$E_{Zm} = E_{gm} * A_{ok,p} * T * c_m \cdot c_n \quad (9)$$

E_{Zm}	... [kWh.měs ⁻¹] - průměrný tepelný zisk zasklení ze slunečního záření za měsíc
E_{gm}	... [kWh*m ⁻² *měs ⁻¹] – globální sluneční záření,
$A_{ok,p}$	... [m ²] – plocha průsvitné části okna
T	... [-] – celková propustnost slunečního záření okna, $T = T_1 * T_2 * T_3$
T_1	... [-] – propustnost slunečního záření zasklení
T_2	... [-] – znečištění zasklení, uvažuje se $T_2 = 0,9$, není-li známá konkrétní hodnota
T_3	... [-] – činitel stínění okna
c_m	... [-] – činitel využití slunečního záření

¹¹ AMBROŽOVÁ, HORÁK, *Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov* [online]. [cit. 14.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>

c_n ... [-] – činitel korigující skutečnost, že dopad slunečních paprsků není kolmý, velikost c_n se stanoví na 0,9

3.2. Zdroje tepla

Jak již bylo řečeno, tak téměř každá budova potřebuje nějaký zdroj tepla pro vytápění. Zdroje tepla lze rozdělovat na několik kategorií (např. na dálkové vytápění, ústřední vytápění, či lokální vytápění). Dobrým způsobem rozdělení je dle typu použitého paliva. V této části se budeme zabývat pouze technologiemi, které jsou v lokalitě, kde se budova nachází dostupné. Z tohoto důvodu se zaměříme hlavně na vytápění pomocí elektřiny, tepelného čerpadla a klasickým polenovým dřevem.

3.2.1. Vytápění přímotopy

Vytápění pomocí elektrické energie poskytuje několik výhod. Elektrická energie je v naší republice až na pár výjimek dostupná všude a je jednoduché jí přeměnit s velmi vysokou účinností (účinnost je téměř 100%) na teplo. Systémy elektrického vytápění jsou díky tomu relativně levné a snadno regulovatelné. Nespornou výhodou je i její relativně jednoduchý rozvod do jednotlivých místností, což umožňuje vytápět jednotlivé místnosti dle aktuální potřeby.

Největší nevýhodou vytápění pomocí elektrické energie jsou relativně vysoké provozní náklady zapříčiněné cenou elektřiny oproti jiným palivům. Vytápět elektřinou se proto doporučuje hlavně v nízkoenergetických budovách s malou spotřebou.

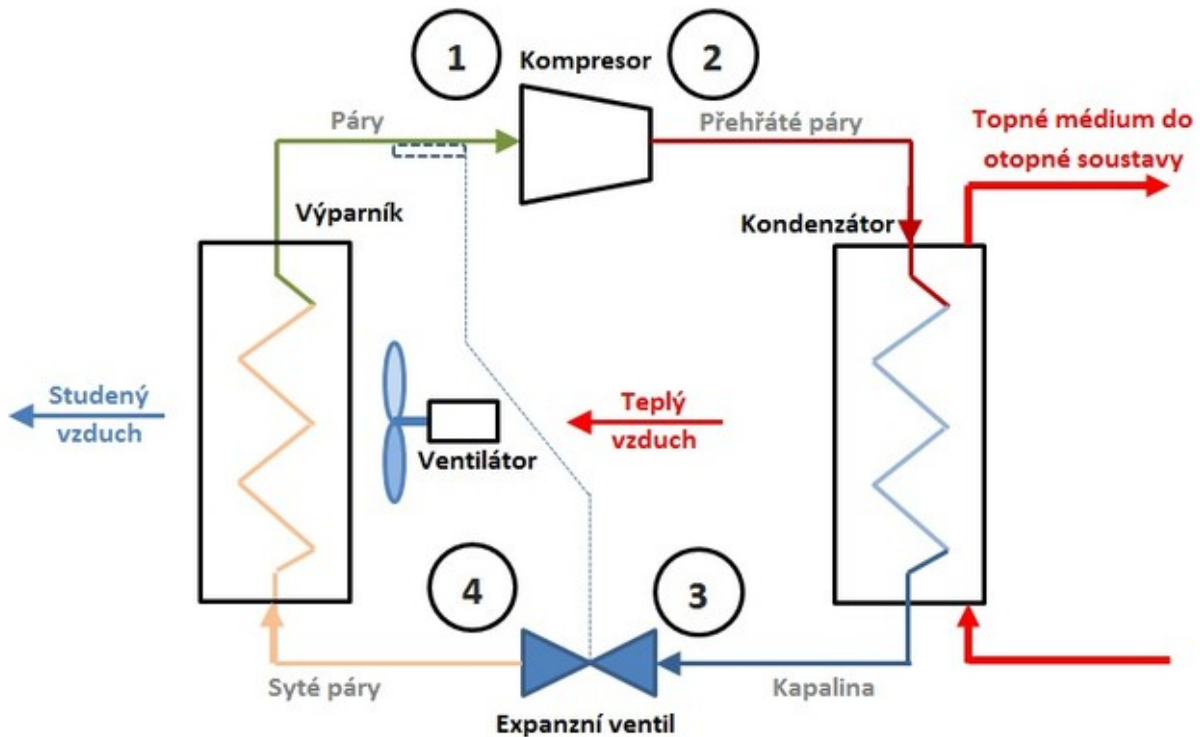
Protože spotřeba elektřiny v průběhu dne kolísá, zavedly elektrárenské společnosti jako způsob regulace spotřeby takzvanou dvoutarifní sazbu. K jejímu získání je třeba doložit používání elektrické energie pro vytápění nebo ohřev vody. Po jejím získání jsou domácnosti účtovány dvě různé ceny za odebranou elektřinu – 1. v době vysokého tarifu (VT), 2. v době nízkého tarifu (NT). Poměr doby trvání NT a VT závisí na typu sazby, přepínání sazeb je řízeno dálkově pomocí speciálního zařízení – systému HDO. Časové vymezení těchto pásem není stejné pro všechny uživatele a ani nemusí být souvislé, nýbrž je provedeno distributorem elektrické energie. V době nízkého tarifu odebírají levný proud všechny spotřebiče, během vysokého tarifu jsou topné a akumulární systémy odpojeny.

Elektrické vytápění je dostupné s akumulací tepla i bez ní. Výhodou systémů bez akumulace je to, že po zapnutí začínají již po krátké době vytápět vzduch v místnosti. Po vypnutí pak ale velmi rychle chladnou. Proto pro tyto spotřebiče trvá nízký tarif 20 hodin (sazby C 45d a D 45d).¹² Akumulační vytápění má naopak délku NT minimálně 8 hodin (sazby C 25d, C 26d, D25d a D 26d).⁸

¹² ENERGETICKÝ REGULÁČNÍ ÚŘAD. *Cenové rozhodnutí č. 7/2017* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.eru.cz/cs/-/cenove-rozhodnuti-c-7-2017>

3.2.2. Vytápění tepelným čerpadlem

Tepelné čerpadlo je elektrické zařízení, které je schopné odebírat teplo z chladnějšího tělesa – vody, vzduchu nebo země, a předávat ho tělesu teplejšímu (například vzduch v domě, nebo voda v topné soustavě). Jedná se vlastně o tepelný stroj s inverzním cyklem. K tomu, aby čerpadlo mohlo teplo takto přenášet je zapotřebí dodatečné energie, u většiny tepelných čerpadel je k tomu využita energie elektrická.



Obrázek 3: Princip tepelného čerpadla¹³

Tepelné čerpadlo se skládá ze 4 klíčových částí, kterými koluje pracovní médium (chladiivo):

- Výparník – zdroj nízkopotencionální energie, chladiivo, se zde odpařuje a odebírá tak teplo z okolí.
- Kompresor - páry chladiiva se v něm stlačují, což má za následek nárůst teploty. Kompresor vlastně nízkopotenciální energii transformuje na vyšší potenciál.
- Kondenzátor – funguje jako tepelný výměník. Chladiivo zde kondenzuje a odevzdává své teplo topnému médiu.
- Expanzní ventil – v expanzním ventilu dochází k prudkému snížení tlaku, díky kterému dochází ve výparníku k varu a dalšímu odebírání tepla.

¹³ KUCHYNKA, L. *AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelných-čerpadel>

Jedním z nejdůležitějších parametrů tepelného čerpadla je takzvaný topný faktor, který popisuje účinnost celého procesu přenosu tepla. Topný faktor je poměrem množství energie, která je předána topnému systému, k množství dodané elektrické energie.¹⁴

$$COP = \frac{Q_{23}}{P_{12}} \quad (10)$$

<i>COP</i>	...[-] – topný faktor
<i>Q₂₃</i>	...[kWh] – teplo předané topnému systému
<i>P₁₂</i>	...[kWh] – dodaná elektrická energie

Topný faktor je ovlivněn mechanickou účinností tepelného čerpadla, daleko důležitější pro jeho velikost je ale teplotní rozdíl mezi studeným a teplým médiem. S rostoucím rozdílem těchto teplot topný faktor klesá.

Tepelná čerpadla rozdělujeme do několika kategorií podle toho, jakému médiu teplo odebíráme a jakému topnému médiu jej předáváme. Toto rozdělení je důležité a často používané. Mezi nejpoužívanější patří tepelná čerpadla vzduch – voda, voda-voda, země-voda a vzduch-vzduch:

- **Vzduch-voda**
Systém vzduch-voda má ve srovnání s tepelnými čerpadly voda-voda a země-voda nižší investiční náklady a patří k rozšířenějším druhům tepelných čerpadel. Výhodou těchto systémů je to, že není zapotřebí budovat žádný zemní kolektor či vrt a jejich instalace je relativně snadná. Nevýhodou je naopak nejhorší topný faktor a výrazný pokles výkonu při teplotách pod 0 °C.
- **Voda-voda**
Tyto systémy mají velmi vysoký topný faktor, investiční náklady na pořízení jsou nižší než náklady na výstavbu zemních kolektorů, jejich velkou nevýhodou je ale potřeba velmi vydatného zdroje vody. Z důvodu zanášení výměníku tepelného čerpadla se nedoporučuje využívat povrchové vody, zdrojem tak často bývá například studna či zvodnělý vrt. Protože je potřeba podzemní vody celkem vysoká (v případě vytápění běžného rodinného domu se nejčastěji udává potřebná vydatnost studny 0,5 l/s)¹⁵, je zapotřebí dvou vrtů a ochlazenou vodu vracet zpět do podloží.
- **Země-voda**
Jedná se o systém s nejvyššími investičními náklady na pořízení, jeho výstavba je komplikovanější. Tento systém se dá realizovat pomocí takzvaného zemního výměníku nebo pomocí zemních vrtů. Tyto systémy mají ale nejlepší topný faktor.
- **Vzduch-vzduch**
Výhodami tepelných čerpadel vzduch-vzduch je nejnižší pořizovací cena v porovnání s ostatními typy tepelných čerpadel. Další výhodou je také jejich

¹⁴ KUCHYNKA, L. *AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>

¹⁵ MASTER THERM. *Tepelná čerpadla voda - voda* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-voda-voda>

relativně snadná instalace a možnost použít je v létě jako klimatizace. Jejich nevýhodou je nutnost osazení tepelného čerpadla do každé místnosti budovy. Jejich topný faktor je dále ovlivňován venkovní teplotou vzduchu.

3.2.3. Vytápění kotlem či krbem na tuhá paliva

Vytápění kotlem na tuhá paliva (uhlí, dřevo, pelety apod.) je stále velmi rozšířeným a oblíbeným způsobem vytápění. V současnosti se ale zvyšuje snaha co nejvíce omezit vytápění uhlím (hlavně hnědým). K tomu mají pomoci rostoucí emisní požadavky na kotle či kamna pro vytápění, zdanění hnědého uhlí a omezení poskytování dotací na nové kotle. Alternativou k uhlí bývá nejčastěji biomasa. Biomasa rozumíme například kusové dřevo, štěpku, piliny, slámu a dřevní odpad. Biomasa oproti uhlí nabízí několik výhod. Tou základní výhodou je, že se jedná o obnovitelný zdroj energie s minimálními negativními účinky na životní prostředí. Zároveň se jedná o „čistší“ palivo, což může při manipulaci mít značný vliv na uživatelský komfort.

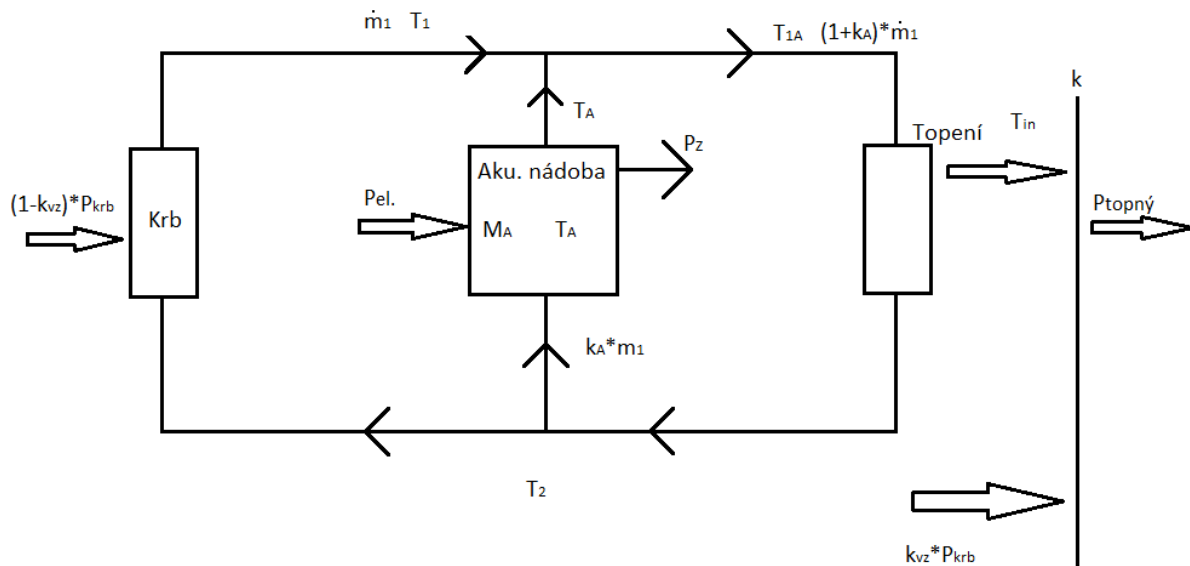
3.3. Matematický popis vybraných otopných systémů

Jednotlivé otopné soustavy, které budeme dále uvažovat při optimalizaci vytápění, je možné popsat pomocí schémat a příslušných matematických rovnic. Teoreticky je možné popsat každou otopnou soustavu, s rostoucím počtem prvků ale značně roste složitost popisu a výpočtu. V praxi se proto daná problematika v modelu zjednodušuje tak, aby bylo možné zjednodušený model efektivně používat při výpočtech a aby byly výsledky výpočtů použitelné pro danou problematiku.

Pro popis používáme takzvané „modely s rozprostřenými parametry“. Cílem této práce není vytvoření funkčních modelů. Přítomnost akumulární nádoby v každém uvažovaném otopném systému totiž značně zvyšuje složitost systému. Pokud bychom chtěli vytvořit přesný model topné soustavy, museli bychom počítat i s faktory jako je přesné umístění topné tyče v nádobě a umístění dalších výstupů a vstupů do akumulární nádoby

3.3.1. Otopný systém s krbovými kamny a akumulární nádobou

První otopný systém, který zjednodušeně popíšeme, je otopný systém s krbovými kamny a s akumulární nádobou. V tomto modelu je započítán i výkon elektrické tepelné spirály, která se nachází v akumulární nádobě, a zároveň tepelné ztráty nádoby.



Obrázek 4: Schéma otopného systému s kamny a akumulací nádobou

Vysvětlivky:

\dot{m}_1	...[kg*s ⁻¹] – hmotnostní průtok vody v otopné soustavě
T_1, T_2, T_{1A}	...[°C] – teploty vody v daných místech otopné soustavy
T_{in}	...[°C] – teplota uvnitř objektu
T_A	...[°C] – teplota vody v akumulací nádobě
M_A	...[kg] – hmotnost vody v akumulací nádobě
$P_{topný}$	...[W] – celkový topný výkon dodaný objektu
k	...[W*K ⁻¹] – konstanta topení
P_{krb}	...[W] – celkový výkon krbu
$k_{vz} * P_{krb}$	...[W] - výkon krbu do vzduchu
$(1 - k_{vz}) * P_{krb}$	...[W] – výkon krbu do vody
$P_{el.}$	...[W] – výkon topné spirály
P_z	...[W] – ztrátový výkon akumulací nádoby
c	...[J*kg ⁻¹ *K ⁻¹] – měrná tepelná kapacita vody
k_A	...[W*K ⁻¹] – konstanta hmotnostního průtoku

Tuto otopnou soustavu je možné následovně popsat těmito rovnicemi:

$$(1 - k_{vz}) * P_{krb} = c * \dot{m}_1 * (T_1 - T_2) \quad (11)$$

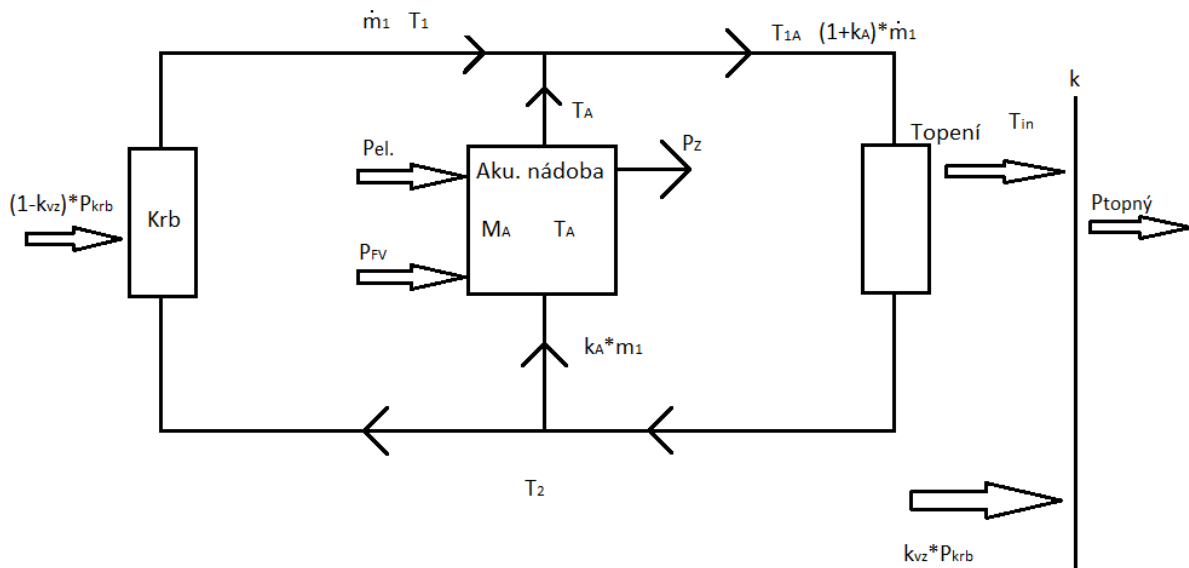
$$P_{topný} = k_{vz} * P_{krb} + k * \left(\frac{T_{1A} + T_2}{2} - T_{in} \right) \quad (12)$$

$$M_A * c * \frac{dT_A}{dt} = P_{el} + c * k_A * \dot{m}_1 * T_2 - c * k_A * \dot{m}_1 * T_A - P_z, \quad T_A(0) = T_{A0} \quad (13)$$

$$c * \dot{m}_1 * T_1 + c * k_A * \dot{m}_1 * T_A = c * (1 + k_A) * \dot{m}_1 * T_{1A} \quad (14)$$

3.3.2. Otopný systém doplněný o FV systém

Schéma otopného systému doplněného o FV systém, který vytápí akumulaci nádobu, je prakticky identické se systémem předešlým. Jediným rozdílem je přidání další topné tyče do akumulaci nádobu odpovídající výkonu P_{FV} .



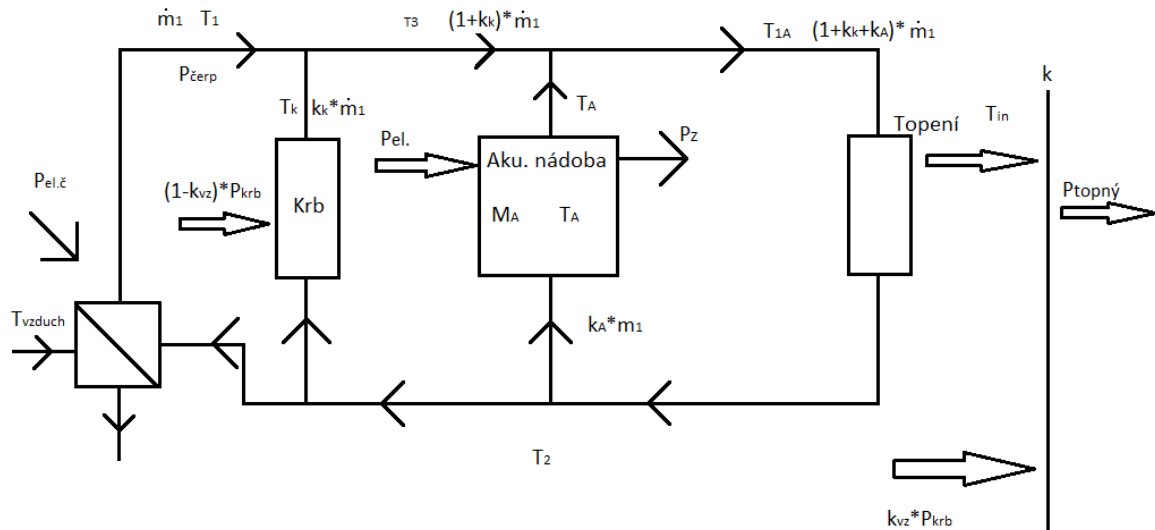
Obrázek 5 : Schéma otopného systému s kamny, FV ohřevem a akumulaci nádobou

Rovnice 11, 12, a 14 se v tomto schématu nemění, jedinou změnou v rovnici 13 je přidání výkonu P_{FV}

$$M_A * c * \frac{dT_A}{dt} = P_{FV} + P_{el} + c * k_A * \dot{m}_1 * T_2 - c * k_A * \dot{m}_1 * T_A - P_Z, \quad T_A(0) = T_{A0} \quad (15)$$

3.3.3. Otopný systém s krbem, tepelným čerpadlem a akumulaci nádobou

Poslední otopnou soustavu, kterou popíšeme, je soustava uvedená na obrázku 6. Jedná se vlastně o otopný systém popsáný v části 3.3.1 doplněný o tepelné čerpadlo vzduch-voda.



Obrázek 6: Schéma otopného systému s krbem, tepelným čerpadlem a akumulací nádobou

Vysvětlivky:

\dot{m}_1	...[kg*s ⁻¹] – hmotnostní průtok vody v otopné soustavě
T_1, T_2, T_3, T_{1A}	...[°C] – teploty vody v daných místech otopné soustavy
T_{in}	...[°C] – teplota uvnitř objektu
T_{vzduch}	...[°C] – teplota venkovního vzduchu
T_A	...[°C] – teplota vody v akumulací nádobě
M_A	...[kg] – hmotnost vody v akumulací nádobě
$P_{topný}$	...[W] – celkový topný výkon dodaný objektu
k	...[W*K ⁻¹] – konstanta topení
P_{krb}	...[W] – celkový výkon krbu
$k_{vz} * P_{krb}$	...[W] - výkon krbu do vzduchu
$P_{el.č}$	...[W] – elektrický příkon TČ
$P_{čerp}$	...[W] – tepelný výkon TČ
$(1 - k_{vz}) * P_{krb}$	...[W] – výkon krbu do vody
$P_{el.}$	...[W] – výkon topné spirály
P_z	...[W] – ztrátový výkon akumulací nádoby
c	...[J*kg ⁻¹ *K ⁻¹] – měrná tepelná kapacita vody
k_A, k_k	...[W*K ⁻¹] – konstanty hmotnostního průtoku

Tuto otopnou soustavu je možné obdobným způsobem popsat těmito rovnicemi:

$$\dot{m}_1 * c * (T_1 - T_2) = P_{čerp} \quad (16)$$

$$P_{topný} = k_{vz} * P_{krb} + k * \left(\frac{T_{1A} + T_2}{2} - T_{in} \right) \quad (17)$$

$$\varepsilon * P_{el.č} = P_{čerp} \quad (18)$$

$$M_A * c * \frac{dT_A}{dt} = P_{el} + c * k_A * \dot{m}_1 * T_2 - c * k_A * \dot{m}_1 * T_A - P_Z, \quad T_A(0) = T_{A0} \quad (19)$$

$$c * \dot{m}_1 * T_1 + c * k_k * \dot{m}_1 * T_k = c * (1 + k_k) * \dot{m}_1 * T_3 \quad (20)$$

$$c * \dot{m}_1 * (1 + k_k) * T_1 + c * k_A * \dot{m}_1 * T_A = c * (1 + k_k + k_{kA}) * \dot{m}_1 * T_{1A} \quad (20)$$

4.1. Stavební řešení budovy

Jedná se o dřevostavbu, jejíž svíslé konstrukce jsou provedeny z dřevěných rámu opatřených z vnější strany deskami OSB, na vnitřní straně jsou pak osazeny sádrovláknité desky FERMACELL a na vnější straně je realizován kontaktní zateplovací systém z minerální vaty. Všechna okna v budově jsou moderní plastová trojskla. Okna se nachází ve větší části na jižním a východním průčelí budovy. Důležitým parametrem domu je tepelná izolace. Izolace obvodových stěn je tvořena minerální vatou o tloušťce 250 mm, izolace stropní konstrukce je tvořena opět minerální vatou o tloušťce 300 mm. Všechny vnější stěny jsou navíc opatřeny kontaktním zateplovacím systémem z minerální vaty o tloušťce 30 mm. Dům je zároveň vybaven dvěma lokálními rekuperačními jednotkami, které se starají o obměnu vzduchu.

Pro budovu byl v souladu s novelou zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií zhotoven průkaz energetické náročnosti budovy. Budova v něm byla vyhodnocena jako kategorie „B“ - velmi úsporná.

4.2. Stávající otopný systém

Budova je pro účely vytápění vybavena teplovodním systémem ústředního vytápění s radiátory a akumulací nádobou. Hlavním zdrojem tepla pro vytápění jsou moderní krbová kamna s výměníkem (typ Mantova AL, Haas+Sohn), jako palivo je používáno dřevěných polen. Akumulační nádoba má objem 474 l je zároveň vybavena elektrickou topnou tyčí, která, v případě potřeby, v době nízkého tarifu nádobu natápí. K temperování objektu v době, kdy není používán, je používáno teplo uskladněné v akumulací nádobě. V době, kdy je objekt nevyužíván, je systém nastaven tak, aby udržoval teplotu uvnitř domu na minimálně 15 °C¹⁷.

Technická Data	Při spalování dřevěných polen
Dosažený tepelný výkon (100%)	10,5 kW
Snížený tepelný výkon (33%)	3,5 kW
Výkon předávaný pouze tělesem kamen	2,9 kW
Použitelný výkon pro ohřev vody	7,6 kW

Tabulka 4: Tepelný výkon krbových kamen¹⁸

Tato varianta otopného systému byla majitelem domu zvolena z důvodu dobré dostupnosti palivového dřeva a krátkodobé nezávislosti na dodávkách elektrické energie - rodinný dům je vybaven bateriovým systémem, který je až na 10-20 hodin schopen napájet oběhová čerpadla otopného systému. K bateriovému systému je navíc možné připojit jednofázovou elektrocentrálu.

¹⁷ Vyplyvá z doporučení dodavatele dřevostavby, aby se zabránilo pohybům v konstrukci a praskání stěn.

¹⁸ HAAS+SOHN-RUKOV. *Technická dokumentace - Mantova AL II s výměníkem* [online]. [cit. 1.5.2018]. Dostupný na WWW: https://www.haassohn-rukov.cz/files/technicke_listy/0433715001400c_mantova_al_ii_cs-sk.pdf

5. Určení tepelných ztrát objektu pomocí výpočtu

Chceme-li přesně spočítat tepelné ztráty objektu pomocí rovnic uvedených v částech 2.1 - 2.3, musíme nejprve zjistit základní parametry objektu, tedy plochy jednotlivých konstrukčních prvků (stěn, střechy, podlahy, oken a dveří) a jejich jednotlivé izolační parametry - součinitele prostupu tepla. Jednotlivé plochy lze určit jednak jejich změřením, popřípadě jejich výpočtem pomocí dostupných plánů budovy.

Určení izolačních parametrů jednotlivých konstrukčních prvků může být na rozdíl od určení jejich plochy podstatně složitější. Určení izolačních parametrů zvláště u starších objektů může být problematické z několika důvodů. K výpočtu součinitele prostupu tepla je zapotřebí znát tloušťku a součinitel tepelné vodivosti stěn, či případně jejich částí. U starých objektů ale nemusí existovat podrobné plány konstrukce. Určení přesné skladby obvodových stěn bez stavebních zásahů tak může být i nemožné. Stěny budovy navíc nemusí být nutně postaveny ze stejných materiálů, a nemusí mít ani konstantní tloušťku. V takovýchto případech je třeba výsledné vypočtené tepelné ztráty objektu brát s rezervou, případně se je pokusit ověřit pomocí vhodného měření.

V případě určování tepelných ztrát nového objektu, kde známe přesnou skladbu stěn a tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů, je určení tepelných ztrát pomocí výpočtu mnohem snazší a také přesnější.

5.1. Výpočet ztrát větráním

5.1.1. Nucené větrání

Jak již bylo uvedeno v části 2.3, minimální dávka čerstvého vzduchu pro 1 člověka činí 25 m³/h.

Nucené větrání spojené s rekuperací tepla může být realizováno buď centrální jednotkou, nebo více lokálními rekuperačními jednotkami.

Výhodou centrálních systémů je zpravidla lepší účinnost a jednodušší regulace. Centrální systémy jsou schopné regulovat například vlhkost a koncentraci CO₂ a udržovat tak stabilnější a příjemnější klima v místnosti. Nevýhodou centrálních systémů je pak složitá instalace a rozvod vzduchotechniky, a také vyšší investiční náklady. Lokální systémy mají naopak horší účinnost, jejich instalace je ovšem zpravidla jednodušší. Lokální jednotky ale nemusí být schopné zajistit optimální cirkulaci vzduchu v budově.¹⁹

¹⁹ ZMRHAL, PETLACH a kol. *Systémy větrání obytných budov* [online]. [cit. 2.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>

Konstrukční řešení modelového domu v zásadě neumožňovalo instalaci centrální jednotky, proto byla zvolena technologie lokálních jednotek, která je dále blíže popsána a analyzována.

Za účelem výměny vzduchu je modelový rodinný dům vybaven dvěma lokálními rekuperačními jednotkami značky Dimplex DL50WE. Na každém patře je umístěna jedna rekuperační jednotka, která je schopná pracovat v několika módech s různou intenzitou větrání.

Mód	Intenzita větrání (m ³ /h)	Příkon ventilátoru (W)
A	10	Neuveden
1	15	3,5
2	30	9,0
3	45	17,0
4	55	25,0

Tabulka 5: Intenzita větrání rekuperační jednotky Dimplex DL50WE²⁰

Z tabulky 5 je vidět, že obě rekuperační jednotky jsou schopny při zapnutí na nejvyšší výkon poskytnout až 110 kubických metrů vzduchu za hodinu. Rekuperační jednotky by tak teoreticky měly být schopné dlouhodobě zajistit minimální přísun čerstvého vzduchu až pro 4 osoby, aniž by bylo potřeba využít přirozeného větrání.

Účinnost instalovaných rekuperačních jednotek činí dle jejich technických specifikací až 90 %. Jinými slovy, rekuperační jednotky jsou schopné snížit tepelné ztráty větráním na jednu desetinu oproti případu, kdy bychom stejnou intenzitu větrání zajistili větráním přirozeným.

Budeme-li uvažovat, že rodinný dům pravidelně obývají 4 osoby, výše tepelných ztrát větráním by při výpočtu při návrhové teplotě -12°C měla činit přibližně 119,2 W.

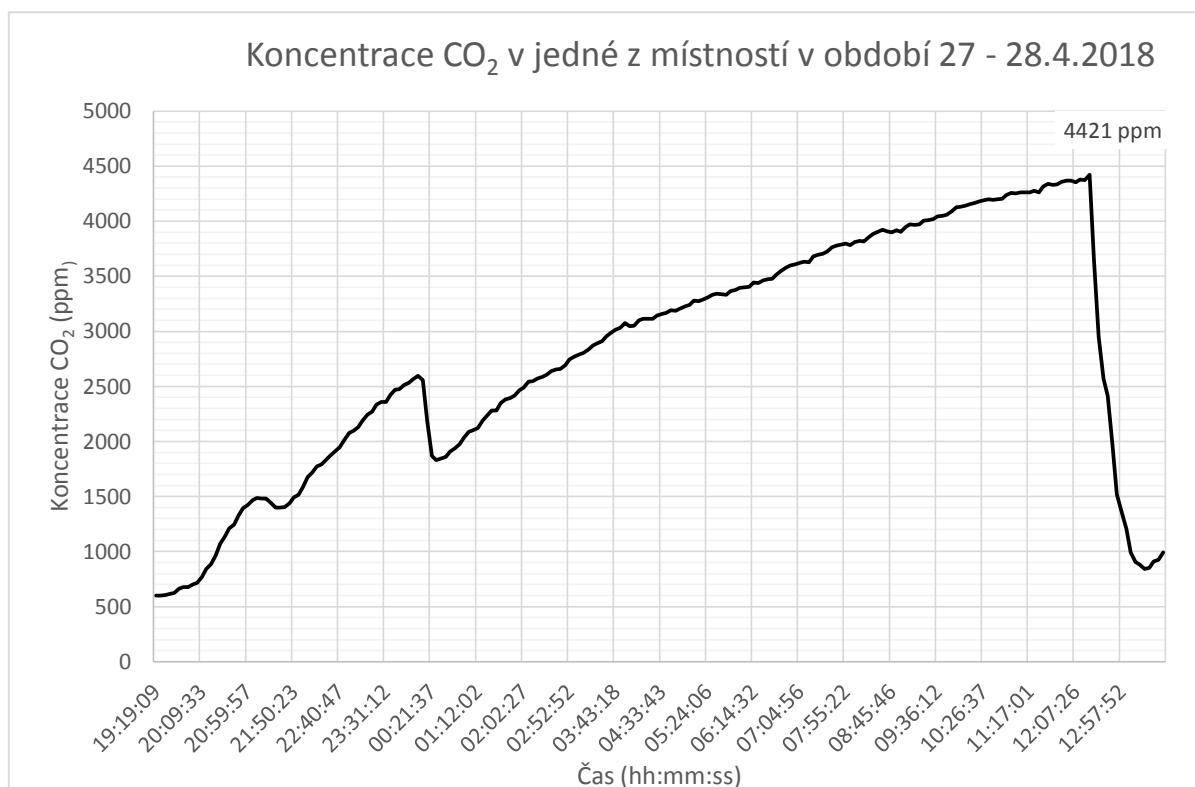
5.1.2. Problematika nuceného větrání v objektu

Reálná velikost těchto ztrát se ale od vypočítané hodnoty může i značně lišit. K určitým tepelným ztrátám dochází například při otevírání dveří, větším problémem však je nedostatečná cirkulace vzduchu v budově. Ačkoli lokální rekuperační jednotky jsou schopné zajistit přísun čerstvého vzduchu v místnostech, kde jsou umístěny, nejsou schopné zajistit úplnou cirkulaci vzduchu v celém domě.

Zásadní vliv na cirkulaci vzduchu má dispozice rodinného domu – rozmístění místností, a také rozmístění rekuperačních jednotek. Jelikož je objekt velmi dobře utěsněn, může v obývané místnosti (například ložnici) nevybavené rekuperační jednotkou při zavření dveří ke zbytku

²⁰ DIMPLEX. *Lokální rekuperace Dimplex DL 50 WE s hranatým tubusem DL 50 Q* [online]. [cit. 1.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://eshop.dimplex.cz/lokalni-rekuperace-dimplex-dl-50-we-s-hranatym-tubusem-dl-50-q>

domu dojit k strmému nárůstu koncentrace CO₂, které si následně vynutí vyvětrání místnosti otevřením oken.



Graf 1: Změřená koncentrace CO₂ v místnosti

Z výše uvedeného grafu je patrný strmý nárůst koncentrace CO₂ v jedné z ložnic v objektu. Během měření se v místnosti pohyboval pouze 1 člověk. K nárůstu koncentrace CO₂ v zobrazeném období došlo z důvodu zavření oken a dveří do místnosti. Maximální naměřená koncentrace CO₂ činila 4421 ppm.

Koncentrace CO ₂	Popis
360 – 400 ppm	čerstvý vzduch v přírodě
800 – 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
Nad 1000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik

Tabulka 6: Příklady koncentrace CO₂²¹

Při porovnání maximální naměřené koncentrace CO₂ s tabulkou 6 je patrné, že ačkoli koncentrace nepřesahuje hodnotu tzv. „maximální bezpečné koncentrace bez zdravotních rizik“, velmi spolehlivě spadá do kategorie, kdy už dochází k „příznakům únavy a snižování

²¹ PROTRONIX S.R.O.. *Pracujete ve zdravém prostředí?* [online]. [cit. 13.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>

koncentrace“. Z grafu je rovněž patrné, že za daných podmínek může koncentrace CO₂ narůst nad doporučenou hladinu 1000 ppm za dobu jen o málo delší jak 1 hodina.

Tento problém by bylo možné vyřešit instalací dalších rekuperačních jednotek, dodatečná instalace do již hotového domu by ale vyžadovala značné náklady (náklady na 1 jednotku bez instalace aktuálně činí 26 767 Kč) a znamenala by zásah do konstrukce domu. Alternativním řešením je přirozené větrání otevřeným oknem, samozřejmě za cenu výrazného zvýšení tepelných ztrát.

5.2. Výpočet ztrát prostupem

Z vzorce uvedeného v kapitole 2.2 vyplývá, že zásadní vliv na tepelné ztráty má skladba jednotlivých prvků konstrukce. Stěny, strop a podlaha uvažovaného objektu se skládají z několika vrstev, které se navíc nemusí nacházet po celé jejich ploše.

V našem objektu je příkladem tohoto jevu například vrstva tepelné izolace z minerální vlny, která je umístěna v dřevěných rámech. Tuto přítomnost dřevěného rámu ve stěně je zapotřebí zahrnout do našich výpočtů, neboť dřevo má o řád vyšší součinitel tepelné vodivosti a v konstrukci vytváří tepelné mosty. Kolik % vrstvy minerální vaty tvoří dřevo lze určit například z plánů budovy. Pokud z plánů není možné tuto informaci získat, nezbyvá nám než určit tento podíl odhadem. Pro potřeby našeho objektu jsme stanovili procentuální podíl dřeva ve vrstvě tvořené minerální vatou na 10 %. Díky tomu se součinitel tepelné vodivosti zvýšil z 0,039 W*m⁻¹*K⁻¹, deklarovaných technickým listem použité minerální vaty Knauf Classic 039²², na hodnotu 0,0571 W*m⁻¹*K⁻¹. Součinitel tepelné vodivosti vrstvy se tak navýšil o přibližně 46 %.

Výpočet tepelných ztrát značně zjednodušuje fakt, že u většiny zateplených budov je možné nalézt vrstvu, která má tak dominantní vliv na velikost tepelných ztrát, že je možné ostatní vrstvy konstrukce zanedbat. Toto ale platí pouze v případě, že se jedná o skutečně plošnou vrstvu, která neobsahuje žádné prvky tvořící tepelné mosty.

Tohoto faktu jsme využili při výpočtu ztrát, kdy jsme uvažovali pouze vrstvy tvořené z určitých materiálů, popřípadě vrstvy, o kterých víme, že jsou plošné. Hodnoty koeficientu tepelné vodivosti byly převzaty z technické zprávy o budově.

²² KNAUF INSULATION. *Technický list Classic 039* [online]. [cit. 13.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.knaufinsulation.cz/sites/cz.knaufinsulation.net/files/technicky-list/Classic-039.pdf>

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Fermacel	0,32
Desky OSB	0,13
Deskový podlahový polystyren EPS 100 Stabil	0,038
Kontaktní zateplovací systém FKL Knaufinsulation	0,04
Minerální vlna - Knauf Classic 039	0,0571 (po korekci)

Tabulka 7: Přehled důležitých stavebních materiálů z tepelně-technického hlediska

Speciálním případem konstrukce jsou pak okna a dveře. Ačkoliv je výpočet tepelných ztrát těmito prvky stejný jako výpočet pro jiné typy konstrukce, je důležité do výpočtu zahrnout jak parametry skla, tak parametry rámu. Výrobci oken většinou udávají 2 hodnoty součinitele prostupu tepla pro svůj výrobek, a to U_w ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$), tak U_g ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$). Zatímco parametr U_w vyjadřuje součinitel prostupu tepla celého okna, tj. skla i rámu, parametr U_g reprezentuje prostup pouze skly. Při výpočtech je proto nutné vždy používat parametru U_w , popřípadě parametr U_g patřičně korigovat.

Dalším problémem výpočtu tepelných ztrát okny (a dveřmi) je, že při jejich výpočtu nerespektujeme tepelné ztráty způsobené tepelnými mosty, které mohou při jejich nesprávné instalaci vzniknout. Pro zajištění co nejmenších tepelných ztrát se proto při instalaci používají těsnící fólie, pásy, lišty a speciální tmely.

5.3. Solární tepelné zisky okny

Pro výpočet průměrných tepelných zisků zasklení za topné období jsme využili vzorce (9).

Tento způsob výpočtu jsme zvolili zejména pro jeho jednoduchost, a dále pro skutečnost, že objekt je částečně zastíněn velkým stromem. Pro přesné stanovení reálných solárních zisků by bylo zapotřebí vypočítat tzv. *korekční činitel stínění* objektu²³. Stanovení tohoto parametru by ale bylo komplikované. Výslednou hodnotu pasivních solárních zisků je proto třeba brát s rezervou. Vypočtenou hodnotu zároveň nebudeme uvažovat při dimenzování jednotlivých otopných soustav, jelikož otopná soustava musí být schopná vytápět objekt i při dlouhodobě zatažené obloze.

Výpočet jsme provedli v programu Wolfram Matematika, výpočet byl proveden pro trojskla se světlou reflexní fólií. Pro výpočet jsme použili průměrnou hodnotu globálního slunečního

²³ ŽENKA M., *Vliv stínění na výpočet pasivních solárních zisků* [online]. [cit. 1.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-zisky-a-zastineni/6202-vliv-stineni-na-vypocet-pasivnich-solarnich-zisku>

záření za topné období od října do dubna. Celková hodnota solárních zisků za toto období (211 dnů) činí 730,98 kWh, v průměru tak solární zisky dodají do objektu každý den 3,46 kWh.

5.4. Alternativní metody pro určení tepelných ztrát objektu

Kromě výpočtů je možné tepelné ztráty většiny objektů určit i jinými způsoby. Přesné určení tepelných ztrát pomocí výpočtů může být v některých případech špatně proveditelné. Výpočty navíc nemusí být vždy zcela přesné, neboť často neuvažují chyby v konstrukci, například různé tepelné mosty apod. V mnoha případech je ale možné určit výši tepelných ztrát i jiným způsobem – pomocí experimentálních metod. Ty mohou sloužit pro orientační stanovení tepelných ztrát nebo pro porovnání se ztrátami určenými pomocí výpočtu.

5.4.1. Určení tepelných ztrát pomocí údajů o spotřebě elektrické energie

V případě, že se jako zdroj pro vytápění využívá elektrické energie ve formě elektrokotle, je možné pomocí měření vnitřních a venkovních teplot a množství spotřebované elektrické energie odhadnout výši tepelných ztrát. Princip metody spočívá v nalezení spojitosti mezi množstvím tepla, které je potřeba na vytápění, a rozdílem vnitřní a venkovní teploty. Tato spojitost je dána tepelně technickými vlastnostmi budovy, a lze ji zapsat jako funkci:

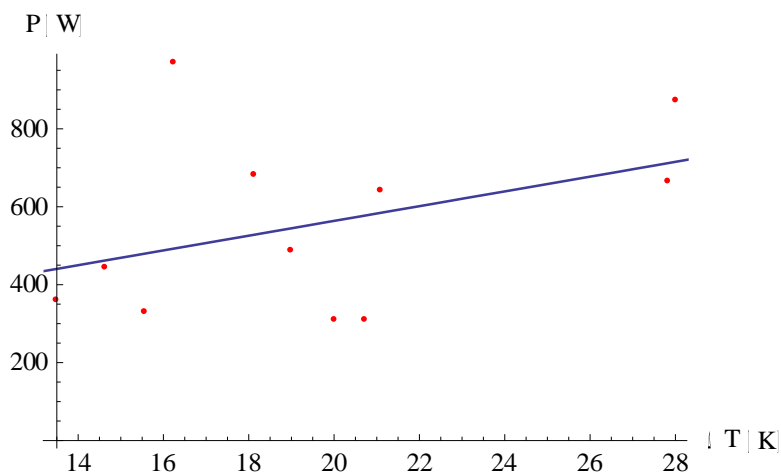
$$P = A * \Delta T + B \quad (21)$$

P	...[W] – výkon potřebný pro vytápění
ΔT	...[K] – teplotní rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou
A, B	... – parametry rovnice reprezentující tepelně technické vlastnosti budovy

Odečty spotřeby elektrické energie je navíc třeba provádět dostatečně dlouhou dobu a v pravidelných intervalech. Pro výpočet používáme dále průměrné hodnoty venkovních a vnitřních teplot. Použití této metody je ale omezeno pouze na případy, kdy používáme jako zdroj pro vytápění hlavně elektrickou energii.

V případě, že během měření získáváme nepravidelně teplo i z jiných zdrojů, například krbových kamen, není určení tepelných ztrát pomocí této metody možné. Pro určení tepelných ztrát naší uvažované budovy proto není tuto metodu možné použít. Dalším požadavkem pro použití této metody je určitá neměnnost způsobu využívání objektu.

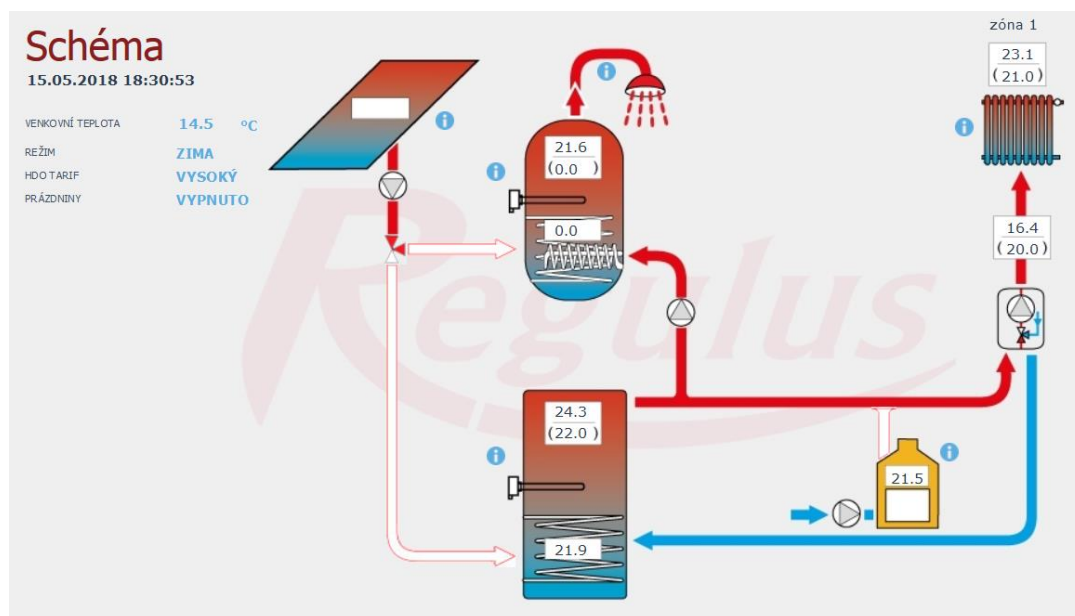
Závěry, které plynou z použití této metody, nejsou pro náš objekt směrodatné. To je možné pozorovat z Grafu 2. Jednotlivé body, které reprezentují výkon potřebný na vytápění při dané teplotě, nekopírují žádnou lineární křivku.



Graf 2: Určení tepelných ztrát pomocí údajů o spotřebě el. energie v NT

5.4.2. Odhad tepelných ztrát pomocí tepla uloženého v akumulární nádobě

V případě, že otopný systém objektu obsahuje akumulární nádobu, můžeme tepelné ztráty relativně přesně určit experimentálním způsobem založeným na udržování konstantní vnitřní teploty a měřením poklesu teploty v akumulární nádobě. Princip měření vychází ze schématu použité otopné soustavy, viz obrázek 8.



Obrázek 8: Schéma otopné soustavy, systém Regulus s akumulární nádobou

– schéma číslo 23²⁴

²⁴ REGULUS - Katalog schémat regulátoru IR 12 KRB - typová schémata zapojení systémů s teplovodním krbem či kotlem na tuhá paliva. [On-line]. Citováno dne 1.4.2018. Dostupné na https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjfm06CnpXbAhUpDsAKHdMpAycQFghVMAM&url=https%3A%2F%2Fm.regulus.cz%2F%3Fdownload%3Dprospekty%2Fcz%2Fregulator-ir12krb_schemata_cz.pdf&usq=AOvVaw3AwXVyyTDrmtd0xUNRPWfi

Ve vytápěném objektu je udržovaná nastavená teplota. Tepelné ztráty budovy v době měření jsou pokrývány pouze teplem akumulovaným v akumulární nádobě, žádný další významný zdroj tepla (tepelné zisky například z vaření, či solární zisky ze slunečního osvětlení, topná spirála v akumulární nádobě) k pokrytí tepelných ztrát nepřispívá. Teplotní čidla umístěná v nádobě měří teplotu ve třech různých výškách nádoby – dvě čidla jsou umístěna cca 15 cm od horního a spodního okraje nádoby, 3. čidlo je umístěno až na dně nádoby. Při odběru tepla z akumulární nádoby dochází k poklesu teplot na všech čidlech, pokles teploty v nádobě je možné popsat poklesem průměrné teploty vypočtené jako průměr hodnot prvních dvou čidel. Tento princip je postaven na předpokladu, že dochází k průběžnému promíchávání vrstev vody v akumulární nádobě.

Protože chceme v objektu zachovat aktuální teplotu, musíme kompenzovat aktuální tepelné ztráty dodáním ekvivalentního množství tepla z akumulární nádoby. Toto množství tepla lze určit pomocí snímání teplot v akumulární nádrži v pravidelném časovém intervalu.

Aktuální množství tepla akumulovaného v nádrži lze spočítat pomocí kalorimetrické rovnice.

$$Q_z = m_{vody} * c * (T_1 - T_2) = \rho * V * c * (T_1 - T_2) \quad (22)$$

Q_z ...[J] – teplo předané akumulární nádobou objektu
 m_{vody} ...[kg] – hmotnost vody v nádrži
 c ...[J*kg⁻¹*K⁻¹] – měrná tepelná kapacita vody
 T_1, T_2 ...[°C] – teplota vody v nádrži v čase t_1 a t_2

Díky znalosti objemu nádrže (474 l) a znalosti teplot vody je možné určit množství tepla odebraného z nádrže pro krytí tepelných ztrát.

Kontrolní výpočet ztrát byl proveden pro dva chladné dny (8. 1. 2017 a 24. 2. 2018), s obdobnou venkovní teplotou -8,7 a -7,4 °C. V prvním případě byla nastavená vnitřní teplota přibližně 16 °C, v druhém případě pak 20 °C. Vnitřní teploty byly měřeny pomocí individuálních jednotek měřícího systému meteostanice Netatmo²⁵. Venkovní teplota pak byla měřena venkovní jednotkou stejného systému umístěnou na opěrném sloupu terasy objektu (tj. na nevytápěném povrchu). Přehled naměřených hodnot je uveden v tabulkách 8 a 9.

datum měření: 24. 2. 2018		
čas	20:00	22:00
Průměrná teplota v nádobě [°C]	51,4	44,7
Venkovní teplota [°C]	-8,6	-8,8
Vnitřní teplota 1 [°C]	21,1	20,3
Vnitřní teplota 2 [°C]	19,5	19,5
Vnitřní teplota 3 [°C]	20,5	20,3

Tabulka 8: Záznam z měření vnitřních a venkovních teplot a poklesu teploty v akumulární nádobě dne 24. 2. 2018

²⁵ Bližší popis viz <https://www.netatmo.com/en-US/product/weather/>

datum měření: 8. 1. 2017		
čas	11:03	13:43
Průměrná teplota v nádobě [°C]	59	51,1
Venkovní teplota [°C]	-7,5	-7,3
Vnitřní teplota 1 [°C]	15,9	15,8
Vnitřní teplota 2 [°C]	15,7	15,7
Vnitřní teplota 3 [°C]	15,8	15,8

Tabulka 9: Záznam z měření vnitřních a venkovních teplot a poklesu teploty v akumulární nádobě dne 8. 1. 2017²⁶

Pro měření byly zvoleny časové okamžiky, kdy solární zisky je možné zcela zanedbat.

Výsledky výpočtu (odhadu) tepelných ztrát pro tyto dva případy jsou následující:

- 8. 1. 2017 (rozdíl venkovní a vnitřní teploty je cca 23,2 °C): 1,64 kW
- 24. 2. 2018 (rozdíl venkovní a vnitřní teploty je cca 28,9 °C): 1,85 kW

Výše uvedené hodnoty představují odhady ztrát nikoli přesné exaktní hodnoty ztrát. Důvody určité nepřesnosti jsou:

- Do ztrát jsou započítány i vlastní ztráty akumulární nádoby umístěné ve sklepě objektu.
- Není možné zcela přesně udržovat teplotu v místnostech na nastavené teplotě, důvodem je například určitá hystereze při spínání ventilů – tzn., že ventily se spínají při poklesu o určitou hodnotu od nastavené hodnoty, a vypínají se opět při o něco vyšší hodnotě, než je nastavená.
- Určitou roli hraje i tepelná kapacita objektu, která zbrzdí pokles teplot.
- Nejde o kompletní tepelné ztráty objektu, protože při tomto výpočtu nejsou respektovány tepelné zisky z titulu produkovaného ztrátového tepla elektronickými zařízeními a spotřebiči instalovanými uvnitř objektu. Zejména jde o zabezpečovací systém (okenní senzory, pohybová čidla, kamery), wi-fi router a další el. zařízení. Dalším zdrojem tepla je lednička a ztráty tepla z bojleru na TV. Celková spotřeba objektu při klidovém režimu, tzn. bez přítomnosti osob, je cca 120 - 150 W²⁷ (bez spotřeby elektronicky řízených cirkulačních čerpadel, která jsou umístěna mimo vytápěný prostor. Pokrývání tepelných ztrát objektu také přispívají tepelné ztráty z bojleru na TV, které lze odhadnout na cca 67 W²⁸.

²⁶ Vnitřní teplota 1,2,3, představuje naměřené teploty v jednotlivých obytných místnostech objektu. Ve všech případech je požadovaná teplota v místnostech nastavená na stejnou hodnotu, drobné rozdíly mezi teplotami jednotlivých místností vyplývají z toho, že otopná tělesa jsou spínána dálkově řízenými regulátory a spínací teplota je měřena v hlavici radiátoru, kdežto teplota v místnosti je měřena v přibližně ve stejné výšce od podlahy, ale v jiném místě daného pokoje.

²⁷ Tato spotřeba byla stanovena opakovaným měřením spotřeby objektu v klidovém režimu, kdy všechna zařízení byla ve stand-by modu (s výjimkou měření parametrů vnitřního prostředí systému Netatmo a systému Regulus, zabezpečovacího systému a ledničky). Měření byla prováděna při vypnutých cirkulačních čerpadlech a byla odečítána spotřeba na elektroměru za dobu tří až pěti dnů.

²⁸ Viz technický list bojleru ARISTON VELIS EVO 100 l

Celkové tepelné ztráty vytápěného objektu spočítané touto metodou pro dva měřené vzorky lze pak odhadnout po započítání dalších tepelných zisků, které přispívají ke krytí ztrát objektu, následovně – viz tabulka 10.

Položka	Datum měření 2	Datum měření 1
	8. 1. 2017	25. 2. 2018
Pokles teploty v akumulční nádobě	1640 W	1850 W
Elektronická zařízení a spotřebiče - příspěvek	120 – 150 W	120 – 150 W
Bojler - příspěvek	67 W	67 W
Celkem	1827 – 1857 W	2037 – 2087 W

Tabulka 10: Celkové tepelné ztráty vytápěného objektu

Odhad tepelných ztrát objektu lze potvrdit ještě další metodou založenou na sledování spotřeby elektrické energie pro krytí ztrát objektu tak, aby byla udržována nastavená teplota cca 15 °C pro temperování objektu. Pro ověřovací výpočet bylo zvoleno období 28.1 až 5.2 2018. Průběh teplot v tomto období je zobrazen na grafech 3 a 4. Souhrnné informace o teplotách v tomto období uvádí následující tabulka 11:

Teplota	(°C)
Min	-5,3
Max	11,9
Průměr	1,9

Tabulka 11 Tabulka 11 : Maximální, minimální a průměrná venkovní teplota v období 28.1 až 5. 2. 2018

Celková spotřeba v pásnu NT činila 280 kWh, spotřeba v pásnu VT pak činila 53 kWh. Pokud odečteme spotřebu elektřiny pultovým mrazákem (cca 0,57 kWh/den²⁹) a cirkulačních čerpadel (1,4 kWh/den)³⁰ získáme celkovou spotřebu objektu, která se přemění na teplo přispívající k pokrytí ztrát objektu ve výši: $280 + 53 - 1,44 \cdot 9 - 0,57 \cdot 9 = 314,9$ kWh

To znamená, že průměrná tepelná ztráta objektu je 1,46 kW. Tato hodnota je v souladu s hodnotami zjištěnými pro tepelné ztráty odhadnuté pomocí poklesu teploty vody v akumulční nádrži.

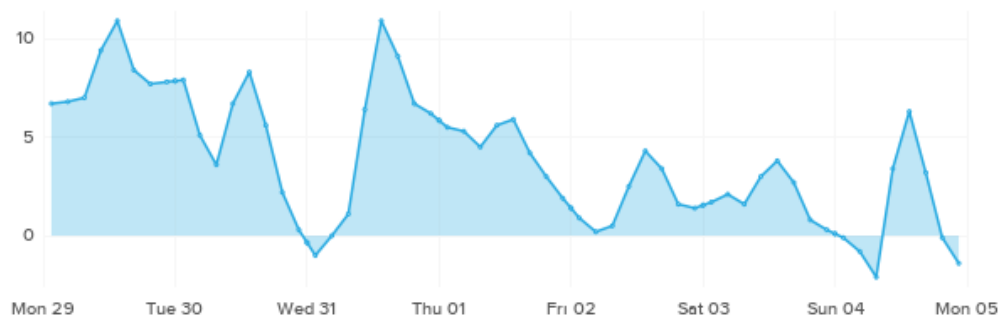
²⁹ Viz Pultový mrazák Beko HSA 29530.

³⁰ Viz *Technický list pro čerpadlovou skupinu CSE MIX G 5/4F* od firmy Regulus (celkem 2 jednotky) https://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_techicky-list_cse-mix-g-5_4f.pdf

Measured by netatmo.com

JAN 29 - FEB 05 2018

TEMPERATURE - OUTDOOR



Graf 3: Průběh venkovní teploty v období od 29. 1. 2018 do 5. 2. 2018

Measured by netatmo.com

FEB 05 - FEB 12 2018

TEMPERATURE - OUTDOOR



Graf 4: Průběh venkovní teploty v období od 5. 2. 2018 do 12. 2. 2018³¹

5.5. Porovnání výsledků výpočtu ztrát tokovou metodou s alternativními metodami

Protože výpočet daný tokovou metodou v sobě nezahrnuje efekty, jako jsou tepelné mosty a jiné chyby v konstrukci obálky, je vhodné vypočtené hodnoty ztrát porovnat s hodnotami určenými alternativními odhady. Porovnáním výsledků si ověříme správnost výpočtů jednotlivých metod.

Porovnání jednotlivých vypočtených ztrát je uvedeno v Tabulce 12. Pro výpočet ztrát tokovou metodou jsme v prvním případě předpokládali vnitřní teplotu objektu 21°C. V druhém a třetím

³¹ Naměřeno pomocí měřících stanic Netatmo, data stažena z <https://www.netatmo.com>

jsme počítali s vnitřní teplotou temperování objektu 15°C. Při výpočtu všech 3 případů se počítalo se zapnutím rekuperací na minimální chod.

Tepelné ztráty výpočtem		
	Průměrná teplota venkovního vzduchu [°C]	Vypočtené tepelné ztráty [W]
Tokovou metodou	-8,7	1464,9
Tokovou metodou	-7,4	1390,6
Tokovou metodou	1,9	859,1
Tepelné ztráty alt. metodami		
	Průměrná teplota venkovního vzduchu [°C]	Vypočtené tepelné ztráty [W]
Měření 25. 02. 2018	-8,7	2037-2087
Měření 8. 01. 2017	-7,4	1827-1857
Sledování spotřeby	1,9	1460
Rozdíly ztrát výpočtem a alt. metodami		
	Průměrná teplota venkovního vzduchu [°C]	Rozdíl tepelných ztrát [W]
Porovnání 1	-8,7	567,2 - 617,2
Porovnání 2	-7,4	436,4 - 466,4
Porovnání 3	1,9	600,9

Tabulka 12 : Porovnání jednotlivých vypočtených hodnot tepelných ztrát

Z tabulky 12 je patrné, že mezi výpočty jednotlivých ztrát jsou určité rozdíly. Tyto rozdíly jsou způsobeny chybami v konstrukci, tepelnými mosty. Určitá chyba mohla též vzniknout při výpočtu dle jednotlivých metod, používáním průměrných venkovních teplot. Hodnoty vypočtených tepelných ztrát jsou ale přesto velmi blízké, lze proto považovat všechny metody výpočtu za relativně přesné.

5.6. Způsoby určení celkové spotřebované energie na vytápění

Pro zhodnocení ekonomičnosti jednotlivých variant je třeba vypočítat celkovou spotřebu energie na vytápění. Dle doporučení vedoucího použijeme pro výpočet pomocí numerické integrace rovnice (21). Předpokládáme vytápění objektu na konstantních 20 °C, místo rozdílu teplot tak používáme pouze teplotu venkovní.

$$P(T_{venk}) = A * T_{venk} + B \quad (23)$$

T_{venk} ...[°C] – venkovní teplota vzduchu

A ...[W/K-] – parametr vypočtené lineární závislosti

B ...[W] – parametr směrnice vypočtené lineární závislosti

Parametry A a B určíme pomocí 2 známých stavů venkovní teploty a tepelných ztrát. Pro numerickou integraci zároveň potřebujeme znát začátek a konec topné sezóny. Začátek topného období předpokládáme při poklesu venkovní teploty pod 13°C³². Konec naopak předpokládáme při venkovní teplotě nad 13°C.

Pro zjištění doby topení použijeme dlouhodobé průměrné měsíční teploty v Praze³³, které upravíme tak, aby průměrná roční teplota souhlasila s průměrnou teplotou v lokalitě objektu. Teplotu venkovního vzduchu v lokalitě lze tak zapsat jako:

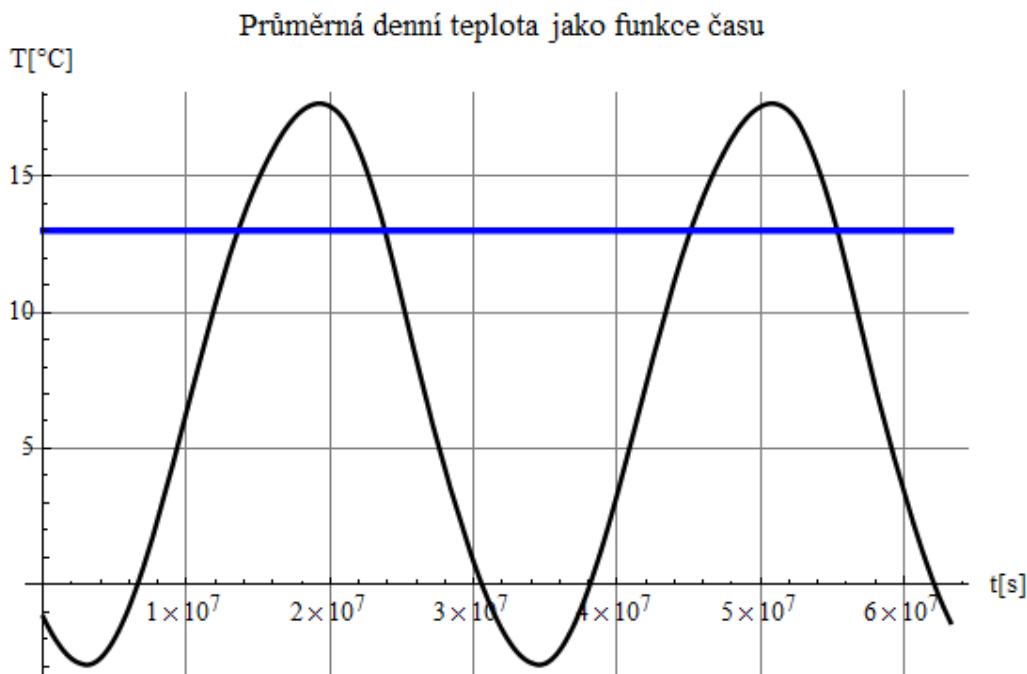
$$T_{venk}(t) = T_P(t) - \frac{1}{rok} \int_{t=0}^{rok} T_P(t) * dt + T_{AVloc} \quad (24)$$

$T_P(t)$...[°C] – interpolace průměrných měsíčních hodnot v Praze

rok – počet sekund v roce

T_{AVloc} ...[°C] – průměrná teplota v lokalitě

Pro výpočet byl použit program ve Wolfram Mathematica, který byl dodán vedoucím práce, délka otopné sezóny dle tohoto výpočtu činí přibližně 2.13×10^7 sekund (246 dnů). Tato hodnota je oproti reálné době topné sezóny pro modelovaný objekt mnohem delší (reálná doba trvání otopné sezóny je přibližně 180 – 200 dnů). Důvodem je nezapočítání solárních a dalších tepelných zisků.



Graf 5: Průměrná denní teplota v lokalitě³⁴

³² Vyhláška MPO č. 194/2007 Sb. Dostupná na WWW: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-194-2007-sb-ktou-se-stanovi-pravidla-pro-vytapeni-a-dodavku-teple-vody>

³³ AUTOR NEUVEDEN, *Průměrné teploty, vlhkosti a entalpie venkovního vzduchu v Praze* [online]. [cit. 18.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/66-prumerne-teploty-vlhkosti-a-entalpie-venkovniho-vzduchu-v-praze>

³⁴ Přednášky předmětu Elektroenergetika. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/>

Po dosazení rovnice (24) do rovnice (23) a její následnou integrací lze vypočítat celkovou tepelnou energii dodanou do objektu:

$$E_{tepCelk} = \int_{t_{zacatek}}^{t_{konec}} P(T_{venkovni}(t)) * dt \quad (25)$$

t_{konec} ...[s] – konec topné sezóny

$t_{zacatek}$...[s] – začátek topné sezóny

Pro získání celkové tepelné energie, kterou je třeba do objektu dodat otopným systémem, je zapotřebí od této vypočítané hodnoty odečíst sluneční a další tepelné zisky.

Alternativní výpočet potřeby tepla pro vytápění

Další možností, jak určit potřebu tepla na vytápění, je stanovení průměrných denních teplot v topné sezóně pomocí teplot naměřených systémem Netatmo v trojhodinových krocích a následný výpočet odpovídajících tepelných ztrát. Tento výpočet je velmi podobný výpočtu uvedeném výše, výhodou výpočtu pomocí průměrných denních teplot je přesné stanovení začátku a konce topné sezóny a fakt, že se jedná o skutečné zaznamenané teploty v dané lokalitě. Jeho nevýhodou vzhledem ke krátké době měření (naměřeny jsou pouze teploty za 1 rok) je, že celková potřeba tepla na vytápění je značně ovlivněna průběhem teplot v daném roce. Potřeba tepla v jednotlivých topných sezónách může i značně kolísat.

6. Alternativní způsoby vytápění

6.1. Varianty řešení otopného systému pro modelový objekt

Cílem této kapitoly je posoudit možnosti vytápění modelového objektu a identifikovat reálné varianty, které by odpovídaly dané lokalitě (tj. stejná výpočtová teplota, nedostupnost zemního plynu apod.), tepelně technickým charakteristikám modelové budovy, stavebně technickým omezením a současně i očekáváním majitelů budovy.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 4, modelový objekt je dům, který byl zkolaudován v prosinci 2016. Jeho stávající systém vytápění je založený na kombinaci krbových kamen na kusové dřevo s výměňkovou vložkou Mantova AL II a 474 l akumulární nádobou (systém společnosti Regulus) s topnou tyčí s výkonem 6 kW. Topný systém je oddělen od systému přípravy TV (teplé vody), TV je připravována v elektrickém bojleru o objemu 100 l.

Akumulární nádoba je instalována ve sklepní technické místnosti, dispoziční řešení budovy totiž neumožňuje její instalaci v přízemí budovy. Tepelné ztráty akumulární nádoby a rozvodů v sklepní technické místnosti tak nepřispívají k tepelným ziskům vlastní budovy.

Vzhledem k možnostem instalace (a i k možnostem případné výměny nádoby v budoucnosti), je její objem omezen na max. 500 l. Toto omezení vyplývá z rozměrů, váhy a možností instalace akumulární nádoby (průchozí rozměry, manipulační prostor na schodech apod.).

Úlohu spočívající v identifikaci optimálního způsobu vytápění je možné řešit ze dvou úhlů pohledu:

1. nalezení optimálního způsobu vytápění (včetně dimenzování jednotlivých prvků otopné soustavy pro danou technologickou variantu vytápění) pro případ opětovné realizace shodného objektu (opakovaný projekt),
2. posouzení, zda existuje ekonomicky výhodnější varianta oproti současné variantě vytápění, např. doplnění současného systému o další prvky, nebo náhrada současného systému vytápění jinou technologií.

V dané lokalitě není zaveden zemní plyn a v horizontu minimálně 10 let se nedá očekávat jeho zavedení. Majitelé objektu požadují možnost trvalého vytápění objektu i v době jejich delší nepřítomnosti a možnost řízení vytápění jednotlivých místností dle jejich používání. Předpokládáme, že objekt je trvale vytápěn na teplotu 14 - 15 °C (udržování teploty na nejméně 14 – 15 °C je doporučeno dodavatelem objektu z důvodu např. zamezení vzniku prasklin ve vnitřních předstěnách). Technické řešení otopné soustavy současně musí vyhovovat legislativním požadavkům na PENB (Průkaz energetické náročnosti budov) z hlediska podílu obnovitelných a neobnovitelných energií (tak, aby bylo dosaženo alespoň kategorie C). Legislativní požadavky tak vylučují realizaci např. varianty, kdy by pro vytápění byl použit pouze elektrokotel. Požadavkem majitelů je též instalace krbových kamen.

Nalezení optimálního způsobu vytápění pro opakovaný projekt

Toto úlohu je také možné chápat jako ověření správnosti původního návrhu systému vytápění. Ten vznikl spíše na základě empirických poznatků a zkušeností majitele, než na základě exaktních výpočtů a rozboru³⁵. Pro tuto úlohu jsou prakticky reálné následující varianty:

- a) Krbová kamna (na kusové dřevo) s teplovodní vložkou doplněná o akumulární nádobu s topnou tyčí – nutnost instalace akumulární nádoby vyplývá z potřeby ukládat přebytek tepla tak, aby nedocházelo k přetápění budovy díky jejím nízkým ztrátám.
- b) Předchozí varianta doplněná navíc o FV panely na střeše budovy a DC, nebo AC topnou tyč v akumulární nádobě.
- c) Tepelné čerpadlo vzduch – voda.

Ve variantě ad a) je část tepla na vytápění dodávána dovnitř objektu přímo tělesem kamen a část tepla je rozváděna teplovodním systémem po jednotlivých místnostech objektu. Vzhledem ke kompaktnosti objektu (včetně přímého propojení přízemí a 1. patra) a vzhledem k tomu, že vnitřní stěny objektu kladou prostupu tepla podstatně menší odpor než obvodové stěny objektu, lze pro jednoduchost uvažovat teplo dodávané přímo tělesem kamen za příspěvek k celkové potřebě tepla objektu.

Jak bylo naznačeno v kapitole 4.2, teplo vznikající spalováním kusového dřeva je jednak přímo vyzářeno tělesem kamen do objektu a jednak je předáno teplovodní vložkou do topného systému. Kamna, která jsou v současnosti v objektu instalována (Mantova AL II, Haas+Sohn), mají dosažitelný tepelný výkon cca 10,5 kW s tím, že max. výkon předávaný do topné soustavy je 7,6 kW. V okamžiku, kdy teplota na topné větvi soustavy překračuje teplotu požadovanou dle ekvitermní křivky, dochází k ukládání přebytku tepla do akumulární nádoby (max. teplotou vody v akumulární nádobě je 95 °C). Pokud je teplota na topné větvi nižší, než je požadovaná teplota podle ekvitermní křivky, dochází k dotápení akumulární nádoby pomocí vložené topné tyče (6 kW). Topná tyč je aktivní pouze v pásmu nízkého tarifu (používán je tarif D26d) a dotápí akumulární nádobu na požadovanou teplotu³⁶. Vytápění (dotápení) elektřinou se realizuje buď v okamžicích nízkých venkovních teplot nebo při delší nepřítomnosti v objektu (a netopení v krbových kamnech) anebo v přechodných obdobích (jaro, podzim), kdy je požadavek na (mírné) dotápení objektu, a kdy provozování krbových kamen na minimální výkon (cca 33%) vede k přetápění objektu.

³⁵ Systém vytápění se v průběhu přípravy projektu několikrát měnil a upřesňoval, původní návrh byl silně předimenzovaný, zdroj tepla (kamna a elektrokotel v původním návrhu odpovídaly objektům s potřebou tepla na vytápění cca okolo 100 kWh/m²,rok (více jak 3-4x předimenzované). PENB budovy byl k dispozici teprve až poté, co byl projekt defacto hotový.

³⁶ V realu je systém řízení dotápení nádoby komplikován o to, že řídicí systém od firmy Regulus (konkrétně schéma č. 23) umožňuje „přetápět“ akumulární nádobu od teploty požadované ekvitermou o max. 10 °C. To pak v případech, že dochází ke kombinaci velmi nízkých venkovních teplot a nepoužívání krbových kamen (z důvodu nepřítomnosti), může vést k tomu, že množství energie předané do akumulární nádoby topnou tyčí nestačí kompenzovat ztráty objektu a dochází tak k poklesu teploty uvnitř objektu od požadované teploty.

Ve variantě ad b) jsou instalovány na střeše objektu FV panely, které primárně slouží k dotápní akumulční nádoby a k ohřevu TV. Základním problémem je dimenzování instalovaného výkonu FV systému vzhledem k nesouladu v průběhu potřeby elektřiny na dotápní systému vytápní (maximum je v zimním období) a v průběhu dopadajícího slunečního záření v cyklu leden – prosinec, a tím i množství výroby elektřiny z FV. V letním období není třeba objekt dotápní (to platí i pro významnou část přechodného období), pro zajištění požadované teploty jsou dostatečné solární zisky a zisky ze ztrátového tepla elektronických systémů a dalšího vybavení objektu. V letním období je tak možné elektřinu využít pouze pro přípravu TV.

Ve variantě ad c) je uvažováno tepelné čerpadlo vzduch - voda, které odpovídá tepelným ztrátám objektu. Systém tepelného čerpadla může být kombinován s krbovými kamny (včetně akumulční nádoby), solárním ohřevem apod.

Posouzení, zda existuje ekonomicky výhodnější varianta

V této úloze, kdy neřešíme návrh otopné soustavy v okamžiku projektu, ale alternativní varianty současného způsobu vytápní (viz výše), jsme limitováni současným stavebním řešením a možnostmi připojení dodatečných zařízení do topné soustavy. V této variantě odpadá možnost instalace tepelného čerpadla, neboť jeho instalace a napojení na topný systém (nutnost připojení do sklepa) by byla velmi komplikovaná a ohrožovala by instalované izolace proti tlakové vodě. Navíc připojení tepelného čerpadla (elektřina, napojení na topný systém), by si vyžadovalo významné terénní úpravy (rozebrání dlažby, vyrovnání terénu apod.), proto je v případě modelového objektu považováno za technicky nereálné. Za realistickou variantu je možné považovat variantu instalace FV panelů na střechu objektu a využití vyrobené elektřiny pro dohřívání akumulční nádoby, pro ohřev TV, a tím pro úsporu elektřiny ze sítě.

Společné parametry obou úloh:

- ve všech variantách je shodný otopný systém uvnitř objektu (rozvody, radiátory),
- ve všech variantách je shodný elektronický řídicí systém a jeho připojení na internet pro dálkovou správu systému
Tzn., že při ekonomickém hodnocení se náklady těchto subsystémů otopného systému neuvažují.

Odlíšné parametry úloh:

- ve variantě ad 2) odpadá možnost instalace tepelného čerpadla
- ve variantě ad 2) je nutné vyměnit současný boiler za hybridní boiler, který má i DC topnou spirálu, respektive je třeba doplnit akumulční nádobu o další topnou tyč
- ve variantě ad 2) se zvyšují náklady na instalaci FV systému (složitější připojování FV k topnému systému ve srovnání s variantou ad 1), kdy lze připojovací kabely velmi snadno instalovat před „zaklopením“ předstěn dřevostavby.

6.2. Dimenzování technických řešení

Požadavky na krbová kamna:

Předpokládá se trvalé vytápění/temperování objektu na minimální teplotu 14-15 °C (dle specifikace dodavatele dřevostavby). Krbová kamna není třeba předdimenzovávat pro rychlé vytopení objektu z nízkých teplot na požadovanou pokojovou teplotu. Krbová kamna by tak měla mít max. výkon předávaný do objektu tělesem kamen ve výši ztrát tepla pro výpočtovou teplotu -12 °C a minimální výkon odpovídající požadavku na vytápění v přechodném období (pro zamezení přetápění objektu). Současně by měl výkon do topného systému odpovídat potřebě akumulace tepla při předpokladu, že majitel objektu nechce přes den topit (předpokládáme, že topí max. po dobu 4-6 hodin na nominální výkon), a nechce ani využívat dotápění pomocí topné tyče.

Při hledání optimálního řešení krbových kamen jsme použili produktovou řadu krbových kamen s výměňkovou vložkou firmy Haas+Sohn-Rukov. Důvodem je zajištěnost servisu a nabídka široké škály kamen s různými tepelnými výkony. Navíc nabídka představuje řadu různých konstrukčních řešení pro optimalizaci umístění krbových kamen v interiéru.

Požadavky na akumulační nádobu:

Maximální objem akumulační nádoby je limitován možností jejího transportu a instalace. Při předpokladu použití akumulačních nádrží firmy Regulus, je maximální objem akumulační nádoby 474 l. Velikost (a tedy i objem) nádoby je omezen jejími rozměry. 474 l nádoba je největší možnou nádobou, kterou lze do objektu instalovat. Kombinaci více menších nádob neuvažujeme. Minimální nabízený objem akumulační nádoby (odpovídající potřebám schématu z hlediska návarků/průchodek) je 200 l (technická řešení firmy Regulus). Doporučený objem akumulačních nádob se pohybuje mezi 50-75 l/1 kW topného výkonu do systému³⁷. Vzhledem k zadanému požadavku majitelů by měla mít akumulační nádoba objem, který by postačoval pro pokrytí potřeby tepla (tepelných ztrát) v topné sezóně na vytápění přes celý další den.

Fotovoltaický systém umístěný na střeše:

Výkon střešního fotovoltaického systému je dán vztahem mezi potřebou elektřiny na dotápění objektu (např. při delší nepřítomnosti majitelů), aby se minimalizovala spotřeba elektřiny ze sítě a možnostmi využití elektřiny z FV panelů v letním období, kdy není třeba objekt dotápět a kdy je možné elektřinu využít max. pro ohřev TV. Max. instalovaný výkon v FV je limitován jednak stavebním řešením, zejména řešením střechy (např. úhel vůči Slunci), a velikostí střechy s vhodnou orientací vůči Slunci, a jednak možnostmi využití vyrobené elektřiny – nepředpokládá se jiné využití než pomocí topných tyčí pro ohřev vody v topném systému a ohřev TV.

³⁷ KAMNÁŘSTVÍ KOUTECKÝ. *Teplovodní vytápění* [online]. [cit. 14.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.3xk.cz/teplovodni-vytapeni/>

6.3. Zavrhnuté varianty řešení otopného systému

6.3.1. Vytápění pomocí podlahového topení

Podlahové vytápění je v současnosti oblíbeným způsobem vytápění, podlahové vytápění je dodáváno v různých provedeních. V základu je tato provedení možné rozdělit do dvou kategorií, a to na podlahová topení elektrická a na podlahová topení teplovodní. Jednou ze základních charakteristik podlahového topení je tzv. maximální teplota nášlapné vrstvy podlahy. Tato teplota nesmí v obytných místnostech přesáhnout hodnotu 29 °C³⁸.

Elektrická podlahová topení mají oproti topením teplovodním menší investiční náklady, neboť nepotřebují napojení na komplikovaný systém trubek. Jejich další výhodou je také jednodušší regulace. Oproti teplovodnímu topení ale mají z důvodu využívání elektrické energie vyšší provozní náklady. Elektrická podlahová topení se proto hodí pro vytápění objektů s nízkými tepelnými ztrátami.

Základní výhodou teplovodního podlahového topení je možnost využití zdrojů nízkopotenciálového tepla. Teplovodní podlahové topení se velmi často používá v kombinaci například s tepelným čerpadlem.

Důvodů, proč varianta využití podlahového vytápění byla v řešené úloze zavrhnuta, je více.

- Dlouhá setrvačnost podlahového topení.
Uvažovaný dům je v průběhu topné sezóny po většinu času temperován na teplotu cca 15 °C, a pravidelně je využíván pouze o víkend. Jelikož podlahové topení je omezeno maximální teplotou podlahy, není schopné rychle vytopit vychladlý objekt na požadovanou vnitřní teplotu.
- Složitost instalace do podlahy dřevostavby.

6.3.2. Solární tepelné kolektory namísto fotovoltaických panelů

Solární tepelné kolektory je zařízení schopné přeměny slunečního záření na tepelnou energii. Technologie solárních tepelných kolektorů se využívá převážně pro přípravu TV, ohřev vody v bazénech a také pro přitápění.

Tepelné kolektory ale mají oproti fotovoltaickým panelům několik nevýhod. Klasické fototermální panely je zapotřebí neustále chladit, v případě jejich přehřátí může dojít k vyvaření pracovního média a nutnosti jeho doplnění³⁹. Další nevýhodou je, že fototermální panely potřebují pro výrobu tepla přímých slunečních paprsků. Využívání této technologie zároveň vyžaduje instalaci potrubí k přívodu kapaliny do panelů a z panelů do otopného systému. V hotovém objektu je tak instalace fototermálních panelů komplikovanější, než je instalace panelů fotovoltaických.

³⁸ TERMOSYSTEM. *Časté dotazy* [online]. [cit. 15.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.termosystem.cz/cz/caste-dotazy/>

³⁹ SOLÁRNÍ EXPERTI. *Jak funguje ohřev vody fotovoltaikou?* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-fotovoltaicky-ohrev-vody/>

6.3.3. Tepelná čerpadla vzduch-vzduch

Varianta vytápění pomocí tepelných čerpadel vzduch-vzduch (která je pro nízkoenergetické novostavby doporučovanou variantou TČ⁴⁰) byla zavrhnuta z několika důvodů. V případě optimalizace vytápění již realizovaného objektu, není jejich instalace možná. Při instalaci lokálních jednotek existuje značné riziko poškození jednotlivých izolačních vrstev a parotěsných fólií. Taktéž realizace centrálního řešení se systémem vzduchotechniky není možný.

Instalaci TČ vzduch- vzduch je sice možné provést při opětovné realizaci projektu, jejich instalací by ale v objektu vznikly dva paralelní systémy vytápění (1 - TČ vzduch-vzduch, 2 - krbová kamna s teplovodním systémem a akumulací nádobou). Existence dvou systémů by s největší pravděpodobností nebyla ekonomická, při této variantě by tak nejspíše došlo k výrazné změně/celkovému zavrnutí otopné soustavy 2. Tato skutečnost jde proti požadavku majitele modelovaného objektu využívat pro vytápění palivové dřevo.

6.4. Posouzení jednotlivých variant vytápění

6.4.1. Varianta A) – krbová kamna s akumulací nádobou

Krbová kamna

Do hodnocení byla zahrnuta kamna s výměňkovou vložkou produktového portfolia firmy Haas+Sohn-Rukov. Důvodem pro volbu tohoto produktového portfolia je široký rozsah nabídky kamen (jak z hlediska výkonu, tak i dispozičních a designových řešení). Velmi široké portfolio kamen s vložkou od různých výrobců nabízí rovněž e-shop CentrumVytapeni.cz (celkem 218 kamen od 8 výrobců včetně firmy Haas+Sohn). Kamna z tohoto e-shopu do hodnocení nebyla zařazena, důvodem bylo především to, že se buď kryla se svými technickými parametry s výrobky Haas+Sohn, nebo byla svým výkonem zpravidla předimenzovaná oproti potřebám posuzovaného objektu.

Tepelný výkon jednotlivých krbových kamen s výměňkem, která jsou nabízena společností Haas+Sohn-Rukov, je vždy udáván v určitém rozmezí minimálního a maximálního dosažitelného výkonu. Dosažené tepelné výkony krbových kamen se pohybují v rozmezí 10,2 až 15,3 kW (jde o celkový tepelný výkon předávaný tělesem kamen do okolního vzduchu a výměňkovou vložkou do otopné soustavy). Udávaný snížený tepelný výkon žádných kamen neklesá pod hodnotu 3,3 kW. Vzhledem k nízkým tepelným ztrátám objektu proto dále uvažujeme pouze ta řešení, která mají celkový jmenovitý tepelný výkon max. cca 10 kW s preferencí topení do otopného systému před topením „do vzduchu“.

Jednotlivé typy krbových kamen se od sebe dále liší parametry výměňku (% z celkového tepelného výkonu předávaného do otopné soustavy) a cenou. Kamna se zároveň od sebe odlišují

⁴⁰ Tuto variantu doporučuje například společnost STIEBEL ELTRON, viz https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne_zdrojeenergie/tepelne_cerpadlo.html

dodatečnými parametry, jako je například možnost zapojení vychlazovací smyčky, externí přívod vzduchu. Zatímco zapojení vychlazovací smyčky je s ohledem na nemožnost připojení na obecní vodovod a kanalizaci nepotřebným aspektem, přívod externího vzduchu pro spalování je pro používání kamen ve velmi dobře utěsněné novostavbě nezbytností.

Z nabízených modelů kamen tak připadají v úvahu následující: ⁴¹

Krbová kamna	Dosažený tepelný výkon	snížený tepelný výkon	Použitelný výkon pro ohřev vody	Cena
Adria II	10,1 kW	3,3 kW	5 kW	22 490 Kč
Mantova AL II	10,5 kW	3,5 kW	7,6 kW	24 740 Kč
Visby	10,1 kW	3,3 kW	7,3 kW	35 300 Kč
Almo s výměníkem	10,1 kW	3,3 kW	7,3 kW	29 990 Kč
Avesta s výměníkem	10,1 kW	3,3 kW	7,3 kW	34 670 Kč

Tabulka 13: Přehled parametrů vhodných krbových kamen s teplovodní vložkou

Účinnost výše uvedených kamen se pohybuje mezi 80 a 82% (podle použitého paliva – uhlí, ekobrikety, kusové palivové dřevo).

Nejlevnější variantou krbových kamen s výměníkem je typ Adria II. Tento typ ale má menší hodnotu použitelného výkonu pro ohřev vody, který by omezoval množství tepla, které by bylo možné akumulovat v akumulární nádobě.

Výhodnější je proto varianta kamen Mantova AL II, která má vyšší použitelný výkon pro otopný systém. Jedná se zároveň o druhou nejlevnější variantu krbových kamen nabízených společností Haas+Sohn-Rukov. Vyšší topný výkon do vody zjednodušuje natápění akumulární nádoby.

Při dimenzování kamen je třeba též respektovat očekávaný způsob topení vyplývající z preferencí obyvatelů objektu jak topit. V řešené úloze se vychází z předpokladu, že majitel objektu nechce topit přes den (předpokládá topení a příkládání dřeva obvykle v časovém období mezi 18:30 a 22 hod.). Zjednodušeně tak lze předpokládat provoz kamen na jmenovitý výkon po dobu cca 3,5-4 hodin (při respektování náběhové křivky kamen, době hoření jedné vsázky dřeva a tepelné kapacity kamen). Při dimenzování kamen se tak pracuje s požadavkem, aby po dohoření paliva a vychladnutí kamen se po zbytek dne potřeby tepla na vytápění objektu kryly za běžných venkovních povětrnostních podmínek v topném období dodávkou tepla z akumulární nádoby, a zamezilo se tak spotřebě elektřiny.

Při topení na jmenovitý výkon dochází zpravidla k tomu, že tepelná ztráta objektu je nižší, než je množství tepla předávaného tělesem kamen do objektu. Pak dochází ke zvyšování teploty v objektu a akumulaci tepla do stěn objektu a předmětů vnitřního vybavení. Po vyhasnutí kamen dochází nejdříve k postupnému snižování teploty uvnitř objektu uvolňováním

⁴¹ Kamna – jako lokální topidla na tuhá paliva = musí splňovat legislativní podmínky dané Nařízením komise EU 2015/1185 ze dne 24. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign lokálních topidel na tuhá paliva. Kamna uváděná na trh ČR od 1. ledna 2018 do 31. prosince 2019 musí splňovat požadavky Přílohy č. 10, Část II zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Blíže viz <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/16415-jake-parametry-musi-splnit-kamna-krbove-vlozky-a-sporaky-na-tuha-paliva-legislativa-v-cr-a-evrope-stav-v-roce-2017>. Splnění požadavků legislativy je obvykle deklarováno o nálepkou na výrobku „splnění podmínek od roku 2018“.

naakumulovaného tepla, které pokrývá tepelné ztráty objektu do dosažení nastavené vnitřní teploty. Teprve poté dochází k zapnutí cirkulačních čerpadel otopného systému a k vytápění objektu naakumulovaným teplem z nádoby. Vzárustem teploty uvnitř objektu dochází sice k mírnému nárůstu ztrát tepla obálkou objektu, toto zvýšení ztrát tepla je však pro zjednodušení zanedbáno. Dobu, za kterou se zapne cirkulace média v topném systému, tak lze zjednodušeně odhadnout podle množství tepla předaného kamny do „vzduchu“ a potřeby tepla pro krytí ztrát tepla obálkou budovy a větráním (po korekci na zisky tepla).

Venkovní teplota (°C)	Tepelné ztráty objektu (W)	Ztráta v akumulační nádobě (W)	Zisky odpadním teplem (W)	Celková bilance potřeby tepla z akumulace (W)	Potřeba akumulované energie na vytápění (kWh)	
					16 hod	20 hod
5	1073	95	187	981	15,7	19,6
0	1375	95	187	1188	20,5	25,7
-5	1677	95	187	1585	25,4	31,7

Tabulka 14: Bilance tepelných ztrát při různých teplotách.

Z výše uvedené tabulky je vidět, že při venkovní teplotě -5 °C a vnitřní teplotě 20 °C činí tepelné ztráty budovy po odečtení zisků odpadního tepla (viz tabulka 10) 1,585 kW. Při vytápění objektu kamny Mantova AL II po dobu 3 hodin dojde k akumulaci přibližně 18,6 kWh do akumulační nádoby, a přibližně 8,41 kWh do objektu. Teplo akumulované ve stěnách objektu se při korigovaných ztrátách (počítáme se zvýšením vnitřní teploty o 4 °C) z objektu uvolňuje přibližně 5 hodin. Teprve po této době dochází k vytápění teplem z akumulační nádoby.

Akumulační nádoba a její velikost

Z hlediska dimenzování nás zajímá především užitný objem akumulační nádoby. Ten je totiž hlavním parametrem, který určuje, kolik tepla je možné akumulovat do nádoby. Jak již bylo uvedeno v části 6.1, objem akumulační nádoby je omezen shora jejími rozměry na cca 500 l. Lze tak vybírat ze 4 možných typů nádrží s odlišným objemem. Pro stanovení objemu akumulační nádrže se často používá empirické hodnoty 55 l na každý 1 kW výkonu kotle.⁴²

Nádrž	Užitný objem	Statické ztráty	Max. výkon el. topného tělesa
PS 200 N+	181 l	60 W	6 kW
PS 300 N+	280 l	72 W	6 kW
PS 400 N+	397 l	86 W	7,5 kW
PS 500 N+	474 l	95 W	9 kW

Tabulka 15: Akumulační nádrže a jejich užitný objem⁴³

⁴² HODBOŤ J., *Objem akumulační nádrže ke kotli* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/16134-objem-akumulacni-nadrze-ke-kotli>

⁴³ Nabídka firmy Regulus, <https://www.regulus.cz>

Množství tepla, které je možné akumulovat do akumulární nádoby, je možné určit pomocí vztahu (26). Minimální teplotu vody v nádrži uvažujeme 45 °C (teplota vody v otopném systému daná ekvitermou při -5 °C, při poklesu teploty pod 45 °C by došlo k dotápní nádoby elektrinou), maximální teplotu uvažujeme 90 °C.

$$Q = \rho * V * c * (95 \text{ }^{\circ}\text{C} - 45 \text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (26)$$

Q	...[J] - teplo
ρ	...[kg*m ⁻³] – hustota vody (případně jiné použité kapaliny)
V	...[m ³] – objem nádoby
c	...[J*kg ⁻¹ *K ⁻¹] – měrná tepelná kapacita vody (případně jiné použité kapaliny)

Nádrž	Množství tepla, které je možné do nádrže akumulovat (kWh)
PS 200 N+	9,5
PS 300 N+	10,9
PS 400 N+	20,8
PS 500 N+	24,8

Tabulka 16: Množství tepla, které je možné akumulovat do nádob

Z výše uvedené tabulky je patrné, že pouze do nádoby PS 500+ je možné akumulovat takové množství tepla, kterým by bylo možné objekt vytápět po delší dobu. Použití nádob menšího objemu by tak zvyšovalo spotřebu elektrické energie na dotápní, a zároveň by omezovalo délku topení z důvodu nebezpečí přetápní akumulární nádoby.

6.4.2. Varianta B) – doplnění systému o FV

Jednou z oblíbených možností, jak snížit náklady na vytápní, je instalace autonomního fotovoltaického systému, který by byl využíván pro natápní akumulární nádoby a přípravu TV. Výkon střešní fotovoltaiky je omezen několika parametry. Jedním z nejzákladnějších je velikost vhodné střešní plochy. Panely je nejvhodnější umístit na střechu orientovanou směrem k jihu a pod úhlem 35°. Střecha modelovaného objektu má sklon 45°, část střechy je orientována směrem k jihu. Jedná se tedy o téměř ideální plochu (viz tabulka 17).

Pomocí plánů střechy jsme vypočítali velikost plochy vhodné pro umístění fotovoltaických panelů, tato plocha činí přibližně 9 m².

Jak již bylo uvedeno v části 6.2, všechnu energii vyráběnou fotovoltaickými panely chceme spotřebovat buď na přípravu TV, nebo na dotápní akumulární nádoby.

Aby byl systém střešních fotovoltaických panelů ekonomicky co nejvýhodnější, je vhodné jej navrhnout tak, aby jej bylo možné co nejvíce využívat i v době mimo topnou sezónu, tj. na přípravu TV.

PVGIS	orientace	Sklon					
		0°	20°	35°	45°	60°	90°
Z	90°	88,8%	86,2%	82,9%	79,2%	71,7%	51,0%
ZJZ	67,5°	88,8%	91,4%	89,7%	87,1%	80,4%	56,7%
JZ	45°	88,8%	95,7%	94,8%	93,1%	87,1%	63,9%
JJZ	22,5°	88,8%	97,4%	98,3%	97,4%	91,4%	67,1%
J	0°	88,8%	97,4%	100,0%	98,3%	92,2%	67,9%
JJV	-22,5°	88,8%	97,4%	98,3%	97,4%	91,4%	66,9%
JV	-45°	88,8%	95,7%	94,8%	93,1%	87,1%	63,8%
VJV	-67,5°	88,8%	91,4%	89,7%	87,1%	80,3%	58,4%
V	-90°	88,8%	86,2%	82,9%	79,2%	71,7%	50,9%

Tabulka 17: Poměr dopadajícího záření pro různý sklon a orientaci panelů (Praha) – model PVGIS.⁴⁴

Bojler na TV není vhodné zbytečně předdimenzovat. Potřebu teplé vody pro tříčlennou rodinu lze spočítat pomocí vzorce:⁴⁵

$$V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} * f}{1000} \quad (27)$$

$V_{W,day}$...[m³/den]– denní potřeba teplé vody

$V_{W,f,day}$...[l/(měrná jednotka*den)]– specifická potřeba na měrnou jednotku a den

f – počet měrných jednotek

Pro rodinný dům je hodnota specifické potřeby teplé vody o teplotě 60 °C, stanovená ČSN EN 15316-3-1, 40 až 50 l na osobu a den. V našem výpočtu ale uvažujeme s odkazem na výzkum spotřeby TV⁴⁶ hodnotu 25 l/osobu a den. Dle tohoto výpočtu vychází denní potřeba TV pro 3 osoby tak vychází na 75 l.

Denní potřebu tepla Q_v na ohřev vody na teplotu 60°C z teploty cca 10°C (teplota podzemní vody), se započítáním ztrát bojleru Q_{bz} (viz tabulka 18), lze pak určit pomocí vzorce:

$$Q_v = \rho_{vody} * V_{vody,den} * c_{vody} * (t_{tepla} - t_{studena}) + Q_{bz} \quad (28)$$

Q_{bz} ...[J/den] – statické ztráty bojleru za den

Q_v ...[J] – denní potřeba tepla na ohřev

ρ_{vody} ...[kg*m⁻³] – hustota vody (případně jiné použité kapaliny)

$V_{vody,den}$...[m³] – objem nádoby

c_{vody} ...[J*kg⁻¹*K⁻¹] – měrná tepelná kapacita vody (případně jiné použité kapaliny)

S ohledem na to, že se se v objektu nenachází vana, ale je zde pouze sprchový kout s úspornou perlivou hlavicí, a prostor pro umístění bojleru v koupelně je omezený, lze pro potřeby přípravy teplé vody použít bojler s objemem 95 -120 l. Dle velikosti ztrát použitého bojleru pak denní potřeba tepla na přípravu TV činí 5,2 – 5,4 kWh.

⁴⁴ Převzato z *Vliv sklonu a orientace* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupné na WWW: <http://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>

⁴⁵ VRÁNA J., *Potřeba vody a tepla pro přípravu teplé vody* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6839-potreba-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody>

⁴⁶ MATUŠKA M., *Potřeba teplé vody* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/36-potreba-teple-vody.html>

Do hodnocení byly zahrnuty následující hybridní bojler z nabídky výrobce LOGITEX spol. s.r.o.:

Bojler	Tepelné ztráty (kWh/24h)	Objem (l)	Příkon AC spirály (kW)	Příkon DC spirály (kW)	Cena (Kč)
LX ACDC/M+K 100 ABC	0,88	95	2	2	16100
LX ACDC/M+K 125 ABC	1,08	120	2	2	16500

Tabulka 18: Uvažované bojler na TV⁴⁷

V dnešní době existuje několik druhů fotovoltaických panelů (tenkovrstvé, polykrystalické, monokrystalické). V našem případě budeme uvažovat instalaci polykrystalických panelů. Polykrystalické FV panely bývají levnější než panely monokrystalické, a hlavně jsou schopné více využít tzv. difuzní světlo a světlo dopadající na panel z boku.⁴⁸

Do hodnocení jsme zahrnuli polykrystalické panely nabízené na <http://eshop.terms.eu>. Z hlediska parametrů uvažovaných bojlerů je možné použít různé druhy FV panelů, které splňují parametry pro napětí (30V +-10%) a proudu (8,3A +-10%) v sériovém zapojení (tedy parametry 4x30 V = 120 V). Pro instalaci tak přichází v úvahu například tento FV panel:

Panel	Cena (Kč)	Plocha (m ²)
IBC PolySol 270 VL4	4690	1,62688

Tabulka 19: Vhodný panel pro instalaci

Celkové investiční náklady na pořízení FV panelů se skládají z několika položek (náklady na panely, nosné profily a háky pro uchycení, kabeláž).

Možností výpočtu měsíční/roční vyrobené elektřiny FV systémem je více, měsíční produkci je například možné spočítat pomocí následujícího vzorce:⁴⁹

$$E_{FVsys} = 0,9 * \frac{\eta_{FV}}{100} * H_t * A * (1 - \frac{p}{100}) \quad (25)$$

H_t ...[kWh/m².měs] - měsíční dávka slunečního ozáření

η_{FV} ...[%] - měsíční účinnost modulů

A ...[m²] - činná plocha instalovaných FV modulů

p ...[%] - srážka vlivem elektrických ztrát

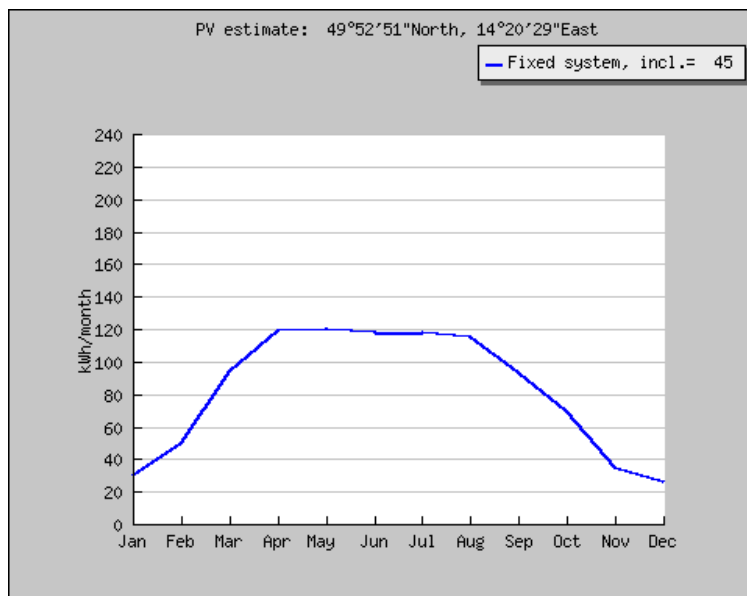
V současné době ale existuje velké množství programů, které umožňují přesný a jednoduchý výpočet roční a měsíční produkce FV systémů v jednotlivých lokalitách. Pro základní výpočet byl použit program PVGIS (viz <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>), zadávací formulář je uveden na obrázku 9. Pro zadanou lokalitu modelového objektu vychází celkové roční množství vyrobené elektřiny (se ztrátami 4% - bez ztrát invertoru) 986 kWh. Podrobný

⁴⁷ Nabídka internetového obchodu Trealseshop - <https://www.trealseshop.eu>

⁴⁸ Nabídka internetového obchodu Terms - <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68829/polykrystalicke-panely.html>

⁴⁹ MATUŠKA T, *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací* [online]. [cit. 19.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>

protokol výpočtu je uveden v příloze 3. Výpočet výroby elektřiny (včetně profilu v jednotlivých měsících) byl současně ověřen další kalkulačkou <http://www.fvkalkulacka.cz/>, celkové množství vyrobené elektrické energie dle této kalkulačky pro stejné zadané parametry (pro lokalitu Benešov, která je nejbližší lokalitou nabízenou databází programu) činí 986 kWh. Navrhovaný systém má jmenovitý výkon 1 kW. Obdobný výpočet byl proveden i pro variantu s využitím střídačů, podrobný protokol výpočtu je uveden v příloze 4.



Graf 6: Odhadovaná měsíční výroba elektrické energie FV systému dle kalkulačky PVGIS

NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it here and try it out!

PV Estimation Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [What is this?]

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 1 kWp

Estimated system losses [0;100] 4 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90] 45 ° Optimize slope

Azimuth [-180;180] 0 ° Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

Tracking options:

Vertical axis Slope [0;90] 0 ° Optimize

Inclined axis Slope [0;90] 0 ° Optimize

2-axis tracking

Horizon file: Procházet... Soubor nevybrán.

Output options

Show graphs Show horizon

Web page Text file PDF

Calculate [help]

Obrázek 9: Zadané parametry pro výpočet do programu PVGIS

Při návrhu nové budovy připadá v úvahu realizace varianty nabízené společností Regulus (Obrázek 8 - varianta 23), kdy není realizován solární kolektor, ale jsou instalovány FV panely, které jsou napojeny na doplňkovou topnou spirálu umístěnou v akumulární nádobě (v novém

objektu by bylo zapotřebí použít jiného typu akumulární nádoby, která umožňuje instalaci DC topné spirály⁵⁰). Tato spirála dohřívá akumulární nádobu přes den a zároveň případné přebytky tepla jsou využívány pro přípravu TV. Výhodou tohoto řešení je, že dochází k dohřívání akumulární nádoby i zásobníku na teplou vodu přes den, kdy jsou blokovány topné spirály připojené na distribuční síť v režimu NT. Toto řešení je tak schopné lépe využít produkovanou elektřinu.

U varianty existující budovy toto řešení bohužel nepřichází do úvahy, důvodem je nemožnost instalování dalších rozvodů vody do existujícího objektu. Elektřinu z FV systému tak můžeme buď využít pro ohřev TV v nově instalovaném bojleru umožňujícím hybridní ohřev vody (AC i DC spirála), nebo instalaci dodatečné topné spirály do akumulární nádoby.

Při využití elektřiny z FV systému by využití instalovaného výkonu bylo velmi nízké, protože mimo topnou sezónu (po dobu minimálně 5 slunečných měsíců) se topný systém prakticky vůbec nevyužívá. Odpadlo by tak využití přibližně 540 kWh (pokud nedojde k mimořádnému teplotnímu výkyvu, objekt je v období květen – září vzhledem k jeho nízkým tepelným ztrátám dostatečně vytápěn díky solárním ziskům a ztrátám tepla z instalovaných elektronických a elektrických zařízení).

V tomto případě proto uvažujeme plné využití fotovoltaických panelů na přípravu TV, tato varianta totiž umožňuje mnohem lepší využití energie vyrobené FV panely. Tuto skutečnost lze ověřit porovnáním měsíční spotřeby energie na ohřev TV (se započítanými ztrátami bojleru) s průměrnou měsíční výrobou FV systému. Toto porovnání je uvedeno v tabulce 20.

Průměrná denní výroba v měsících roku (kWh)	% Pokrytí spotřeby bojler 120 l		% Pokrytí spotřeby bojler 95 l	
	40l/os,den	25l/os,den	40l/os,den	25l/os,den
0,96	11,9%	17,6%	12,2%	18,3%
1,77	22,0%	32,5%	22,5%	33,8%
3,05	37,9%	56,1%	38,8%	58,2%
3,96	49,2%	72,8%	50,4%	75,6%
3,86	47,9%	71,0%	49,1%	73,7%
3,94	48,9%	72,4%	50,1%	75,2%
3,81	47,3%	70,0%	48,5%	72,7%
3,72	46,2%	68,4%	47,3%	71,0%
3,10	38,5%	57,0%	39,5%	59,2%
2,22	27,6%	40,8%	28,3%	42,4%
1,15	14,3%	21,1%	14,6%	21,9%
0,83	10,3%	15,3%	10,6%	15,8%

Tabulka 20: Pokrytí potřeby energie na ohřev TV pro 3 osoby FV systémem

Z tabulky 20 je patrné, že při ideálním využívání TV⁵¹ je FV systém schopen pokrýt mezi 15,3 až 72,4 % spotřeby 120 l bojleru, a 15,8 až 75,6 % spotřeby 95 l bojleru. Lze proto konstatovat, že oba bojleru jsou v průměru schopny spotřebovat všechnu energii vyrobenou FV systémem.

⁵⁰ Například NAD 500 v4 z nabídky společnosti Dražice

⁵¹ Ideálním využíváním zde rozumíme plynulé, nikoli nárazové používání.

V tomto případě se tak sice nejedná přesně o optimalizaci vytápění, tato varianta ale i tak sníží spotřebu elektrické energie.

6.4.3. Varianta C) – využití tepelného čerpadla vzduch-voda

Při opětovné realizaci projektu modelované budovy se srovnatelnými parametry je možné pro natápění akumulární nádoby použít tepelného čerpadla. Z důvodu velkých investičních nákladů varianty země-voda a voda-voda uvažujeme pouze variantu vzduch-voda.

Předpokládáme využití tepelného čerpadla jako primárního zdroje pro dotápění akumulární nádoby.

Spotřebu modelovaného objektu je možné určit pomocí postupu uvedeném v části 5.6. Reálnou spotřebu modelovaného objektu je rovněž možné určit díky znalosti spotřeby v NT a VT a přibližné znalosti objemu spotřebovaného dřeva. Během topné sezóny 2016 - 2017 bylo spotřebováno na vytápění přibližně 1 až 1,5 m³ dřeva (směs osika, dub poměr cca 1:1). Výhřevnost tohoto dřeva je při 25% vlhkosti 1416 kWh, respektive 2063 kWh⁵² na prostorový metr skládaný. Teplo dodané krbovými kamny je tedy 1739,5 kWh (po započítání účinnosti kamen). Spotřebu elektrické energie je možné určit pomocí odečtů energie v tarifu NT.

Jako každý jiný zdroj pro vytápění, i tepelné čerpadlo se dimenzuje na tepelné ztráty objektu. Z důvodu ekonomické úspory se tepelná čerpadla často dimenzují na „pouze“ 70 – 80 % tepelných ztrát objektu⁵³. Maximálních tepelných ztrát mnoho objektů dosáhne jen několik dní v roce, v této době se pro vytápění používá dalšího zdroje tepla (krb, kotel, elektrokotel). Úspora, na kterou bychom při dimenzování čerpadla na 100 % tepelných ztrát dosáhli, zpravidla neospravedlňuje pořízení většího a nákladnějšího čerpadla.

Provedení dimenzování dle výše uvedené poučky je ale v praxi velmi komplikované. Tepelná ztráta domu je totiž nižší, než jsou běžné výkony tepelných čerpadel dodávaných nejznámějšími výrobci (IVT, STIEBEL ELTRON, PZP, NIBE)⁵⁴. Pořízené tepelné čerpadlo by tak při běžném provozu pracovalo na zlomek jmenovitého výkonu.

Pro výpočet parametrů tepelného čerpadla (topný faktor, spotřeba elektrické energie, vyrobená tepelná energie) jsme použili program dodaný vedoucím bakalářské práce. Dle tohoto výpočtu by instalace tepelného čerpadla byla teoreticky možná. Instalací bychom dosáhli určité úspory, bohužel tato úspora by v absolutní hodnotě byla velmi malá, a neospravedlňovala by instalaci

⁵² PROGLES s.r.o., *Druhy dříví* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupný na WWW: http://stipanedrivi.progles.cz/cs/druhy_drivi.html

⁵³ KRAINER. *Postup při návrhu tepelných čerpadel* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelných-cerpadel>

⁵⁴ Například na internetové stránce výrobce čerpadel IVT (<https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/pruvodce-vyberem-tepelneho-cerpadla>) je dostupná kalkulačka pro výběr vhodného čerpadla, která neumožňuje výběr pro rodinné domy s tepelnou ztrátou pod 5 kW.

kvalitních, a investičně nákladných tepelných čerpadel. Lze proto konstatovat, že tato varianta není ekonomicky zajímavá.

6.5. Ekonomické posouzení jednotlivých variant otopného systému

6.5.1. Obecná metodika ekonomického hodnocení způsobu vytápění rodinného domu

Při hodnocení ekonomické efektivity způsobu vytápění rodinného domku platí z pohledu konkrétního uživatele/vlastníka následující pravidla:⁵⁵

- Do hodnocení se zahrnují pouze technicky a legislativně realizovatelné a vlastníkem akceptovatelné varianty otopného systému.
- Hodnocení různých variant systému musí respektovat technologickou dobu životnosti rozhodujících komponent, jednotlivých typů otopných systémů, přičemž hodnocení všech systémů musí být prováděno za shodnou dobu.
- Respektují se aspekty ekonomického hodnocení z pohledu rozhodovatele, kterým je soukromý subjekt = domácnost; z toho vyplývá, že všechny platby probíhají včetně příslušné hodnoty DPH, nedochází k odepisování investice do otopného systému (investice tedy netvoří daňové štíty, jako by tomu bylo u podnikatelského subjektu).
- Respektuje se časová hodnota peněz, která vyjadřuje míru ušlé příležitosti z pohledu domácnosti při respektování nízké míry rizika a časového horizontu konzistentního s dobou životnosti jednotlivých komponent otopných systémů.
- Respektuje se hodnocení v běžných cenách, to znamená, že se uvažuje odhadovaný cenový vývoj jednotlivých položek provozních výdajů, jako jsou ceny energií, náklady na opravy a údržbu, náklady na obnovu komponent zařízení atd.

Pro ekonomické hodnocení výhodnosti variant otopného systému jsme použili kritérium čisté současné hodnoty (výdajů) – NPV, dle vzorce

$$\sum_{t=1}^{T_p} V_t * (1 + r)^{-t} + IN = \sum_{t=1}^{T_p} (PAL_t + OÚ_t + R_t + OK_t) * (1 + r)^{-t} + IN \quad (26)$$

V_t	...[Kč] – roční provozní výdaje
IN	...[Kč] – investiční náklady na pořízení topného systému
PAL_t	...[Kč] – výdaje na energie (elektřina a dřevo) v roce t
$OÚ_t$	...[Kč] – výdaje na opravy a údržbu v roce t
R_t	...[Kč] – výdaje na revize v roce t
OK_t	...[Kč] – výdaje na obnovu komponent s kratší dobou životnosti než T_p v roce t
r	...[-] – diskont

Při výběru ekonomicky optimální varianty topného systému se uvažují pouze ty části topného systému, kterými se jednotlivé varianty liší, a současně se neuvažují výdaje, které jsou ve všech

⁵⁵ SŮVOVÁ H. a kol. *Finanční analýza v řízení podniku, v bance a na počítači*. Praha: Bankovní institut, 2000, ISBN 80-7265-027-0.

posuzovaných variantách shodné. Například, pokud je ve všech variantách instalován teplovodní systém, neuvažují se náklady tohoto systému (rozvody, desková topidla, řídicí systém jednotlivých topidel, apod.). Analogicky se neuvažují ani části provozních výdajů, které jsou ve všech variantách shodné – například revize komína, eventuálně dalších zařízení, která jsou společná všem variantám.

Samozřejmě, pokud by nás zajímala celková cena instalace a provozních výdajů souvisejících s vytápěním, bylo by nutné tyto výdaje do výpočtu zahrnout.

Společné vstupy do výpočtu

Časová hodnota peněz – diskont, je odvozena od aktuálních parametrů stavebního spoření, které z dostupných produktů nejvíce odpovídá investičnímu horizontu úlohy.⁵⁶ Pokud budeme uvažovat aktuálně platné nabídky stavebních spořitelen na českém trhu (typicky úrok v rozmezí v 1–1,5 %, minimální doba spoření pro dosažení státní podpory až 2000 Kč ročně, poplatky za vedení účtu cca 300 korun, poplatek za uzavření smlouvy cca 1 % z cílové částky), pak se efektivní úrok (který představuje časovou hodnotu peněz z pohledu investora) pohybuje ve výši cca 3,6–3,8 % brutto, což je cca 3,06 až 3,23 % po 15 % srážkové dani – viz například kalkulačka Českomoravské stavební spořitelny⁵⁷.

Výpočet efektivního úroku vychází z předpokladu, že na konci 6 - letého spořicího období máme ze stavebního spoření (včetně státní podpory) a z běžného spoření (s danou úrokovou mírou – jejíž výši hledáme) stejné množství peněz po odvodu všech poplatků a daní. Předpokládá se měsíční vklad 1700 Kč (z hlediska optimalizace výše státní podpory) a úročení p.a. Pokud bychom uvažovali pokračování spoření ještě další 4 roky (bez státní podpory), pak klesá efektivní úrok na 2,21 %. Pro výpočty ekonomické efektivnosti byla zvolena hodnota diskontu odpovídající efektivnímu úroku ve výši cca 3 % (předpokládá se další cyklus stavebního spoření).

Výchozí rok hodnocení: 2018

Inflace – cenový vývoj položek provozních výdajů

Vycházíme z aktuální velikosti inflačního cíle stanoveného ČNB ve výši 2 %⁵⁸. Tuto hodnotu budeme používat na položky provozních výdajů vyjma paliva a na obnovu komponent.

⁵⁶ Neuvažují se tak výrazně riskantnější strategie investování osobních úspor (investice do podílových fondů, či akcií).

⁵⁷ ČESKOMORAVSKÁ STAVEBNÍ SPOŘITELNA, *Kalkulačka stavebního spoření* Dostupné 15.5.2018 na <https://www.cmss.cz/kalkulacky/stavebni-sporeni>

⁵⁸ ČNB, *Zpráva o inflaci za II / 2018* [online], citováno 20.5.2018, Dostupné na:

http://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/cs/menova_politika/zpravy_o_inflaci/2018/2018_II/download/zoi_II_2018.pdf

Hodnoty provozních výdajů jsou každoročně navyšovány o tuto hodnotu. Stanovení výdaje dané položky v roce t se provede podle následujícího vzorce, kde je toto ukázáno pro obnovu komponent:

$$OK_t = OK_1 * (1 + i)^{t-1} \quad (27)$$

- OK_1 ...[Kč] – výdaje na obnovovanou komponentu v době pořízení topného systému (první rok)
- i ...[%] – inflace
- OK_t ...[Kč] – výdaje na obnovovanou komponentu v roce t
- t ...[-] - číslo roku v době hodnocení

Cena elektřiny

Cena elektřiny se odvíjí od tarifu, který odpovídá charakteru odběru. Pokud budeme přepokládat variantu s krbovými kamny a akumulací nádobou s topnou tyčí (a eventuálně FV panely pro dohřívání akumulací nádob), pak by byl použit akumulací tarif D26d. Pokud by bylo instalováno tepelné čerpadlo, pak by v současnosti byla použita sazba D57d.

Struktura tarifu D26d je uvedena na tabulce 21.

Dle ceníku na rok 2018, ELEKTŘINA NA DOBU NEURČITOU					
Obchod VT				1833,15	Kč/MWh
Obchod NT				1282,60	Kč/MWh
Stálá platba				83,49	Kč/měsíc
Daň z elektřiny				34,24	Kč/MWh
Systémové služby				113,29	Kč/MWh
OTE				6,53	Kč/měsíc
POZE jistič				18,21	Kč/A/fáze
POZE spotřeba				598,95	Kč/MWh
Distribuce VT				763,45	Kč/MWh
Distribuce NT				86,74	Kč/MWh
Distribuce stálá platba				204,49	Kč/měsíc
POZE podle jističe	13111,2	Kč			
POZE podle spotřeby	2994,75	Kč			spotřeba (5MWh)

Tabulka 21 : Struktura tarifu D26d – obchodní produkt Elektřina na dobu neurčitou, území ČEZ Distribuce, dodavatel ČEZ Prodej, platné od 1.6.2018⁵⁹

V současnosti se sice připravuje nová tarifní struktura, která by měla reflektovat změny na trhu s elektřinou (například rozvoj decentralizovaných zdrojů). Nová tarifní struktura (po rozhodnutí

⁵⁹ ČEZ, Distribuční území ČEZ Distribuce, a. s. (ceník účinný od 1. 6. 2018 s cenami distribuce platnými od 1. 1. 2018), [online] Dostupné na: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2018/moo/web_cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_2018_2_cezdi.pdf

ERÚ v 3/2016 se předpokládá její platnost od roku 2019) může významným způsobem změnit strukturu všech tarifů, a tím i ceny elektřiny pro koncové uživatele.⁶⁰

Vzhledem k tomu, že není známá výsledná podoba nové tarifní struktury, použijeme stávající.

Ceny silové elektřiny se v současné době rostou a pohybují na spotovém trhu na úrovni cca 43 EUR/MWh oproti cca 31 EUR/MWh v polovině roku 2017 (uvedené ceny jsou bez DPH). Maximální cena silové elektřiny bylo dosaženo v roce 2008, kdy cena přesáhla 80 EUR/MWh.⁶¹

V nejbližších několika letech se očekává další mírný růst cen silové elektřiny.⁶² Vývoj cen elektřiny ovlivňuje celá řada faktorů (například ceny fosilních paliv, ceny emisních povolenek, vyřazování zastaralých konvenčních zdrojů atd.). Z výše uvedených důvodů budeme uvažovat růst cen silové elektřiny mírně nad inflací ve výši cca 2,5 %.

Při výpočtu uvažujeme s ročním poklesem výroby elektrické energie ve výši 0,8 % v důsledku degradace FV panelů.

Volba doby porovnání

Doba porovnání je stanovena na 20 let, což odpovídá očekávané životnosti FV panelů a akumulční nádoby. Orientační doby životnosti jednotlivých komponent různých otopných systémů lze nalézt na webu tzb-info.cz, část porovnání nákladů na vytápění⁶³. Z komponent, které se mezi variantami liší, tak přichází do úvahy pouze hybridní bojler, doba životnosti 10-12 let, FV panely 20 let, střídače 10 let, cirkulační čerpadla 10 let⁶⁴.

6.5.2. Posuzované varianty

Posuzované varianty otopného systému jsou popsány jednak v kapitole 6.1., a dimenzování těchto jednotlivých prvků těchto variant bylo provedeno v kapitole 6.4.

Posuzovány jsou následující varianty

1. Opakovaný projekt:

- a) Varianta otopného systému s křbovými kamny a akumulční nádobou (čili stávající stav – referenční varianta).

⁶⁰ Blíže viz. SCHINDLER J, *Rok 2019 se blíží, co je s Novou tarifní soustavou*, [online], [cit. 1.5.2018] Dostupné na: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/16748-rok-2019-se-blizi-co-je-s-novou-tarifni-soustavou>

⁶¹ KURZYCZ - *Elektřina - aktuální a historické ceny elektřiny, graf vývoje ceny elektřiny - 1 rok - měna EUR*, dostupné na <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/index.asp?A=5&idk=142&curr=EUR&on=0&unit=&lg=1>

⁶² BASTL J., *Vývoj ceny elektřiny 2018 : opatrná prognóza* [online], [cit. 1. 5. 2018], dostupné na: <http://www.jaknaenergie.cz/vyvoj-ceny-elektriny-2018/>

⁶³ TZB-INFO, *Porovnání nákladů na vytápění TZB-info* [online], cit. 20.5.2018, dostupné na: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>

⁶⁴ TZB-INFO, *Diskuzní a poradenské fórum - vyčištění oběhového čerpadla GRUNDFOS*, [online], cit. 20.5.2018, dostupné na: <https://forum.tzb-info.cz/137676-vycistení-obehoveho-čerpadla-grundfos>

- b) Doplnění referenční varianty o zásobník pro přípravu TV, který je připojen na akumulaci nádobu, a FV systém 1 kWp připojený na DC topnou tyč do akumulaci nádobu. Akumulaci nádoba je jiného typu, než v referenční variantě – obsahuje v sobě výměník pro předehřev TV.
- c) Obdobná varianta, jako je předchozí, s tím rozdílem, že místo DC topné tyče je použita AC topná tyč, a sestava je doplněna o inverter DC/AC.

Pozn. Na základě analýzy tepelných ztrát objektu (viz. Kapitola 5) a průzkumu nabídky tepelných čerpadel (diskuze viz. Kapitola 6.3.3.) byla varianta využití tepelného čerpadla vzduch-voda vyloučena z hodnocení.

2. Existující objekt:

- a) Varianta otopného systému s křbovými kamny a akumulaci nádobou (čili stávající stav – referenční varianta).
- b) Doplnění referenční varianty, o FV systém 1 kWp a DC topnou tyč
- c) Doplnění referenční varianty, o FV systém 1 kWp pro hybridní bojler.

V souladu s uvedenou obecnou metodikou ekonomického hodnocení uvažujeme pouze komponenty a s nimi spojené výdaje, které se liší od referenční varianty.

Varianta 1b)

V této variantě je původně použitá akumulaci nádoba REGULUS PS 500 N+ (cena 12947 Kč včetně DPH) nahrazena akumulaci nádobou Dražice NAD 500 v4 (475 l, cena 13650 Kč)⁶⁵. Dále doplňujeme soustavu o DC topný systém LOGITEX LXDC SET 1-4 kW DC/M (cena 17 218 Kč)⁶⁶ a sestavu s fotovoltaickými panely IBC PolySol 270 4 ks s potřebnými připojovacími a propojovacími součástkami (cena 38 200 Kč). V této variantě je zároveň zahrnut zásobník na TV Regulus RDC 160 (cena 16 202 Kč) místo bojleru Ariton Velis EVO 110 (7400 Kč). Předpokládáme instalaci FV během jednoho až maximálně 2 dnů, a vícenáklady související s instalací FV systému odhadujeme na 5000 Kč.⁶⁷ Ostatní náklady uvažujeme za shodné s referenční variantou.

Varianta 1c)

V této variantě přepokládáme shodný topný systém jako ve variantě 1b), s rozdílem, že používáme AC topnou tyč REGULUS Topné těleso poniklované 1f nebo 3f s termost. hlavicí, typ F⁶⁸ (cena 5120 Kč) a systém je doplněn o inverter Strídač- měnič Kostal Piko 1.5 MP⁶⁹ (cena 17 542 Kč).

⁶⁵ Produkt firmy Dražice zvolen byl z cenového důvodu, protože produkty firmy REGULUS, které mají výměník pro napojení zásobníku TV, jsou násobně dražší.

⁶⁶ Viz <https://www.trealseshop.eu/products/topny-system-lxdc-set-1-4-kw-dc-m/>

⁶⁷ JH SOLAR, *Fotovoltaické systémy*, [online], [cit. 20.5.2018], dostupné na: <http://www.jhsolar.cz/fotovoltaicke-systemy/>

⁶⁸ Viz Nabídka firmy SOLAR PARTNERS na <http://shop.solarpartner.cz/stridac-menic-kostal-piko-1-5-mp>

⁶⁹ Viz Nabídka firmy Solar-elektro: <http://www.solar-elektro.cz/?action=detail&id=ID2581&catg=248>

Rekapitulace vstupních údajů:

Varianta 1b)

Vícenáklady na nádrž na TV místo bojleru: 8802 Kč,

Vícenáklady na akumulární nádrž: 703 Kč

Vícenáklady spojené s instalací nádrže na TV (odhad): 2000 Kč

Náklady na pořízení a instalaci FV systému: 60418 Kč

Vícenáklady spojené s provozem FV systému (odhad): 1000 Kč/rok

Doba životnosti komponentů: 20 let s výjimkou DC topné tyče, kde je odhadováno 12 let

Úspora elektřiny v NT: 986 kWh/rok (viz. Kapitola 6.3.2), tj. 2087 Kč/rok v ceně výchozího roku hodnocení, tj. roku 2018.

Varianta 1c)

Vícenáklady na nádrž na TV místo bojleru: 8802 Kč,

Vícenáklady na akumulární nádrž: 703 Kč

Vícenáklady spojené s instalací nádrže na TV (odhad): 2000 Kč

Náklady na pořízení a instalaci FV systému: 65862 Kč

Vícenáklady spojené s provozem FV systému (odhad): 1000 Kč/rok

Doba životnosti komponentů: 20 let s výjimkou invertoru AC, DC, kde je odhadováno 12 let, a AC topné tyče, kde je odhadováno 10 let

Úspora elektřiny v NT: 945 kWh/rok (viz. Kapitola 6.3.2), tj. 2000 Kč/rok v ceně výchozího roku hodnocení, tj. roku 2018

Varianta 2b)

V této variantě zůstává původní akumulární nádoba REGULUS PS 500 N+ , která je doplněná o soustavu DC topného systému LOGITEX *LXDC SET 1-4 kW DC/M* (cena 17 218 Kč)⁷⁰ a sestavu s fotovoltaickými panely IBC PolySol 270 4 ks s potřebnými přípojovacími a propojovacími součástkami (cena 38 200 Kč). Předpokládáme instalaci FV během cca 2 dnů, vícenáklady související s instalací FV systému odhadujeme na 10000 Kč, k navýšení o cca 5 tisíc korun dochází komplikovanější instalací kabelů za předstěny vnitřních konstrukcí. Ostatní náklady uvažujeme za shodné s referenční variantou.

Varianta 2c)

Předpokládáme instalaci nového systému hybridního bojleru LX ACDC/M+K 100 ABC (16 100 Kč) a sestavu s fotovoltaickými panely IBC PolySol 270 4 ks s potřebnými přípojovacími a propojovacími součástkami, (cena 38 200 Kč). Předpokládáme instalaci FV během cca 2 dnů,

⁷⁰ Viz Nabídka produktů na eshopu Trealseshop., cit. 17.5.2018: <https://www.trealseshop.eu/products/topny-system-lxdc-set-1-4-kw-dc-m/>

vícenáklady související s instalací FV systému odhadujeme opět na 10 000 Kč. Současně je třeba započítat vícenáklady na instalaci nového bojleru ve výši cca 1500 Kč. Do hodnocení je započítána zbytková hodnota bojleru Ariston Velis Evo 100 ve výši 3000 korun (bojler je starý 2 roky). Ostatní náklady uvažujeme za shodné s referenční variantou.

Rekapitulace vstupních údajů:

Varianta 2b)

Náklady na pořízení a instalaci FV systému: 65418 Kč

Vícenáklady spojené s provozem FV systému (odhad): 1000 Kč/rok

Doba životnosti komponentů: 20 let s výjimkou DC topné tyče, kde je odhadováno 10 let

Úspora elektřiny v NT: 446 kWh/rok (viz kapitola 6.3.2), tj. 943 Kč/rok v ceně výchozího roku hodnocení, tj. roku 2018.

Varianta 2c)

Vícenáklady na výměnu bojleru za hybridní: 13100 Kč,

Vícenáklady spojené s instalací hybridního bojleru na TV (odhad): 2000 Kč

Náklady na pořízení a instalaci FV systému: 48200 Kč

Vícenáklady spojené s provozem FV systému (odhad): 1000 Kč/rok

Doba životnosti komponentů: 20 let s výjimkou hybridního bojleru, kde je odhadováno 10 let

Úspora elektřiny v NT: 986 kWh/rok, tj. 2087 Kč/rok v ceně výchozího roku hodnocení, tj. roku 2018.

6.6. Výsledky uvažovaných variant

Výsledky výpočtů jednotlivých variant pro vstupní údaje jsou uvedeny v následující tabulce.

varianta	NPV posuzovaných variant oproti referenční variantě při růstu cen silové elektřiny [Kč]		
	2,50%	3,50%	4,50%
1b)	-68770	-65298	-61401
1c)	-76940	-73612	-69877
2b)	-82563	-80994	-79233
2c)	-59133	-55661	-51764

Tabulka 22: Výnosnost investice jednotlivých variant⁷¹

⁷¹ Pozn.: Záporné hodnoty znamenají, že realizace posuzovaných variant oproti referenční variantě nevede k pozitivnímu ekonomickému efektu, ale ke ztrátě

V této tabulce je současně ukázán i vliv různých předpokladů o tempu růstu cen elektřiny. Hodnotu efektivnosti variant dále (kromě investičních nákladů) ovlivňuje výše diskontu. Obecně platí, že se zvyšující se hodnotou diskontu klesá současná hodnota budoucích hotovostních toků. V našem případě by při zvýšení diskontu došlo k dalšímu zhoršení efektivnosti všech variant.

Výpočet ukazuje, že využití FV panelu pro přípravu TV a/nebo jako podporu vytápění objektu není možné za současných podmínek realizovat bez výrazné státní podpory. Výše státní podpory by se měla rovnat alespoň záporné hodnotě NPV, aby došlo k dosažení alespoň hodnoty NPV rovné 0. V řešených případech předpokládáme permanentní využívání objektu cca 3-4 lidmi, kdy dochází k uvažované spotřebě TV, jak je uvedeno v kapitole 6.4.2. Se snižujícím se počtem dnů, kdy je objekt obýván se dále snižuje využití FV systému a klesá tak jeho efektivnost.

Z tabulky 22 vychází jako nejméně špatná varianta 2c). Zde je ale nutno podotknout, že předpokládáme průběžnou spotřebu TV, kdy dle tabulky 20, je bojler v průměru schopný plně využít denní výrobu FV systému. V reálu ale spotřeba TV nemusí být vůbec průběžná, naopak lze předpokládat, že spotřeba bude mít spíše nárazový charakter (např. sprchování více osob po sobě). Hybridní bojler tak nemusí být schopen využít všechnu vyrobenou energii při uvažovaném permanentním využívání objektu 3-4 osobami.

7. Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s problematikou výpočtu tepelných ztrát a způsobů vytápění budov. Problematika výpočtu ztrát je relativně složitá, pro stanovení tepelných ztrát existuje několik různých metod, které se od sebe mohou i značně lišit. Pro potřeby této práce byla použita Metoda tepelných toků, která nepočítá s tepelnými kapacitami objektu.

Způsobů vytápění budov existuje v současnosti relativně velké množství, a nedá se obecně říci, který z těchto způsobů je nejlepší. Každý z nich má své klady a zápory, rozhodnutí, který systém bude pro vytápění použit, záleží mimo jiné na individuálních preferencích majitele objektu, a na dostupnosti některých zdrojů (plyn, dálkové vytápění apod.).

Na základě znalostí skladby konstrukce a použitých materiálů, byl vytvořen program pro výpočet tepelných ztrát konkrétního objektu v aplikaci Wolfram Mathematica, který byl použit na nalezení tepelných ztrát modelové budovy – dřevostavby v nízkoenergetickém standardu. Vypočtené tepelné ztráty obálkou, včetně ztrát nuceným větráním činily při -12°C 2158 W. Současně byla diskutována metodika stanovení tepelných zisků (solárních a z odpadního tepla elektrických a elektronických zařízení). Tyto tepelné zisky byly pro modelovou budovu stanoveny ve výši až 187-217 W. Určení tepelných ztrát bylo zároveň ověřeno pomocí alternativních experimentálních metod, provedených například na základě změřených vnitřních a venkovních teplot a spotřeby elektrické energie a poklesu teploty vody v akumulární nádobě. Porovnáním tepelných ztrát určených výpočtem, a alternativními metodami jsme si ověřili, že vypočtené tepelné ztráty se příliš neliší od experimentálně zjištěných tepelných ztrát objektu.

Aplikace Wolfram Mathematica byla také použita pro výpočet průměrných solárních zisků objektu. Pro stanovení solárních zisků jsme použili jednu z nejjednodušších metod výpočtu, která nezapočítává vliv stínění. Na velikost solárních zisků má výrazný vliv skutečnost, že všechna okna a francouzské dveře se skládají z moderních izolačních trojskel se speciálními světlými fóliemi, které ovlivňují propustnost slunečního záření do objektu, a snižují tak solární zisky. Při respektování vlivu stínění by solární zisky dále poklesly. Vliv stínění nebyl respektován z důvodu jeho komplikovaného stanovení.

Solární zisky, spolu se zisky z dalších zdrojů odpadního tepla, jsou vzhledem k malé tepelné ztrátě objektu schopné pokrýt nezanedbatelnou část potřeby energie na vytápění. Díky tomu je topná sezóna moderních nízkoenergetických domů oproti starším méně zatepleným budovám kratší.

Dalším důležitým závěrem této práce je, že vzhledem k nízkým tepelným ztrátám a k utěsnění stěn objektu, není možné pro vytápění modelového objektu použít jakákoliv krbová kamna bez akumulace tepla. Důkladné utěsnění objektu a nízké ztráty tepla obálkou budovy umožňují instalaci pouze krbových kamen s externím přívodem vzduchu a s instalací komplexního otopného systému s akumulární nádobou, do které je přiváděna převážná část vyrobeného tepla. Provoz krbových kamen bez akumulární nádoby by nebyl možný, neboť by docházelo

k výraznému přetápění objektu. Výhodou tohoto systému je možnost vytápění objektu teplem naakumulovaným v nádobě po relativně dlouhou dobu.

Z hlediska optimalizace je vždy vhodné umístit akumulční nádobu do vytápěného objektu, aby ztráty akumulční nádoby přispívaly k vytápění objektu. Z důvodu objemnosti těchto zařízení ale toto není vždy možné. Akumulční nádoby jsou proto často umísťovány do tzv. nevytápěných prostor (přílehlá garáž, sklep apod.). V případě instalace nádoby do takovýchto prostor (za předpokladu, že tento prostor nechceme odpadním teplem vytápět) je nutné dbát na důkladné izolování jak samotné akumulční nádoby, tak i všech potrubí. Ztráty neizolovaným potrubím mohou v nejhorším případě zásadně znehodnotit efektivnost fungování akumulční nádoby.

Důležitým zjištěním práce byla skutečnost, že při daných tepelně technických charakteristikách v současnosti realizovaných nízkoenergetických objektů se spotřebou tepla na vytápění ve výši 20-30 kWh/m² na rok, nedává instalace tepelného čerpadla vzduch-voda v klasickém provedení (při předpokladu instalování krbových kamen s akumulací tepla) technicky a ekonomicky smysl.

Na závěr, z výsledků výpočtů NPV jednotlivých variant instalace střešních FV systémů jako podpory přípravy TV, respektive podpory vytápění, vyplývá, že realizace jakékoli posuzované varianty nedává při současných podmínkách z ekonomického hlediska smysl. Zvýšení efektivnosti investice by nastalo pouze v případě výrazného snížení ceny použitých technologií, značného nárůstu cen elektřiny nebo obdržáním štedré státní dotace na pořízení FV systému.

Protože v budoucnu může dojít ke změně výše zmíněných faktorů, které z ekonomického hlediska instalaci FV systému umožní, je vhodné při výstavbě nového domu o instalaci střešního FV systému alespoň rámcově uvažovat, a objekt na instalaci v rozumné míře připravit – například přípravou kabelových rozvodů pro FV.

Použité zdroje

- KOL. AUTORŮ. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-12831-2005-03>
- WWW.TZB-INFO.CZ. *Odpor při přestupu tepla* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/314-odpor-pri-prestupu-tepla>
- EKOWATT; ČEA 2005. *Hestia2on-line* [cdrom]. [cit. 6.1.2018]
- NAJMAN, Richard. *Energetický management chytrého domu*. Praha, 2015. Disertační práce (Ph.D.), České vysoké Učení Technické, Fakulta elektrotechnická, katedra elektroenergetiky
- ZMRHAL V., *Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1*, [online]. [cit. 17.1.2018]. Dostupné na: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- KOL. AUTORŮ. TZB pro FBI - kapitola 6. tepelné ztráty objektu [online]. [cit. 24.2.2018]. Dostupný na WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/6.html>
- SVOBODA Z., *Okrajové podmínky pro tepelně technické výpočty*. FSV - ČVUT - Katedra konstrukcí pozemních staveb [online]. [cit. 6.1.2018]. Dostupný na WWW: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=7904
- ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- HULD T.; PINEDO-PASCUA I., *Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_opt/G_opt_CZ.png
- AMBROŽOVÁ, HORÁK, *Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov* [online]. [cit. 14.3.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>
- ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Cenové rozhodnutí č. 7/2017* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.eru.cz/cs/-/cenove-rozhodnuti-c-7-2017>
- KUCHYNKA L, *AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>
- MASTER THERM. *Tepelná čerpadla voda - voda* [online]. [cit. 7.1.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-voda-voda>
- BAMBAS K.: *Projektová dokumentace pro realizaci stavby firmou Blažek*. 2015

HAAS+SOHN-RUKOV. *Technická dokumentace - Mantova AL II s výměníkem* [online]. [cit. 1.5.2018]. Dostupný na WWW: https://www.haassohn-rukov.cz/files/technicke_listy/0433715001400c_mantova_al_ii_cs-sk.pdf

DIMPLEX. *Lokální rekuperace Dimplex DL 50 WE s hranatým tubusem DL 50 Q* [online]. [cit. 1.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://eshop.dimplex.cz/lokalni-rekuperace-dimplex-dl-50-we-s-hranatym-tubusem-dl-50-q>

ROTRONIX S.R.O.. *Pracujete ve zdravém prostředí?* [online]. [cit. 13.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>

KNAUF INSULATION. *Technický list Classic 039* [online]. [cit. 13.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.knaufinsulation.cz/sites/cz.knaufinsulation.net/files/technicky-list/Classic-039.pdf>

BAMBAS K.: *Technická zpráva o budově*, 2015

ŽENKA M.: *Vliv stínění na výpočet pasivních solárních zisků* [online]. [cit. 1.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-zisky-a-zastineni/6202-vliv-stineni-na-vypocet-pasivnich-solarnich-zisku>

REGULUS - *Katalog schémat regulátoru IR 12 KRB - typová schémata zapojení systémů s teplovodním krbem či kotlem na tuhá paliva*. [On-line]. Citováno dne 1.4.2018. Dostupné na https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjfmo6CnpXbAhUpDsAKHdMpAycQFghVMAM&url=https%3A%2F%2Fm.regulus.cz%2F%3Fdownload%3Dprospekty%2Fcz%2Fregulator-ir12krb_schemata_cz.pdf&usg=AOvVaw3AwXVyyTDrmtd0xUNRPWfI

ARISTON THERMO *Technický list bojleru ARISTON VELIS EVO 100 l*

REGULUS *Technický list pro čerpadlovou skupinu CSE MIX G 5/4F*, dostupný na https://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_cse-mix-g-5_4f.pdf

Naměřená data dostupná z portálu Netatmo.com

Vyhláška MPO č. 194/2007 Sb. Dostupná na WWW: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-194-2007-sb-kterou-se-stanovi-pravidla-pro-vytapeni-a-dodavku-teple-vody>

KOL. AUTORŮ, *Průměrné teploty, vlhkosti a entalpie venkovního vzduchu v Praze* [online]. [cit. 18.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/66-prumerne-teploty-vlhkosti-a-entalpie-venkovniho-vzduchu-v-praze>

Přednášky předmětu Elektroenergetika. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/>

KAMNÁŘSTVÍ KOUTECKÝ. *Teplovodní vytápění* [online]. [cit. 14.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.3xk.cz/teplovodni-vytapeni/>

TERMOSSYSTEM. *Časté dotazy* [online]. [cit. 15.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.termosystem.cz/cz/caste-dotazy/>

SOLÁRNÍ EXPERTI. *Jak funguje ohřev vody fotovoltaikou?* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-fotovoltaicky-ohrev-vody/>

HORÁK a kol. *Jaké parametry musí splnit kamna, krbové vložky a sporáky na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě – stav v roce 2017* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/16415-jake-parametry-musi-splnit-kamna-krbove-vlozky-a-sporaky-na-tuha-paliva-legislativa-v-cr-a-evrope-stav-v-roce-2017>

HODBOŤ J., *Objem akumulční nádrže ke kotli* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/16134-objem-akumulacni-nadrze-ke-kotli>

REGULUS, *Katalog produktů*, <https://www.regulus.cz>

EKOWATT, *Vliv sklonu a orientace* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>

VRÁNA J., *Potřeba vody a tepla pro přípravu teplé vody* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6839-potreba-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody>

MATUŠKA T., *Potřeba teplé vody* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/36-potreba-teple-vody.html>

Nabídka internetového obchodu Trealseshop na <https://www.trealseshop.eu>

Nabídka internetového obchodu Terms na <http://eshop.terms.eu/cz/eshop/c68829/polykrystalicke-panely.html>

MATUŠKA T., *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací* [online]. [cit. 19.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>

KRAINER., *Postup při návrhu tepelných čerpadel* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>

STIEBEL ELTRON., *Tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 20.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne-zdrojeenergie/tepelne-čerpadlo.html>

PROGLES s.r.o., *Druhy dříví* [online]. [cit. 17.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://stipanedrivi.progles.cz/cs/druhy-drivi.html>

SŮVOVÁ H. a kol. *Finanční analýza v řízení podniku, v bance a na počítači*. Praha: Bankovní institut, 2000, ISBN 80-7265-027-0.

ČESKOMORAVSKÁ STAVEBNÍ SPOŘITELNA, *Kalkulačka stavebního spoření*, [online]
Dostupné 15.5.2018 na <https://www.cmss.cz/kalkulacky/stavebni-sporeni>

ČNB, *Zpráva o inflaci za II / 2018* [online], citováno 20.5.2018, Dostupné na:
http://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/cs/menova_politika/zpravy_o_inflaci/2018/2018_II/download/zoi_II_2018.pdf

ČEZ, *Distribuční území ČEZ Distribuce, a. s. (ceník účinný od 1. 6. 2018 s cenami distribuce platnými od 1. 1. 2018)*, dostupné na: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2018/moo/web_cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_2018_2_cezdi.pdf

Schindler J., *Rok 2019 se blíží, co je s Novou tarifní soustavou*, [online], citováno 1.6.2018, dostupné na: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/16748-rok-2019-se-blizi-co-je-s-novou-tarifni-soustavou>

BASTL J., *Vývoj ceny elektřiny 2018 : opatrná prognóza*, [online] citováno: 2. 6. 2018, Dostupné na <http://www.jaknaenergie.cz/vyvoj-ceny-elektriny-2018/>

TZB-INFO, *Porovnání nákladů na vytápění TZB-info* [online], cit. 20.5.2018, dostupné na: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>

TZB-INFO, *Diskuzní a poradenské fórum - vyčištění oběhového čerpadla GRUNDFOS*, [online], cit. 20.5.2018, dostupné na: <https://forum.tzb-info.cz/137676-vycistení-obehoveho-cerpadla-grundfos>

Seznam příloh

Příloha 1: soubor Mathematica Notebook, „*Vypocet_ztrat_a_solarnich_zisku.nb*“

Příloha 2: PVdata1.pdf

Příloha 3: PVdata2.pdf

Příloha 4: Tabulky s výpočtem NPV pro jednotlivé varianty

Příloha 1: soubor Mathematica Notebook, „Vypocet_ztrat_a_solarnich_zisku“

```
Quiet@Remove["Global`*"];
$HistoryLength=2;
SetDirectory[NotebookDirectory[]]
C:\Users\Martin\Desktop\bakule
(*****)
(* Výpočet tepelných ztrát objektu*)
(*****)
(*Definovani vypoctovych teplot*)
Tout1=-12;(* venkovní výpočtová hodnota*)
Tout2=-18;(*venkovni výpočtová hodnota 2*)
T2=5.2;(* prumerna rocni teplota*)
Tin=20;(*vnitřni navrhova teplota*)
Tz=5;(*teplota země*)
deltaT=Tin-Tout1;(*rozdíln vnitřní a venkovní teploty*)
deltaT2=Tin-Tout2;(*rozdíln vnitřní a venkovní teploty*)
k=1000;
mm=1/1000;

(*Zakladni informace o objektu
celkova podlahova plocha vyhrivaneho prostoru *)
plocha=8.480*(1.710+0.900+0.620+0.900+1.710)+3.380*(1.710+9.00+6.20+9.00+1.710);
kontrola = 6.20+22.10+1.30+5.40+1+1.10+16.2;
(*celkova plocha
izolace
podlaha - v podlaze 8 cm mineralni vlny, pod zakladovou desku polozena tepelna izolace z podlahoveho
polystyrenu o tl 100 mm, ve stropním kci podkrovi - 300 mm mineralni vaty,
v obvodovych stenach - 250 mm mineralni vaty.
celkova plocha obalky budovy 316.9 m2
*)
(*****)
(*součet odpor při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně stěn - Rsi + Rse*)
Rsi=0.04;
RseDown=0.17;
RseUp=0.10;
RseHorizont=0.13;

(*****)
(*zadani jednotlivych ploch vnejsi konstrukce - steny, strop a podlaha*)
plochaPodlaha=52.6;
plochaPodlahaZasklepena=16.6;
plochaSvisleSteny=147.1651;
strechaSikma=43.8;
strechaVodorovna=38.5;

(*****)
(*Materialy sten*)
(*fermacel tl. 12.5 mm*)
deltaF=12.5mm;
lambdaF=0.32;(*W/m*K*)
tkapacitaF=1.1k;(*J/kg*K*)
hustF=1150; (*+-50 kg/m3, jedna se o objemovou hmotnost*)
(*OSB deska tl. 18 mm*)
deltaO=18mm;
```

$\lambda_O=0.13$;(* W/m*K *)
 $\rho_O=600$;(*kg/m³, objemova hustota*)
 $\tau_{kapacitaO}$;
 (*OSB deska 22mm*)
 $\Delta O_t=22$ mm;
 (*deskový podlahový polystyren 100mm, Polystyren EPS 100 S Stabil*)
 $\Delta P=100$ mm;
 $\lambda_P=0.038$;
 (*kontaktní zateplovací systém (vnější strana)*)
 $\lambda_K=0.04$;(*FKL, Knaufinsulation*)
 $\Delta K=30$ mm;
 (*mineralní vlna / knauf classic 039*)
 (*součinitel tepelné vodivosti izolace je 0.039, součinitel upraven pro respektování podílu dřeva ve stěnách (10%)*)
 $\lambda_V=0.0571$;
 $\Delta V_{str}=300$ mm;(*ve stropu*)
 $\Delta V_p=100$ mm;(*v podlaze*)
 $\Delta V_{ste}=250$ mm;(*ve svislých stěnách*)

(*****)

(*Součinitel prostupu tepla svislé stěny*)
 $R_{svisla}=\Delta F/\lambda_F+\Delta O/\lambda_O+\Delta K/\lambda_K+\Delta V_{ste}/\lambda_V$;
 $U_{svisla}=1/(R_{si}+R_{seHorizontal}+R_{svisla})$;
 (*Součinitel prostupu tepla vodorovný strop*)
 $R_{stropHorizontal}=\Delta F/\lambda_F+\Delta O_t/\lambda_O+\Delta V_{str}/\lambda_V$;
 $U_{stropHorizontal}=1/(R_{si}+R_{seUp}+R_{stropHorizontal})$;
 (*Součinitel prostupu tepla šikmý strop*)
 $R_{stropSikmy}=\Delta F/\lambda_F+\Delta O/\lambda_O+\Delta V_{str}/\lambda_V$;
 $U_{stropSikmy}=1/(R_{si}+R_{seUp}+R_{stropSikmy})$;
 (*Součinitel prostupu tepla podlaha*)
 $R_{podlaha}=\Delta O_t/\lambda_O+\Delta V_p/\lambda_V+\Delta P/\lambda_P$;
 $U_{podlaha}=1/(R_{si}+R_{seDown}+R_{podlaha})$;

(*****)

(*okna - plastová okna zasklena izolačním trojsklem*)
 $U_w=0.8$; (* W/m²*K - trojsklo*)
 $U_r=1$; (* W/m²*K - ram *)
 $U_{wmale}=1.1$; (* W/m²*K*)
 $U_{wstresni}=1.1$;(* W/m²*K - Střešní okno Velux GLL 1061 *)
 $pocetOken=11$;(*pocet beznych oken 900x1200*)
 $pocetOs=1$;(*pocet oken stresnich*)
 $pocetOm=1$;(*pocet oken malych*)
 $plochaOken=1.2*0.9$;(*plocha beznych oken*)
 $plochaOs=0.87*0.98$;(*plocha stresniho okna*)
 $plochaOm=0.9*0.5$;(*plocha maleho okna*)
 $plochaBalkonoveDvere=3.4$;
 $U_{BalkonoveDvere}=1.10$;
 $U_{vchodoveDvere}=1.2$;
 $plochaVchodoveDvere=2.1$;

(*****)

(*Výpočet tepelných ztrát prostupem*)
 $Q_{p1}=U_{svisla}*plochaSvisleSteny*\Delta T+U_{stropHorizontal}*plochaVodorovna*\Delta T+U_{stropSikmy}*plochaSikma*\Delta T+U_{podlaha}*plochaPodlaha*(T_{in}-T_z)+(1/(R_{si}+R_{seHorizontal}+1/U_w))*\Delta T*pocetOken*plochaOken*U_r+plochaOs*(1/(R_{si}+R_{seHorizontal}+1/U_{wstresni}))*pocetOs*U_r*\Delta T+plochaOm*(1/(R_{si}+R_{seHorizontal}+1/U_{wmale}))*\Delta T+plochaBalkonoveDvere*(1/(R_{si}+R_{seHorizontal}+1/U_{BalkonoveDvere}))*\Delta T+plochaVchodoveDvere*(1/(1/U_{vchodoveDvere}+R_{si}+R_{seHorizontal}))*\Delta T$;

$Qp2=Usvisla*plochaSvisleSteny*deltaT2+UstropHorizontal*strechaVodorovna*deltaT2+UstropSikmy*strecha$
 $Sikma*deltaT2+Upodlaha*plochaPodlaha*(Tin-$
 $Tz)+(1/(Rsi+RseHorizont+1/Uw))*deltaT2*pocetOken*plochaOken*Ur+plochaOs*(1/(Rsi+RseHorizont+1/Uw$
 $stresni))*pocetOs*Ur*deltaT2+plochaOm*(1/(Rsi+RseHorizont+1/Uwmale))*deltaT2+plochaBalkonoveDvere*$
 $(1/(Rsi+RseHorizont+1/UBalkonoveDvere))*deltaT2+plochaVchodoveDvere*UvchodoveDvere*deltaT2;$
 (*****
 (*výpočet ztrát větráním*)

objemBudovy=381;
 $ztratyVetranim1=1300*0.0277778*deltaT/10(*W*)(*0.0277778*);$

$ztratyVetranim2=1300*0.0277778*deltaT2/10(*W*);$
 0.0125;
 0.015278;

(*****)

$CelkoveTepelneZtraty1=ztratyVetranim1+Qp1(*W*)$
 $CelkoveTepelneZtraty2=ztratyVetranim2+Qp2(*W*)$

(*****)

$teplozaden=CelkoveTepelneZtraty2*60*60*24/10^6/3.6;$

(*****)

(*Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření*)
 (*Ezm=Egm*plochaPrusvitneCasti*celkovaPropustnost*cinitelVyuziti*cinitel dopadu*)
 $plochaPrusvitneCastiJih=0.88*1.180*5;$
 $plochaPrusvitneCastiVychod=0.88*1.180*4+0.77*0.97+1.8+0.6*0.78;(*do plochy okne orientovanych na$
 $vychod byla zapocita i plocha oken orientovanych na zapad*)$
 $celkovaPropustnost=0.73*0.42*0.9;(*jedná se o trojskla, se světluou reflexní fólií, 0.9 repektuje znečištění skla*)$
 $AVcinitelVyuziti1=0.91;(*pro východ a západ*)$
 $AVcinitelVyuziti2=0.80;(*pro jih*)$
 $ciniteldopadu=0.9;$
 $EgmAVv=211.23;(*průměrná hodnota globálního slunečního záření za topné období pro východ a západ, topné$
 $období je od října do dubna*)$
 $EgmAVj=416.99;(*průměrná hodnota globálního slunečního záření za topné období pro jih*)$
 $EzmJih=EgmAVj*plochaPrusvitneCastiJih*celkovaPropustnost*AVcinitelVyuziti2*ciniteldopadu;(*kWh/topné$
 $období*)$
 $EzmVychod=EgmAVv*plochaPrusvitneCastiVychod*celkovaPropustnost*AVcinitelVyuziti2*ciniteldopadu;(*$
 $výpočet pro západ i východ*)(*kWh/topné období*);$
 $SlunecniZiskCelk=EzmJih+EzmVychod;$
 $SlunecniZiskAV=SlunecniZiskCelk/211(*Průměrný denní sluneční zisk - kWh*);$
 $Ptopny=Fit[{-12,CelkoveTepelneZtraty1},{-18,CelkoveTepelneZtraty2}]{1,T},T]$
 $Out[238]=2086.88$
 $Out[239]=1677.29$
 $Ptopny=Fit[{-12,CelkoveTepelneZtraty1},{-18,CelkoveTepelneZtraty2}]{1,T},T]$
 $1404.21-62.8129T$
 $Ptopny>>"Ptopny"$

Příloha 2: PVdata1



Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 49°52'51" North, 14°20'29" East, Elevation: 358 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 12.9% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%

Other losses (cables, inverter etc.): 4.0%

Combined PV system losses: 18.8%

Fixed system: inclination=45 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.96	29.6	1.09	33.7
Feb	1.77	49.7	2.03	56.9
Mar	3.05	94.4	3.61	112
Apr	3.96	119	4.89	147
May	3.86	120	4.85	150
Jun	3.94	118	5.03	151
Jul	3.81	118	4.95	153
Aug	3.72	115	4.77	148
Sep	3.10	93.1	3.86	116
Oct	2.22	68.9	2.66	82.5
Nov	1.15	34.6	1.35	40.6
Dec	0.83	25.6	0.96	29.7
Year	2.70	82.2	3.34	102
Total for year		986		1220

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Příloha 3: PVdata2



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 49°52'52" North, 14°20'29" East, Elevation: 358 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 12.9% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%
Other losses (cables, inverter etc.): 8.0%
Combined PV system losses: 22.2%

Fixed system: inclination=45 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.92	28.4	1.09	33.7
Feb	1.70	47.6	2.03	56.9
Mar	2.92	90.5	3.61	112
Apr	3.80	114	4.89	147
May	3.70	115	4.85	150
Jun	3.77	113	5.03	151
Jul	3.65	113	4.95	153
Aug	3.56	110	4.77	148
Sep	2.98	89.3	3.86	116
Oct	2.13	66.0	2.66	82.5
Nov	1.11	33.2	1.35	40.6
Dec	0.79	24.6	0.96	29.7
Year	2.59	78.7	3.34	102
Total for year		945		1220

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Příloha 4: Tabulky s výpočtem NPV pro jednotlivé varianty

diskont r= 0,03

růst cen elektřiny ie= 0,025

inflace i= 0,02

1b)	IN [Kč]	OKt [Kč]	OÚt [Kč]	PALt [Kč]	CFt	DCF [Kč]
1	-71923		-1000	2087	-70836	-70836
2			-1020	2122	1102	1070
3			-1040	2158	1117	1053
4			-1061	2194	1133	1037
5			-1082	2231	1148	1020
6			-1104	2268	1164	1004
7			-1126	2306	1180	988
8			-1149	2345	1196	973
9			-1172	2385	1213	957
10			-1195	2425	1230	942
11		-20989	-1219	2465	-19742	-14690
12			-1243	2507	1263	913
13			-1268	2549	1281	898
14			-1294	2592	1298	884
15			-1319	2635	1316	870
16			-1346	2680	1334	856
17			-1373	2725	1352	842
18			-1400	2770	1370	829
19			-1428	2817	1389	816
20			-1457	2864	1407	803

suma NPV [Kč] -68770

1c)	IN [Kč]	OKt [Kč]	OÚt [Kč]	PALt [Kč]	CFt [Kč]	DCF [Kč]
1	-67215		-1000	2000	-66215	-66215
2			-1020	2034	1014	984
3			-1040	2068	1027	968
4			-1061	2103	1041	953
5			-1082	2138	1055	938
6			-1104	2174	1070	923
7			-1126	2210	1084	908
8			-1149	2247	1099	893
9			-1172	2285	1113	879
10			-1195	2324	1128	865
11		-15250	-1219	2363	-14106	-10496
12			-1243	2402	1159	837
13		-22247	-1268	2443	-21073	-14780
14			-1294	2484	1190	810
15			-1319	2525	1206	797
16			-1346	2568	1222	784
17			-1373	2611	1238	772
18			-1400	2655	1255	759
19			-1428	2699	1271	747
20			-1457	2745	1288	735

suma NPV [Kč] -76940

2b)	IN [Kč]	OKt [Kč]	OÚt [Kč]	PALt [Kč]	CFt	DCF [Kč]
1	-65418		-1000	943	-65475	-65475
2			-1020	959	-61	-59
3			-1040	975	-65	-62
4			-1061	991	-70	-64
5			-1082	1008	-74	-66
6			-1104	1025	-79	-68
7			-1126	1042	-84	-70
8			-1149	1060	-89	-72
9			-1172	1077	-94	-74
10			-1195	1096	-100	-76
11		-20989	-1219	1114	-21094	-15696
12			-1243	1133	-111	-80
13			-1268	1152	-117	-82
14			-1294	1171	-123	-83
15			-1319	1191	-129	-85
16			-1346	1211	-135	-87
17			-1373	1231	-142	-88
18			-1400	1252	-148	-90
19			-1428	1273	-155	-91
20			-1457	1294	-163	-93

suma NPV [Kč] -82563

2c)	IN [Kč]	OKt [Kč]	OÚt [Kč]	PALt [Kč]	CFt	DCF [Kč]
1	-63300		-1000	2087	-62213	-62213
2			-1020	2122	1102	1070
3			-1040	2158	1117	1053
4			-1061	2194	1133	1037
5			-1082	2231	1148	1020
6			-1104	2268	1164	1004
7			-1126	2306	1180	988
8			-1149	2345	1196	973
9			-1172	2385	1213	957
10			-1195	2425	1230	942
11		-19626	-1219	2465	-18379	-13676
12			-1243	2507	1263	913
13			-1268	2549	1281	898
14			-1294	2592	1298	884
15			-1319	2635	1316	870
16			-1346	2680	1334	856
17			-1373	2725	1352	842
18			-1400	2770	1370	829
19			-1428	2817	1389	816
20			-1457	2864	1407	803

suma NPV [Kč] -59133