

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Bakalářská práce



Marek Havelka

Optimální varianta zásobování energií rodinného domu v Plané nad Lužnicí

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Praha
3. ledna 2022



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Havelka** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **483872**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimální varianta zásobování energií rodinného domu v Plané nad Lužnicí

Název bakalářské práce anglicky:

Optimal variant of energy supply to family house in Planá nad Lužnicí

Pokyny pro vypracování:

- 1) Charakteristika spotřeby energie v rodinném domě
- 2) Návrh možných variant zásobování energií
- 3) Vyhodnocení variant z hlediska ekonomické efektivity

Seznam doporučené literatury:

Vítek M.: Ekonomika dopravních systémů energie. Skriptum FEL ČVUT, Praha 2008.
PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005. Vytápění. ISBN 80-807-6020-9

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Vítek, CSc., 13116

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

Datum zadání bakalářské práce: **07.09.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.01.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2023**

Ing. Miroslav Vítek, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne

Podpis autora

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a vyhodnocením nejvýhodnější varianty zásobování energií rodinného domu v Plané nad Lužnicí. Jsou charakterizovány požadavky na otopnou soustavu a na ohřev teplé vody, je vypočítán ztrátový výkon a roční teplo potřebné k vytápění objektu. Dále je proveden průzkum různými variantami vytápění objektu a ohřevu teplé vody. Pomocí ukazatelů ekonomické efektivity je pak vybrána nejvhodnější varianta i s ohledem na reakci meziroční změny cen zdrojů.

Abstract

This bachelors thesis deals with the design and evaluation of the most advantageous variant of energy supply of a family house in Planá nad Lužnicí. The requirements for the heating system and for water heating are characterized, power dissipation and the annual heat needed to heat the building is calculated. Furthermore, a survey of various variants of building heating and water heating is performed. With the help of economic efficiency indicators, the most suitable variant is then selected also with regard to the reaction of the year-on-year change in resource prices.

Obsah

1	Popis uvažovaného objektu	1
2	Půdorys domu	2
2.1	Půdorys sklepních prostor	3
2.2	Půdorys 1. podlaží	4
2.3	Půdorys 2. podlaží	5
3	Charakteristika spotřeby energie v rodinném domě	6
3.1	Spotřeba energie ve sklepních prostorech	6
3.2	Spotřeba enetrige v 1. podlaží	6
3.3	Spotřeba energie ve 2. podlaží	6
3.4	Spotřeba energie v prostorech půdy	6
3.5	Shrnutí aktuální situace zásobování energií	6
4	Aktuální výdaje na zásobování energií	7
5	Dimenzování otopné soustavy	8
5.1	Výpočet výkonu otopné soustavy	13
5.1.1	Kontrola výpočtu	19
6	Dimenzování systému ohřevu vody	19
7	Přehled variant zásobování energií	19
7.1	Možnosti dotace	20
7.2	Vytápění plynovým kondenzačním kotlem	22
7.3	Vytápění kotlem na pelety	26
7.4	Vytápění tepelným čerpadlem	28
7.4.1	Přehled jednotlivých částí TČ	28
7.4.2	Rozdělení tepelných čerpadel	29
7.4.3	Topný faktor tepelného čerpadla	30
7.5	Střešní fotovoltaický systém	31
8	Ekonomická efektivnost jednotlivých variant	33
8.1	Metody vyhodnocování	33
8.1.1	NPV	33
8.1.2	RCF	33
8.1.3	Citlivostní analýza	34
8.2	Zateplení	34
8.3	Střešní solární elektrárna	35
8.4	Kondenzační kotel, bojler	35
8.5	Kondenzační kotel s ohřevem vody	36
8.6	Tepelné čerpadlo	36
8.7	Kotel na pelety	37
8.8	Citlivostní analýza	37
9	Závěr	40

1 Popis uvažovaného objektu

Uvažovaný rodinný dům se nachází v Jihočeském kraji, okrese Tábor, obci Planá nad Lužnicí na adrese Údolní 251. Nadmořská výška lokality je 413.5 m. n. m. Dům je hlavním vchodem orientován na severozápad.



Obrázek 1: Uvažovaný objekt

Dům se koncepčně skládá z následujících částí:

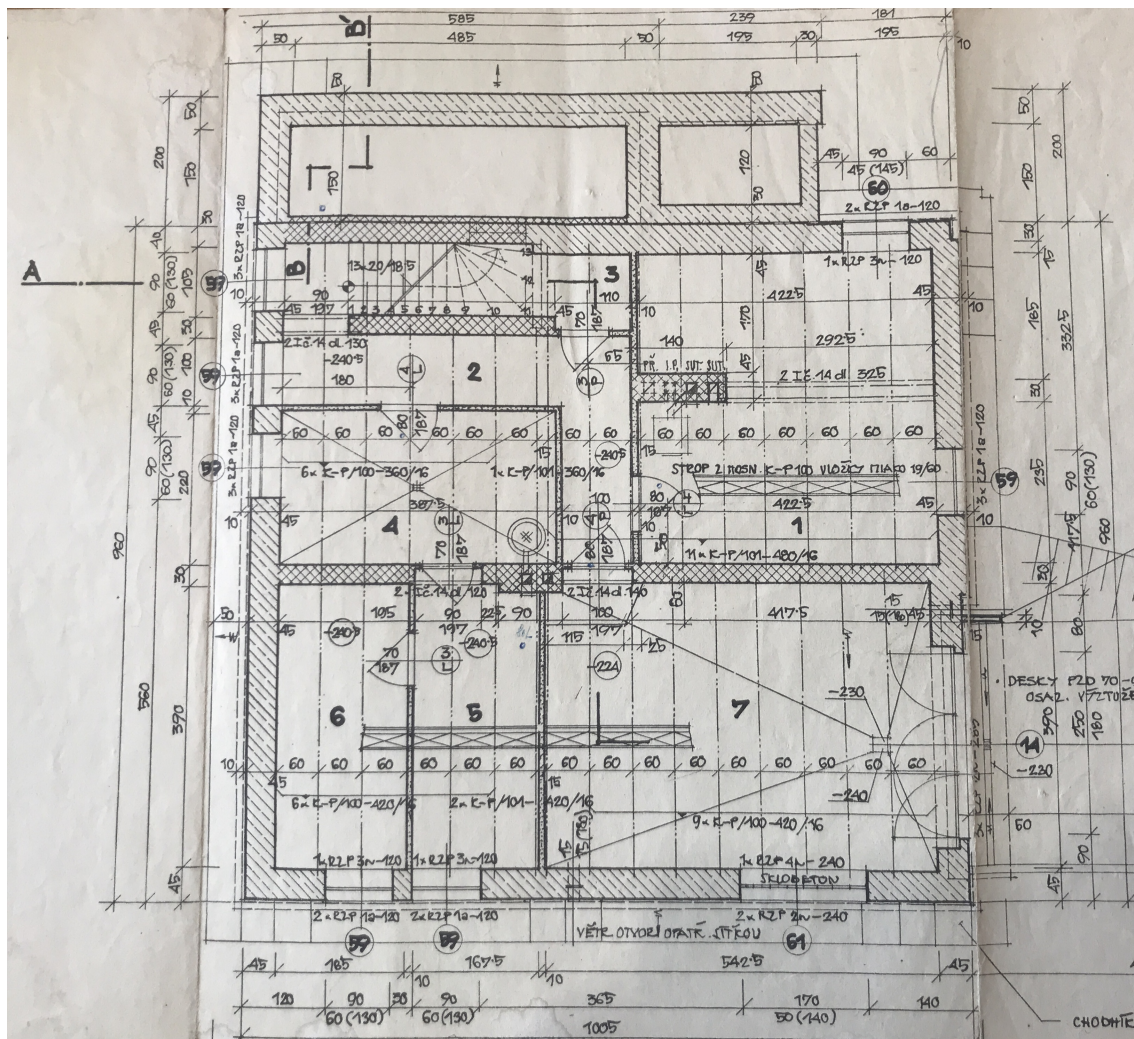
1. Sklepní prostory - nejsou centrálně vytápěné, patří mezi ně kotelna, garáž, dílna, sklep, prádelna a chodba.
2. Přízemí - skládá se z bytové jednotky, chodby a schodiště
3. 1. nadzemní podlaží - patří sem bytová jednotka, venkovní balkon a schodiště
4. 2. nadzemní podlaží - nevytápěná půda.

2 Půdorys domu

Půdorys domu vychází z originálních plánů, pomocí kterých byl rodinný dům postaven. Nutno podotknout, že dům byl z praktických důvodů postaven zrcadlově, oproti tomu, co je v plánech nakresleno.

Pro úplnost informací je nutno dodat, že dům není zateplen. Střecha je lehkého provedení (eternitové šablony) bez jakékoliv izolace. Okna jsou plastová, dvojitě prosklená. Výška stropu je potom v každém obytném podlaží (1. a 2.) 2.5 metru, ve sklepních prostorech potom 2.1 metru.

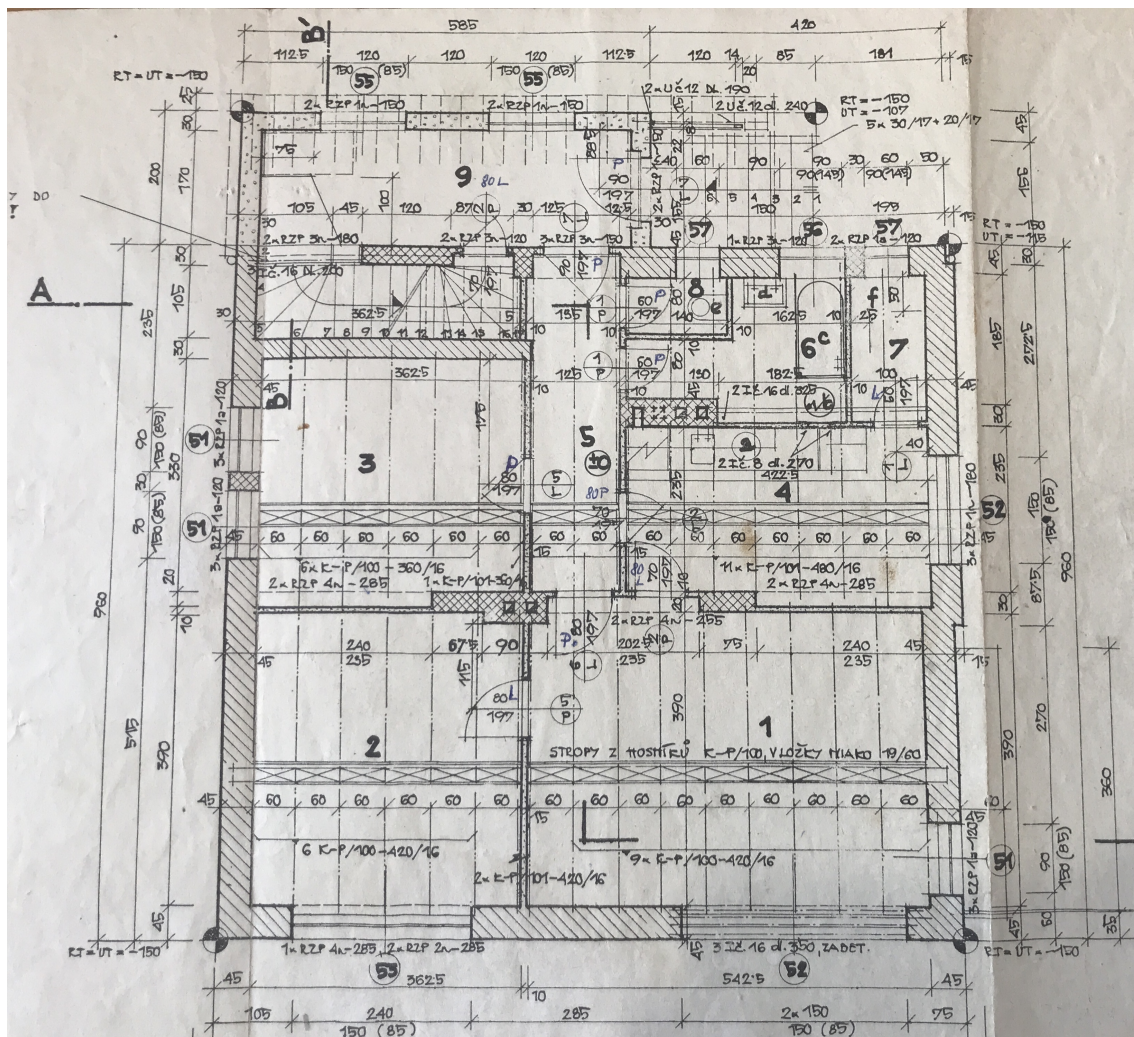
2.1 Půdorys sklepních prostor



Obrázek 2: Půdorys sklepních prostor

Legenda k plánu		
Číslo	Účel místnosti	Výměra [m ²]
1	Centr. topidlo	18.42
2	Chodba	8.49
3	Sklep zel.	3.90
4	Prádelna	8.53
5	Nářadí zahr.	7.33
6	Techn. sklad	7.21
7	Garáž	22.56

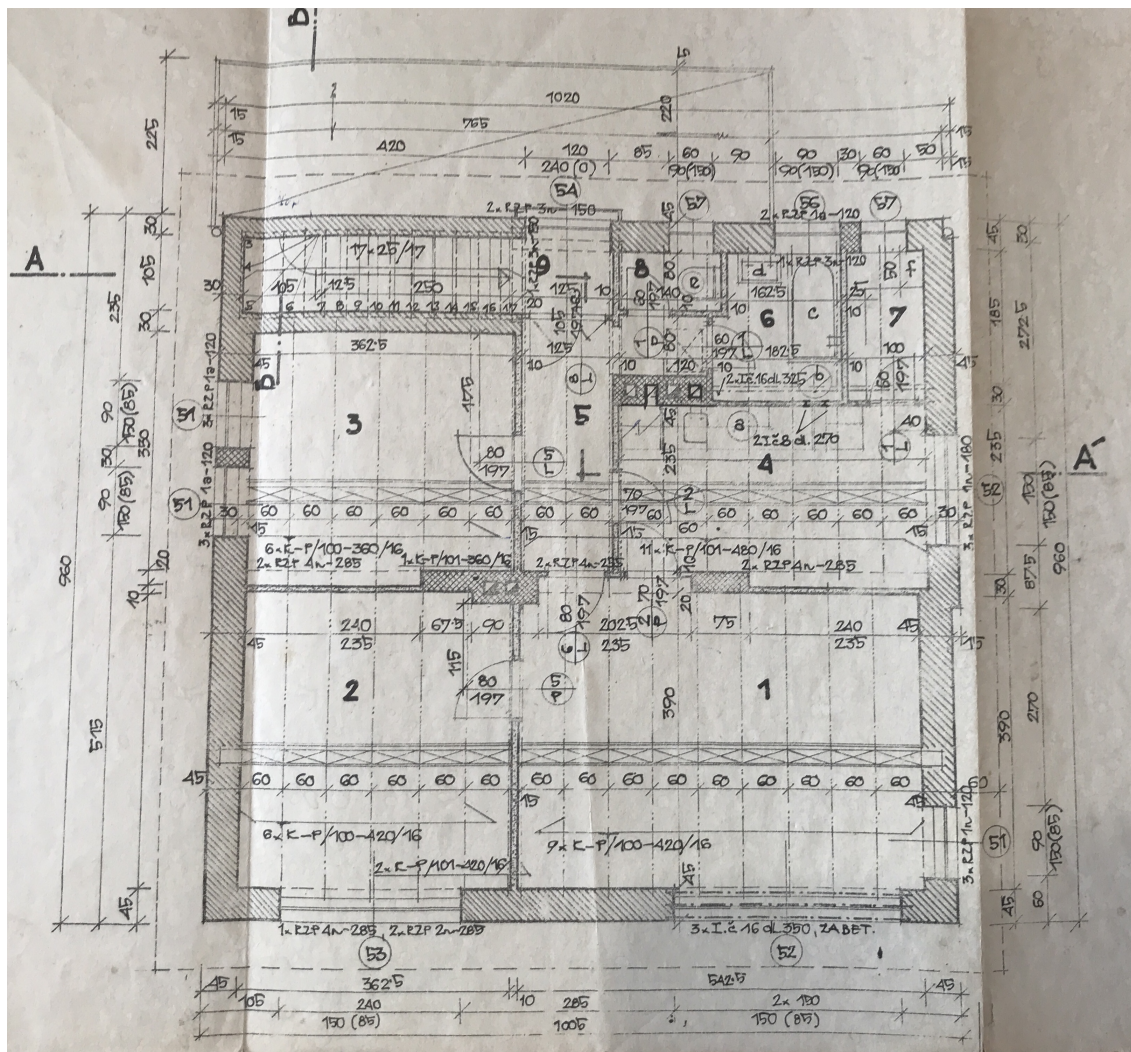
2.2 Půdorys 1. podlaží



Obrázek 3: Půdorys 1. podlaží

Legenda k plánu		
Číslo	Účel místnosti	Výměra [m ²]
1	Obýv. pokoj	22.53
2	Ložn. rodičů	14.5
3	Ložn. dětí	12.6
4	Kuchyně	10.55
5	Předsíň	6.15
6	Lázeň	4.58
7	Spíž	2.05
8	WC	1.12
9	Veranda	9.07

2.3 Půdorys 2. podlaží



Obrázek 4: Půdorys 2. podlaží

Legenda k plánu		
Číslo	Účel místnosti	Výměra [m ²]
1	Obýv. pokoj	22.53
2	Ložn. rodičů	14.5
3	Ložn. dětí	12.6
4	Kuchyň	10.55
5	Předsíň	4.38
6	Lázeň	3.56
7	Spíž	2.05
8	WC	1.12
9	Schod. podesta	1.5

3 Charakteristika spotřeby energie v rodinném domě

3.1 Spotřeba energie ve sklepních prostorech

Ve sklepních prostorech není spotřeba energie deterministicky charakterizovatelná. Jediným prostorem, který je nutno občasně vytápět je dílna. Zde jsou instalována kamna na dřevo, která dokáží momentální potřebu vytápění po dobu činnosti v dílně zajistit.

Dále se ve sklepním prostoru nachází kotelná, ve které se nachází sklad uhlí, elektrický bojler na ohřev teplé vody a kotel na uhlí s automatickým podavačem. Systém vytápění je realizován teplovodním okruhem bez cirkulačního čerpadla s litinovými radiátory.

Jediným elektrickým spotřebičem ve sklepních prostorech, který je pravidelně používán, je automatická pračka.

3.2 Spotřeba energie v 1. podlaží

V 1. podlaží domu se nachází nevytápěná chodba a bytová jednotka. Bytovou jednotku v aktuální situaci obývá 1 osoba důchodového věku. Bytová jednotka je vytápěna centrálním vytápěním na teplotu 22 °C, spotřeba teplé vody je pravidelná a pohybuje se obvykle kolem 40l denně. Za účelem vaření se používá kombinovaný sporák se dvěma elektrickými, dvěma plynovými plotýnkami a elektrickou horkovzdušnou troubou. Zdrojem plynu pro vaření je vlastní plynový zásobník. Mezi spotřebiči elektrické energie je zde pak umístěna lednička, televize, počítač a robotický vysavač.

3.3 Spotřeba energie ve 2. podlaží

Ve druhém nadzemním podlaží se nachází bytová jednotka. Ta je v aktuální době obývána jedním pracujícím a dvěma středoškoláky. Jednotka je vytápěna centrálním vytápěním na teplotu 22°C. V jedné místnosti je používán elektrický přímotop. Spotřeba teplé vody se pohybuje kolem 100l denně. Teplá voda se používá na mytí nádobí pod tekoucí vodou, na uklízení a na mytí. Za účelem vaření je používán kombinovaný sporák se 4 plynovými plotýnkami a elektrickou horkovzdušnou troubou. Zdrojem plynu pro vaření je vlastní plynový zásobník (odlišný od toho, který je používán v 1. podlaží). Hlavními spotřebiči elektrické energie jsou: lednička, počítač, televize a vysavač.

3.4 Spotřeba energie v prostorech půdy

Ve třetím nadzemním podlaží se nachází nevytápěná půda, která se využívá k sušení prádla a uskladnění věcí. Jedinou spotřebu energie zde představuje nutné svícení.

3.5 Shrnutí aktuální situace zásobování energií

V aktuální situaci jako zdroj vytápění slouží kotel na uhlí s automatickým podávacím systémem. Tento způsob vyžaduje každodenní čištění od popela, trvající 20 minut a jednou za zhruba 3 dny doplnění uhlí do zásobníku, což je činnost trvající 10 minut.

Jako občasný zdroj vytápění v dílně slouží kamna na dřevo. Tento zdroj vytápění vyžaduje přípravu a skladování palivového dřeva, příkládání a pravidelné čištění pokaždé, když jsou kamna v provozu. Lze usoudit, že na 3 hodiny topení v kamnech je potřeba celkem 40 minut obsluhy (po započítání času na štípání, skladování a přenášení dřeva).

Ohřev vody je zajišťován elektrickým bojlerem o objemu 200l, který je nastaven na 70 °C. Tento způsob ohřevu vody je velmi nenáročný na obsluhu.

Pro vaření se používají dvě plynové lahve (10kg náplně), pro každé patro jedna. Obsluha tohoto systému představuje výměnu náplně na nejbližší stanici, přibližně každého půl roku.

4 Aktuální výdaje na zásobování energií

Zásobování teplem - palivem pro kotel (uhlí) již řadu let zajišťuje firma JAMBOR - Uhelné sklady, s. r. o. Průměrná roční spotřeba palivového uhlí je 8t, přičemž aktuální cena uhlí od dodavatele činí 384.8 Kč/q, vč. daně.

Zásobování elektrickou energií zajišťuje firma E.ON, která je pro tuto oblast dodavatelem poslední instance. Tito dodavatelé mají oproti ostatním (menším) dodavatelům obvykle méně výhodné ceníky pro spotřebitele, nicméně je potřeba vzít v úvahu, že v době vypracování tohoto dokumentu proběhl ukončení činnosti největšího "malého" dodavatele, Bohemia Energy. Tato skutečnost způsobila nemalé problémy pro koncové odběratele, kterým mimo jiné nepříznivě prospěla i roční doba - začátek topné sezóny. Zálohy za energie byly tak nastaveny u DPI velmi vysoko a překročily tak finanční možnosti spousty odběratelů.

Díky akumulacnímu prvku (použití elektrického bojleru pro ohřev teplé vody), spadá rodinný dům do tarifu D25d. Přesněji se jedná o produkt Aku, produktovou řadu ElektřinaTrend a ceník ElektřinaTrend DUBEN 2020.

Hodnota hlavního jističe domu je 3x21A. Tato položka je jedinou související službou v elektroenergetice, kterou může spotřebitel přímo ovlivnit. Následující tabulka zobrazuje přehled spotřeby energie v rodinném domě:

Název položky	Období	Jednotka	P. jednotek	Cena za J.	Celkem bez DPH
VT	2020	MWh	1.122	2414	2708.51
NT	2020	MWh	1.936	1400	2710.4
Stálý plat	2020	měsíc	11.986	74	885.63
VT	2021	MWh	1.911	2414	4613.15
NT	2021	MWh	3.297	1400	4615.8
Daň z elektřiny	20-21	MWh	8.266	28.3	233.93
Celkem za dodávku elektřiny bez DPH					15767.42

5 Dimenzování otopné soustavy

Ačkoliv je v domě již teplovodná otopná soustava instalována, je z ekonomického hlediska žádoucí provést jednoduchý orientační výpočet, který dokáže určit, zda při aktuální konfiguraci nebude postačovat vytápěcí jednotka o nižším výkonu, než má aktuálně instalovaný kotel na uhlí.

Přesnost tohoto výpočtu není ve své podstatě až tak zásadní z pohledu horního maxima výpočtu (samozřejmě že není vhodné, aby výkon kotle vycházel v řádech MW), protože jediný ekonomický dopad, který by měl výpočet "robustnějšího" kotle jsou vyšší pořizovací náklady na kotel. Moderní kotle s termostaty jsou schopny samy velmi dobře regulovat svůj výkon tak, aby v obývaném prostoru udržovaly tepelnou pohodu (například pomocí metody ekvitermní regulace). Co ovšem zásadní vliv na přesnost má, je minimální hodnota, kterou výpočet může navrhnout. Pokud by totiž kotel byl poddimenzován, mohlo by ve velmi chladných dnech docházet ke snižování vnitřní teploty, nedostatku teplé vody (pokud by kotel byl použit také jako průtokový, nebo zásobníkový ohřívač na TUV) a efektivita celého výpočtu by tím byla narušena, protože by nezbývalo jiné řešení, než použít nějaký jiný tepelný zdroj, například neekonomický přímotop, nebo elektrický průtokový ohřívač. Výpočet tedy nemusí být nutně nejpřesnější, nicméně musí být dostatečně robustní na to, aby zamezil výběru poddimenzovaného kotle.

Při výpočtu maximální ztráty tepelného výkonu bude brána v potaz norma ČSN EN 12831. Otopná soustava musí být dimenzována na robustnější hodnotu výkonu, než je nejvyšší hodnota ztráty tepelného výkonu, které je stavba schopna dosáhnout. Tato je pak získána pomocí teploty nejchladnějšího dne v roce, výpočtem prostupem tepla stavbou a dle ČSN EN 12831 také ztrátou větráním. Postup výpočtu maximální tepelné ztráty podle normy ČSN EN 12831 je následující:

1. Stanovení základních údajů - výpočet venkovní teploty, výpočet průměrné roční venkovní teploty
2. Určení každého prostoru budovy - vytápěný, nevytápěný (vč. teploty)
3. Stanovení rozměrových vlastností a tepelných vlastností všech stavebních částí pro každý vytápěný a nevytápěný prostor
4. Výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem - návrhový součinitel tepelné ztráty násobený návrhovým rozdílem teplot
5. Výpočet návrhových tepelných ztrát větráním - návrhový součinitel tepelných ztrát větráním násobený návrhovým rozdílem teplot
6. Výpočet celkové tepelné ztráty - návrhová tepelná ztráta prostupem + návrhová tepelná ztráta větráním
7. Výpočet zátopového výkonu - dodatečný výkon pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění
8. Výpočet návrhového celkového tepelného výkonu - celkové návrhové tepelné ztráty + zátopový výkon

Následující tabulka uvádí přehled nejdůležitějších veličin, které se ve vzorcích normy ČSN EN 12831 objevují:

Θ	... teplota [°C]
Φ	... tepelná ztráta, výkon [W]
H	... součinitel tepelné ztráty [$W \cdot K^{-1}$]
ψ	... Lineární součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
Q	... množství tepla [J]
Θ_o	... výsledná teplota [°C]
Θ_{int}	... výpočtová vnitřní teplota [°C]

Vnitřní výpočtovou teplotou se má na mysli teplota uvnitř místnosti ve výšce 0.6 - 1.6 m. Z požadavků na zajištění tepelné pohody nabízí norma následující hodnoty:

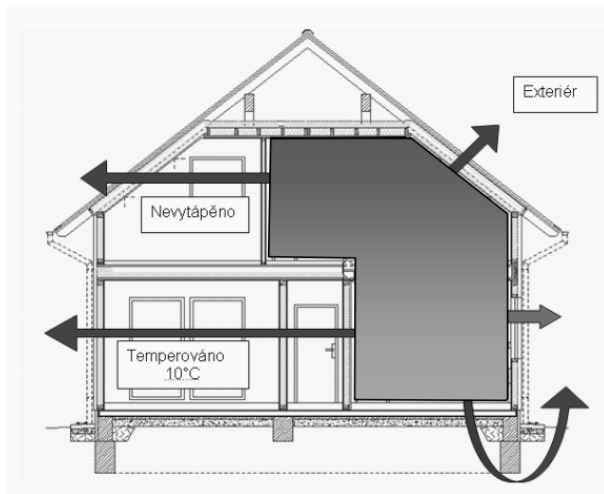
Druh budovy/prostoru	Θ_{int} [°C]
obývací místnosti, pracovny, kuchyně, klozety	20
koupelny	24
vytápěné vedlejší místnosti (předsíně, chodby)	15
vytápěná schodiště	10

Výpočet celkových tepelných ztrát se provádí následujícím způsobem:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [W]$$

kde je:

Φ_i	... celková navrhovaná tepelná ztráta [W]
$\Phi_{T,i}$... návrhová tepelná ztráta prostupem tepla [W]
$\Phi_{V,i}$... návrhová tepelná ztráta větráním [W]



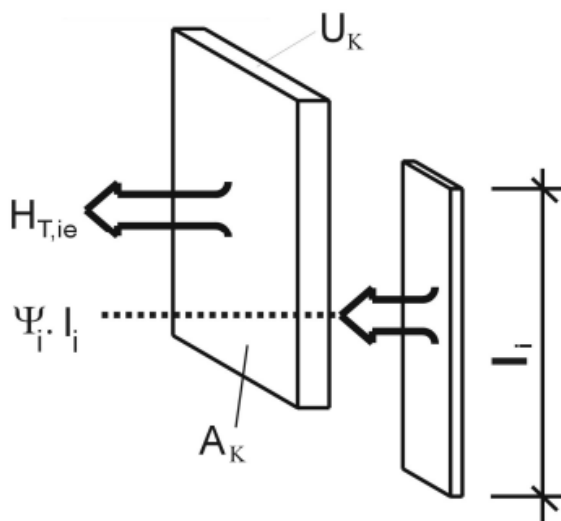
Obrázek 5: Celkové tepelné ztráty

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla je určena pomocí celkového součinitele tepelných ztrát prostupem a rozdílu teplot interiéru a exteriéru:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$$

kde je:

- int* ... vnitřní prostor
- i* ... vytápěný prostor
- e* ... vnější, venkovní prostor
- u* ... nevytápěný prostor
- g* ... zemina, půda
- j* ... vytápěný prostor (na výrazně jinou teplotu)



Obrázek 6: Tepelné ztráty prostupem

Součinitel prostupu tepelných ztrát do exteriéru je určen jako:

$$H_{T,ie} = \sum_K A_K \cdot U_K \cdot e_K + \sum_i \phi_i \cdot l_i \cdot e_i$$

kde je:

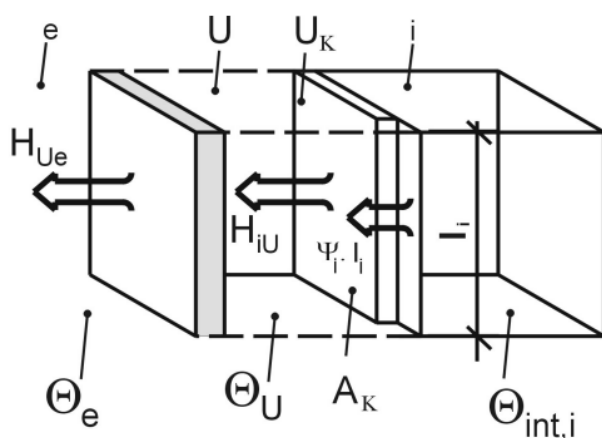
- A* ... obalová plocha místnosti [m^2]
- U* ... součinitel prostupu tepla obalovou plochou [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
- e* ... korekční činitel vystavení povětrnosti [-]
- ϕ ... součinitel lineárního tepelného mostu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
- l* ... délka lineárního tepelného mostu [m]
- e* ... korekční činitel vystavení povětrnosti [-]

Prostup tepla do nevytápěného prostoru je normou definován jako:

$$H_{T,iue} = \sum_K A_K \cdot U_K \cdot b_u + \sum_i \phi_i \cdot l_i \cdot b_u; \quad b_u = \frac{\Theta_{int,i} - \Theta_u}{\Theta_{int,i} - \Theta_e}$$

kde je:

A	...	obalová plocha místnosti [m^2]
U	...	součinitel prostupu tepla obalovou plochou [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
e	...	korekční činitel vystavení povětrnosti [-]
ϕ	...	součinitel lineárního tepelného mostu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
l	...	délka lineárního tepelného mostu [m]
b_u	...	redukční činitel při známé Θ



Obrázek 7: Tepelné ztráty prostupem do nevytápěného prostoru

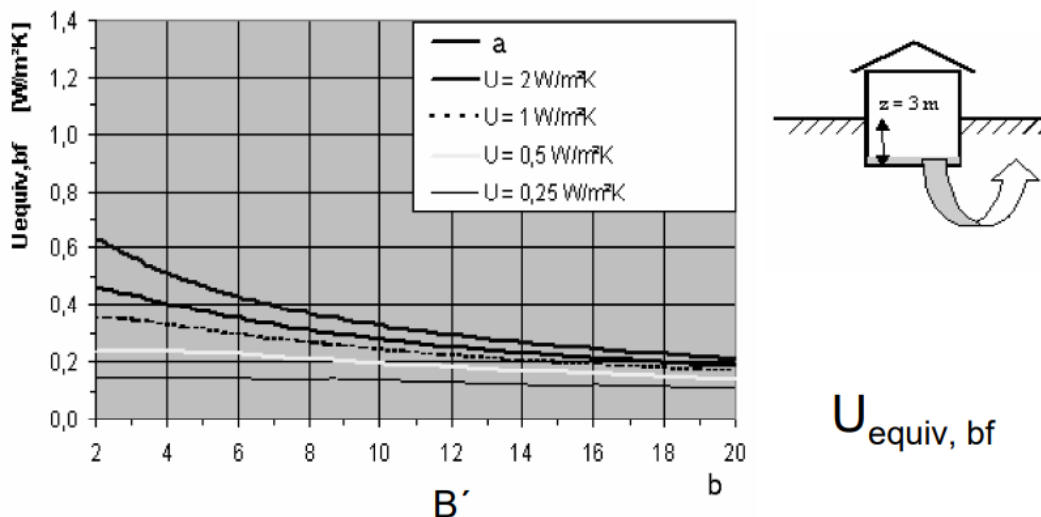
Prostup do země závisí na více faktorech. Nejvíce na skutečnosti, zda je dům zapuštěn do země částečně, vůbec, případně zda má izolovanou podlahu. Samotná hodnota se dle normy vypočítá následovně:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_K A_K \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w; \quad B = \frac{A_g}{0.5 \cdot P}$$

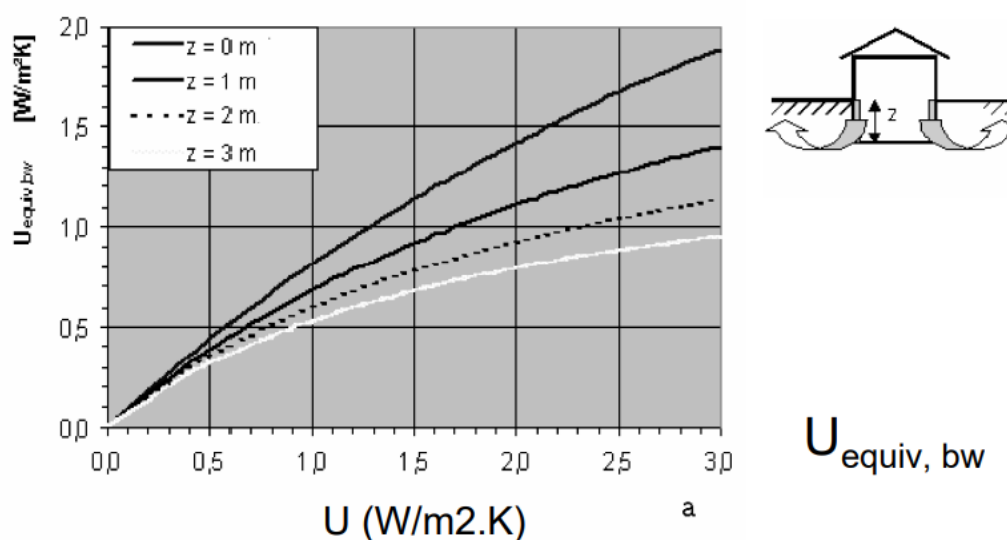
kde je:

f_{g1}	...	korekční činitel vlivu ročních změn teploty [-]
f_{g2}	...	korekční činitel vlivu průměrné a venkovní výpočtové hodnoty [-]
G_w	...	vliv spodní vody (při vzdálenosti menší než 1 m [-])
A_g	...	plocha podlahové konstrukce [m^2]
P	...	obvod podlahové konstrukce [m]

Výsledný prostup do země se poté určí z grafů, které norma poskytuje.



Obrázek 8: Tepelné ztráty prostupem do země



Obrázek 9: Tepelné ztráty prostupem ze zapuštěné části

Norma 12831/Z1 udává minimální intenzitu výměny venkovního vzduchu za hodinu [h^{-1}], což je číslo, které udává převrácenou hodnotu času nutnou k výměně veškerého vzduchu v daném prostoru. Pro obývací pokoje, ložnice, chodby a další běžně užívané místnosti je toto číslo 0.5. Pro koupelny, kuchyně a další prostoru se zvýšeným výskytem vodních par a dalších nežádoucích plynů je tento koeficient 1.5. Například pro obývací pokoj tato skutečnost znamená, že jednou za 2 hodiny by měl být vyměněn všechen vzduch v uvažované místnosti. Nutno podotknout, že norma nepočítá s větráním systémem rekuperace.

Větrání pomocí systému rekuperace se používá v prostorech s vysokým nárokem na výměnu vzduchu (např. v prostředí, které obývají alergici). Systém funguje následujícím způsobem: V trubici, která je umístěna ve zdi je uzavřen ventilátor se schopností reverzovat svůj chod, uzávěrná klapka a keramický tepelný akumulátor (zásobník na tepelnou energii). V každém cyklu pak nejprve ventilátor pomocí vnitřního vzduchu ohřeje keramický akumulátor a vnitřní vzduch následně vypustí ven. V dalším cyklu ventilátor nasává vnější (většinou chladnější) vzduch do trubice a tím ho ohřívá o keramický akumulátor. Poté co akumulátor předá vnějšímu vzduchu své teplo (ne všechno. Teploty se mění do té doby, než je teplota obou subjektů stejná - systém tedy nepracuje se 100% účinností, jak někteří výrobci chybně uvádějí), přičemž po předání tepla je vnější (čerstvý) vzduch vtlačěn pomocí ventilátoru do místnosti. Tento způsob větrání má však tak vysoké pořizovací náklady, že v žádném případě nepřipadá v úvahu s ním v této práci provádět jakékoli kalkulace.

Následující tabulka je výňatkem z normy ČSN EN 12831. [3]

Druh místnosti	n_{min} [h^{-1}]
Obytná místnost (základní)	0.5
Kuchyně, nebo koupelna s oknem	1.5
Kancelář	1
Zasedací místnost, školní třída	2

Ztráta tepla větráním je poté definována jako:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e); \quad H_{V,i} = n_{min} \cdot V_i$$

kde je:

$\Phi_{V,i}$...	tepelná ztráta větráním [W]
$H_{V,i}$...	součinitel tepelné ztráty větráním [$W \cdot K^{-1}$]
$\Theta_{int,e}$...	vnitřní a vnější teplota [$^{\circ}C$]
n_{min}	...	hygienické minimum pro větrání [h^{-1}]
V_i	...	objem i-té místnosti [m^3]

5.1 Výpočet výkonu otopné soustavy

Výpočet otopné soustavy vychází z dat, která jsou uvedena v sekci 2 - půdorys domu. Postupuje dle již zmíněných vzorců z normy ČSN EN 12831 [3]. Ve výpočtu nebude zohledněn tepelný zisk, protože jeho hodnota je v porovnání se ztrátami tak nepatrná, že zásadním způsobem neovlivní výsledek. Tepelný zisk je vhodné určovat u nízkoenergetických, nebo pasivních budov. Ve výpočtu také nebude bráno v potaz přerušované vytápění, protože teplovodná otopná soustava má akumulační charakter.

Výpočtová data o sklepních prostorech				
Číslo místnosti	Výměra [m^2]	A [m^2]	V [m^3]	hyg. Koef
1	18,42	9,45	38,682	0,5
2	8,49	2,1	17,829	0,5
3	3,9	10,185	8,19	0,5
4	8,53	4,62	17,913	0,5
5	7,33	3,507	15,393	0,5
6	7,21	3,885	15,141	0,5
7	22,56	19,572	47,376	0,5

Ve sklepních prostorech nebude počítáno s větráním, ani s vytápěním. Případné vytápění v prostorech dílny bude ponecháno způsobem kamen na dřevo.

Výpočtová data o 1. podlaží				
Číslo místnosti	Výměra [m^2]	A [m^2]	V [m^3]	hyg. Koef
1	22,53	52,845	47,313	0,5
2	14,5	35,295	30,45	0,5
3	12,6	8,25	26,46	0,5
4	10,55	5,875	22,155	1,5
5	6,15	3,125	12,915	0,5
6	4,58	4,05	9,618	1,5
7	2,05	7,125	4,305	0,5
8	1,12	3,5	2,352	0,5
9	9,07	24,625	19,047	0,5

První podlaží je aktivně obýváno, bude se s ním tedy zacházet jako s větraným prostorem, a to dle normy.

Výpočtová data o 2. podlaží				
Číslo místnosti	Výměra [m^2]	A [m^2]	V [m^3]	hyg. Koef
1	22,53	52,845	47,313	0,5
2	14,5	35,295	30,45	0,5
3	12,6	8,25	26,46	0,5
4	10,55	5,875	22,155	1,5
5	4,38	3	9,198	0,5
6	3,56	4,55	7,476	1,5
7	2,05	7,125	4,305	0,5
8	1,12	3,5	2,352	0,5
9	1,5	6,125	3,15	0,5

Druhé podlaží je taktéž obývaný prostor, a proto u něj budou započítány ztráty na větrání standardním způsobem.

Střecha domu je konstruována z eternitových šablon o tloušťce 6 mm. Eternit má tepelnou vodivost $\lambda = 0.12 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, které jsou podbity prkny o tloušťce 2 cm a tepelné vodivosti $\lambda = 0.18 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. Střecha má sklon 30° . Vnější rozměry domu jsou 9.6 m a 10.05 m. Strop je konstruována jako nosný a oddělení mezi střešní konstrukcí a obytnými prostory je realizováno 25 cm železobetonovou konstrukcí o $\lambda = 1.2 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. Pro účely optimálního návrhu zásobování energií bude proveden výpočet se zateplením střechy minerální vatou o tloušťce 10 cm a $\lambda = 0.04 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. Pomocí těchto údajů je možné vypočítat tepelné odpory daných materiálů:

$$R_{eternit} = \frac{d}{\lambda} = 0.05; R_{prkna} = 0.11; R_{strop} = 0.208; R_{vata} = 2.5 \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

Ze zadaných údajů lze vypočítat plochu střechy $S_{střecha} = 96.48 \text{ [m}^2]$ a pomocí tohoto údaje přepočítané tepelné odpory na plochu střechy a stropu:

$$R_{eternit} = \frac{5}{9648}; R_{prkna} = \frac{15}{9648}; R_{strop} = \frac{13}{6030}; R_{vata} = \frac{125}{4824} \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

Tepelné odpory lze řadit stejným systémem jako odpory elektrické (sériové kombinace se sčítají, paralelní kombinace také, ale převrácenou hodnotou). Vzhledem k tomu, že všechny vrstvy se nacházejí nad sebou, jedná se v tomto případě o sériovou kombinaci a celkový tepelný odpor střechy se určí jako:

$$R_{střecha} = \frac{5}{9648} + \frac{15}{9648} + \frac{13}{6030} = 4.23 \cdot 10^{-3} \text{ [K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

Tepelný odpor střechy zateplené 10 cm vrstvou minerální vaty lze poté vypočítat jako:

$$R_{střecha,vata} = 3.56 \cdot 10^{-3} + \frac{125}{4824} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ [K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

Odpovídající součinitele tepelných ztrát již vztaženy na plochu střechy jsou pak určeny jako:

$$H_K = \frac{1}{R}; \quad H_{K,střecha} = 236.4; \quad H_{K,střecha,vata} = 33.3 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Tepelná ztráta prostupem pro střešní konstrukci jsou vypočteny pomocí výpočtové teploty pro okres Tábor a teploty, na kterou je objekt vytápěn.

$$\Phi_{T,střecha} = H_{K,střecha} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 8.4 \text{ [kW]}$$

Tepelná ztráta při zateplení střechy minerální vlnou poté:

$$\Phi_{T,střecha,vata} = H_{K,střecha,vata} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 1.185 \text{ [kW]}$$

Dalším krokem pro určení celkové tepelné ztráty objektu je určení tepelných ztrát prostupem obvodovými zdi. Obvodové zdi domu jsou postaveny ze škvárobetonových tvárnic o tloušťce 400 mm, vyrobených pomocí vibrační formy. Koeficient prostupu tepla pro tuto konstrukci je $U_k = 1.41 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$. Dům je dále osazen plastovými okny Otherm EFEKT s $U_k = 1.2 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$.



Obrázek 10: (a) Škvárobetonová tvárnice, (b) Struktura okna EFEKT

Celková obalová plocha domu činí $216.15 \text{ [m}^2\text{]}$, z čehož $39.45 \text{ [m}^2\text{]}$ představují okna. Odpovídající součinitel prostupu tepla obalovou plochou a součinitel tepelné ztráty:

$$U_K = \frac{176.7 \cdot 1.41 + 39.45 \cdot 1.2}{216.15} = 1.37 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}; \quad H_K = 296.1255 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

Čemuž odpovídají tepelné ztráty prostupem tepla obvodovými zdi:

$$\Phi_{T,zdmi} = H_{K,zdmi} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 10.542 \text{ [kW]}$$

Z důvodu nalezení optimální varianty energetického zásobování domu je vhodné provést kalkulaci při zateplení domu. Nejčastějším způsobem zateplení domu je zateplení expandovaným pěnovým polystyrenem. Vyrábí se stlačením polystyrenových perlí o průměru dle použití (od 0.6 až do cca 3 mm) a nese označení EPS a číslem, které vyjadřuje normálové napětí v kPa při jeho 10% stlačení. Pro stavební účely se používá EPS 70 až EPS 150. Do stavebních konstrukcí se používá samozhášivý EPS, obsahující tzv. retardéry hoření, způsobující, že při odstranění zdroje hoření materiál sám uhasne.

Expandovaný pěnový polystyren se dodává v několika tloušťkách a provedení. Mezi hlavní představitele patří "bílý" a "šedý" polystyren, který vznikl vylepšením tepelných vlastností klasického "bílého" polystyrenu, u kterého se podařilo omezit přenos tepla sáláním uvnitř materiálu. Šedý polystyren je vytvořen příměsí grafitu, který omezuje optickou propustnost v pásmu kolem $10\mu\text{m}$. Pro porovnání vlastností obou polystyrenů slouží následující tabulka:

Tloušťka izolace [cm]	Tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]	
	bílý EPS	šedý EPS
2	0.51	0.61
8	2.08	2.42
10	2.56	3.03
15	3.85	4.55

Pro účely práce bude počítáno se dvěma variantami zateplení. 8cm EPS a 10 cm EPS. Obalová plocha domu, kterou lze zateplit činí 176.7 [m²]. Celkový tepelný odpor této konstrukce bude poté součtem tepelného odporu škvárové betonové tvárnice a tepelného odporu EPS. Pro zkrácení byly zavedeny zkratky bílý = B, šedý = S.

$$R_{EPS,B,8cm} = 2.79; R_{EPS,S,8cm} = 3.13; R_{EPS,B,10cm} = 3.27; R_{EPS,S,10cm} = 3.74 \quad [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$$

Odpovídající koeficienty prostupu teplem pak jsou:

$$U_{B,8cm} = 0.36; U_{S,8cm} = 0.319; U_{B,10cm} = 0.306; U_{S,10cm} = 0.267 \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Po seznámení s vlastnostmi polystyrenu připadá v úvahu zateplení střešní konstrukce, a to způsobem, při kterém se shora pokryje strop polystyrenovými deskami. Tento případ izolace bude kalkulovat s bílým polystyrenem o tloušťce 10 cm. Při známém povrchu všech střešních konstrukcí a již vypočítaných tepelných odporů ostatních materiálů lze dostat tepelnou ztrátu při zateplení polystyrenem ze vztahu:

$$H_{K,strecha,polystyren} = \frac{1}{3.56 \cdot 10^{-3} + \frac{2.56}{10.05 \cdot 9.6}} = 33.23 \quad [W \cdot K^{-1}]$$

Čemuž odpovídá tepelná ztráta:

$$\Phi_{T,strecha,polystyren} = H_{K,strecha,polystyren} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 1.183 \quad [kW]$$

Z čehož lze usoudit, že technicky výhodnější je zateplení polystyrenovými deskami o tloušťce 10 cm.

Součinitelé tepelných ztrát po zateplení domu polystyrenem různých vlastností jsou dány jako:

$$H_{B,8cm} = 110.95; H_{S,8cm} = 103.7; H_{B,10cm} = 101.41; H_{S,10cm} = 94.51 \quad [W \cdot K^{-1}]$$

Jím odpovídající tepelné ztráty prostupem jsou dány jako:

$$\Phi_{B,8cm} = 3.949; \Phi_{S,8cm} = 3.692; \Phi_{B,10cm} = 3.61; \Phi_{S,10cm} = 3.364 \quad [kW]$$

Tepelná ztráta prostupem tepla do podlahy se určí z normy pomocí korekčních faktorů a ekvivalentního koeficientu prostupu tepla jako:

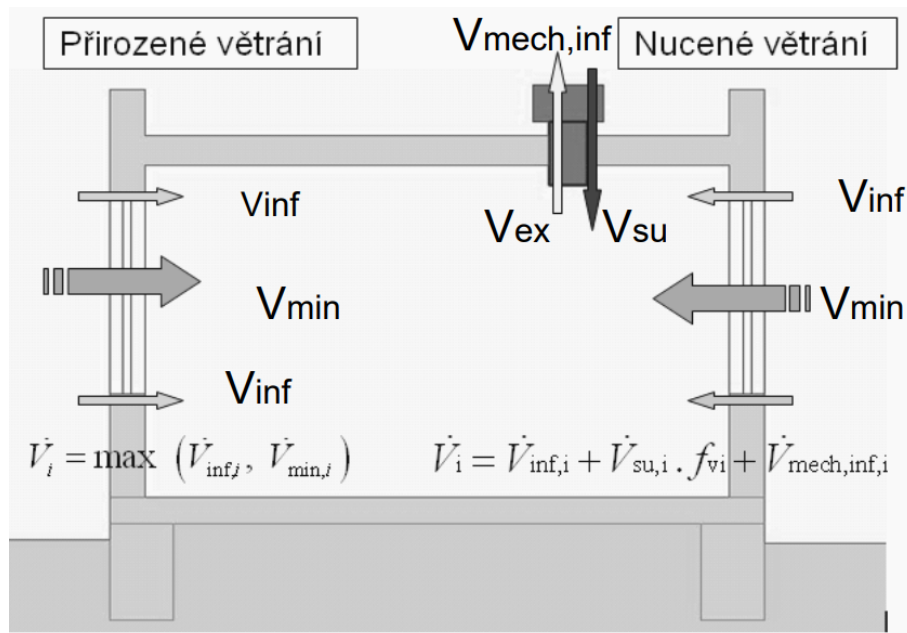
$$H_{T,ig} = 1.45 \cdot \frac{20.6 - 4.31}{20.6 - (-15)} \cdot (9.6 \cdot 10.05 \cdot 1.45) = 92.82 \quad [W \cdot K^{-1}]$$

Přičemž první člen této rovnice představuje korekční činitel vlivu ročních změn teploty, druhý korekční činitel vlivu průměrné a venkovní výpočtové hodnoty a třetí plochu podlahy násobenou ekvivalentním koeficientem tepelné prostupnosti získaným z normy pomocí výpočtu charakteristického čísla podlahy B dle vzorce v úvodu této kapitoly. Odpovídající ztráty prostupem tepla podlahou poté jsou:

$$\Phi_{T,ig} = H_{T,ig} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 3.275 \quad [kW]$$

Ztráty větráním jsou vypočítány zjednodušeným výpočtem, který norma ČSN EN 12831 poskytuje:

$$\Phi_{V,i} = 0.34 \cdot V_i \cdot n_{m,inf} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 2.705 \quad [kW]$$



Obrázek 11: Tepelné ztráty větráním

Tepelná ztráta větrání také počítá s infiltrací obvodovým pláštěm a nuceným větráním zapříčiněným neuzavřenými otvory ve zdivu (komíny, větracími systémy). Tyto skutečnosti jsou již ve zjednodušeném vzorci zahrnuty v konstantě 0.34.

Aktuální shrnutí návrhových ztrát po započtení ztrát větráním a ztrát prostupem tepla podlahou [kW]:

Varianta střechy	Bez zateplení	Zateplená EPS	Zateplená vatou
Varianta obvodových zdí			
Bez zateplení	24.9220	17.7070	17.8850
EPS B, 8 cm	18.3290	11.1140	11.2920
EPS S, 8 cm	18.0692	10.8542	11.0322
EPS B, 10 cm	17.9900	10.7750	10.9530
EPS S, 10 cm	17.7440	10.5290	10.7070

5.1.1 Kontrola výpočtu

Aktuální spotřeba uhlí na otopnou sezónu činí 8t ročně, což při výhřevnosti 19.52 MJ/kg (jedná se o hnědé uhlí, typu ořech těžené v Bílinském dole) přemění 156.16 GJ energie.

Při uvažování vypočítaných součinitelů tepelných ztrát bude při průměrné teplotě pro otopnou sezónu pro danou oblast nutno dodat dle vypočítaných hodnot 166.13 GJ energie. Vypočítaná hodnota je vyšší než hodnota aktuální, patrně z důvodu předdimenzování výpočtu pro tepelné ztráty prostupu střechou, které ve skutečnosti nebudou tak výrazné a norma s nimi vůbec nepočítá. Střecha je ovšem zcela neizolovaná a je velmi pravděpodobné, že s tímto faktem norma nepočítá také.

6 Dimenzování systému ohřevu vody

V domě je denně spotřebováno 140l vody o teplotě 75 °C. Při průměrné roční teplotě vody 10 °C, je pak potřeba dodat vodě denně teplo o hodnotě:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 140 \cdot 4180 \cdot (75 - 10) = 38.038 \quad [MJ]$$

Což je 13.883 GJ ročně. Při uvažování faktu, že by byla voda ohřívána plynule po celý den, musí být výkon ohříváče (při nejnižší teplotě vody 7 °C):

$$P_{ohrivace} = \frac{Q}{t} = \frac{39.8 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600} = 460 \quad [W]$$

O tuto hodnotu je poté nutno navýšit případný výkon plynového kotle, či jiného zdroje tepla, které dokáže účinně kombinovat ohřívání TUV s vytápěním domu.

7 Přehled variant zásobování energií

V dnešní době jsou již poměrně rozvinuté systémy přeměny energie z obnovitelných zdrojů (biomasa, sluneční energie, energie větru, energie vody) na energii elektrickou. Tyto systémy (např. solární panely, malé větrné elektrárny, kogenerační stanice) dokáží snížit nákup energie z cizích zdrojů (dodavatel elektrické energie, plynu, atd) a tím i zvýšit nezávislost celého systému. Z tohoto důvodu se tyto systémy používají při tzv. "offdri-gových" aplikacích, to znamená pro ostrovní soustavy, které nemají možnost připojit se na soustavu plynu, případně elektřiny.

V blízkosti domu se nachází plynová přípojka, ke které je možné se připojit po realizaci výkopu na zahradě a zavedení plynového rozvodu do prostorů kotelny. Dalším faktorem, který příznivě nahrává rozmanitosti možností vytápění je přítomnost nedaleké trafostanice, což umožňuje zvýšení hodnoty hlavního jističe bez jakýchkoliv komplikací s distributorem elektrické energie.

V aktuální době město Planá nad Lužnicí spolupracuje s firmou C-Energy Plana s. r. o. na výstavbě systému horkovodů v oblasti Strkov, který umožní vytápění přímo z energie blízké teplárny. Bohužel ceník této služby není prozatím zveřejněn, takže není možno s touto možností v této práci počítat.

Po shrnutí všech možností připojení k veřejným soustavám je zcela jisté, že pro dům nepřipadá v úvahu počítat s ostrovním systémem. Mimo jiné i z toho důvodu, že tyto systémy zásobování energie jsou obvykle dražší na provoz i po stránce pořizovacích nákladů, než systémy, které počítají s připojením na síť.

Mezi varianty zásobování energií, které je vhodné v této situaci uvažovat jsou:

1. Plynový kondenzační kotel pro vytápění, elektrický bojler pro ohřev vody - tato varianta představuje minimální zásah do otopné soustavy, protože elektrický bojler je již instalován a používán. Změna z uhelného kotle na plynový kotel je také možná, protože aktuálně používaný kotel je možno provozovat jak na uhlí, tak na plyn. Jedná se o kotel kombinovaný, tudíž není nutné při této variantě měnit prohlášení vlastníka nemovitosti, což je krok přinášející další výdaje na projekt na právnické služby (zhruba 6000 Kč). Tato varianta může být podpořena solárními panely.
2. Plynový kondenzační kotel s průtokovým ohřevem TUV, nebo s bojlerem na akumulaci TUV. Tato varianta také nevyžaduje žádné právní služby. Jediná změna by spočívala v odstranění aktuálního bojleru a nainstalování oběhového čerpadla pro akumulaci TUV.
3. Vytápění tepelným čerpadlem, které realizuje i ohřev vody. Tato varianta může být podpořena přídatným systémem solárních panelů, případně dotací.
4. Kotel na biomasu s automatickým zásobníkem na peletky, který realizuje i ohřev TUV.

7.1 Možnosti dotace

V roce 2021 začalo nové období dotačního programu "Nová zelená úsporám" (<https://novazelenausporam.cz/>), který zajišťuje Ministerstvo životního prostředí. Program nabízí nepřeberné množství různých dotací, které podporují energetickou nezávislost a nenáročnost budov (konkrétně rodinných domů, v tomto případě). Proto je vhodné vybrat případy, které jsou pro tuto práci relevantní a udělat rozbor všech dostupných možností.

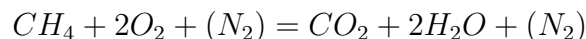
1. Dotace na zateplení budovy - tuto dotaci lze uplatnit na zateplení budovy, u které byla žádost o stavební povolení podána před rokem 01. 07. 2013. Výsledná částka, která může být vyplacena je $600 - 3800 CZK/m^2$. Odvíjí se od kvality provedeného zateplení, přičemž internetová stránka se nezmiňuje o jakémkoliv reálně počitatelném technickém faktoru, či veličině, na základě které bude podpora určena. V této práci tedy bude počítáno s nejnižší možnou hodnotou. Celková částka je shora omezená hodnotou 650 000 Kč.

2. Dotace na kotle, kamna a tepelná čerpadla. Jedná se o dotaci na výměnu kotlů na pevná paliva, která spadají do emisní třídy 3. a nižší a lokálních topidel využívaných jako hlavní zdroj tepla. Dotaci lze také využít při změně elektrického vytápění na tepelné čerpadlo a vztahuje se i na příslušenství a zapojení kotle, či tepelného čerpadla do otopné soustavy. Pro tuto dotaci jsou sazby pro různé kombinace následující:
 - Kotel na biomasu vč. akumulární nádrže/se samočinnou dodávkou paliva: 80 000 Kč.
 - Kotel na biomasu se samočinnou dodávkou paliva a celosezónním zásobníkem pelet: 100 000 Kč.
 - Lokální zdroj na biomasu se samočinnou dodávkou paliva: 30 000 Kč.
 - Lokální zdroj na biomasu se samočinnou dodávkou paliva a teplovodním výměníkem: 45 000 Kč.
 - Tepelné čerpadlo s teplovodním systémem vytápění a přípravou teplé vody: 100 000 Kč.
 - Tepelné čerpadlo s teplovodním systémem vytápění bez přípravy teplé vody: 80 000 Kč.
 - Tepelné čerpadlo pro teplovodní systém vytápění s přípravou teplé vody připojené k FV systému: 140 000 Kč.
 - Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch: 60 000 Kč.
 - Plynový kondenzační kotel: 35 000 Kč.
 - Napojení na soustavu zásobování teplem: 40 000 Kč.
3. Dotace na fotovoltaické systémy. Tato dotace je uplatnitelná na domácí fotovoltaickou elektrárnu připojenou k distribuční soustavě, přičemž vyrobená elektřina je přednostně spotřebovávána v domě. Dotace poskytuje následující možnosti:
 - Základní instalace o výkonu 2 kWp se standardním měničem: 40 000 Kč
 - Základní instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem: 60 000 Kč
 - Základní instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla: 100 000 Kč
 - Za každý další 1 kWp instalovaného výkonu: 10 000 Kč
 - Za 1 kWh el. akumulárního systému: 10 000 Kč
4. Dotace na přípravu teplé vody, solární ohřev. Tato dotace přispívá na pořízení a instalaci nového systému ohřevu TUV pomocí solárního ohřevu, nebo tepelného čerpadla. Financování je pro tuto dotaci následující:
 - Solární termický ohřev teplé vody s přitápěním: 60 000 Kč
 - Solární termický ohřev teplé vody: 45 000 Kč
 - Fotovoltaický ohřev teplé vody: 45 000 Kč
 - Tepelné čerpadlo pro ohřev teplé vody: 45 000 Kč

Každá dotace je přitom kombinovatelná s další a díky tomu je možné získat i kombinální bonus. Ten je 10 000 Kč za každé další opatření, které je zahrnuto do programu Nová zelená úsporám. Například při kombinaci zateplení + dešťovka + příprava teplé vody činí bonus 30 000 Kč. Při kombinaci kotlíkové dotace se zateplením se bonus pohybuje mezi 25 a 75 tisíci Kč, podle typu zateplení.

7.2 Vytápění plynovým kondenzačním kotlem

Plynový kondenzační kotel je ve své podstatě plynový kotel vybavený dokonalejším výměníkem tepla mezi spalínami a studenou přítokovou vodou. Oproti standardnímu plynovému kotli je pro kotel kondenzační zásadní tepelný spád, který způsobí kondenzaci vody vázané ve spalínách, neboť:



což je rovnice spalování zemního plynu (konkrétně metanu) ukazuje, že při spalování vzniká oxid uhličitý a voda. Voda je při spalování okamžitě přeměněna na vodní páru a společně se spalínami nese tzv. latentní teplo, které kondenzační kotel dokáže efektivně přeměňovat. Pokud jsou totiž tyto spaliny ochlazené pod svůj bod kondenzace, uvolní skupenské teplo, které bylo nutné na přeměnění vody do plynného skupenství. V kondenzačním kotli se takto uvolněná energie používá k přehřevu vratné vody.

Na internetových stránkách nepřeberného množství dodavatelů a výrobců kondenzačních kotlů je často uveden údaj o efektivitě plynových kondenzačních kotlů, který ve valné většině případů přesahuje hodnotu 100%, což může spotřebiteli připadat zavádějící. Zásadním faktem, který určuje efektivitu spalování kondenzačních kotlů je veličina, která byla použita při jejím výpočtu. V praxi se totiž uvádějí dvě různé veličiny:

1. Spalné teplo plynu H_s [$kWh \cdot m^{-3}$, $MJ \cdot m^{-3}$] - Množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství plynu a stechiometrického množství kyslíku o počátečních teplotách 25°C, při ochlazení spalín zpět na 25°C. Skutečnost, že se spaliny opět ochladí na počáteční teplotu zajišťuje kondenzaci vodní páry a tím pádem zahrnutí skupenského tepla do výpočtu účinnosti spalování. Pokud je při výpočtu účinnosti spalování kondenzačního kotle použita tato veličina, účinnost nikdy nepřesáhne hodnotu 100%.
2. Výhřevnost plynu H_i [$kWh \cdot m^{-3}$, $MJ \cdot m^{-3}$] - což je spalné teplo plynu zmenšené o skupenské teplo vzniklé kondenzací spalín. Tato veličina byla zavedena spolu s klasickými plynovými kotli, neboť v nich nedochází ke kondenzaci spalín. Aby však bylo proveditelné porovnání konvenčních plynových kotlů a těch kondenzačních, počítá se i účinnost kondenzačních kotlů právě z této veličiny a nabývá neintuitivních hodnot. V odborné literatuře bývá tento pojem označován jako Normovaný stupeň využití.

Teoretické využití latentního tepla	Zemní plyn	Propan	Topný olej
Spalné teplo plynu H_s [$kWh \cdot m^{-3}$]	11.06	28.12	10.68
Výhřevnost plynu H_i [$kWh \cdot m^{-3}$]	9.97	25.89	10.08
H_s/H_i	1.109	1.086	105.9

Jak je z tabulky patrné, teplo, které lze získat z úplné kondenzace, představuje téměř 11% výhřevnosti zemního plynu. Pokud jsou spaliny získané dokonalým spalováním zemního plynu - to jsou takové, které neobsahují přebytečný vzduch, začne pod teplotou rosného bodu (57°C) kondenzovat vodní pára ve spalinách obsažená. Konkrétně pro kondenzační kotle je pak požadováno, aby rozdíl mezi teplotou spalin a teplotou vratné vody činil 5K při maximálním výkonu kotle a 2K při minimálním výkonu kotle. Pro optimální proces přeměny tepla je poté zásadní, aby teplota vratné vody byla nižší, než je teplota rosného bodu spalin. Pokud by tomu tak nebylo, skupenské teplo by nebylo přeměňováno a kotel by tak nepracoval s účinností kotle kondenzačního, ale nízkoteplotního.

Účinnost spalování kondenzačního kotle ovlivňuje mimo jiné i množství vzduchu, které spaliny obsahují. Tato veličina se nazývá součinitel přebytku vzduchu a je definována jako:

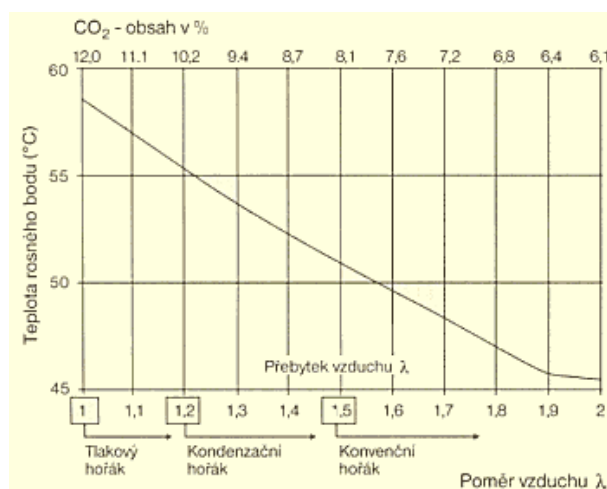
$$\lambda = \frac{V_d}{V_s} \quad [-]$$

kde je:

V_d ... objem vzduchu dodaný do kotle [m^3]

V_s ... stechiometrický objem vzduchu pro dokonalé spalování [m^3]

Tato hodnota je spjatá s teplotou rosného bodu. Čím vyšší je součinitel přebytku vzduchu, tím nižší je teplota rosného bodu, což znamená horší účinnost kondenzačního kotle, protože ke kondenzaci vodní páry ze spalin je nutný větší tepelný spád.



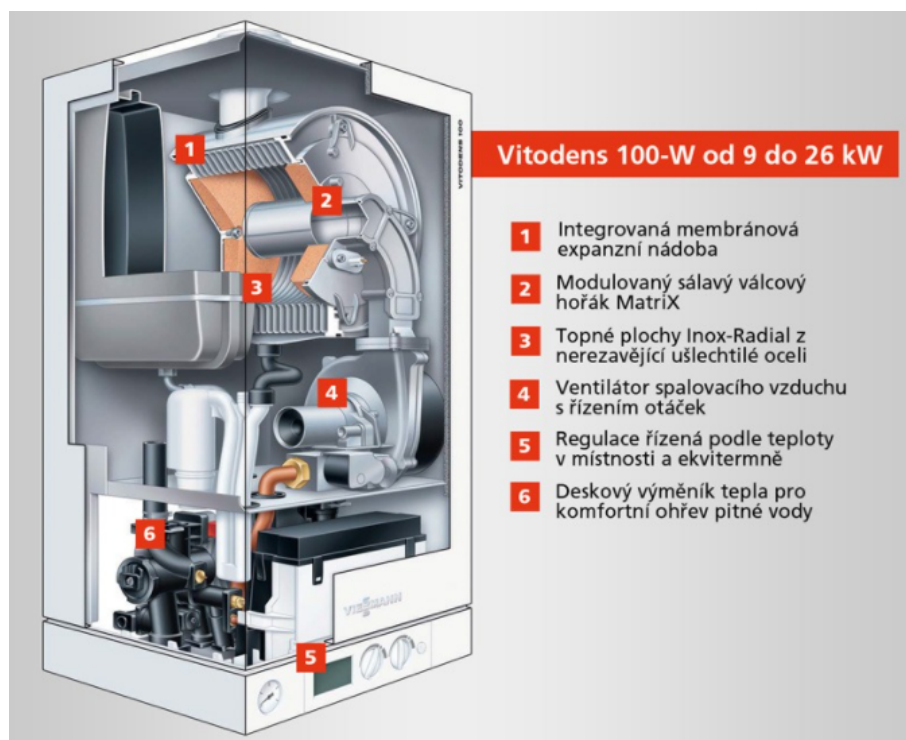
Obrázek 12: Závislost teploty rosného bodu na součiniteli přebytku vzduchu

Jak je z obrázku patrné, pro $\lambda = 2$ je teplota rosného bodu zhruba 45°C. Součinitel přebytku vzduchu činí u kondenzačního kotle 1,2 až zhruba 1,5 a skutečná teplota rosného bodu pro zemní plyn se v této oblasti pohybuje mezi 50 až 55 °C. Má-li ve spalinovém prostoru docházet ke kondenzaci, teplota vratné vody se musí pohybovat pod touto hodnotou, a proto kondenzační kotle pracují s relativně nízkými teplotními spády (40/30 až 55/45 °C).

Při velmi nízkých venkovních teplotách se zvyšuje teplota vratné vody (z důvodu nutnosti většího výkonu předávaného do vytápěných prostor) a tím se zhoršuje účinnost spalování v kondenzačním kotli, neboť tato teplota bývá často nad teplotou rosného bodu. Vyhláška 151/2001 Sb., platná pro nově zřizovaná zařízení stanovuje u nuceného oběhu požadavek na teplotu vody na přívodu do otopného tělesa do 75°C. V našich klimatických podmínkách pracují otopné systémy se spádem 75/60°C, v kondenzačním režimu až po dobu 85% topné sezóny, čímž se snižuje normovaný stupeň využití kondenzačního kotle.

Aby otopná soustava s kondenzačním kotlem pracovala v optimálním režimu, musí být velmi dobře sladěny všechny hydraulické prvky. Například nesmí být použity systémy pro předehřev vratné vody, například čtyřcestné směšovací ventily. Dále pak musí být správně dimenzováno čerpadlo, které musí být regulovatelné. Jeho předdimenzování, nebo špatná regulace by mohla vést ke zvýšení teploty vratné vody a tím ke zhoršení normovaného stupně využití.

Posledním aspektem pro úspěšné zapojení a provozování kondenzačního kotle je odvod kondenzátu. pH kondenzátu se pohybuje stabilně v hodnotách kolem pH 5, což odpovídá pH dešťové vody. Kondenzační kotel tak lze připojit přímo do kanalizačního systému. Tam, kde to správce kanalizace požaduje, zejména u větších zařízení, se provádí tzv. neutralizace kondenzátu, což je proces, který má za úkol odebrat z vody přebytečný oxid uhličitý. K tomu slouží granuláty mramoru, nebo dolomitu, na které se oxid uhličitý váže. Granulát je v plastické nádobě protékán kondenzátem a na jejím konci vypouštěn do kanalizace. Neutralizační zařízení může být součástí příslušenství kotle.



Obrázek 13: Struktura kondenzačního kotle

Z informací, které poskytují dodavatelé zemního plynu na jejich internetových stránkách lze zjistit ceny plynu již pro rok 2022 a tím vypočítat cenu na 1MWh tepla při vytápění zemním plynem. Dle předchozích výpočtů dům spotřebuje na vytápění ročně 43.3 MWh tepla, díky čemuž spadá do kategorie do 45 MWh ročně. Ta u různých dodavatelů má následující cenovou sazbu:

Dodavatel	Tarifní skupina	KČ/MWh	Stálý měs. Plat v Kč
E.ON	nad 30 do 45	1641.68	578.33
Pražská plynárenská, a.s.	nad 25 do 45	1741.87	414.35
innogy Energie, s.r.o.	nad 25 do 45	1674.25	374.51

Jak je z tabulky patrné, dodavatelé účtují částku na konci zúčtovacího období na základě odebraných MWh energie. To patrně není nejlepší způsob, poněvadž dodavatel nemůže tušit, s jakou účinností pracuje zákazníkuv kotel. Každý z výrobců má na svých internetových stránkách uveden orientační přepočten na m^3 , což je vhodnější způsob fakturace. Tedy:

Dodavatel	Tarifní skupina	KČ/ m^3	Stálý měs. Plat v Kč
E.ON	nad 30 do 45	17.54	578.33
Pražská plynárenská, a.s.	nad 25 do 45	18.62	414.35
innogy Energie, s.r.o.	nad 25 do 45	17.89	374.51

Při účinnosti kotle 96% tak budou činit roční výdaje na vytápění (a jiné zásobování teplem, například vaření, či ohřev vody):

$$C_{kondenzacnikotel} = \frac{Q}{0.96} \cdot \frac{CZK}{m^3} \cdot \frac{m^3}{kWh} = \frac{Q}{0.96} \cdot \frac{CZK}{m^3} \cdot \frac{1}{11.06} \quad [CZK]$$

kde je:

Q ... celkové teplo, které kotel musí dodat [kWh]

CZK/m^3 ... cena za jednotkový kubický metr od dodavatele [CZK]

Tímto vzorcem poté lze vypočítat porovnání různých kotlů s různými pořizovacími náklady, životností a různé varianty zásobování teplem v kombinaci s plynovým kondenzačním kotlem.

7.3 Vytápění kotlem na pelety

Moderní kotel na pelety je automatický zdroj vytápění. Náročnost jeho obsluhy je nepříměno úměrná skladovacímu místu a ochotě modernizovat okolí kotle. Každý kotel na pelety je vybaven automatickým šnekovým podavačem a obsluha se nemusí starat o přikládání, jako tomu je u klasických kotlů na uhlí, či dřevo. Tento způsob vytápění pak patří mezi uživatelsky nejkomfortnější mezi vytápěním tuhými palivy.



Obrázek 14: Kotel na pelety s automatickým podavačem

Automatický šnekový podavač kotle může být realizován několika způsoby. Buďto je to podavač šikmý, který pomocí archimedova šroubu pelety vyveze do dostatečné výšky a ty potom po nakloněné rovině samy padají do kotle, nebo to může být podavač přímý. Šikmý zásobník má velkou výhodu v bezpečnosti, neboť při výpadku elektrického napájení nejsou pelety blíže ke kotli v přímém kontaktu s plamenem a oheň by se tak nerozšířil do celého zásobníku.

Zásobník přímý musí mít dodatečný bezpečnostní systém pro případ výpadku napájení. Touto pojistkou bývá často vodní nádoba oddělená od prostoru podavače kovem s nízkou teplotou tání (obvykle Woodův, nebo Fieldův kov), která se roztaví přítomností ohně v prostorech podavače a zaplaví podavač, čímž oheň uhasí.

Jako podstatná výhoda vytápění kotlem na pelety je uváděna ekologičnost celého procesu, neboť pelety jsou vzniklé ze slisovaných pilin různé kvality, které jsou vedlejším produktem dřevozpracovatelského průmyslu. Jedná se tedy o vytápění biomasou, která je považována za ekologický zdroj, na který je možno získat dotaci. Pelety mají standardizovanou velikost (průměr 6 - 8 mm a délku 20 - 30 mm). Zárukou kvality pelet je certifikace ENplus.



Obrázek 15: Certifikační značka ENplus

Certifikace ENplus se dělí na 3 kategorie: A1, A2 a B, z nichž nejkvalitnější pelety jsou v kategorii A1 a na jejich kvalitu jsou kladeny největší nároky. Pelety musí mít například:

1. Menší obsah vody, než je 10% hmotnostní koncentrace.
2. Menší obsah popela po spálení než je 0.7% pro kategorii A1, 1.2 % pro kategorii A2 a 2% pro kategorii B.
3. Výhřevnost větší, než 16.5 MJ/kg a sypkou hmotnost nacházející se mezi 600 a 750 $m^3 \cdot kg^{-1}$.

Dalším faktorem, který přispívá k bezobslužnosti celého systému je již zmíněný nízký hmotnostní obsah popela. Kotel tak není nutné čistit v krátkých intervalech, jak tomu je například u uhlí, které má mnohem vyšší obsah popela. Některé moderní kotle jsou vybaveny samočisticími systémy, které popel schraňují do kontejnerů. Ty je pak třeba při naplnění vyprázdnit. Popel z pelet je však díky svému chemickému složení dobrým hnojivem pro rostliny, nebo biologickým materiálem pro výrobu kompostu. Minerální látky jsou tímto způsobem vráceny zpět do přírody a neskončí na skládce.

Kotle na pelety je vhodné použít v objektech, které mají dostatečně dimenzován skladový prostor pro topné palivo. Pro pelety je doporučen 1 m^3 skladového místa pro každé 0.8 kW ztráty objektu. V energeticky nevhodných budovách tak může skladový prostor dosáhnout závratných hodnot. Pelety do skladu je možné získat několika způsoby: balení po pytlích o hmotnosti 15 kg (což je patrně velmi pracné), balení po paletách (na kterých jsou vyskládány již zmíněné pytle), nebo tzv. foukané pelety, které je možno dopravit cisternou do skladu pelet (nejčastěji sila na pelety).

Cena za množství energie, přeměněné pomocí kotle na pelety s účinností 90% je dána jako:

$$C_{pelety} = \frac{Q}{0.90} \cdot \frac{CZK}{kg} \cdot \frac{kg}{kWh} = \frac{Q}{0.90} \cdot \frac{CZK}{kg} \cdot \frac{1}{4.58} \quad [CZK]$$

kde je:

Q ... celkové teplo, které kotel musí dodat [kWh]

CZK/kg ... cena za kilogram pelet od dodavatele [CZK]

Nevýhodou vytápění peletami je v porovnání s ostatními možnostmi vytápění relativně nízká výhřevnost 16.5 MJ/kg, kterou však oproti aktuálním řešení vytápění uhlím vyvažuje vyšší účinnost kotle na pelety, než kotle na uhlí. Velkou výhodou je ekologičnost, díky které je vyšší pravděpodobnost, že zdroj bude moci být užíván i do budoucna legálně, protože ne něj nebude uvalen zákaz, či omezení provozu.

7.4 Vytápění tepelným čerpadlem

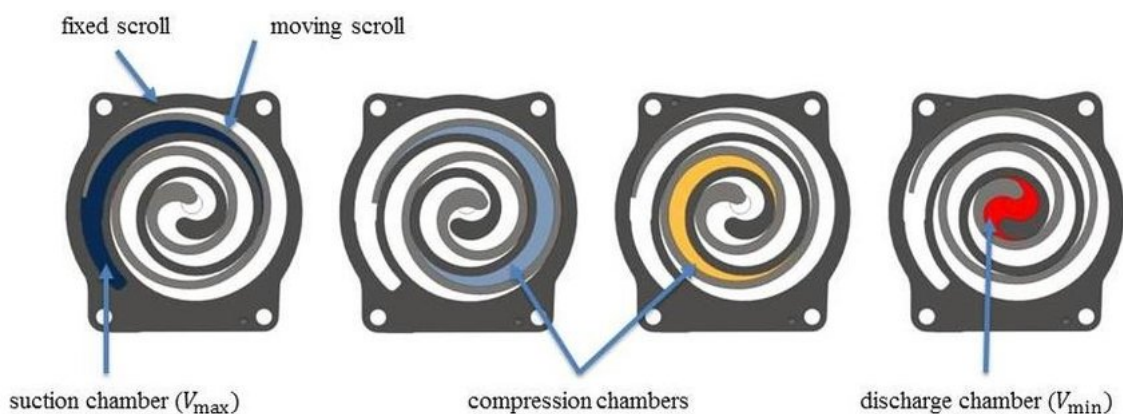
Tepelné čerpadlo patří mezi modernější způsoby vytápění a ač se obvykle řadí mezi způsoby vytápění elektrinou, pracuje na zcela odlišném principu, než je přímá přeměna elektrické energie na energii tepelnou.

Tepelné čerpadlo je tvořeno dvěma výměníky tepla a okruhem, který slouží k transportu tepla. Tato soustava pak pracuje stejným způsobem, jako klasický kompresorový výměník tepla, který lze nalézt v ledničkách, klimatizacích, sušičkách prádla, odvlhčovačkách vzduchu a podobných aplikacích, kde je nutný teplotní spád.

Základními částmi této soustavy jsou: expanzní ventil, výparník, kompresor a kondenzátor, které jsou plněny pracovní látkou (chladičem). Chladič se po průchodu expanzním ventilem (průchodu z prostředí s vysokým tlakem do prostředí s tlakem nízkým) odpařuje a snižuje svou teplotu (vnitřní energii plynu). Přes stěnu výparníku pak odebírá teplo z prostředí s vyšší teplotou (voda ze studny, vzduch, zemní vrt). Dále pak chladič v kapalném skupenství putuje do kompresoru, který jej nasává a stlačuje, čímž zvyšuje jeho vnitřní energii (které už byla zvýšena o energii získanou z teplejšího prostředí) a tím i teplotu. Poté je chladič přivedeno do kondenzátoru, kde své teplo předá soustavě v domě (TUV, vratné vodě), čímž snižuje svou teplotu a kondenzuje. Pod vysokým tlakem je pak již zkapalněné palivo tlačeno do expanzního ventilu a celý cyklus se znovu opakuje.

7.4.1 Přehled jednotlivých částí TČ

Kompresor - nasává páry chladiče z výparníku při tlaku nižším, než tlaku při kterém by se chladič o určité teplotě ve výparníku odpařovalo a stlačuje je na tlak, vyšší, než tlak při kterém chladič o určité teplotě kondenzuje. Dodává tak chladiči skupenské teplo nutné pro přeměnu skupenství chladiče. Kompresor ve své podstatě čerpá energii z nižší tepotní hladiny na vyšší. V tepelných čerpadlech jsou nejvíce používané kompresory spirálové, nebo dvojité rotační.



Obrázek 16: Spirálový kompresor

Expanzní ventil - udržuje stálý rozdíl tlaků mezi nízkotlakou částí výparníku a vysokotlakou částí kondenzátoru. Tohoto dosahuje regulací průtoku chladicího média. Regulace bývá nejčastěji realizována termostaticky, nebo elektronicky.

Výparník - slouží k odebrání tepelné energie nízkopotenciálnímu zdroji zdroji tepla, protože chladivo je schopné se za nízkých tlaků odpařovat i při nízkých teplotách, čímž odebírá teplo z nízkopotenciálního zdroje o nízké teplotě, který by jinak nebylo k vytápění nebo ohřevu možno použít. Typ nízkopotenciálního zdroje ovlivňuje tvar výparníku. Při použití vody jako nízkopotenciálního zdroje se používají deskové, trubkové, případně žebrované výparníky a při použití vzduchu výparníky trubkové žebrované.

Kondenzátor - je tepelný výměník, který předává teplo chladiva otopné soustavě, nebo TUV. Odebíráním energie z chladiva chladivo při vysokém tlaku v kondenzátoru kondenzuje. Tepelný výměník má buď trubkový, nebo deskový tvar.

7.4.2 Rozdělení tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla se dělí dle použitého nízkopotenciálního zdroje a typu média, kterému tepelné čerpadlo předává tepelnou energii. Nejčastěji jsou používány následující typy tepelných čerpadel:

Voda - Voda, které jako nízkopotenciální zdroj používá cirkulaci vody (např. ze studny, řeky, či jiného zdroje) a předává teplo otopné soustavě. V ČR není mnoho míst, kde je možné tento způsob výměny energie realizovat, a proto je nejpoužívanějším způsobem výměny tepla:

Vzduch - Voda. Tento typ jako nízkopotenciální zdroj používá okolní vzduch. Jedná se o nejjednodušší a nejčastěji používaný způsob výměny tepla, neboť kompresor i výměník je možno umístit do stejné jednotky, která se umístí do blízkosti vytápěného objektu.

Země - Voda. Kvůli tomuto způsobu výměny tepla je nutno vyhotovit zemní vrt, neboť výměna probíhá mezi chladícím médiem a geologickým podložím. Vrty jsou zpravidla o průměru 120 - 140 mm a hloubce 80 - 180 m. K vyhotovení podzemního vrtu je nutná projektová dokumentace, hydrogeologické posouzení, vyjádření správce povodí, vyjádření souhlasu životního prostředí, ohlášení na báňský úřad a v některých případech stavební povolení a územní souhlas. Tento způsob výměny tepla je patrně jeden z těch administrativně složitějších.

Důležitým parametrem, který je nutno při výběru tepelného čerpadla zohlednit je jeho hlučnost. Dle zákona č. 258/2000 Sb. je nutno dodržet akustické limity hlučnosti maximálně 40 [dB] ve dne a 30 [dB] v noci do vzdálenosti 2 m od vnější fasády domů. U sousedních budov pak hlučnost nesmí ve vzdálenosti 2 m od vnější fasády přesáhnout 50 [dB] ve dne a 40 [dB] v noci. O hlučnosti na pozemku sousedních majitelů se zákon nezmiňuje.

7.4.3 Topný faktor tepelného čerpadla

Topný faktor TF (nebo COP - coefficient of performance) je jedním z hlavních ukazatelů energetické efektivity provozu tepelného čerpadla. Je definován jako:

$$TF = \frac{Q}{E} \quad [-]$$

kde je:

Q ... teplo dodané do vytápění tepelným čerpadlem [kWh]
 E ... energie dodaná do tepelného čerpadla na jeho provoz [kWh]

Definováním úspory energie UE lze poté lépe pochopit význam topného faktoru:

$$UE = Q - E = Q - \frac{Q}{TF} = Q \cdot \left(1 - \frac{1}{TF}\right) \quad [kWh]$$

kde je:

Q ... teplo dodané do vytápění tepelným čerpadlem [kWh]
 E ... energie dodaná do tepelného čerpadla na jeho provoz [kWh]
 TF ... topný faktor tepelného čerpadla [-]

Z čehož lze vypočítat několik skutečností:

1. Množství energie, kterou je nutno dodat tepelnému čerpadlu na jeho provoz je nepřímo úměrné topnému faktoru.
2. Úspora energie neroste lineárně s topným faktorem a s růstem topného faktoru se nárůst úspory zpomaluje.
3. Dvojnásobný topný faktor nezajistí dvojnásobnou energetickou úsporu a v žádném případě dvojnásobnou ekonomickou úsporu.

Topný faktor je složitou veličinou, která závisí na mnoha faktorech. Především u tepelných čerpadel typu vzduch - voda je to teplota nízkopotenciálního média, tj. venkovního vzduchu, protože může docházet k namrzání čerpadla a tím jeho poškození. Záleží také na způsobu provedení otopné soustavy. Naprosto optimálním řešením pro tepelné čerpadlo je podlahové topení, protože pro svůj provoz používá nižší teploty (kolem 35°C), než například soustava osazená klasickými plechovými radiátory. Zásadní vliv má také skutečnost, zda se tepelné čerpadlo používá i na ohřev TUV, která vyžaduje ohřev na vyšší teploty z důvodu akumulace.

Z těchto důvodů se při výpočtech nepoužívá výrobcem udávaná maximální hodnota topného faktoru, ale jeho střední hodnota. Topný faktor je výrobcem udáván často ve formátu: A2°C/W35°C, je 3.5 dle EN 14 511, což znamená, že topný faktor byl měřen za podmínek teploty vnějšího vzduchu 2°C, teploty vody v otopné soustavě 35°C, dle metodiky normy EN 14 511.

Z důvodu zhoršování topného faktoru při snižování venkovní teploty je vhodné tepelné čerpadlo doplňovat i dalším zdrojem vytápění (ohřevem vody), například elektrickým topným tělesem zabudovaným do otopné soustavy, plynovým průtokovým ohřivačem, nebo plynovým kotlem.

Cena za množství tepelné energie, přemístěného do vytápěného objektu pomocí tepelného čerpadla je dána jako:

$$C_{\text{tepelnečerpadlo}} = \frac{Q}{TF} \cdot \frac{CZK}{kWh} \quad [CZK]$$

kde je:

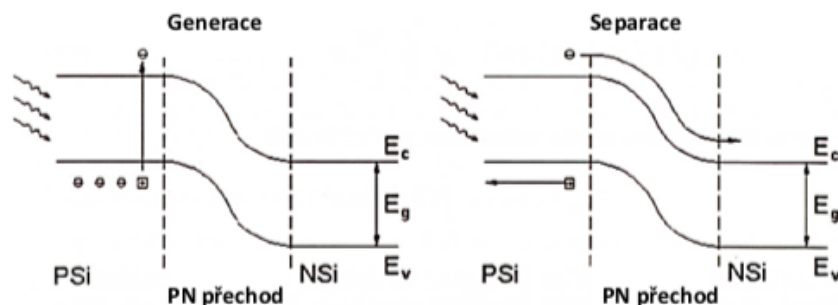
Q	...	celkové teplo, které tepelné čerpadlo musí dodat [kWh]
TF	...	střední hodnota topného faktoru tepelného čerpadla[-]
CZK/kg	...	cena za kWh elektriny [CZK]

7.5 Střešní fotovoltaický systém

Fotovoltaické systémy vyrábí obnovitelnou elektřinu ze slunečního záření a představují tak zdroj, který zvyšuje energetickou nezávislost. Fotovoltaické panely, přesto, že mají vyšší počáteční investici, nevyžadují téměř žádnou údržbu ani revize.

Fotovoltaický panel funguje na principu fotovoltaického jevu, který je jednou z forem vnitřního fotoelektrického jevu. Jeho objev se datuje již do roku 1876.

Při absorpci fotonu materiálem je část jeho energie přijata volnými, nebo vázanými elektrony, či mřížkou materiálu. Je-li energie přijatá vázaným elektronem dostatečně velká, stává se tento elektron elektronem volným a uvnitř materiálu vzniká pár elektron - kladný iont. Při oddělení těchto iontů je vytvořen rozdíl elektrických potenciálů (elektrické napětí). Nejsnazší cestou oddělení iontů je pomocí PN polovodičového přechodu, který vytváří vnitřní elektrické pole a separuje ionty různé polarity.



Obrázek 17: Generace páru elektron - díra v PN přechodu

E_v je nejvyšší energetická úroveň valenčního pásma, E_c je nejnižší energetická úroveň vodivostního pásma a E_g je zakázané pásmo. To představuje minimum absorbované energie pro přechod z vodivostního do valenčního pásma.

Fotovoltaické články se dle provedení dělí na:

1. Křemíkové mono a poly krystalické články (c - Si), které mají jednoduchou konstrukci a jejich výroba vyžaduje značné množství čistého křemíku. Mají také vyšší účinnost přeměny (více než 15%) a nižší pořizovací cenu. Jsou to nejčastěji používané druhy fotovoltaických článků.
2. Tenkovrstvé články (thin-film cells), což jsou články kompaktní konstrukce s významně redukovanou tloušťkou aktivní oblasti (zhruba 1000x oproti krystalickému článku). Mají však nižší účinnost a obsahují ekologicky škodlivé látky (např. CdTe, GaAs a amorfni silikony).
3. Články s více přechody (tandem), které mají vícero PN přechodů a jsou v nich kombinovány dva různé materiály (tandemové struktury) s různými energiemi zakázaného pásma. Technologické provedení těchto článků je oproti ostatním druhům fotovoltaických panelů relativně složité a z toho důvodu jsou tyto články velmi drahé. Pro ekonomickou realizovatelnost vyžadují solární koncentrátory.

Rozšířenou dezinformací ohledně solárních panelů je nemožnost jejich recyklace. Od roku 2015 se materiálové využití vysloužilých solárních panelů stalo zákonem povinným. Nařízení ukládá povinnost 70% recyklaci a 80% využití. Pouze zbylých 20% lze uložit na skládku. Solární panel se skládá především z ochranného skla, které má za úkol chránit polovodičové přechody před atmosferickými vlivy. Dále se solární panel skládá z hliníkového rámu a křemíku. Všechny tyto součásti panelu jsou dobře recyklovatelné, kromě křemíku, jehož výkupní cena činí recyklaci nevýhodnou.

Množství solární energie přeměněné fotovoltaickým panelem na energii elektrickou je dáno přímou intenzitou slunečního záření [W/m^2]. Střední hodnota intenzity slunečního záření dopadajícího na horní vrstvu atmosféry je 1367 [W/m^2] (solární konstanta). Přičemž přibližně 20% dopadajícího záření je absorbováno v atmosféře a kolem 10% je rozptýleno a odraženo. Z toho vyplývá, že zemského povrchu dosáhne zhruba 70% slunečního záření.

Přímá intenzita slunečního záření je definována jako:

$$I_D = I_0 \cdot 0.7^{AM} \cdot \cos\gamma$$

kde je:

I_D	...	Přímá intenzita slunečního záření [W/m^2]
I_0	...	Solární konstanta [W/m^2]
AM	...	Koeficient atmosférické masy (min. 1) [—]
γ	...	Úhel mezi dopadajícím zářením a absorbující rovinou [°]

Sklon střechy, na kterou by byly solární panely umístěny je 30°. Průměrný výkon dopadající na tuto plochu je za bezmračného dne v letní období 337.5 [W/m^2], v zimním období pak 218.5 [W/m^2]. Roční průměr po zahrnutí oblačnosti pak činí 194.6 [W/m^2]. Plocha střechy zastavitelná solárními panely činí 27.67 m^2 (část orientována nejvíce na jih). Při koeficientu pokrytí střechy solárními panely 0.8 (plocha pokrytá solárními panely ku celkové ploše střechy). Plocha solárních panelů pak činí 22 m^2 a průměrný výkon slunečního záření dopadající na tuto plochu je 4.28 kW. Při účinnosti přeměny panelu 19% je potom průměrný výkon střešní elektrárny po zahrnutí atmosférických podmínek a účinnosti panelu 831.2 W. Teoretická roční dodaná elektrická energie pak činí 7.281 MWh, což je dostačující pro pokrytí 2/3 energie potřebné pro ohřev teplé vody v domě.

8 Ekonomická efektivnost jednotlivých variant

V této sekci jsou zhodnoceny varianty zmíněné v kapitole 7 z hlediska ekonomické efektivnosti. Pro každou variantu je provedeno zhodnocení z hlediska NPV a RCF, případně citlivostní analýza (pokud je to pro danou variantu zásobování energií vhodné).

8.1 Metody vyhodnocování

8.1.1 NPV

Pod pojmem NPV, nebo česky "čistá současná hodnota" je rozumněna suma diskontovaných hotovostních toků v čase. Pro investici například v podobě zakoupení nového kotle to představuje obnos nutný k pořízení a instalaci kotle, cenu paliva a cenu pravidelných revizí a oprav. NPV je určena takto:

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t(1+r)^{-t} = \sum_{t=1}^T CF_t(1+r)^{-t} - I \quad [CZK]$$

kde je:

CF_t ... Hotovostní tok v roce t [CZK]

r ... diskont [%]

I ... Počáteční investice [CZK]

Diskont v tomto případě představuje cenu ušlé příležitosti a ve výpočtu se chová jako jakýsi úrok. Určitě by v něm měla být zohledněna inflace a pro domácnost fakt, zda na vybavení, či stavbu byla sjednána půjčka, případně hypotéka.

8.1.2 RCF

RCF je ukazatel umožňující srovnávat investiční příležitosti s různou dobou životnosti, či délkou trvání pomocí hlediska NPV. Toho dosahuje vynásobením NPV poměrnou anuitou:

$$RCF = NPV \cdot a_{Tz}$$

kde je:

a_{Tz} ... Poměrná anuita [-]

Poměrná anuita je převrácená hodnota předlhůtního zásobitele:

$$Z^+ = \frac{q^T - 1}{q^T \cdot (q - 1)}; \quad a_{Tz} = \frac{1}{Z^+}; \quad a_{Tz} = \frac{q^T \cdot (q - 1)}{q^T - 1}$$

kde je:

q ... $1 + \text{diskont}$ [-]

8.1.3 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza je grafické, či číselné vyjádření změny NPV v závislosti na změně některého z faktorů, či změně více z faktorů ovlivňujících výpočet NPV. V případě této práce se citlivostní analýza týká především změny meziročního růstu, či poklesu cen energií (elektriny a plynu). Protože je vysoce nepravděpodobné, že v případě instalace solárních panelů se bude meziročně měnit náklon zemské osy, či intenzita slunečního záření, tato varianta není kalkulována.

Protože kritérium NPV neumí srovnávat investiční příležitosti s různou dobou životnosti, bude nutné pro tento případ převést citlivostní analýzu na kritérium RCF. To lze provést pomocí již uvedeného vzorce.

8.2 Zateplení

Zateplení rodinného domu představuje úsporu v podobě tepla, které není nutné domu dodat na jeho vytopení, čímž představuje úsporu peněží, jejíž velikost závisí na použitém zdroji pro vytápění a jednotkové ceně tepla. Z internetového kalkulátoru firmy econtainers činí cena zateplení na 1 m^2 1140 Kč. Při celkové ploše fasády 450 m^2 pak činí cena zateplení 513000 Kč. Průměrná životnost zateplení je 25 - 30 let, přičemž pro ekonomické výpočty se používá hodnota 25 let. Zateplení nevyžaduje žádný servis, ani pravidelnou údržbu. Proto lze RCF takového projektu vypočítat přímo z velikosti počáteční investice a poměrné anuity.

$$RCF_{z-fasada} = -513000 \cdot \frac{1.035^{25} \cdot 0.035}{1.035^{25} - 1} = -31139 \quad [CZK]$$

Zateplení střechy polystyrenem o tloušťce 100mm lze vypočítat ze zateplené plochy, ceny zateplení za jednotkový metr čtvereční a cenu montáže. Z internetového kalkulátoru výše jmenované firmy byla získána cena 37627. Cena za montáž byla odhadnuta na 10000 Kč. Životnost vzhledem k nevystavení polystyrenu atmosférickým podmínkám činí 30 let. RCF takového projektu poté činí:

$$RCF_{z-strecha} = -47627 \cdot \frac{1.035^{30} \cdot 0.035}{1.035^{30} - 1} = -2589 \quad [CZK]$$

Při kombinaci obou zateplení je dosažitelná hodnota tepelných ztrát 10.77 kW. A nutných 166.13 GJ energie na vytápění zateplení snížilo na hodnotu 71.79 GJ, což je 19.94 MWh.

8.3 Střešní solární elektrárna

Jak již bylo určeno, solární elektrárna by teoreticky dodávala ročně 7.281 MWh energie při ploše solárních panelů 22 m^2 . Solární systémy na klíč dodává firma bohemia civil engineering. Konkrétní produkt nese název Fotovoltaická elektrárna 5,4 kWp + bateriové úložiště 10,65 kW. Obsahuje 12ks solárních panelů MÜNCHEN SOLAR 450 W, Střídač GoodWe GW10K-ET Series a baterový systém PylonTech 10,65 kWh. Cena takového systému činí 398000 Kč, přičemž předpokládaná životnost systému je 15 let. RCF takového projektu pak činí:

$$RCF_{panely} = -398000 \cdot \frac{1.035^{15} \cdot 0.035}{1.035^{15} - 1} = -34558 \quad [CZK]$$

Při získání dotace z programu nová zelená úspora pak RCF činí:

$$RCF_{panely,dotace} = -199000 \cdot \frac{1.035^{15} \cdot 0.035}{1.035^{15} - 1} = -17279 \quad [CZK]$$

Společnost nabízející solární systémy na klíč také vyřizuje dotaci. První záloha na celý systém je placena až po schválení dotace. Jiné firmy například nabízejí i variantu, při které když zákazník dotaci nezíská, firma mu ji zaplatí. Prakticky se tedy nedá počítat s případem, kdy by na systém dotace získána nebyla.

8.4 Kondenzační kotel, bojler

Tato varianta je nejméně invazivní vůči stávajícímu systému zásobování teplem. Elektrický bojler je nicméně již zastaralého typu a jeho odhadovaná životnost je zhruba 1 rok. V případě této varianty je tedy nutné počítat i s budoucí výměnou bojleru.

Pro tuto variantu byl vybrán kondenzační kotel BUDERUS GB122i-24 T H o výkonu 24kW, výkonové modulaci 3.4 - 25 kW, Normovaným stupněm využití 109%, integrovaným oběhovým čerpadlem a trojcestným ventilem. Cena kotle činí 37171 Kč, včetně DPH. Ke je nutné zakoupit i příslušný regulátor za 3311 Kč. Další nutnou investicí je zavedení plynového potrubí do prostorů kotelny, což zahrnuje výkopové práce, jádrové vrtání a pokládku plynového potrubí. Odhadovaná velikost této investice je 15000 Kč. Kotel musí připojit autorizovaná firma, která ihned po připojení provede funkční zkoušku zařízení a revizi kotle. Cena instalace kotle je v tomto případě 7300 Kč, cena revize pak 2000 Kč. Ta se musí provádět každý rok.

Pro ohřev vody byl v této variantě vybrán bojler Dražice OKC 200 o objemu 195 litrů a příkonu 2.2 kW. Bojler je vybaven keramickým topným tělesem. Instalace bojleru nemusí být prováděna certifikovanou firmou, a proto nebudou náklady na jeho instalaci započítány. Cena bojleru činí 10500 Kč, včetně DPH.

Pro různé kombinace zateplení a solárního systému se rodinný dům nachází v různých kategoriích odběru plynu a elektřiny. Proto byla vždy pro každou variantu odečtena správná cena z ceníku dodavatele elektřiny a plynu.

Životnost obou zařízení je 15 let při dodržování doporučených servisních intervalů a pravidelné údržbě. Ekonomické ukazatele pro tuto variantu v různých kombinacích se zateplením a solárním systémem:

Varianta	RCF
Bez solárního systému, nezatepleno	-140 928.56 CZK
Zatepleno	-123 815.43 CZK
Solární systém	-142 708.77 CZK
Zatepleno, solární systém	-124 457.13 CZK

8.5 Kondenzační kotel s ohřevem vody

Pro tuto variantu zásobování energií byl vybrán kondenzační kotel Buderus Logamax Plus GB172-24 T50 s integrovaným 48l zásobníkem na teplou vodu a možností podpory vytápění, či ohřevu vody pomocí solární energie (zakoupením přídatného modulu). Vstupní investice je oproti předchozí variantě oprostěna o cenu elektrického bojleru, nicméně cena kotle je vyšší (56725). V této variantě hraje velkou roli změna tarifu elektřiny, protože upuštěním od elektrického ohřevu vody se spotřebitel přesouvá z tarifu akumulace do tarifu standard. Snižují se měsíční platby, ale zvyšuje se platba za odebranou MWh. Životnost tohoto projektu je počítána 15 let, diskont je uvažován díky vysoké inflaci v aktuálním období jako 3.5%. Celkové teplo, které je nutné dodat do soustavy je navýšeno o teplo potřebné k ohřevu teplé vody. Ekonomické ukazatele pro tuto variantu v různých kombinacích se zateplením a solárním systémem:

Varianta	RCF
Bez solárního systému, nezatepleno	-122 221.42 CZK
Zatepleno	-104 290.81 CZK
Solární systém	-124 263.40 CZK
Zatepleno, solární systém	-105 787.19 CZK

Ekonomické ukazatele této varianty odrážejí skutečnost, že používání plynu pro vytápění je i při aktuální vypjaté energetické situaci výhodnější, než používání elektřiny.

8.6 Tepelné čerpadlo

U této varianty budou hodnoceny pouze kombinace se zateplením a se zateplením a solárním systémem. Tepelná čerpadla pro rodinné domy jsou dodávána obvykle ve výkonech odpovídajícím ztrátovým výkonům pro nízkoenergetické a pasivní stavby. Tepelná čerpadla s výkonem vyšším jsou poté neúměrně drahá a neekonomická. Pro tento způsob zásobování energií bylo vybráno tepelné čerpadlo TNG - Air o výkonu 15 kW s možností ohřevu teplé vody. Cena této varianty včetně montáže činí 250 000 Kč, přičemž firma nabízí i proces požádání o dotaci, která by v tomto případě činila 100 000 Kč. Pro tuto variantu by bylo nutné upravit hodnotu hlavního jističe i přívodní vodiče do domu. Odhadovaná výše této investice je 15000 Kč. Životnost systému je předpokládána 15%, diskont 3.5 %. Dle ceníku firmy EON na rok 2022, hodnoty hlavního jističe 50A a topného faktoru 2.5 lze vypočítat následující ekonomické ukazatele:

Varianta	RCF
Zatepleno	-119 100.17 CZK
Zatepleno, solární systém	-123 855.13 CZK

8.7 Kotel na pelety

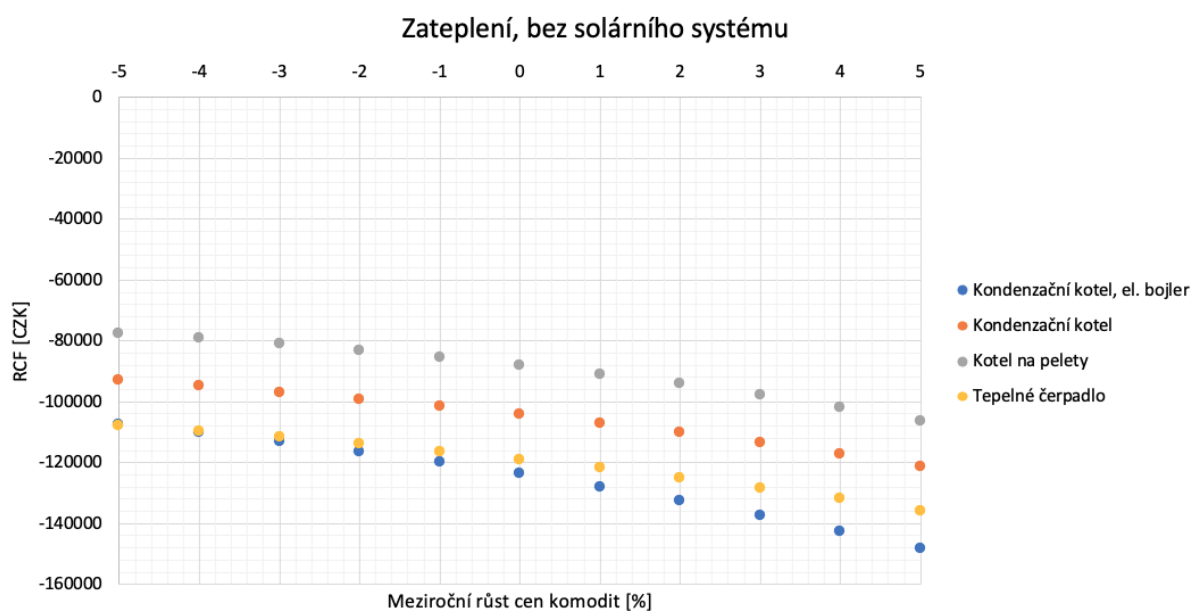
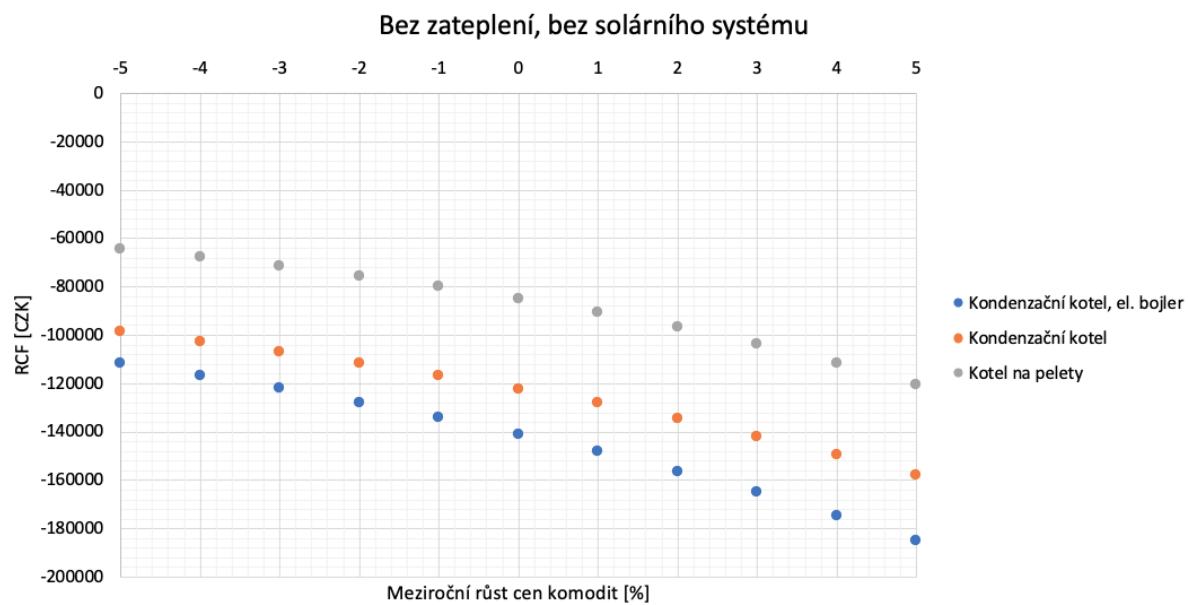
Pro tuto variantu vytápění bude nutné upravit prostor kotelny tak, aby se z aktuálního skladu uhlí stal sklad na pelety, který bude možno zásobovat foukanými peletami. To vyžaduje zednické práce v podobě postavení přičky mezi skladem uhlí (nečistou částí kotelny) a čistou částí kotelny. Odhadovaná výše této investice je 7000 Kč. Jako vhodný kotel na pelety byl vybrán kotel ATMOS D 20 P s cenou 72 000 Kč. Nutné příslušenství ke kotli jsou akumulární nádrž na teplou vodu v ceně 20 000 Kč a automatický podavač pelet v ceně 15 000 Kč. Cena instalace kotle je odhadnuta na 15 000 Kč, což zahrnuje nutné úpravy a likvidaci dosavadního kotle. Životnost kotle na pelety je uváděna minimálně 20 let. Cena pelet 5400 Kč/t od místního dodavatele vč. dopravy a DPH. Pelety nesou certifikaci ENplus A1, což zajišťuje jejich výhřevnost minimálně 16 MJ/kg. Integrovaný zásobník vody podporuje možnost ohřevu vody pomocí solárního systému. Ekonomické ukazatele pro tuto variantu vytápění jsou:

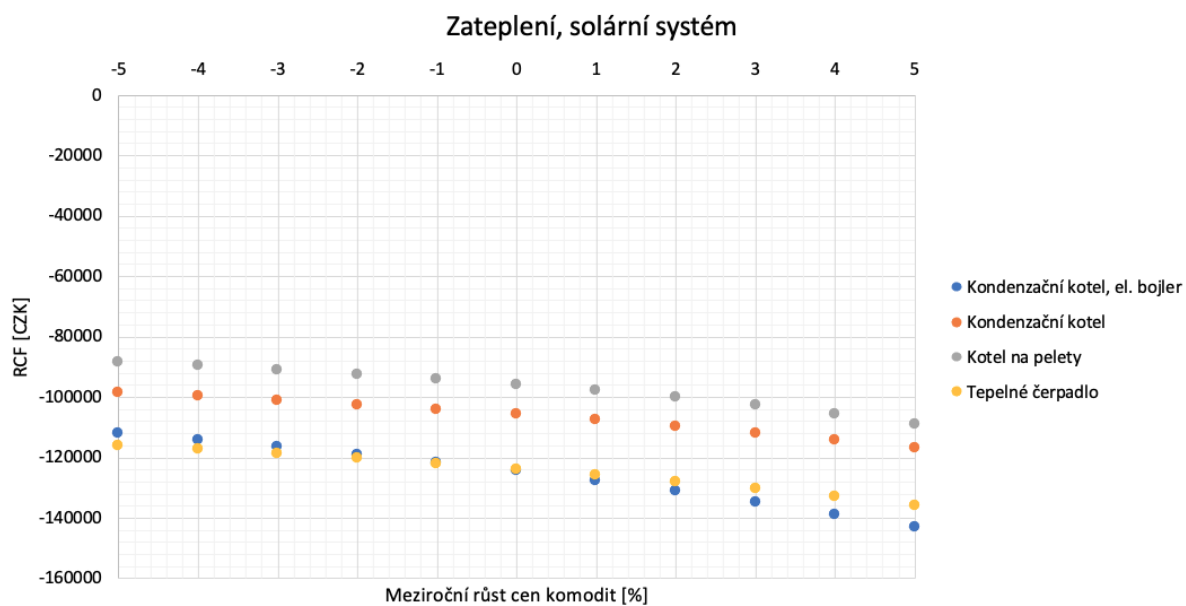
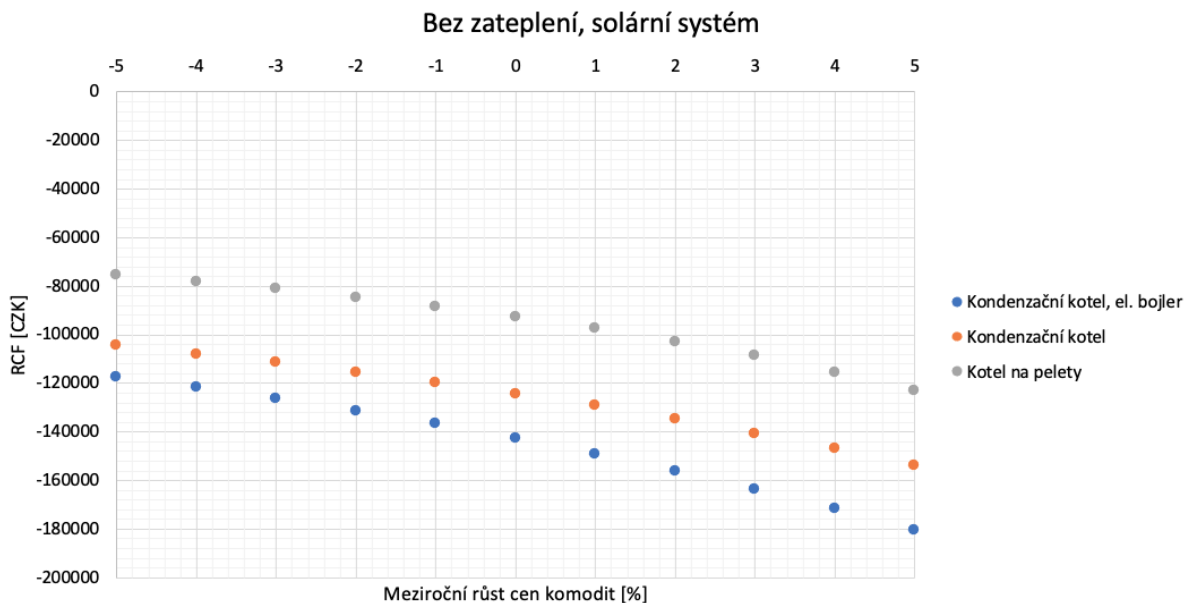
Varianta	RCF
Bez solárního systému, nezatepleno	-84 969.69 CZK
Zatepleno	-88 095.07 CZK
Solární systém	-92 710.26 CZK
Zatepleno, solární systém	-95 835.64 CZK

Takto vysoká hodnota RCF nastala z důvodu vysoké životnosti tohoto způsobu vytápění oproti ostatním způsobům. Zajímavostí na této variantě je, že zateplení domu zvýší celkové RCF projektu. To je patrně zapříčiněno tím, že pelety jsou tak levné, že je výhodnější více topit, než zateplit.

8.8 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza postihuje skutečnosti zvýšení, případně snížení cen za plyn, elektřinu a pelety. V tomto případě se bude jednat o reakci dané varianty vytápění na lineární meziroční změnu cen za danou komoditu, což aproximuje odhad vývoje situace na energetickém trhu.





Výsledky citlivostní analýzy poukazují na reakci jednotlivých řešení zásobování objektu energií na změny ceny komodit. Nejlépe na meziroční změnu cen reaguje tepelné čerpadlo ve spojení se zateplením a solárním systémem, který podporuje vytápění a celkovou spotřebu elektřiny v domě. Jedná se však o řešení s vyššími pořizovacími náklady, tudíž s vyšším RCF. Jako nejlevnější řešení zásobování energií se jeví kotel na dřevěné pelety. Jako nejvhodnější řešení se jeví kotel na pelety v kombinaci se zateplením, protože dle citlivostní analýzy se toto řešení chová cenově příznivě i při vysokém meziročním růstu cen pelet.

9 Závěr

V této práci byla charakterizována spotřeba energie v rodinném domě a zhodnocena aktuální varianta zásobování energií. Byly určeny požadavky na otopnou soustavu a ohřev teplé vody dle normy ČSN EN 12831.

Byly popsány a teoreticky vysvětleny možné způsoby zásobování energií a jejich podpůrné systémy. Jedná se o kombinaci plynového kondenzačního kotle a elektrického bojleru, plynového kondenzačního kotle, tepelného čerpadla a kotle na dřevěné pelety (biomasu). S dotací bylo kalkulováno pouze v případě, že dodavatel vyřizuje a garantuje celou výši dotace.

Byly provedeny výpočty tepelného ztrátového výkonu při různých variantách zateplení a byla vybrána ta nejvhodnější z nich - zateplení pomocí bílého EPS o tloušťce 100mm. Byla vypočítána množství tepla potřebná k ohřevu vody a vytápění při různých variantách zateplení nutná pro vyhodnocení ekonomicky nejefektivnější varianty vytápění.

Doporučení pro majitele nemovitosti vyplývající z výsledků výpočtů ekonomicky nejefektivnější varianty zásobování energiemi je zateplení fasády a střechy objektu EPS o tloušťce 100 mm a nainstalování kotle na pelety s akumulací nádrží na teplou vodu. Toto řešení se jeví jako nejlevnější a nejstabilnější v případě zvýšení nebo snížení cen za jednotkové množství paliva, v tomto případě dřevěných pelet.

Reference

- [1] PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. Bratislava: Jaga, 2005. Vytápění. ISBN 80-807-6020-9
- [2] Projekční podklady a pomůcky [online]. [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=2>
- [3] Výňatek z normy ČSN EN 12831 [online]. [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/tz21/prednasky/tz21-02.pdf>
- [4] Pelety Jan Pastorek [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: www.pelety.cz
- [5] Tepelná čerpadla [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: www.tepelnacerpadlaprolidi.cz
- [6] Zemní plyn - spalné teplo a další vlastnosti [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1963-spalovaci-vlastnosti-zp-i>
- [7] Tepelná čerpadla [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>