



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Optimální zásobování rodinného domu energií

Optimal energy supply of family house

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Vastl, CSc.

Matěj Štěpánek
Praha, 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štěpánek** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **466153**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimální zásobování rodinného domu energií

Název bakalářské práce anglicky:

Optimal energy supply of family house

Pokyny pro vypracování:

- volba modelového rodinného domu, - energetická bilance spotřeby energie v rodinném domě, - návrh variant zásobování, - náklady jednotlivých variant zásobování, - výběr optimální varianty

Seznam doporučené literatury:

1. Kislíngová E. a kol: Manažerské finance, Beck 2007, 2.vydání
2. Murtinger K.: Úsporný rodinný dům. GRADA Publishing.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jaromír Vastl, CSc., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.01.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

doc. Ing. Jaromír Vastl, CSc.
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

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 20. 5. 2019

.....

Matěj Štěpánek

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu této bakalářské práce, Doc. Ing. Jaromíru Vastlovi, CSc., za cenné rady, věcné připomínky, ochotu a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá výběrem zdroje energie pro rodinný dům. Práce má dvě hlavní části, teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou uvedeny formy energie v rodinném domě, energetická bilance rodinného domu, tepelné ztráty a izolace objektu. V praktické části je z energetického hlediska popsán konkrétní rodinný dům v Roztokách u Prahy a jsou k němu navrženy tři možné varianty energetických úspor. Dále praktická část obsahuje ekonomické zhodnocení navržených variant. Na základě ekonomického hodnocení je vybrána optimální varianta zásobování energií rodinného domu a popsány její hlavní přednosti a nevýhody.

Klíčová slova

Ekonomické hodnocení, úspora energie, tepelné ztráty objektu, energetické zásobování, rodinný dům

Abstract

This bachelor thesis deals with the choice of an energy source for a family house. The thesis consists of two main parts, the theoretical and the practical part. In the theoretical part there are presented forms of energy in a family house, energy balance of a family house and heat loss and insulation of an object. The practical part describes a specific family house in Roztoky u Prahy from the energy point of view and proposes three possible variants of energy savings are proposed. The practical part also contains an economic evaluation of the proposed variants. Based on economic evaluation, the optimal variant of the energy supply of the family house is chosen and its main advantages and disadvantages are described.

Key words

Economic evaluation, energy saving, building heat loss, energy supply, family house

Obsah

1. Úvod	3
2. Formy energie v rodinném domě	4
2.1. Průkaz energetické náročnosti budovy	4
2.2. Paliva v rodinném domě.....	6
2.3. Dřevo a biomasa	8
3. Tepelné ztráty objektu	10
3.1. Výpočet tepelných ztrát	10
3.1.1. Tepelná ztráta prostupem stěnami	10
3.1.2. Tepelná ztráta větráním	13
3.1.3. Tepelné zisky.....	13
3.2. Izolace objektu.....	14
3.2.1. Vnější zateplení	15
3.2.2. Vnitřní zateplení	15
3.2.3. Kontaktní zateplení.....	15
3.2.4. Zateplení s odvětranou mezerou	16
4. Varianty vytápění	17
4.1. Kamna na tuhá paliva.....	17
4.2. Elektrický přímotop.....	17
4.3. Ústřední vytápění – teplovzdušné	18
4.4. Ústřední vytápění – teplovodní	18
5. Popis rodinného domu	18
5.1. Součinitel prostupu tepla stěnou	22
6. Návrh izolace	24

7. Výpočet spotřeby tepla	25
7.1. Výpočet potřeby tepla na vytápění	25
7.2. Spotřeba tepla na ohřev vody	27
7.3. Celková spotřeba energie	28
8. Zdroj energie	28
8.1. Varianta 1: Zásobování elektřinou.....	29
8.2. Varianta 2: Topení peletami.....	29
8.3. Varianta 3: Topení dřevem	30
9. Ekonomické zhodnocení variant	31
9.1. RCF izolace	33
9.2. RCF Varianty elektřina	34
9.3. RCF Varianty kamna na pelety	35
9.4. RCF Varianty kamna na dřevo	36
9.5. Výběr varianty	36
Závěr:	37
Zdroje:	39
Seznam tabulek a grafů:.....	41
Seznam obrázků:.....	42
Přílohy:	42

1. Úvod

Úspora energie je dnes často probírané téma. Snížit náklady na energii se společnost snaží ve všech odvětvích, ať už se jedná o výrobu, provoz nebo například domácnost. Na trhu se nachází nepřeberné množství zdrojů energie pro rodinný dům, z nichž některé jsou ekologicky šetrnější, některé ekonomicky výhodnější a jiné zase mají výhodu v přidaném pohodlí. V této práci popíšu možné zdroje energie pro rodinný dům, jaké mají výhody a podle čeho je vybírat. Cílem práce bude navrhnout optimální zdroj energie pro konkrétní rodinný dům.

V teoretické části bakalářské práce se nejprve věnuji energetické bilanci rodinného domu. Vysvětluji zde využití různých forem energií v rodinném domě, popisuji průkaz energetické náročnosti budovy a uvádím, co z něj lze vyčíst, jak se sestavuje a počítá. Dále se věnuji tepelným ztrátám objektu a jejich snížením pomocí izolace a také palivům v rodinném domě, kde se zaměřuji především na dřevo a biomasu.

V praktické části bakalářské práce popisuji konkrétní rodinný dům, návrh jeho izolace a výpočet energetických nároků bez izolace a s izolací. Dále představuji několik variant zásobování daného rodinného domu energií, které se odvíjí od polohy domu a finančních možností majitele. V poslední části své bakalářské práce ekonomicky zhodnocuji jednotlivé varianty a vybírám z nich tu optimální. Cílem bakalářské práce je ukázat jednotlivé kroky výběru optimální varianty zásobování energií nejenom pro konkrétní objekt, který v práci popisuji, ale i částečnou metodiku, dle které bude v budoucnu možné vybrat optimální řešení pro libovolný rodinný dům.

2. Formy energie v rodinném domě

2.1. Průkaz energetické náročnosti budovy

Energetická bilance zkoumá spotřebu domu a porovnává ji se zásobováním daného domu energií. Dobře je energetická bilance domu poznat z průkazu energetické náročnosti budovy^[1] (dále jen PENB), kterým je dle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií stavebník, vlastník budovy, nebo společenství vlastníků jednotek povinno doložit splnění požadavků na energetickou náročnost budovy. Průkaz energetické náročnosti budovy může dle zákona vydat pouze energetický specialista, kterého ke zpracování průkazu opravňuje Ministerstvo průmyslu a obchodu. Součástí PENB je soupis veškerých energií, které lze ovlivnit stavebním provedením budovy. Příkladem takových energetických výdajů může být převážně vytápění a chlazení objektu a ohřev vody. PENB se dle zákona musí doložit vždy, když majitel budovu nebo její část pronajímá, nebo prodává. Díky tomu jsou nájemce a kupující informováni o energetické náročnosti budovy a energetická třída budovy se tak promítne do její ceny na trhu.

Jak můžeme vidět na obrázku 1, průkaz energetické náročnosti budovy obsahuje:

- 1) Adresa a typ budovy
- 2) Plocha obálky budovy
 - Plochou obálky budovy je myšlen součet veškerých ploch, kterými z budovy uniká teplo. Jedná se tedy o součet podlahy, střechy, oken a vnějších stěn.
- 3) Objemový faktor tvaru A/V
 - Objemový faktor tvaru A/V popisuje poměr vnějších ploch k celkovému objemu budovy. Čím je tento faktor menší, tím je budova kompaktnější a tím lépe lze zabránit úniku tepla z budovy do okolí a pomoci tak udržení teploty v budově. Tento faktor lze ovlivnit pouze u plánovaných budov, a to v jejich architektonickém návrhu. Běžně se hodnota faktoru pohybuje od 0,2 pro kompaktní budovu až do zhruba 1,2 pro budovu nekompaktní.
 - Objemový faktor tvaru A/V = Celková vnější plocha budovy [m²] / Celkový objem budovy [m³]
- 4) Celková energetická vztažná plocha
 - Celková energetická vztažná plocha popisuje celkovou plochu jednotlivých podlaží využívající energii domu. Měří se k vnějším okrajům jednotlivých podlaží.

- Celková energetická vztažná plocha je velmi důležitým údajem PENB, neboť všechny následující měrné hodnoty se udávají na jeden metr čtvereční energeticky vztažné plochy.

5) Celková dodaná energie

- Jedná se o součet veškeré energie dodané do budovy. Obsahuje elektrickou energii, plyn, teplo, sluneční záření (v případě využití solárních panelů) a pevná paliva. Vždy se k určení celkové dodané energie užívá celkové množství energie obsažené v palivu a slunečním záření před jeho spálením, respektive pohlcením na solárních panelech.

6) Neobnovitelná primární energie

- Zde se popisuje vliv budovy na životní prostředí. Pro její výpočet jsou důležité především zdroje energie užívané v budově. Při užívání elektřiny se jako hodnota neobnovitelné primární energie bere několikanásobek užité elektrické energie, neboť je potřeba zohlednit účinnost elektráren, která nikdy není 100 %. Při využití energie z obnovitelných zdrojů, jako je například využití slunečního záření v případě fotovoltaiky je neobnovitelná primární energie nulová, neboť fotovoltaické panely při svém fungování nespotřebovávají žádné neobnovitelné zdroje energie.

7) Černou šipkou s bílými křížky se označuje současný stav budovy a bílou šipkou označenou „Dop.“ se označuje stav, kterého lze dosáhnout navrženými energetickými úpravami domu. Budovy se řadí do několika skupin označených písmeny A-G, kde A je skupina energeticky nejméně náročná a G je skupina budov nejméně energeticky úsporná. Vhodnými úpravami se budova může dostat ze stávající skupiny do skupiny energeticky úspornější.

8) Dále se na PENB nachází kruhový graf znázorňující podíl jednotlivých energonositelů (elektřina ze sítě, fotovoltaika, plyn a další) na celkové dodané energii (část 5)), rozdělení energetické náročnosti budovy mezi jednotlivé technické systémy budovy (obálka budovy, vytápění, chlazení a další) a údaje o zpracovateli průkazu.

Obrázek 1 – Průkaz energetické náročnosti budovy. Zdroj: Informační leták k průkazu energetické náročnosti budov^[42]

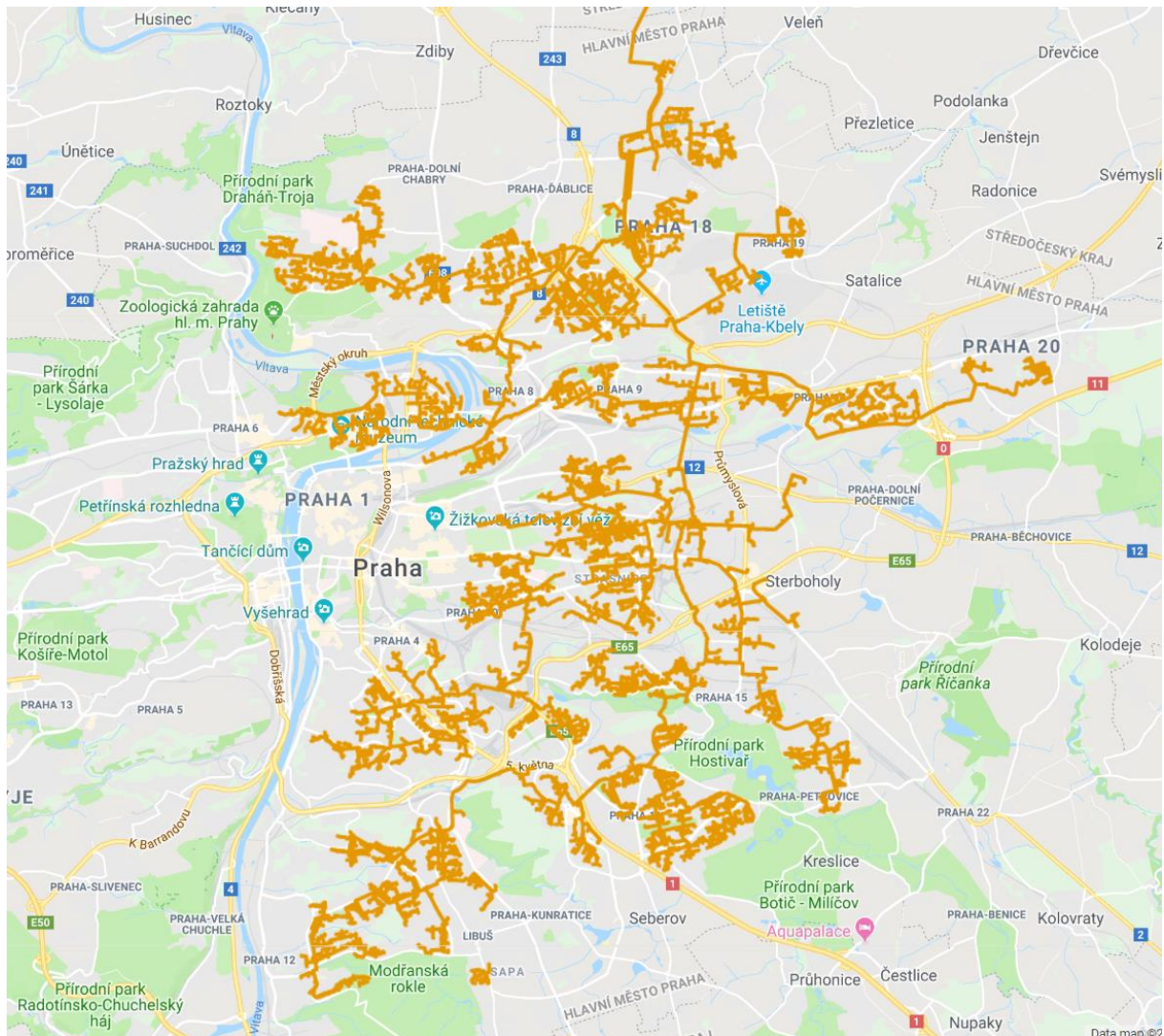
PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY		DOPORUČENÁ OPATŘENÍ		PODÍL ENERGOONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII																							
<p>vytvářený podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodáření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov</p> <p>Ulice, číslo: _____ PSČ, místo: _____ Typ budovy: _____ Plocha obálky budovy: _____ m² Objemový faktor tvaru A/V: _____ m³/m² Celková energeticky vztázná plocha: _____ m²</p> <p style="text-align: center;">FOTO</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Opatření pro</th> <th>Stanovena</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vnější stěny:</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Okna a dveře:</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Střechu:</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Podlahu:</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Vytápění:</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Chlazení/klimatizaci:</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Větrání:</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Přípravu teplé vody:</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Osvětlení:</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Jiné:</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </tbody> </table> <p><small>Průkaz poskytl za v průběhu průkazu a vyhodnocení jižních dopadů na energetickou náročnost je zohledněno šipkou</small></p>		Opatření pro	Stanovena	Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>	Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>	Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>	Podlahu:	<input type="checkbox"/>	Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>	Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>	Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>	Přípravu teplé vody:	<input checked="" type="checkbox"/>	Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>	Jiné:	<input type="checkbox"/>	<p>Hodnoty pro celou budovu MWh/rok</p> <p> ■ Elektrina ze sítě - XX,X ■ Slunce a en. prostředí - XX,X ■ Zemní plyn - XX,X </p>	
Opatření pro	Stanovena																										
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>																										
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>																										
Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>																										
Podlahu:	<input type="checkbox"/>																										
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>																										
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>																										
Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>																										
Přípravu teplé vody:	<input checked="" type="checkbox"/>																										
Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>																										
Jiné:	<input type="checkbox"/>																										
ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY																											
Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)			Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)																								
Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)																											
<p>Mimořádně úsporná A Dop. A</p> <p>Velmi úsporná B XXX B</p> <p>Úsporná C C</p> <p>Mírně úsporná D D</p> <p>Neúsporná E E</p> <p>Velmi neúsporná F F</p> <p>Mimořádně neúsporná G G</p>		<p>Hodnoty pro celou budovu MWh/rok</p> <p>XX,X XX,X</p>																									
UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY																											
Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení																					
U _{ext} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie					Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)																					
A	Dop.		Dop.																								
B																											
C	X,XX		XX																								
D																											
E			XX																								
F																											
G																											
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X																					
Zpracovatel: _____			Osvědčení č.: _____																								
Kontakt: _____			Vyhотовeno dne: _____																								
			Podpis: _____																								

2.2. Paliva v rodinném domě

Každý dům, stejně jako každý jeho uživatel, je jiný, a proto neexistuje univerzální optimální zdroj tepla. V případě Prahy je cena elektřiny i plynu všude stejná, v případě zbytku republiky se ceny elektřiny a plynu lehce mění, celkový rozdíl je ale téměř nezatelný. Cena elektřiny se odvíjí od sazby^[2], která je dána velikostí jističe, v případě plynu je cena dána sazbou odvíjející se od ročního odběru^[3].

Další možností vytápění rodinného domu je zásobování dálkovým teplem. Centrální zásobování teplem má řadu výhod, mezi něž patří krom ekologické šetrnosti (teplo je vyráběno centrálně a tím se snižuje počet malých lokálních kotelen a množství emisí z nich^[4]) i relativně nízké náklady v porovnání s ostatními možnostmi vytápění a možnost zastoupení zdroje paliva jiným zdrojem v případě nedostatku zdroje konkrétního paliva. Cena za CZT se liší jak podle umístění odběru, tak podle způsobu, jakým je teplo odebíráno^[5]. Jak můžeme vidět na obrázku 2, síť CZT vedoucí z Mělníka do Prahy pokrývá velkou měrou severní, východní i jižní část hlavního města, ale v západní části a středu Prahy se téměř nevyskytuje.

Obrázek 2 – Mapa sítě dálkového tepla Praha. Zdroj: Mapa sítě, odstávek a poruch, Pražská teplárenská^[45]

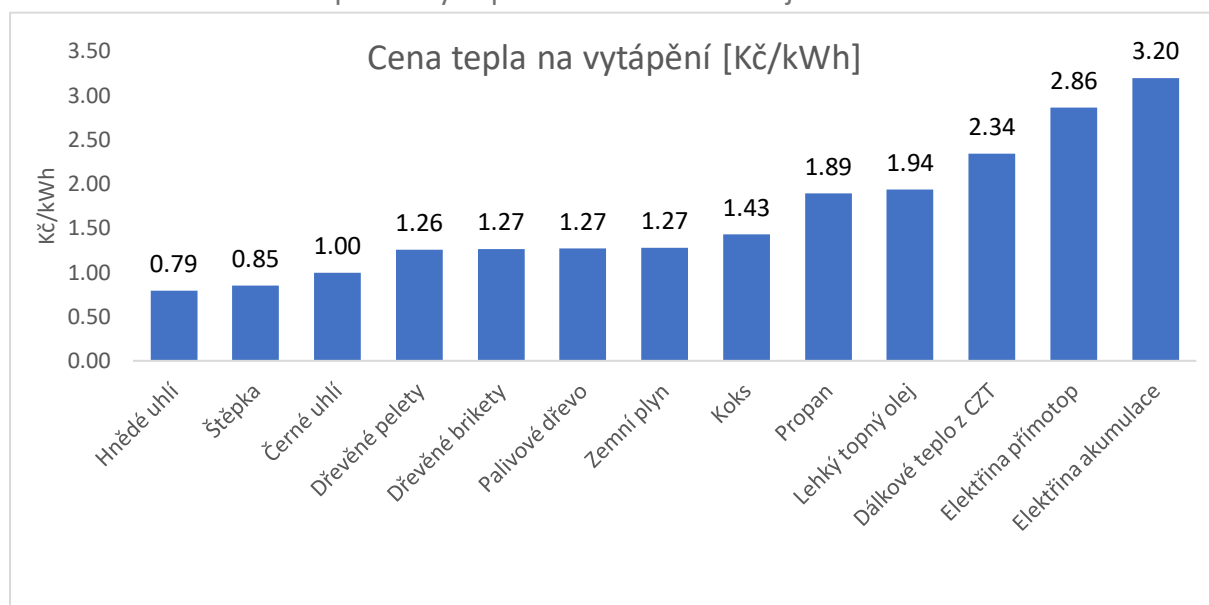


Tuhá paliva se cenově liší podle jednotlivých obchodníků, navíc je potřeba do nákladů na palivo započítat i účinnost kotle. V případě tuhých paliv bychom do jejich nákladů měli započítat i náklady typu dopravy, likvidace paliva a servis kotle. Následující tabulka a graf srovnávající ceny tepla jsou proto pouze orientační a slouží k alespoň základnímu cenovému rozdělení jednotlivých variant zásobování.

Tabulka 1 – Srovnání cen tepla v roce 2019. Zdroj: Vlastní tvorba^{[24][25]}

Druh paliva	Výhřevnost [MJ/kg]*	Cena paliva [Kč/kg]*	Stálé platby [Kč/měs.]	Cena tepla v palivu [Kč/GJ][Kč/kWh]	Využití paliva [%]	Konečná cena tepla [Kč/GJ][Kč/kWh]		
Hnědé uhlí	18.00	3.40		188.89	0.68	86%	220	0.79
Štěpka	12.5	2.5		200.00	0.72	85%	235	0.85
Černé uhlí	23.1	5.5		238.10	0.86	86%	277	1.00
Dřevěné pelety	17	5.4		317.65	1.14	91%	349	1.26
Dřevěné brikety	17.5	4.8		274.29	0.99	78%	352	1.27
Palivové dřevo	15	4.5		300.00	1.08	85%	353	1.27
Zemní plyn	38	1.28	259	355.56	1.28	102%	354	1.27
Koks	27.5	8.5		309.09	1.11	78%	396	1.43
Propan	46.6	25		536.48	1.93	102%	526	1.89
Lehký topný olej	42	21		500.00	1.80	93%	538	1.94
Dálkové teplo z CZT		650		650.00	2.34	100%	650	2.34
Elektrina přímotop	3.6	2.8	439	777.78	2.80	99%	795	2.86
Elektrina akumulace	3.6	3	520	833.33	3.00	95%	888	3.20

Graf 1 – Konečná cena tepla různých paliv v roce 2019. Zdroj: Vlastní tvorba



* Výhřevnost zemního plynu je udána v MJ/m³, u elektřiny je tento údaj v MJ/kWh. Cena paliva je pro dálkové teplo v Kč/GJ a u zemního plynu v Kč/kWh

2.3. Dřevo a biomasa

Spalování dřeva a biomasy^[6] je velmi jednoduchý, nijak drahý a technicky nenáročný způsob získávání tepla. Biomasa patří mezi základní obnovitelné zdroje energie, což ji činí výhodnou vůči řadě dalších forem energie. Samotné spalování biomasy nevede ke zvyšování oxidu uhličitého v atmosféře, protože se oxidu uhličitého uvolní pouze stejné množství, které do sebe rostliny během svého života z atmosféry stáhly. Nicméně v případě, že spalujeme biomasu, při její těžbě, či sklizni se používají stroje poháněné naftou, už do procesu využití biomasy nárůst oxidu uhličitého v atmosféře vstupuje.

Nízký obsah síry (oproti třeba hnědému uhlí se jedná o pouhý zlomek) a zanedbatelné množství těžkých kovů v biomase umožňuje její spalování bez vzniku velkého množství nežádoucích oxidů síry a jiných zdraví škodlivých plynů. V případě oxidů dusíku záleží jejich vznik na teplotě spalování, s rostoucí teplotou plamene roste i množství vzniklého oxidu dusíku.

Teoreticky lze k získávání energie spalovat jakoukoliv formu biomasy, v praxi ovšem záleží na míře vlhkosti, velikosti a formě biomasy a typu spalovacího zařízení. Dále musíme vzít v potaz i ekonomickou stránku spalování různých typů biomasy, kdy lze biomasu využít například k získání paliva pro automobily skrz lisování oleje z dané biomasy. Proto se nám ekonomicky nevyplatí spalovat semena olejnatých rostlin, přestože by to technicky možné bylo. Forem biomasy je celá řada a jen některé z nich se ke spalování hodí technicky i ekonomicky.

K vyhřívání rodinného domku biomasou se nám nejvíce hodí kusové dřevo. Pokud máme dům se zahradou, tak nám nedělá problém dřevo skladovat, a to i venku, dokud dřevu zajistíme možnost schnout, například vyskládáním polen do tvaru hranice. V případě skladování dřeva venku bychom měli co možná nejlépe zamezit jeho promoknutí a následnému navlhnutí. Lze topit i briketami, nebo peletkami lisovanými z rozdrčené a vysušené slámy, nebo z hoblin a pilin. V případě lisování malých peletek lze využít pásového dopravníku, který nám peletky do topidla sám dopravuje a dávkuje. Obsluha kotlů na pelety proto není náročná a výkon kotlů na peletky určených lze dobře regulovat.

Možnou nevýhodou biomasy je nutnost jejího sušení. S rostoucí vlhkostí prudce klesá výhřevnost, neboť část tepla se spotřebuje na vypaření vody v biomase obsažené. To se řeší necháním biomasy před jejím spalováním vyschnout. *„Všeobecně se doporučuje vlhkost pod 30 % a za optimální se považuje vlhkost do 20 %; té lze ještě dosáhnout běžným sušením pod přístřeškem.“* (MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: Vydavatelství ERA, 2006. ISBN 80-7366-071-7, str. 14). V případě některých lisovaných briket a peletek je potřeba dosáhnout úrovně vlhkosti nižší, než je 20 % a to se řeší především dodáním tepla.

Při spalování biomasy se zpravidla dostáváme k vysokým účinnostem kolem 70 %. Hoření biomasy je série mnoha chemických reakcí probíhajících za vysoké teploty a za přítomnosti kyslíku. Při dokonalém hoření je výsledným produktem oxid uhličitý, voda a teplo. V případě nedokonalého hoření vzniká mnoho dalších odpadních a často toxických látek. Biomasa má v porovnání s dalšími palivy velký podíl prchavých hořlavín (jak ukazuje následující tabulka). Tyto prchavé hořlaviny se nejdříve z paliva uvolní a následně vzplanou. Tím vzniká dlouhý plamen, typický právě pro hoření biomasy.

3. Tepelné ztráty objektu

V následující kapitole se budu věnovat výpočtu tepelných ztrát objektu. Řídit se budu normou ČSN EN 12831^[46].

3.1. Výpočet tepelných ztrát

Publikace Elektrotepelná technika uvádí, že celková tepelná ztráta místnosti Φ_c se rovná součtu tepelné ztráty prostupu stěnami Φ_s a tepelné ztráty větráním Φ_v snížené o trvalé tepelné zisky Φ_z

Tuto skutečnost můžeme vyjádřit rovnicí^[18]:

Rovnice 1 – Celková tepelná ztráta

$$\Phi_c = \Phi_s + \Phi_v - \Phi_z$$

3.1.1. Tepelná ztráta prostupem stěnami

Při počítání tepelné ztráty prostupu stěnami záleží na materiálu, ze kterého stěny jsou a na jeho tepelném odporu. Čím vyšší je tepelný odpor materiálu, tím lépe materiál brání prostupu tepla a tím lepší je izolant. Tepelný odpor materiálu [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je dán jeho tloušťkou a jeho tepelnou vodivostí. Vzorec pro výpočet tepelného odporu materiálu tedy dle ČSN EN ISO 6946 vypadá:

Rovnice 2 – Tepelný odpor

$$R = \frac{d}{\lambda},$$

kde písmeno d značí tloušťku materiálu v metrech a písmeno λ značí tepelnou vodivost materiálu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Většina konstrukcí se skládá z více vrstev, kdy vrstvy mohou být tvořeny různými materiály o různých tloušťkách a tepelně izolačních vlastnostech. Celkový tepelný odpor konstrukce R_k tudíž počítáme jako součet jednotlivých tepelných odporů jednotlivých vrstev R_i .

Rovnice 3 – Celková tepelný odpor

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_i$$

K tepelnému odporu konstrukce musíme připočíst i tepelný odpor přestupu mezi konstrukcí a vnitřním prostorem objektu R_{in} a konstrukcí a vnějším prostorem objektu R_{out} . Konečný výpočet tepelného odporu po zohlednění vnitřního a vnějšího přestupu tedy vypadá takto:

Rovnice 4 – Tepelný odpor se zohledněním přestupu

$$R_k = R_{in} + R_{out} + \sum_{i=1}^n R_i$$

Z tepelného odporu můžeme dále zjistit součinitel prostupu tepla konstrukce U , který je jednoduše převrácenou hodnotou tepelného odporu:

Rovnice 5 – Součinitel prostupu tepla

$$U = R_k^{-1}$$

a stejně jako tepelný odpor udává izolační vlastnosti konstrukce. Jednotkou součinitele prostupu tepla je $[m^2 \cdot K^{-1} \cdot W]$.

Měrná ztráta prostupem tepla stěny konstrukce H $[W \cdot K^{-1}]$ se dle ČSN 73 0540-4 spočte přes vzorec:

Rovnice 6 – Měrná ztráta prostupem tepla

$$H_s = S_s \cdot U_s \cdot b,$$

kde S značí plochu stěny v metrech čtverečních, U je už námi zmiňovaný součinitel prostupu tepla a b značí činitel teplotní redukce, který je bezrozměrný.

Měrné ztráty prostupem tepla celé budovy H_c jsou dány vztahem:

Rovnice 7 – Měrná ztráta prostupem tepla celé budovy

$$H_c = \sum_{i=1}^n H_i + A_c \cdot U_{tbm},$$

Kde suma značí součet všech vnějších stěn objektu a A_c je celková vnější plocha budovy v metrech čtverečních a U_{tbm} $[m^2 \cdot W \cdot K^{-1}]$ je průměrný vliv teplotních vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi.

Tepelná ztráta prostupem stěnami je tedy dána výpočtem:

Rovnice 8 – Tepelná ztráta prostupem stěnami

$$\Phi_s = H_c \cdot \Delta t,$$

kde Δt značí rozdíl v teplotách vnějšího a vnitřního prostoru v Kelvinech a je dána rovnicí 9.

Rovnice 9 – Rozdíl v teplotách

$$\Delta t = t_{in} - t_{out}$$

Dle stejné normy ČSN 73 0540-4 se určí průměrný součinitel prostupu tepla jako poměr celkové měrné ztráty prostupem tepla objektu H_c a celkové vnější plochy objektu A_c . Vzorec pro určení průměrného součinitele prostupu tepla tedy vypadá:

Rovnice 10 – Průměrný součinitel prostupu tepla

$$U_{av} = \frac{H_c}{A_c}$$

Průměrný součinitel prostupu tepla uvádí průměrnou hodnotu ztraceného výkonu na vnější stěnu plochy 1 m^2 a na teplotní rozdíl vnitřní a vnější části objektu 1 K .

Takto získanou hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla poté můžeme porovnat s hodnotou průměrného součinitele prostupu tepla referenční budovy, kterou máme danou v průřezu energetické náročnosti budovy. Průměrný součinitel prostupu tepla by měl mít menší, nebo stejnou hodnotu jako má referenční budova. V tabulce 2 můžeme vidět několik orientačních hodnot pro součinitel prostupu tepla různých konstrukcí.

Tabulka 2 - Normové hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Zdroj: ČSN 73 0540-2^[46]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]		
	Požadované hodnoty U_{av}	Doporučené hodnoty U_{rec}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U_{pas}
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,5

3.1.2. Tepelná ztráta větráním

Výpočet tepelné ztráty větráním má dle ČSN EN ISO 13789 následující vzorec:

Rovnice 11 – Tepelná ztráta větráním

$$\Phi_v = H_v \cdot \Delta t,$$

kde Δt opět značí rozdíl v teplotách vnějšího a vnitřního prostoru v Kelvinech a je dán rovnicí 9:

Rovnice 9 – Rozdíl v teplotách

$$\Delta t = t_{in} - t_{out}$$

a H_v se nazývá měrným tepelným tokem větrání a počítá se jako:

Rovnice 12 – Měrný tepelný tok větrání

$$H_v = V_v \cdot \rho_v \cdot c_v \cdot l_v,$$

kde V_v značí objem vzduchu v místnosti [m^3], ρ_v popisuje hustotu vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$], c_v jeho měrnou tepelnou kapacitu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] a l_v průměrnou intenzitu přirozeného větrání [$l \cdot s^{-1}$]. Řada domů dnes z hygienických důvodů větrá systémy s nuceným oběhem vzduchu.

3.1.3. Tepelné zisky

Za tepelné zisky objektu považujeme všechny tepelné zisky, které nejsou z otopné soustavy. Rozdělujeme je na vnitřní a vnější, kdy mezi vnitřní tepelné zisky počítáme tepelné zisky z osvětlení, elektrospotřebičů a obyvatel a mezi vnější tepelné zisky počítáme v praxi pouze solární tepelné zisky, které se odvíjejí od polohy objektu, jeho natočení ve vztahu ke slunci a materiálech, ze kterých je objekt postavený. Norma ČSN EN ISO 13790 udává tepelné zisky následovně:

Rovnice 13 – Tepelné solární zisky

$$\Phi_{sol} = A_{sol} \cdot C_{sol} \cdot M_{sol} - C_{ob} \cdot \Phi_{ob},$$

kde Φ_{sol} značí tepelné solární zisky [W], A_{sol} je prosklená plocha [m^2], C_{sol} je bezrozměrný korekční činitel daný množstvím, velikostí a polohou vnějších překážek bránících dopadu přímých slunečních paprsků na prosklenou plochu, M_{sol} je průměrná intenzita slunečního záření na danou prosklenou plochu [$W \cdot m^{-2}$], C_{ob} je faktor popisující průběh oslavení mezi danou prosklenou plochou a oblohou a Φ_{ob} je tepelný tok [W] způsobený v důsledku tohoto sálání.

Tepelné zisky z obyvatel objektu Φ_{ob} [W] jsou dle normy TNI 73 0330 dány jako:

Rovnice 14 – Tepelné zisky z obyvatel

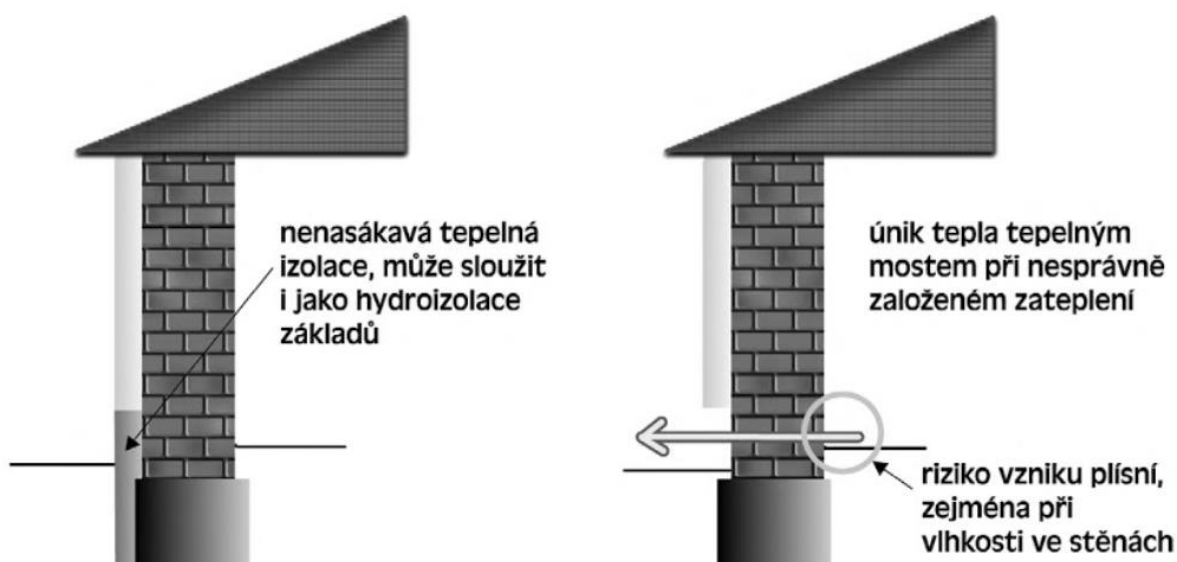
$$\Phi_{ob} = b \cdot 0,7 \cdot 100,$$

kdy b je počet osob žijících v objektu, 0,7 je koeficient popisující přítomnost obyvatel objektu a koeficient 100 zastupuje 100 W jako tepelný zisk objektu na jednoho obyvatele dle normy TNI 73 0330.

3.2. Izolace objektu

Zateplováním domu se rozumí přidání dodatečné izolace při úpravě fasády domu, nebo jeho střechy. Jak uvádějí K. Srdečný a F. Macholda v publikaci Úspory energie v domě (2004, s. 23)^[47], základní rozdělení zateplení je rozdělení na kontaktní zateplení a zateplení s odvětranou mezerou. Jak zateplení kontaktní, tak zateplení s odvětranou mezerou mohou být provedena jako zateplení vnitřní i jako zateplení vnější. Zateplovat musíme i nad rámec prostorů, které vytápíme. Musíme konstrukci ošetřit i nad úroveň stropů a pod úroveň podlahy, aby nám nikde nevznikaly tepelné mosty, jak můžeme vidět na obrázku 3. Stejně tak se doporučuje ošetřit okraje oken a dveří.

Obrázek 3 – Riziko chybného zateplení stěny nad terénem. Zdroj: Úspory energie v domě^[47]



3.2.1. Vnější zateplení

Vnější zateplení^[7] je nejvhodnějším zateplením pro většinu budov, zvláště pak pro panelové domy. Na rozdíl od ostatních typů zateplení, vnější zateplení chrání konstrukci jak v zimě před mrazem, tak po zbytek roku před příliš velkým žářem. Vnější zateplení pomáhá prodloužit životnost konstrukce díky snížení namáhání dilatací a díky přidané ochraně ocelových spojovacích prvků před korozi způsobenou větrem. Při přípravě vnějšího zateplení bychom si měli dát pozor, aby zateplení nenapomáhalo kondenzaci a zadržování vody v konstrukci, protože voda v konstrukci urychluje korozi ocelových prvků. Velkou výhodou vnějšího zateplení je odstranění tepelných mostů mezi sousedními panely domu a tepelných mostů způsobených okny v konstrukci a ochrana zdiva proti výkyvům teplot.

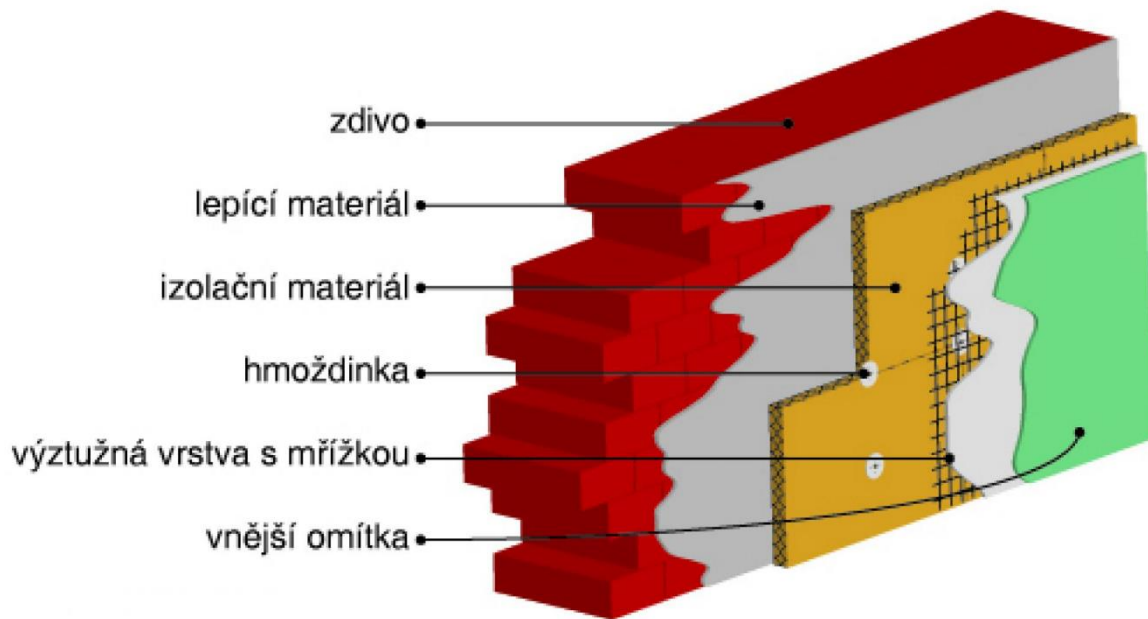
3.2.2. Vnitřní zateplení

Publikace Úspory energie v domě popisuje na straně 24 vnitřní zateplení objektu jako vybudování nové vnitřní stěny s izolací v meziprostoru, omítnutí speciální omítkou, nebo přizdění stávající zdi tepelně izolačním materiálem. Tento způsob zateplení se zpravidla používá v případech, kdy vnější zateplení objektu není vhodné, například kvůli historické fasádě domu. Vnitřní zateplení s sebou ale nese spoustu rizik. Kvůli tloušťce vnitřního zateplení, kdy se běžně používá izolace široká 15 -20 cm^[8], musíme myslet i na snížení plochy vnitřního prostoru místností. Vnitřním zateplením také nemůžeme ošetřit podlahu a strop, a tudíž je celková izolace objektu výrazně snížena tepelnými mosty mezi konstrukcí podlahy, stropu a vnější stěnou. Vnější stěna je navíc izolována od vnitřního zdroje tepla a tím se stává mnohem chladnější. V místech kontaktu podlahy a stropu s vnější obvodovou stěnou jsou vnitřní konstrukce silně ochlazovány a může docházet i k výskytu plísně. Největší nebezpečí přináší kondenzace vody v chladné zóně mezi původní stěnou a novou izolací, která může způsobit narušení stability domu a poškození dřevěných částí konstrukce.^[9]

3.2.3. Kontaktní zateplení

Při izolaci objektu kontaktním zateplením je izolant připevněn k fasádě budovy hmoždinkami^[10]. Za materiál izolantu se nejčastěji volí polystyren, tuhé desky z minerálních vláken, jejichž požáruvzdornost^[11] je velkou výhodou kvůli bezpečnosti, a korkové desky. Dále, jak můžeme vidět na obrázku 4, se na izolant nanáší další vrstvy, jako je štěrková omítko se ztužující sítíčkou. Krom nízkých pořizovacích nákladů je výhodou kontaktního zateplení i eliminace tepelných mostů v objektu a možnost pokrytí členitých ploch^[12], takže budova si zachovává svůj původní výraz. Aplikace kontaktního zateplení nicméně vyžaduje pevný a suchý podklad na obvodu budovy, aby se hmoždinky držící kontaktní zateplení ze stěny nevytrhly^[13].

Obrázek 4 – Ukázka kontaktního zateplovacího systému. Zdroj: iSTAVITEL.cz^[48]



3.2.4. Zateplení s odvětranou mezerou

Posledním typem zateplení, který bych v této práci rád popsal je zateplení s odvětranou mezerou. Při užití tohoto typu zateplení je mezi izolantem a vnější fasádou vzduchová mezera. Vzduchová mezera v systému izolace se vytváří s pomocí roštu, na který se připevní vnější fasáda a do kterého se připevní izolace^[14]. Materiál vnější fasády může být libovolný, velkou výhodou tohoto typu izolace je možnost použití fotovoltaických panelů jako vnější fasády^[15]. Zateplení s odvětranou mezerou má velkou výhodu v použitelnosti u vlhkých stěn. Rošt, který nese fasádu i izolant není kotven k venkovní omítce, ale k podkladu^[16].

Jak je uvedeno na straně 26 v publikaci Úspory energie v domě, při rozhodování o izolaci objektu bychom měli systém vybírat jako celek (lepení, izolant, kotvení, omítka), neboť pro různé typy izolantů se hodí různé způsoby upevnění a při výběru jiného upevňovacího systému, než pro jaký je daný izolant určen nelze zaručit kvalitu systému. V případě výběru špatné kombinace prostředků může docházet k tvoření trhlin v zateplení a tím se výrazně snižuje životnost izolačního systému. Dále je potřeba si uvědomit, že náklady na pořízení zateplovacího systému na budovu nejsou přímo úměrné tloušťce izolantu^[17], a proto je lepší volit tlustší vrstvu než po několika letech znovu investovat do vhodnější tloušťky zateplení.

4. Varianty vytápění

Existuje mnoho různých variant, jak zásobovat rodinný dům energií. V této kapitole popisují ty z nich, které se pro mnou řešený rodinný dům hodí nejvíce. Majitel domu si nepřeje větší stavební úpravy, ani větší úpravu pozemku kolem domu, jakou je například podkopání základů. Po diskuzi s majitelem jsem vybral ty varianty, které nevyžadují velký zásah do zástavby objektu a které jsou možné z hlediska polohy domu a jeho rozměrů.

4.1. Kamna na tuhá paliva

S dnešními moderními kamny na tuhá paliva^[19] můžeme mít kamna jen v jedné místnosti a teplo rozvádět do celého domu, čímž z nich vlastně děláme ústřední zdroj tepla pro celý objekt. Ovládání tepla v domě je tak mnohem jednodušší než v případě více kamen ve více místnostech. Přestože z energetického hlediska ke snížení spotřeby energie nedochází, pouze ke změně zdroje, s pořízením kotle na tuhá paliva může dojít ke snížení výdajů za vytápění, neboť dřevo bývá zpravidla levnější než elektřina, nebo plyn.

V případě, že víme, že budeme kamna využívat častěji, můžeme zvolit taková, která mají teplovodní vložku, která nám umožňuje je napojit na systém ústředního topení. Díky tomu půjde část výkonu kamen do ohřívání vody pro radiátorová topení.

4.2. Elektrický přímotop

Největší výhodou elektrických přímotopů^[21] je jednoduchý rozvod elektřiny a tím možnost osazení každé místnosti vlastním přímotopem. Mezi elektrické přímotopy bychom neměli zapomenou započítat i podlahová topení, která mají oproti ostatním způsobům vytápění mnoho výhod. Díky jednoduchému rozvodu elektřiny a samostatnosti každého elektrického přímotopu můžeme mít každou místnost nastavenou na jinou teplotu, což například kamna na tuhá paliva, nebo ústřední vytápění v takové míře neumožňují.

Dalším kladem elektrických přímotopů je jednoduchost instalace, kdy na rozdíl od ostatních variant vytápění objektu nepotřebujeme kotel, komín, rozvody a další nutné investice. Díky tomu bývá pořízení elektrických přímotopů mezi variantami vytápění zpravidla nejlevnější. Někdy je nutné posílit domovní přípojku a zaplatit novou elektroinstalaci v domě. Nevýhodou elektrických přímotopů bývá vysoké náklady na elektřinu, které v porovnání se zbylými variantami vytápění dělá z elektrických přímotopů jednu z nejdražších variant na provoz.

4.3. Ústřední vytápění – teplovzdušné

V případě teplovzdušného ústředního vytápění^[22] se využívá přirozené cirkulace vzduchu v místnostech. Ohřátý vzduch nesoucí teplo se od kotle rozvádí do místností potrubím v podlaze, stropěch i stěnách. Velkou výhodou teplovzdušného systému je možnost kombinace s větráním (potrubí od kotle často končí právě pod okny), čímž do místnosti přivádíme čerstvý vzduch za mnohem menší ztráty tepla. Této skutečnosti se využívá zvláště v budovách, které mají problém s vlhnutím stěn, kde je potřeba hodně větrat.

Investice do teplovzdušného systému ústředního vytápění bývají výrazně vyšší, než různá kamna a přímotopy. Z toho důvodu se této možnosti nejčastěji využívá v případech novostaveb a větších rekonstrukcí objektů. Ve srovnání s ostatními variantami vytápění jde o velmi úspornou a provozně nízkonákladovou variantu.

4.4. Ústřední vytápění – teplovodní

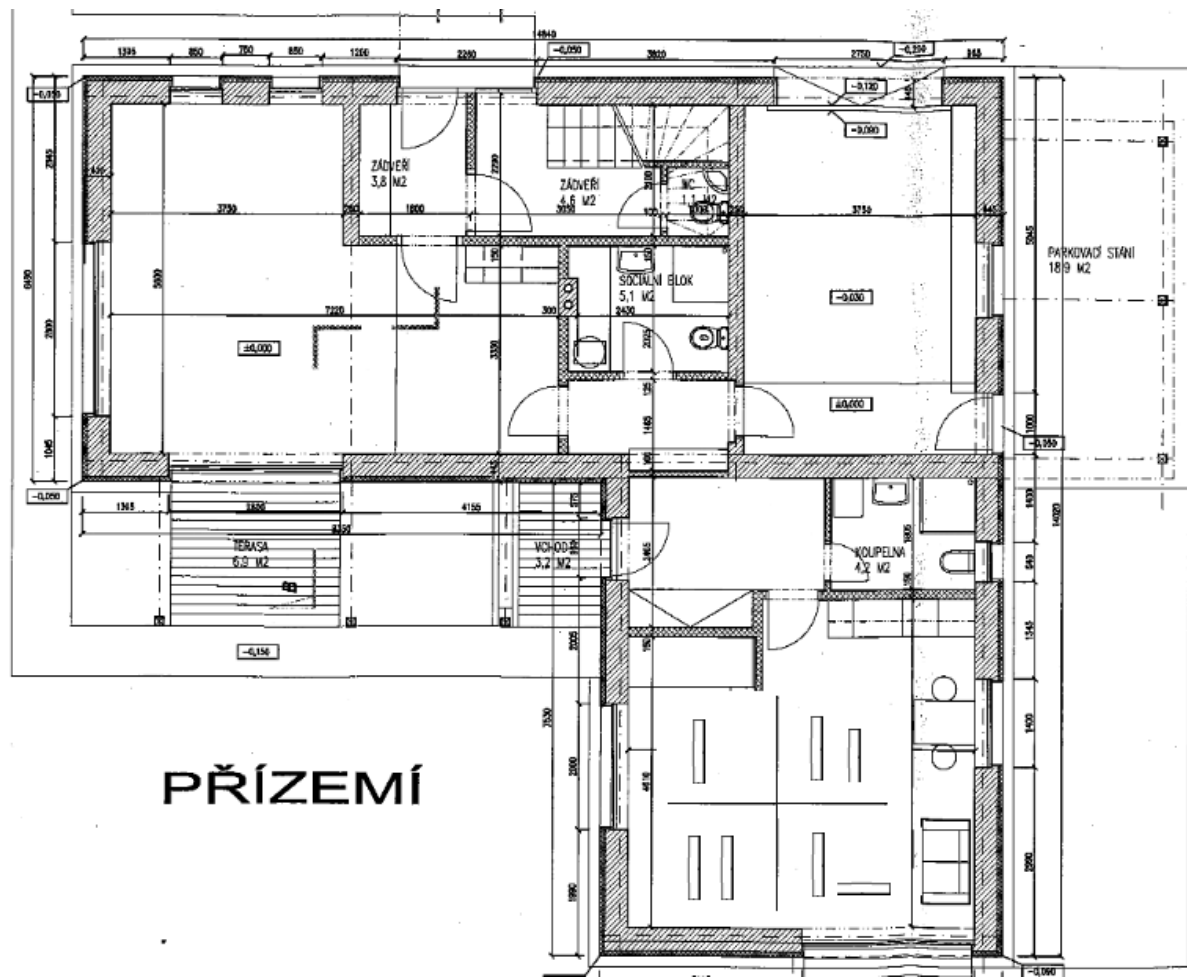
Výhodou teplovodních ústředních systémů^[23] je možnost přihřívání solárními kolektory a velká nabídka při výběru kotlů, regulace a radiátorů. To nám umožňuje vybrat si takovou kombinaci, která je pro nás ekonomicky nejzajímavější. Dřív se teplovodní systémy dělaly zpravidla bez oběhového čerpadla, kdy se využívalo samostatného oběhu vody na základě rozdílných hustot chladnější a teplejší vody. Dnes se už většina teplovodních systémů instaluje s oběhovým čerpadlem a nuceným oběhem vody, což sice vytváří závislost na dodávce elektrické energie, ale umožňuje to využití tenčích trubek v rozvodech a tím nižší ztráty při rozvodu.

5. Popis rodinného domu

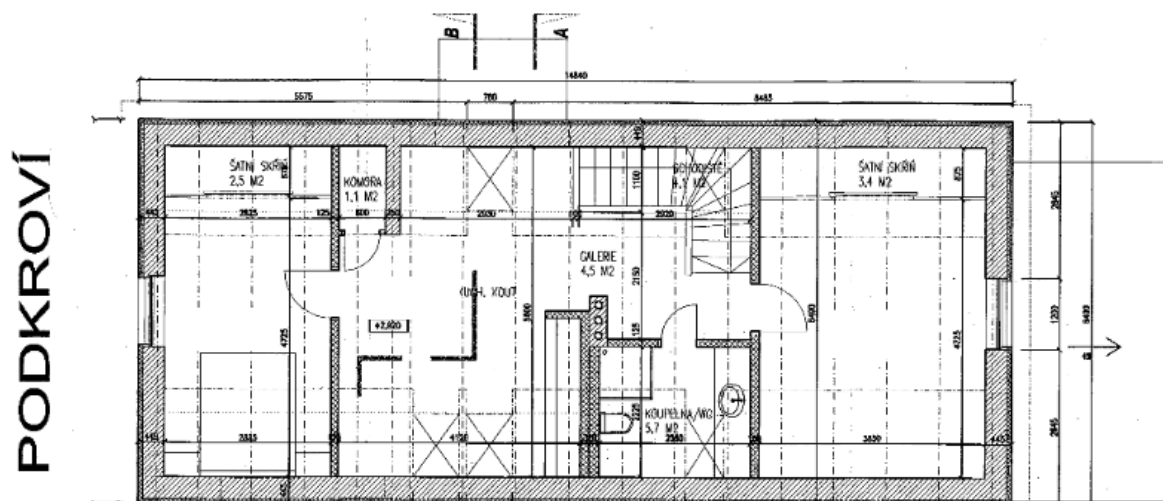
V této práci budu popisovat rodinný dům, který se nachází v Roztokách u Prahy a pro který budu hledat nejlepší variantu zásobování energií. Dům byl postaven v roce 2010. Stojí samostatně a je připojen na vodovodní, kanalizační a elektrickou síť.

Rodinný dům má dvě části, přízemí a podkrovní část. Přízemní část, která slouží jako kanceláře, se skládá z pracovní místnosti, kuchyně a jedné obytné místnosti. Dále se v přízemní části budovy nachází garáž určená pro jedno vozidlo. Nad zhruba dvěma třetinami přízemní části domu se nachází podkroví, zbývající jedna třetina má nad sebou vodorovnou střechu pokrytou kačírskem. V přízemní části se nachází celkem čtyři francouzská okna. Plány rodinného domu jsou vidět na obrázcích 5 a 6.

Obrázek 5 – Půdorys přízemí. Zdroj: Stavební dokumentace domu



Obrázek 6 – Půdorys podkroví. Zdroj: Stavební dokumentace domu



V následující tabulce 3 můžeme vidět základní informace o přízemí.

Tabulka 3 – Základní údaje o přízemní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Přízemí		
Kanceláře	25,4	[m ²]
Obytná místnost	79,0	[m ²]
Koupelna č. 1	7,9	[m ²]
Koupelna č. 2	10,6	[m ²]
Předsíň č.1	10,3	[m ²]
Předsíň č. 2	5,8	[m ²]
Garáž	21,6	[m ²]
Celkem	160,6	[m ²]
Plocha obvodových zdí	170,4	[m ²]
Obyvatel	4	[osob]
Oken a venkovních dveří	14	[oken]
Plocha oken, dveří a garážových vrat	27,1	[m ²]

Podkrovní část rodinného domu je tvořena kuchyní, úložným prostorem, koupelnou a dvěma obytnými místnostmi. Je rozdělena pouze slabými zdmi a všechny její části se využívají během dne se stejnou intenzitou, a proto si ji můžeme představit jako obdélníkový prostor o stranách 14,7 a 6,4 metru. Nad podkrovím se nachází nevytápěná a nezateplená půda oddělená od obytné části OSB deskami (desky z orientovaných třísek) a izolací.

V následující tabulce 4 můžeme vidět základní informace o podkroví.

Tabulka 4 – Základní údaje o podkrovní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Podkroví		
Obytná místnost č. 1	21,6	[m ²]
Obytná místnost č. 2	11,3	[m ²]
Kuchyně s obývacím prostorem	24,5	[m ²]
Koupelna	6,5	[m ²]
Úložný prostor	5,4	[m ²]
Schodiště	4,0	[m ²]
Celkem	73,3	[m ²]
Plocha obvodových zdí	115,1	[m ²]
Obyvatel	3	[osob]
Oken	3	[oken]
Plocha oken	3,3	[m ²]

Z tabulek můžeme vidět, že budova má celkem 233,9 m² vnitřní plochy. Do tohoto čísla počítáme i garáž, protože ji budeme temperovat spolu s obytnými částmi budovy. Rozměry stěn objektu můžeme vidět v následujících tabulkách 5 a 6.

Tabulka 5 – Rozměry podkrovní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Podkroví	
Část konstrukce	Plocha [m ²]
Stěna čelní	41,2
Stěna boční pravá	16,5
Stěna boční levá	16,2
Stěna zadní	41,2
Okno boční levé stěny č.1	1,5
Okno boční levé stěny č.2	1,5
Okno boční pravé stěny	2,0
Okno koupelny	0,9
Okno kuchyně	1,5
Okno schody	0,9
Celková plocha oken	8,3
Celková plocha	123,4

Tabulka 6 – Rozměry přízemní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Přízemí	
Část konstrukce	Plocha [m ²]
Stěna čelní	29,7
Stěna boční pravá č.1	15,6
Stěna boční pravá č.2	35,8
Stěna boční levá	40,3
Stěna zadní č.1	21,9
Stěna zadní č.2	16,2
Stěny garáže	15,0
Vrata garáže	5,6
Dveře garáž	2,0
Vchodové dveře	2,1
Okno stěny čelní č.1	1,5
Okno stěny čelní č.2	1,5
Okno boční pravé stěny	1,5
Francouzské okno	3,0
Dveře ze zahrady	2,1

Okno do zahrady	1,5
Francouzské okno do zahrady	3,0
Okno boční levé stěny	1,5
Okno toalety	0,3
Stěna garáže/obytný prostor přední	11,7
Stěna garáže/obytný prostor boční	17,0
Dveře garáž/obytný prostor	2,0
Okno boční levé stěny č.1	1,2
Okno boční levé stěny č.2	1,2
Okno boční pravé stěny	1,2
Celková plocha oken	17,4
Celková plocha	197,5

Ze zjištěných údajů vypočteme hodnoty potřebné pro zjištění energetické náročnosti vytápění budovy. Spočtené a naměřené hodnoty můžeme vidět v následující tabulce 7.

Tabulka 7 – Základní geometrické vlastnosti budovy. Zdroj: Vlastní tvorba

Charakteristika budovy pro energetickou náročnost		
Údaj	Hodnota	Jednotka
Objem budovy	701,7	[m ³]
Plocha obálky budovy	640,9	[m ²]
Objemový faktor budovy	0,91	[m ² /m ³]
Podlahová plocha budovy	233,9	[m ²]

5.1. Součinitel prostupu tepla stěnou

Pro určení vhodného zásobování budovy teplem si nejdříve musím spočítat tepelné ztráty budovy. K vypočtení těchto tepelných ztrát potřebuji krom plochy objektu znát také součinitel prostupu tepla U mezi vytápěnou částí budovy a vnějším prostředím. Součinitel prostupu tepla určím pro každou plochu oddělující vnitřní prostory od vnějších. V případě dveří a oken bývá součinitel prostupu tepla udáván výrobcem, u stěn si součinitel spočítám z materiálů a jejich tloušťky.

Tabulka 8 – Materiál budovy a jeho vlastnosti. Zdroj: Vlastní tvorba

Část obalu budovy	Materiál	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	d [mm]	R [m ² .K.]	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Stěny podkroví	Porotherm 30 Profi	0.174	300	1.72	0.58
	Vnější omítka	0.74	20	0.03	37.00
	Vnitřní omítka	0.48	10	0.02	48.00
Stěny přízemí	Porotherm 30 Profi	0.174	300	1.72	0.58
	Vnější omítka	0.74	20	0.03	37.00
	Vnitřní omítka	0.48	10	0.02	48.00
Půda	OSB desky	0.1	36	0.36	2.78
	izolace	0.035	40	1.14	0.88
Podlaha	Beton	0.26	170	0.65	1.53

Hodnoty součinitele prostupu tepla jsem pro cihly Porotherm bral z technických údajů^[26] poskytnutých výrobcem a pro omítky^[27] spočítal postupem popsáním v kapitole 3.1.1.

Tabulka 9 – Součinitel prostupu tepla. Zdroj: Vlastní tvorba

Část obalu budovy	R [m ² .K.]	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Stěny podkroví	1.77	0.56
Stěny přízemí	1.77	0.56
Půda	1.50	0.67
Podlaha	0.65	1.53

6. Návrh izolace

Prvním návrhem zlepšení energetické bilance rodinného domu je zlepšení izolace. Jak můžeme vidět z tabulek 8 a 9 v kapitole 5.1., budova nemá žádnou přidanou izolaci a zateplená část je od vnějšího prostředí chráněna pouze cihlami a omítkou. Jako vhodnou izolaci pro můj modelový dům jsem vybral izolaci Isover EPS 150^[28] a v tabulce 10 můžeme vidět vliv izolace na tepelné vlastnosti stěn.

Tabulka 10 – Materiál budovy a jeho vlastnosti (izolace). Zdroj: Vlastní tvorba

Část obalu budovy	Materiál	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	d [mm]	R [m ² .K.]	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Stěny podkroví	Porotherm 30 Profi	0.175	300	1.71	0.58
	Vnější omítka	0.74	20	0.03	37.00
	Vnitřní omítka	0.48	10	0.02	48.00
	Izolace	0.035	100	2.86	0.35
Stěny přízemí	Porotherm 30 Profi	0.175	300	1.71	0.58
	Vnější omítka	0.74	20	0.03	37.00
	Vnitřní omítka	0.48	10	0.02	48.00
	Izolace	0.035	100	2.86	0.35
Půda	OSB desky	0.1	54	0.54	1.85
	izolace	0.035	60	1.71	0.58
Podlaha	Beton	0.26	170	0.65	1.53
	Podlahový polystyren	0.037	60	1.62	0.62

Přidání izolace výrazně ovlivní prostup a ztráty tepla stěnami. V tabulce 11 můžeme vidět, že součinitel prostupu tepla stěnami se přidáním izolace zmenší na 39 % původního, součinitel prostupu tepla přes půdu na 66 % původního a přes podlahu dokonce na pouhých 29 %.

Tabulka 11 – Součinitel prostupu tepla (izolace). Zdroj: Vlastní tvorba

Část obalu budovy	R [m ² .K.]	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Stěny podkroví	4.62	0.22
Stěny přízemí	4.62	0.22
Půda	2.25	0.44
Podlaha	2.28	0.44

7. Výpočet spotřeby tepla

7.1. Výpočet potřeby tepla na vytápění

Pro výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy použiji online kalkulačku^[29] úspor a dotací Zelená úsporám ze stránek TZB-info. V kalkulačce určujeme Lokalitu a umístění objektu, kde jsem nastavil lokalitu Praha, čímž mi kalkulačka vybrala venkovní návrhovou teplotu v zimním období -13 °C. Délka otopného období je nastavena na 216 dní v roce a průměrná venkovní teplota v celém otopném období na 4 °C.

V charakteristice objektu se obvyklá teplota interiéru uvažuje 20 °C. Objem budovy jsem zadal 702 m³, ve kterých uvažuji i garáž, které budeme také temperovat. Celková podlahová plocha je 234 m², celková plocha (součet vnějších ochlazovaných konstrukcí) je 636 m². Objemový faktor budovy A/V mi pak vychází 0,91. Trvalý tepelný zisk, což je teplo od spotřebičů (uvažujeme 100 W) a teplo od osob (uvažujeme 70 W/osobu, při 4 osobách celkem 280 W) udávám 380 W. Solární tepelné zisky určí dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. na 1895 kWh/rok. Hodnotu lineárních tepelných mostů jsem nastavil na 0,10 W.m⁻².K, což odpovídá standardnímu řešení tepelných mostů u rodinných domů. Intenzitu větrání okny mám nastavenou na 0,4 h⁻¹, což je obvyklá intenzita větrání u novostaveb.

Z online kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám jsem získal následující údaje.

Tabulka 12 – Roční potřeba energie na vytápění. Zdroj: Kalkulačka Zelená úsporám^[29]

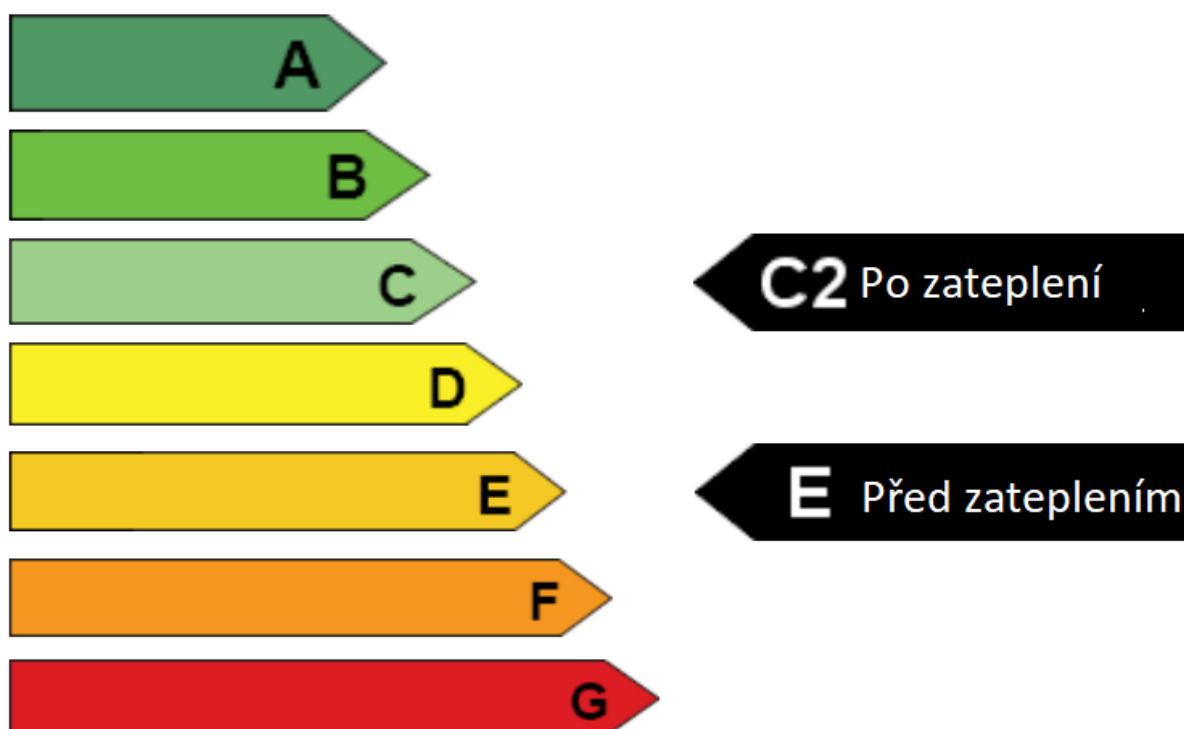
ROČNÍ POTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Stav objektu	Měrná potřeba energie
Před úpravami (před zateplením)	174.4 kWh/m ²
Po úpravách (po zateplení)	103.6 kWh/m ²

Z tabulky 12 můžeme vidět, že se po zateplení budovy roční spotřeba energie na vytápění na m² snížila o 40 %. Při velikosti vytápěné plochy 233,9 m² to je snížení z 40 792 kWh na 24 232 kWh roční spotřeby.

Na obrázku 5 můžeme vidět, že zateplením jsem mnou popisovanou budovu na energetickém štítku obálky budovy posunul z kategorie E do kategorie C2.

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY

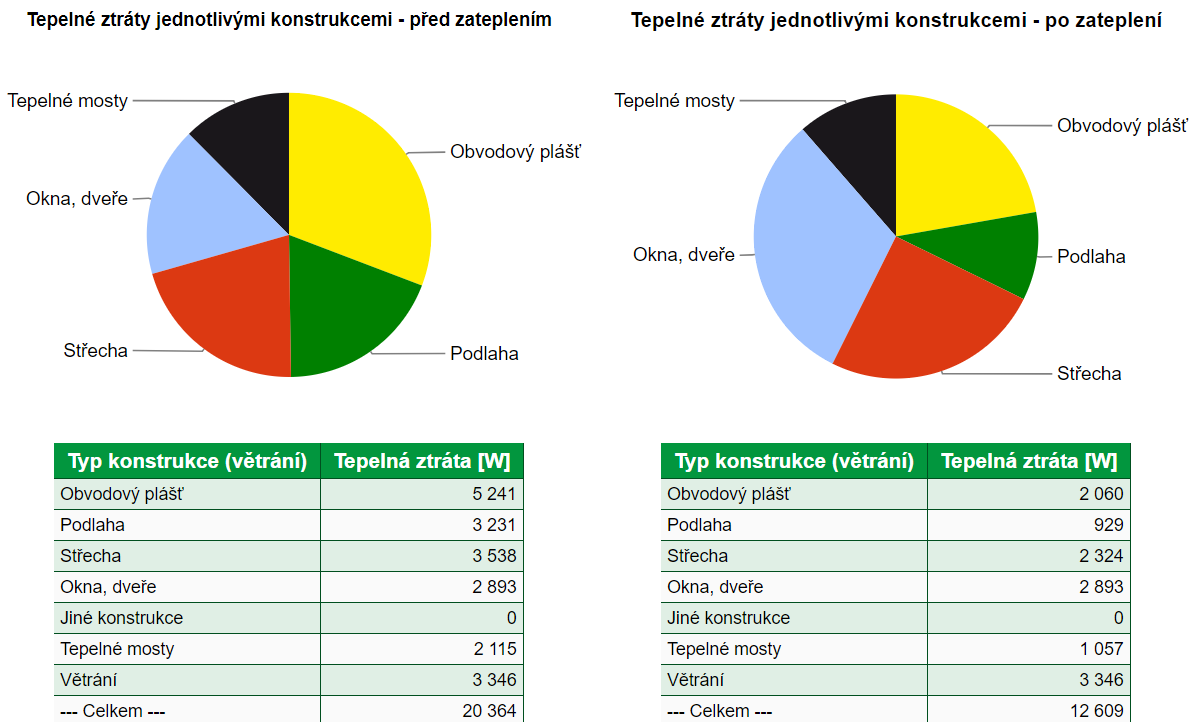


V následujícím grafu a tabulkách můžeme pozorovat, že k největšímu omezení tepelných ztrát dojde v místech obvodového pláště, podlahy a tepelných mostů. Další úspory jsou vidět v místech střechy. Okna, dveře a větrání se nemění, neboť tyto části budovy jsem ve svém návrhu zateplení neměnil, buď protože jejich změna není prakticky možná (například větrání), nebo protože jejich změna by se ekonomicky nevyplatila (současný stav oken a dveří je dostačující).

Díky zateplení máme nárok na dotaci^[29] v části programu Zelená úsporám A.2 – částečné zateplení. V našem případě dotace činí 850 Kč/m² podlahové plochy, to je 198 900 Kč. Pro získání dotace v části programu A.1 – celkové zateplení – musíme dosáhnout měrné spotřeby tepla na vytápění maximálně 70 kWh/m² a zároveň úspory měrné spotřeby tepla na vytápění minimálně 40 %. V takovém případě by dotace činila 1550 Kč/m².

Obrázek 8 – Stavebně technické hodnocení izolace. Zdroj: Kalkulačka Zelená úsporám^[29]

STAVEBNĚ - TECHNICKÉ HODNOCENÍ



7.2. Spotřeba tepla na ohřev vody

Spolu s vytápěním budovy je ohřev vody energeticky nejnáročnější spotřebou v rodinném domě. K výpočtu množství tepla potřebného pro ohřátí vody použijí kalkulačku^[30] za stránek stránek TZB-info. Výpočet denní spotřeby tepla pro ohřev teplé vody vypadá následovně:

Rovnice 15 – Denní spotřeba tepla na ohřev vody

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [kWh]$$

kde $Q_{TUV,d}$ značí množství tepla spotřebovaného za jeden den v kWh, z je koeficientem energetických ztrát v systému (v našem případě volíme hodnotu $z = 0,5$, což je maximální hodnota koeficientu pro nové stavby), ρ je měrná hustota vody (1000 kg/m^3), c značí měrnou tepelnou kapacitu vody (4186 J/kgK), V_{2p} je celková spotřeba teplé vody na den (jako standardní hodnota se uvažuje $0,082 \text{ m}^3$ na osobu a den, v případě mnou probíraného rodinného domu budu počítat s celkovou denní spotřebou pro 5 osob $V_{2p} = 0,410 \text{ m}^3$), t_1 a t_2 jsou teploty studené ($10 \text{ }^\circ\text{C}$) a ohřáté ($55 \text{ }^\circ\text{C}$) vody respektive.

V létě budu uvažovat teplotu studené vody 15 °C a v zimě 5 °C. Délku topného období uvažuji standardních 225 dnů v roce. Tyto hodnoty pak můžu dosadit do vzorce pro výpočet roční spotřeby tepla pro ohřev teplé vody.

Rovnice 16 – Roční spotřeba tepla na ohřev vody

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) [kWh]$$

Kde $Q_{TUV,r}$ značí spotřebu tepla pro ohřev teplé vody za rok v kWh, d značí délku topného období, t_{svl} a t_{svz} teplotu studené vody v létě a zimě respektive a N počet pracovních dnů soustavy v roce (365 dní).

Celková denní spotřebu tepla pro ohřev vody mi vyšla na 32,2 kWh/den během otopného období a celkovou spotřebu tepla pro ohřev vody za jeden rok jsem spočítal na 10,1 MWh/rok.

7.3. Celková spotřeba energie

Celkem tak v této práci řešeném rodinném domě potřebujeme na vytápění objektu a ohřev teplé vody ročně 34 332 kWh energie.

Díky kalkulačce[31] na stránkách elektřina.cz jsem spočítal, že roční spotřeba elektřiny na všechny elektrické spotřebiče v domácnosti vyjma spotřebičů týkajících se topení a ohřevu vody činí zhruba 3520 kWh/rok. Vzhledem k tomu, že v této práci budu hledat optimální zásobování rodinného domu energií z pohledu tepla na vytápění a ohřev vody, neboť tvoří zdaleka největší část energetické spotřeby, tak spotřeba elektřiny pro domácích spotřebiče zůstane stejná a nebudu ji v jednotlivých variantách dále rozebírat.

8. Zdroj energie

Ve chvíli, kdy mám popsané možnosti zateplení, můžu vybrat jakým způsobem budu rodinný dům zásobovat energií. V této práci popíšu tři možnosti zásobování rodinného domu energií. První možností je pokračování vytápěním elektřinou. Druhou variantou vytápění je vytápění rodinného domu kamny na pelety s výměníkem voda-vzduch, který umožní ohřev vody pomocí spalování pelet. Třetí variantou, kterou v této práci budu popisovat, je vytápění rodinného domu kamny na dřevo, opět s výměníkem voda-vzduch, který umožní ohřev vody. Ve všech třech variantách se bude respektovat instalace zateplení na domě. Z tabulky 1 (Srovnání cen tepla v roce 2019) v kapitole 2.2. vyplývá, že topení dřevem a dřevěnými peletkami patří k nejlevnějším zdrojům energie v rodinném domě, což je jeden z důvodů, proč jsem vybral zrovna tyto dvě varianty. Dalším důvodem je možnost jejich zavedení bez větších stavebních úprav na domě. Nabízejí se i jiné možnosti, jak dům zásobovat energií, ale buď se

do mnou řešeného domu nehodí z hlediska dostupnosti zdrojů (např. plynovod není možný, dálkové teplo v obci není), nebo jsou finančně přesahují naše možnosti (např. tepelné čerpadlo by vyžadovalo větší pozemek, pro solární panely je potřeba rozebrat střechu).

Krom udržování přijatelné teploty v domě pomocí topení budu řešit také ohřev vody, buď pomocí elektrického boileru, nebo jiným způsobem. Jiné spotřeby energie v rodinném domě v této práci řešit nebudu, neboť jednak je množství energie, které spotřebují, oproti udržování teploty a ohřevu vody malé a jednak až na výjimky všechny využívají jako zdroje energie elektřinu, a tudíž se jejich náklady nemění v žádném ze mnou porovnávaných řešení. Dvě ze tří mnou probíraných řešení využívají k topení a ohřevu vody převážně jiný zdroj energie, než je elektřina, přesto ale i při těchto řešeních je dům stále připojený k elektrické síti.

8.1. Varianta 1: Zásobování elektřinou

V tuto chvíli se ve mnou popisovaném rodinném domě topí a ohřívá voda elektřinou. Dům má připojení k elektrické síti pomocí přípojky 3x32A a sazbu D25d u dodavatele MND a.s.. Elektřinu na ohřev vody beru v nízkém tarifu a elektřinu na vytápění rozdělím v poměru 1:1 mezi vysoký a nízký tarif. Ve vysokém tarifu tak ročně spotřebujeme 12,116 MWh a v nízkém tarifu 22,216 MWh.

K ohřevu vody se využívá elektrický bojler Dražice OKCE 200^[32] o objemu 200 l. Tento bojler má třídu energetické náročnosti C, teplotní rozsah je 5°C–74 °C a jmenovitý výkon 2,2kW. Bojler se blíží ke konci své doby životnosti, a proto budu ve všech variantách počítat s jeho výměnou.

Vytápění místností je zajištěno podlahovým topením, které se nachází ve všech místnostech s výjimkou garáže. Používá se topná rohož LDTS 80/0,8^[33], která zajišťuje výkon 80 W/m².

8.2. Varianta 2: Topení peletami

Pro případ vytápění domu pomocí tuhých paliv jsem vybral variantu teplovzdušných peletových kamen. Jak popisuji v kapitole 4.1., dnešní moderní kamna na tuhá paliva umožňují vytápění celého domu jedněmi ústředními kamny pomocí rozvodu tepla do celého domu kouřovody. Přechodem na peletová kamna sice nedojde ke snížení energetické náročnosti, nicméně dojde ke změně paliva a tím i snížení finančních nákladů, neboť vytápění tuhými palivy je zpravidla levnější než elektřinou.

Využiji teplovzdušných kamen, které budou teplo rozvádět po celé budově pomocí kouřovodů, které zajistí rozvod tepla do celého domu. Díky tepelnému výměníku^[34] vzduch – voda můžu přebytečné teplo z kamen využívat k ohřívání vody jdoucí do boileru, který se už v domě nachází.

V kapitolách 7.1. a 7.2. jsem spočítal denní potřebu tepla na vytápění domu 112,1 kWh a denní potřebu tepla na ohřev vody 32,2 kWh. Celkem tak potřebuji denně alespoň 144,3 kWh tepla během otopného

období (216 dní v roce), abych nemusel přehřívát vodu elektrickým boilerem. Při topení 10 hodin denně tudíž hledám kamna s výkonem alespoň 14,43 kW. Vybral jsem teplovzdušný průmyslový kotel na pelety Eva DUNA 18 kW^[35] jehož výkon je 5,4 – 18 kW, účinnost 91 %,

spotřeba 1,2 – 3,9 kg/h a zásobník má na 40 kg pelet. Kotel s takovýmto výkonem by měl stačit i v případě velmi chladných dní a vysoké potřeby tepla v domě.

Rozvod tepla po domě zajistíme pomocí kouřovodů^[36] o průměru 80 mm. Vytápět budeme všechny obytné a pracovní prostory a budeme potřebovat přibližně 45 m kouřovodů, T-díly, 90° kolena, silikonové těsnění a na výstupy ze zdi mřížky. V následující tabulce 13 můžeme vidět kolik kterých částí potřebujeme a jejich cenu. Celkem nás budou kouřovody stát 36 020 Kč.

Tabulka 13 – Množství a cena kouřovodů. Zdroj: Vlastní tvorba

Název části	Cena za kus [Kč]	Počet [kus]	Cena celkem [Kč]
Rovný kouřovod (1m)	500	45	22 500
T-díl	720	3	2 160
90° koleno	260	6	1 560
Silikonové těsnění	70	60	4 200
Mřížka	700	8	5 600

Při účinnosti kamen 91 % a výhřevnosti pelet 17 MJ/kg potřebujeme ročně 7 982 kg pelet, abychom zajistili roční přísun tepla 34,3 MWh spočtených v kapitole 7.3. Firma Optimtop rozváží pelety po celé České republice zdarma a nabízí 825 kg pelet za cenu 5 480 Kč^[40]. Celkem bychom tak za pelety zaplatili ročně 53 tisíc korun.

8.3. Varianta 3: Topení dřevem

Topení dřevem se příliš neliší od možnosti topení peletami, rád bych ale tuto možnost ve své práci zahrnul, aby byla vidět výhoda pelet oproti palivovému dřevu.

Opět budeme topit horkovzdušnými kamny, rozvádět teplo pomocí kouřovodů a ohřívat vodu pomocí výměníku vzduch-voda. Potřebný výkon zůstává stejný, tedy alespoň 14,43 kW při topení 10 hodin denně. Vybral jsem teplovzdušná kamna Falco Eco^[37] s výkonem 20 kW. Díky technologii

dvoukomorového spalování, kdy se krom dřeva v jedné komoře spaluje i kouř v druhé komoře, dosahují tyto kamna účinnosti 85 % a umožňují úsporu paliva až 40 % oproti klasickým kamnům na dřevo. Kamna tohoto výkonu umožňují spalovat polena o velikosti 55 cm, což se může projevit snížením nákladů na palivo, protože delší polena jsou zpravidla levnější^[38].

Tepelný výměník a kouřovody můžeme použít stejné, jako u varianty topení dřevěnými peletami, a tudíž se náklady na ně nemění. Stačí mi tedy dopočítat náklady za palivo. Pro příklad spočtení nákladů na palivo jsem si vybral habrové dřevo^[38], které má dobrý poměr výhřevnosti a ceny. Výhřevnost habru je asi 2200 kWh na prostorový metr. Tomu odpovídá výhřevnost 4,2 kW/kg neboli 15,12 MJ/kg. Ostatní druhy dřeva mají hodnoty výhřevnosti velmi podobné^[39], zpravidla nejnižší (asi 70 % habru) mají jehličnany, jako například smrk, borovice a modřín. Při účinnosti kamen 85 % a výhřevnosti dřeva 15,12 MJ/kg potřebujeme ročně 9 608 kg habrového dřeva, abychom zajistili roční přísun tepla 34,3 MWh spočtených v kapitole 7.3. Firma Optimtop, kterou jsem zmínil už při variantě topení peletami rozváží palivové dřevo po celé České republice zdarma, nabízí asi 800 kg habrového dřeva za cenu 3 560 Kč^[38]. Celkem bychom tak za dřevo zaplatili ročně asi 43 tisíc korun. Můžeme vidět, že by nás palivo vyšlo během roku levněji než v případě varianty s peletami.

9. Ekonomické zhodnocení variant

Jednotlivé varianty budu hodnotit a porovnávat na základě jejich ročního ekvivalentního toku peněz RCF. Tato metoda porovnává současnou hodnotu nákladů projektu vynásobenou anuitním faktorem, čímž rovnoměrně rozdělí počáteční náklady do jednotlivých let životnosti projektu. Vybral jsem toto kritérium, protože ho lze použít k porovnání projektů s různou dobou životnosti, ale shodným rokem počáteční investice, což je přesně případ, který ve své bakalářské práci řeším. Při posuzování projektů, jejichž cílem je ušetřit výdaje, vybíráme vždy ten s nejnižším RCF.

Roční ekvivalentní tok peněz budu počítat podle následujícího vzorce pro RCF a vzorce pro anuitu:

Rovnice 17 – Roční ekvivalentní náklady

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_z) + N_{PR}$$

Rovnice 18 – Anuita

$$a = \frac{(1+r)^T \cdot r}{(1+r)^T - 1}$$

kde RCF značí roční ekvivalentní tok peněz, $a(r, T_z)$ značí anuitu danou diskontem r a dobou životnosti investice T_z , N_I investiční náklady na pořízení zdroje a N_{PR} provozní náklady na 1 rok. Provozní náklady

jsou tvořeny fixní složkou, kterou představují náklady na údržbu a obsluhu zdroje, a složkou variabilní, odvíjející se od rozdílu vnitřní a vnější teploty během roku, kterou představují náklady na palivo zdroje.

Na zahradě rodinného domu, který v této práci řeším, se nachází biokompost, do kterého můžeme dávat popel ze dřeva a dřevěných pelettek. Díky tomu nemusíme řešit a investovat do možností zbavování se popelu.

V následující tabulce 14 jsem zaznamenal pořizovací náklady, doby životnosti a provozní náklady jednotlivých variant. Platit budeme penězi na účtu a proto jsem velikost diskontu 3 % určil podle opportunity cost investovaných peněz, kdybychom se rozhodli je investovat jinde. V tuto chvíli je největší sazba na běžném spořicímu účtu právě 3 % p.a., které nabízí Raiffeisen Bank^[41].

Tabulka 14 – Ekonomické údaje jednotlivých variant. Zdroj: Vlastní tvorba

Varianta		Elektřina	Pelety	Dřevo
Diskont		3%		
Počáteční investice [Kč]	Bojler	7 999		
	Kamna	XXX	64 272	40 809
	Zateplení	217 100		
	Kouřovody	XXX	211 020	
	Tepelný výměník		4 327	
Životnost [roky]	Bojler	8		
	Kamna	XXX	10	15
	Zateplení	30		
	Kouřovody	XXX	30	
	Tepelný výměník		5	
Náklady na palivo [Kč/rok]		105 663	53 000	43 000
Náklady na údržbu [Kč/rok]		300	1 000	1 000
Náklady investice do komínu [Kč]		XXX	175000	
Údržba komínu ročně [Kč/rok]			500	

Z důvodu rozsahu a složitosti některých výpočtů prezentuji v následujících kapitolách pouze spočtené ekvivalentní toky peněz. Dosazení hodnot do vzorců a výpočty jsou prezentované v příloženém souboru Excel a v přílohách na konci práce.

9.1. RCF izolace

V současné chvíli, kdy je rodinný dům bez izolace, se za vytápění a ohřev vody platí asi 150 tisíc korun ročně^[42]. Při realizaci mého návrhu izolace by se náklady na energii snížily ze 40 792 kWh na 24 232 kWh roční spotřeby, jak je vidět v kapitole 7.1.. Tím se samozřejmě sníží i náklady na odebranou elektřinu, které jsem na stránkách Energetického regulačního úřadu^[43] spočítal na 105 663 Kč ročně. V následující tabulce jsou popsány vstupy, dle kterých spočítám RCF návrhu izolace.

Tabulka 15 – Ekonomické vstupy RCF izolace. Zdroj: Vlastní tvorba

Náklady na izolaci ^[49]	416 000 Kč
Dotace Zelená Úsporám	198 900 Kč
Roční náklady na elektřinu před izolací	150 000 Kč/rok
Roční náklady na elektřinu po izolaci	105 663 Kč/rok
Diskont	3 %
Doba životnosti izolace	30 let

Při výpočtu RCF budu počítat i s výměnou bojleru, která je popsána v tabulce 14. To sice nijak neovlivní rozhodnutí o izolaci, ale umožňuje to lepší přehled při rozhodování v tabulce 16 v kapitole 9.5.

Použiji rovnice 17 a 18 zmíněné v kapitole 9.

Rovnice 17 – Roční ekvivalentní náklady

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_z) + N_{PR}$$

Rovnice 18 – Anuita

$$a = \frac{(1+r)^T \cdot r}{(1+r)^T - 1}$$

kde $a(r, T_z)$ značí anuitu danou diskontem $r = 3\%$ a dobou životnosti investice $T_z = 30$ let pro zateplení a $T_z = 8$ let pro bojler, N_I investiční náklady za pořízení zateplení a bojleru. Tento rozpis je lépe popsán v rovnici 21. Člen N_{PR} znamená provozní náklady skládající se z variabilních a fixních nákladů. Variabilní náklady jsou v tomto případě náklady na elektřinu za 1 rok vytápění, kterou jsem na stránkách Energetického regulačního úřadu spočítal na 105 663 Kč ročně včetně DPH. Fixní náklady jsou náklady

na údržbu a obsluhu bojleru počítané na 1 rok. RCF varianty topení elektřinou při zařízení zateplení na dům:

Rovnice 19 – Roční ekvivalentní zateplení

$$N_I \cdot a(r, T_{\bar{z}}) = N_B \cdot a_B + N_Z \cdot a_Z$$

$$RCF_{izolace} = 118\,179 \text{ Kč}$$

V případě, že bychom izolaci nepřidávali, by počáteční investice byla nulová a RCF by vypadalo následovně:

$$RCF_{bez izolace} = 151\,440 \text{ Kč}$$

Ze získaných údajů jasně vyplývá, že je pro nás ekonomicky výhodné izolaci nainstalovat. V následujících variantách tedy budeme již počítat s izolací.

9.2. RCF Varianty elektřina

U varianty vytápění elektřinou počítáme s výměnou bojleru v blízké době a zařízením zateplení na dům, ale žádnými jinými investicemi, neboť podlahové topení už v domě je a jeho doba životnosti je zpravidla stejná jako doba životnosti domu, takže do něj nemusíme nadále nijak investovat. Roční ekvivalentní náklady varianty s elektřinou jsou tedy stejné jako roční ekvivalentní náklady pořízení izolace.

Opět použiji rovnice 17 a 18 zmíněné v kapitole 9.

Rovnice 17 – Roční ekvivalentní náklady

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_{\bar{z}}) + N_{PR}$$

Rovnice 18 – Anuita

$$a = \frac{(1+r)^T \cdot r}{(1+r)^T - 1}$$

kde $a(r, T_{\bar{z}})$ značí anuitu danou diskontem $r = 3\%$ a dobou životnosti investice $T_{\bar{z}} = 8 \text{ let}$, N_I investiční náklady za pořízení a instalaci bojleru, N_{PR} provozní náklady skládající se z variabilních a fixních nákladů. Variabilní náklady jsou v tomto případě náklady na elektřinu za 1 rok vytápění, kterou jsem na stránkách Energetického regulačního úřadu spočítal na 105 663 Kč ročně včetně DPH. Fixní náklady jsou náklady na údržbu a obsluhu bojleru počítané na 1 rok. RCF varianty topení elektřinou při zařízení zateplení na dům ukazuje rovnice 20.

Rovnice 20 – Roční ekvivalentní varianty elektřina

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_z) + N_{PR} = N_B \cdot a_B + N_Z \cdot a_Z + N_{PR}$$

$$RCF_{elektřina} = 118\,179 \text{ Kč}$$

9.3. RCF Varianty kamna na pelety

V případě varianty s kamny na pelety počítáme s investicí do kotle, výměníku, teplovzdušných rozvodů a zateplení. Mnou popisovaný dům už komín zařízený má, rád bych ale ukázal, jak můžou náklady na nový komín ovlivnit RCF celé varianty, a proto RCF spočítám jak pro situaci, kdy komín už máme (a tímto údajem se také budu dál řídit) a také pro situaci, že bychom komín museli přistavět.

U této varianty máme několik jednotlivých investic s různými dobami životností. Člen ($N_I \cdot a$) v rovnici 17 proto musíme takto rozepsat:

Rovnice 21 – Rozpis investice a anuity

$$N_I \cdot a(r, T_z) = N_K \cdot a_K + N_B \cdot a_B + N_Z \cdot a_Z + N_T \cdot a_T + N_V \cdot a_V$$

kde indexy K, B, Z, T a V znamenají investice a anuity kamen, bojleru, zateplení, teplovodů a výměníku. Anuity jednotlivých položek se různí, protože zatímco diskont zůstává stejný, doby životností jsou různé.

Výpočet RCF pro variantu topení peletkami, při které neuvažují stavbu komínu, vypadá následovně.

Rovnice 22 – Výpočet RCF varianty kamen na pelety bez komínu

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_z) + N_{PR} = N_K \cdot a_K + N_B \cdot a_B + N_Z \cdot a_Z + N_T \cdot a_T + N_V \cdot a_V + N_{PR}$$

$$RCF_{pelety bez komínu} = 85\,761 \text{ Kč}$$

Při výpočtu RCF s uvažováním nákladů na komín nám stačí do vzorce pro výpočet RCF přidat náklady na stavbu komínu^[49] $N_{CH} = 175\,000$ Kč vynásobenou jeho anuitou a_{CH} počítanou na 30 let a náklady na údržbu komínu, které činí 500 Kč ročně. Vzorec a výpočet pak vypadá následovně:

Rovnice 23 – Výpočet RCF varianty kamen na pelety s komínem

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_z) + N_{PR} = N_K \cdot a_K + N_B \cdot a_B + N_Z \cdot a_Z + N_T \cdot a_T + N_V \cdot a_V + N_{PR} + N_{CH} \cdot a_{CH}$$

$$RCF_{pelety s komínem} = 95\,190 \text{ Kč}$$

9.4. RCF Varianty kamna na dřevo

Stejně jako v případě varianty s kamny na peletky i zde počítám s investicí do kotle, rozvodů tepla, výměníku a zateplení. I zde budu počítat RCF jak pro dům, který už komín má, tak i pro rodinný dům, kterému by musel být komín přistavěn. Vzorec používám stejný jako v kapitole 9.2. Bez uvažování stavby komínu výpočet vypadá následovně:

Rovnice 24 – Výpočet RCF varianty kamen na dřevo bez komínu

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_z) + N_{PR} = N_K \cdot a_K + N_B \cdot a_B + N_Z \cdot a_Z + N_T \cdot a_T + N_V \cdot a_V + N_{PR}$$

$$RCF_{\text{dřevo bez komínu}} = 71\,345 \text{ Kč}$$

Při uvažování investice do nového komínu:

Rovnice 25 – Výpočet RCF varianty kamen dřevo s komínem

$$RCF = N_I \cdot a(r, T_z) + N_{PR} = N_K \cdot a_K + N_B \cdot a_B + N_Z \cdot a_Z + N_T \cdot a_T + N_V \cdot a_V + N_{PR} + N_{CH} \cdot a_{CH}$$

$$RCF_{\text{dřevo s komínem}} = 80\,773 \text{ Kč}$$

9.5. Výběr varianty

V kapitolách 9.1-9.4 jsem spočítal roční ekvivalentní toky peněz jednotlivých variant. Jejich souhrn je vidět v následující tabulce.

Tabulka 16 – RCF jednotlivých variant. Zdroj: Vlastní tvorba

Varianta	Současný stav	Elektřina	Kamna pelety		Kamna dřevo	
			Bez komínu	S komínem	Bez komínu	S komínem
RCF [Kč]	151 440	118 179	85 761	95 190	71 345	80 773

Z tabulky jasně vyplývá, že finančně nejvýhodnější je varianta topení dřevem, a to i v případě nutnosti stavby komínu. Můžeme vidět, že i varianta topení peletami je levnější oproti topení elektřinou, která je ale zase nejvíce pohodlná, protože nemusíme během roku vynášet popel z kamen, zařizovat jejich čištění a přísun paliva.

Závěr:

V teoretické části práce, kterou tvoří první čtyři kapitoly, jsem popsal problematiku zásobování rodinného domu energií. V první kapitole, nazvané Formy energie v rodinném domě, jsem popsal průkaz energetické náročnosti budovy, energetickou bilanci rodinného domu, jak ji spočítat a jakým způsobem ji lze ovlivnit. Dále jsem se v této kapitole teoretické části věnoval palivům v rodinném domě, jejich cenám na trhu i celkovým nákladům při používání těchto paliv, stejně jako jejich dostupnosti. Mezi palivy, která lze použít v rodinném domě, jsem se zaměřil především na dřevo a biomasu, které patří mezi nejčastější varianty zdroje energie pro rodinný dům a týkají se velké části mnou navržených variant. Popsal jsem výhody a nevýhody používání dřeva a biomasy jako paliva v rodinném domě a zmínil i jejich vliv na životní prostředí. Část této kapitoly jsem věnoval i vlivu vlhkosti na výhřevnost a celkovou energetickou využitelnost při spalování biomasy.

Ve druhé kapitole teoretické části se věnuji tepelným ztrátám objektu. Nejdříve popisuji, jakým způsobem lze tepelné ztráty objektu spočítat a co jsou tepelné ztráty prostupem stěnami a tepelné ztráty větráním. Po tepelných ztrátách rodinného domu popisuji tepelné zisky objektu a podrobně se věnuji zateplení na domě. U zateplení popisuji zateplení vnitřní i vnější a rozebírám výhody různých typů zateplení. Zmiňuji i tepelné mosty při zateplení objektu a jak se jich vyvarovat.

V poslední, třetí kapitole se věnuji možným zdrojům energie v rodinném domě a faktorům, které mohou výběr zdroje ovlivnit. Nastihnuji tu možné varianty vytápění, které posléze řeším v praktické části. V této kapitole věnuji prostor jak topení elektrickým přímotopem, tak topení tuhými palivy jako například dřevem. U obou popsaných zdrojů energie rozebírám jejich přednosti i zápory. Dále v této kapitole popisuji teplovzdušné a teplovodní ústřední vytápění, jejich rozdíly a možnosti.

Praktická část bakalářské práce začíná popisem domu nacházejícího se v Roztokách u Prahy, který je hlavním bodem mé práce. U domu publikuji jak půdorysy obou podlaží, tak i popis veškerých důležitých faktorů, které posléze použiji při výpočtu jeho tepelných ztrát. Zjištěné informace o domě posléze využívám při výpočtu součinitele prostupu tepla stěnou, který počítám pro stěny u obou podlaží, stejně jako pro střechu a podlahu. Spočítal jsem, že dům je velmi špatně zateplen, a navrhnul jsem proto způsob jeho zateplení. Pomocí kalkulačky určené k výpočtu tepelných ztrát jsem došel k hodnotám tepelných ztrát během roku před zateplením a odpovídajícím hodnotám tepelných ztrát po realizaci mnou navrženého zateplení. Ze stejných zdrojů jsem vycházel i při výpočtu tepla potřebného k ohřevu vody během roku. Celkovou energetickou potřebu mnou řešeného objektu jsem stanovil jako součet energie určené k vytápění objektu a energie určené k ohřevu vody během roku. Ve stejné kapitole také vysvětluji, proč není potřeba se v této práci zabývat zbylými energetickými nároky domu.

V další kapitole se věnuji výběru zdroje energie a návrhem jeho praktického zavedení. Mezi mnou navržené varianty zásobování rodinného domu energií patří pokračování jeho zásobování elektrickou energií, přechod na systém získávání energie spalováním peletami a přechod na systém kamen na dřevo. Ve dvou variantách, které využívají jako zdroj energie tuhé palivo, jsem také popsal využití energie ze spalování k ohřevu vody pomocí tepelného výměníku a také způsob rozvodu tepla pomocí kouřovodů po celém domě.

Ekonomické zhodnocení mnou navržených variant jsem provedl v poslední části bakalářské práce. Využil jsem metodu hodnocení ročních ekvivalentních nákladů, která se používá pro varianty se stejným okamžikem investice, ale různou dobou životnosti, které se cyklicky opakují. Zhodnotil jsem ekonomický přínos realizace zateplení a také všechny varianty, které jsem v práci popsal. Pro lepší ukázkou ekonomických přínosů navržených variant jsem spočítal i roční ekvivalentní náklady současného stavu. V této práci řešený dům sice postavený komín má, rozhodl jsem se ale, že pro lepší přehled ekonomicky zhodnotím i situaci, kdy by majitel domu musel komín přistavět. Ve všech variantách počítám s výměnou kotle a zařízením zateplení domu tak, jak jsem ho navrhl na začátku praktické části. U variant topení pevným palivem počítám i s nutnou instalací kouřovodů.

Spočetl jsem roční ekvivalentní náklady při současné situaci 151 440 Kč, RCF varianty topení elektřinou při instalaci zateplení 118 179 Kč, varianta topení peletami mi vyšla 85 761 Kč a varianta použití kamen na dřevo mi vyšla 71 345 Kč. V případě, že by majitel musel k rodinnému domu přistavět komín, by se RCF obou variant topení pevnými palivy zvedlo o necelých deset tisíc korun. Z mé práce vyplývá, že ekonomicky nejvýhodnější variantou je topení dřevem, a to i v případě, že by za tímto účelem musel majitel pořídit komín. Z uvedených výpočtů je patrné, že přechod na tento zdroj energie je o poznání levnější.

Zdroje:

- [1] MURTINGER, K. *Úsporný rodinný dům*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4559-6 str. 14-20
- [2] Ceník produktů PRE PROUD UNIVERSAL pro distribuční území PREDistribuce, a. s., Přehled produktů PRE [online]. [cit. 20. 11. 2018]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/Files/domacnosti/elektrina/archiv-produktu/2018/universal/pre-proud-universal-012018-predi/>
- [3] Ceník PRE PLYN STANDARD pro distribuční území Pražská plynárenská, a. s., Přehled produktů PRE [online]. [cit. 20. 11. 2018]. Dostupné z: https://www.pre.cz/Files/plyn/archiv-produktu/2017/pre_plyn_standard_ppd/
- [4] [5] Dálkové teplo, Pražská plynárenská [online]. [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/cs/dodavky-tepla/jak-to-funguje/dalkove-teplo/>
- [6] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: Vydavatelství ERA, 2006. ISBN 80-7366-071-7 str. 13-20
- [7] [8] [9] SRDEČNÝ, K., MACHOLDA, F. *Úspory energie v domě*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0523-0 str. 23
- [10][12] Kontaktní fasáda, StavbaOnline.cz [online]. [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <https://www.stavbaonline.cz/vata-pro-kontaktni-fasadu/>
- [11] Požární odolnost tepelné izolace, Stavebniny-rychle [online]. [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <http://www.stavebniny-rychle.cz/pozarni-odolnost-tepelne-izolace.html>
- [13] [15] [16] SRDEČNÝ, K., MACHOLDA, F. *Úspory energie v domě*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0523-0 str. 25-26
- [14] ZPŮSOBY ZATEPLENÍ OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ DOMU, iSTAVITEL.cz [online]. [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zpusoby-zatepleni-obvodoveho-plaste-domu_81
- [17] SRDEČNÝ, Karel. *EKOWATT. S energií efektivně: příručka pro energeticky úspornou domácnost* [online]. 1. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2015 [cit. 3. 11. 2018]. Dostupné z: http://ekowatt.cz/cz/publikace/S_enerгии_efektivne_prirucka_pro_energeticky_ustpornou_domacnost
- [18] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Praha: Úrad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. ISBN ISBN 978-80-01-04938-9.
- [19] [20] [21] [22] [23] SRDEČNÝ, K., MACHOLDA, F. *Úspory energie v domě*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0523-0 str. 60-64
- [24] Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii - TZB-info [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energiu-tzb-info>
- [25] Dálkové vytápění - ekologické teplo bez starostí [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <http://www.naseteplo.cz/?id=1005>

- [26] Wienerberger [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: https://wienerberger.cz/produkty/porotherm-30-profi?fbclid=IwAR0Z2YSTkA_6OYvvECw8cZ4ZhdY3pOIYjVWbpuMMAqCPsvl0USVMjWXSvng#collapse-collapse1366232729722
- [27] Weber San 600 [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: https://images.obi.cz/PROD/CZ/document/410/410793_datasheet_1.pdf
- [28] Izolace Isover [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-150?fbclid=IwAR0Vj01GO3JFjM6uctoUF2sNMYwqQ6IMOWf9YKfUYcUwguljYDxpitG2jGU>
- [29] Kalkulačka Zelená úsporám - TZB-info [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [30] Kalkulačka Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody- TZB-info [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [31] Kalkulačka Elektřina.cz [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/za-co-utracite>
- [32] Dražice OKCE 200 [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://ohrivace-vody.heureka.cz/drazice-okce-200/>
- [33] Topná rohož LDTS 80/0,8 [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <http://www.podlahove-topeni.eu/ldts-8008-samolepici-rohoz-60-w-075-m2-p114>
- [34] bazenek.cz Deskový výměník OVBD 12, 12 kW [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z https://www.bazenek.cz/doplňky-a-prislusenstvi/vytapani-bazenu/tepelne-vymeniky/deskove-a-keramicke/deskovy-vymenik-ovbd-12-12-kw_55LA1410?gclid=CjwKCAjw5dnmBRACEiwAmMYGOWcuY_O8jqEKnRVDSr-xf0d87BK-v5Z1PDUqflgAH4luO2fNbowjBoCxLoQAvD_BwE#params
- [35] Teplovzdušný průmyslový kotel na pelety Eva DUNA 18 kW [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z <http://www.dufakamna.cz/teplodzusny-prumyslovy-kotel-na-pelety-duna-18-kw#tb1=1>
- [36] Pelety.cz [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z <http://www.epelety.cz/cz/shop/Prislusenstvi/kourovody80mm>
- [37] LS-kamna.cz [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://www.ls-teplodzusakamna.cz/teplodzusna-kamna-falco-eco-20kw-18.htm>
- [38] Optimtop.cz [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z <https://www.optimtop.cz/palivove-drevo-rovnane-habr-delka-33-cm-13-prmr/>
- [39] Avydon – výhřevnost dřevin [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z <http://www.avydon.cz/vyhrevnost-dreva>
- [40] Optimtop.cz [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://www.optimtop.cz/drevene-pelety-excellent-enplus-a1-modrin-825-kg/>
- [41] Raiffeisen Bank [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z https://www.rb.cz/promo/sporici-ucet-xl?gclid=CjwKCAjw8e7mBRBsEiwAPVxxijlhGaEZxQoCMIzqdsYl4B2SJ3LmsCPXiUgM3v9f_9WsiqRH2qsz4BoCL5wQAvD_BwE

[42] Účetnictví rodinného domu

[43] Energetický regulační úřad [online]. [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <http://kalkulator.eru.cz/DetailVypoctuPlatby.aspx>

[44] Informační leták k průkazu energetické náročnosti budov, Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Publikováno 19. 11. 2018 [cit. 3. 11. 2018] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/47812/58821/617435/priloha002.pdf>

[45] Mapa sítí, odstávek a poruch, Pražská teplárenská [online]. [cit. 3. 11. 2018] Dostupné z: <https://www.ptas.cz/cs/odstavky-a-poruchy/?type=4>

[46] Normové hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2, portál TZB-info [online]. [cit. 19.12.2018]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-teplna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>

[47] SRDEČNÝ, K., MACHOLDA, F. Úspory energie v domě. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0523-0 str. 22

[48] ZPŮSOBY ZATEPLENÍ OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ DOMU, iSTAVITEL.cz [online]. [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zpusoby-zatepleni-obvodoveho-plaste-domu_81

[49] Kvalifikovaný odhad, Ing. Tomáš Štěpánek, stavbyvedoucí. [cit. 20.3.2019]

Seznam tabulek a grafů:

Tabulka 1 – Srovnání cen tepla v roce 2019. Zdroj: Vlastní tvorba^{[24][25]}

Tabulka 2 - Normové hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Zdroj: ČSN 73 0540-2^[46]

Tabulka 3 – Základní údaje o přízemní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 4 – Základní údaje o podkrovní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 5 – Rozměry podkrovní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 6 – Rozměry přízemní části. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 7 – Základní geometrické vlastnosti budovy. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 8 – Materiál budovy a jeho vlastnosti. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 9 – Součinitel prostupu tepla. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 10 – Materiál budovy a jeho vlastnosti (izolace). Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 11 – Součinitel prostupu tepla (izolace). Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 12 – Roční potřeba energie na vytápění. Zdroj: Kalkulačka Zelená úsporám^[29]

Tabulka 13 – Množství a cena kouřovodů. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 14 – Ekonomické údaje jednotlivých variant. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 15 – Ekonomické vstupy RCF izolace. Zdroj: Vlastní tvorba

Tabulka 16 – RCF jednotlivých variant. Zdroj: Vlastní tvorba

Graf 1 – Konečná cena tepla různých paliv v roce 2019. Zdroj: Vlastní tvorba

Seznam obrázků:

Obrázek 1 – Průkaz energetické náročnosti budovy. Zdroj: Informační leták k průkazu energetické náročnosti budov^[42]

Obrázek 2 – Mapa sítí dálkového tepla Praha. Zdroj: Mapa sítí, odstávek a poruch, Pražská teplotárenská^[45]

Obrázek 3 – Riziko chybného zateplení stěny nad terénem. Zdroj: Úspory energie v domě^[47]

Obrázek 4 – Ukázka kontaktního zateplovacího systému. Zdroj: iSTAVITEL.cz^[48]

Obrázek 5 – Půdorys přízemí. Zdroj: Stavební dokumentace domu

Obrázek 6 – Půdorys podkroví. Zdroj: Stavební dokumentace domu

Obrázek 7 – Kategorie obálky budovy. Zdroj: Kalkulačka Zelená úsporám^[29]

Obrázek 8 – Stavebně technické hodnocení izolace. Zdroj: Kalkulačka Zelená úsporám^[29]

Přílohy:

Veškeré výpočty prováděné v této práci jsou z důvodu jejich rozsahu a složitosti důkladně popsány v příloženém Excelu Příloha.xlsx.