

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Filip Smolka

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Dodávka tepla pro rodinný dům

květen 2018

Bakalant: Filip Smolka

Vedoucí práce: Ing. Martin Beneš, Ph.D.

Čestné 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.

Datum: 25. 5. 2018

.....

podpis bakalanta

Poděkování:

Tímto děkuji panu Ing. Martinu Benešovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a připomínky, kterými přispěl ke zpracování této závěrečné práce.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Smolka** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **457054**
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:

Dodávka tepla pro rodinný dům

Název bakalářské práce anglicky:

Family House Heat Supply

Pokyny pro vypracování:

1. Určete stávající spotřebu tepla v domě.
2. Analyzujte současné náklady na teplo.
3. Navrhněte varianty změn v systému dodávky tepla.
4. Vypočítejte technické a ekonomické dopady variant z bodu 3.

Seznam doporučené literatury:

Murtinger K.: Úsporný rodinný dům. GRADA Publishing, 2013. ISBN: 978-80-247-4559-6.
Brealey R. A., Myers S. C., Allen F.: Principles of corporate finance. McGraw-Hill/Irwin, 2011. ISBN 978-0-07-353073-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Beneš, Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **26.01.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Martin Beneš, Ph.D.
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

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá dodávkou tepla pro rodinný dům. Určením tepelných ztrát budovy a jejich porovnáním se spotřebou plynu v předchozích obdobích zjišťuje současné náklady na teplo. V práci jsou dále navržena a rozebrána možná opatření na snížení nákladů na teplo jak na straně výroby, tak na straně spotřeby. Následně jsou vypočteny technické a ekonomické dopady těchto opatření.

Klíčová slova:

Rodinný dům, teplo, zásobování teplem, vytápění, tepelné ztráty, zateplení, nucené větrání s rekuperací, výměna oken

Summary:

This bachelor's thesis deals with family house heat supply. By determining the houses total heat loss and comparing it with gas consumption in previous years it establishes current heating costs. Afterwards possible cost saving measures are considered and analyzed. Finally their technical and economical implications are calculated.

Index Terms:

Family house, heat, heat supply, heating, heat loss, insulation, energy recovery ventilation, window replacement

Obsah

1. Úvod	2
1.1. Úvod práce	2
1.2. Výchozí popis budovy	2
2. Určení tepelných ztrát budovy	7
2.1. Popis konstrukcí a výpočet tepelné prostupnosti	8
2.2. Popis konstrukcí a výpočet tepelných ztrát.....	11
2.3. Výsledek hodnocení	14
3. Analýza spotřeby plynu	16
4. Možná opatření	19
4.1. Opatření na straně výroby.....	19
4.1.1. Výměna plynového kotle za nový.....	19
4.1.2. Solární kolektory.....	19
4.1.3. Napojení na systém centrálního zásobování teplem	19
4.1.4. Tepelné čerpadlo.....	20
4.2. Opatření na straně spotřeby	20
4.2.1. Nucené větrání s rekuperací.....	20
4.2.2. Zateplení obvodových stěn	31
4.2.3. Výměna oken.....	35
4.2.4. Snížení teploty vytápění	39
4.2.5. Snížení teploty vytápění 2	43
5. Závěr	46
5.1. Nejperspektivnější opatření	46
5.2. Doporučení	48
5.3. Závěrečné shrnutí.....	48
6. Seznam použité literatury	49

1. Úvod

1.1. Úvod práce

V zeměpisných šířkách České republiky je teplota vzduchu po značnou část roku na takové úrovni, že je nezbytné obytné budovy a místnosti aktivně vytápět na teplotu vyšší, než je teplota okolí, běžně v rozsahu několika stupňů nad či pod hodnotou 21 °C. Toto ovšem přináší značné náklady. V rozboru výchozího stavu zkoumané budovy zjišťuji, že se roční náklady na vytápění pohybují v desítkách tisíc korun. Rovněž je třeba vzít v úvahu množství spotřebovaných zdrojů a využití lidské práce. Z těchto důvodů je zřejmý smysl uvažování nad možnostmi snížení spotřeby tepla a optimalizací jeho využití. V této práci se budu zabývat zásobováním teplem na příkladu rodinného domu. Prvním krokem bude prozkoumání výchozího stavu, pokud jde o spotřebu tepla, zásobování teplem a tepelné ztráty budovy. Na základě výsledků první části budu hledat možnosti optimalizace.

1.2. Výchozí popis budovy

Obecné

Zkoumaná budova je řadový rodinný dům s dvěma nadzemními podlažími, nevytápěným podkrovím s nezateplenou střechou, částečně vytápěným sklepem a nevytápěnou garáží. Budova se nachází ve svahu, z tohoto důvodu jsou sklep a garáž částečně nad úrovní terénu. Vytápění je řešeno ústředním topením s topnými tělesy na zdech a ve dvou místnostech s podlahovým topením, s centrálním termostatem, vlastním plynovým kotlem a zásobníkem na teplou vodu. V době vytváření této práce je dům dvanáct let starý, postavený z tehdy moderních materiálů a s plastovými okny s izolačním dvojsklem. Vzhledem k řadovému uspořádání jedna stěna téměř celá přiléhá na stěnu sousedního domu. Dům je obývaný celoročně, topná sezóna není pevně určená.

Zdroj tepla

Zdrojem tepla je kotel Ceraclass ZS 24-2 DH KE vyrobený firmou Junkers. Kotel má pro ohřev teplé vody tepelný jmenovitý příkon 8,4 – 26,5 kW a tepelný jmenovitý výkon 7 – 23,6 kW. Pro vytápění má kotel tepelný jmenovitý příkon 9,5 – 26,5 kW a tepelný jmenovitý výkon 8,0 - 23,6 kW. Má třídu energetické účinnosti C a třídu energetické účinnosti ohřevu vody B. Účinnost kotle při jmenovitém tepelném výkonu (23,6 kW) je 79,8 % (hodnota deklarovaná výrobcem), při 30 % jmenovitého tepelného výkonu je 78,3 % (hodnota deklarovaná výrobcem).¹ Na základě subjektivního pozorování obyvatel domu kotel výkonově vyhovuje pro vytápění i ohřev vody.

Plány budovy

Poznámka: Plány budovy jsou pouze ilustrační pro základní představu o typu stavby, rozměrech domu a podlahové ploše. Podrobné plány se nedochovaly, podrobnější výkresy půdorysu, které jsem použil při vypracování jsou příliš rozměrné pro uvedení v textu práce. Při zachování rozměrů by pokryly 12 stran. Před samotnou stavbou došlo menší změnám, zejména ke sloučení koupelny a záchodu

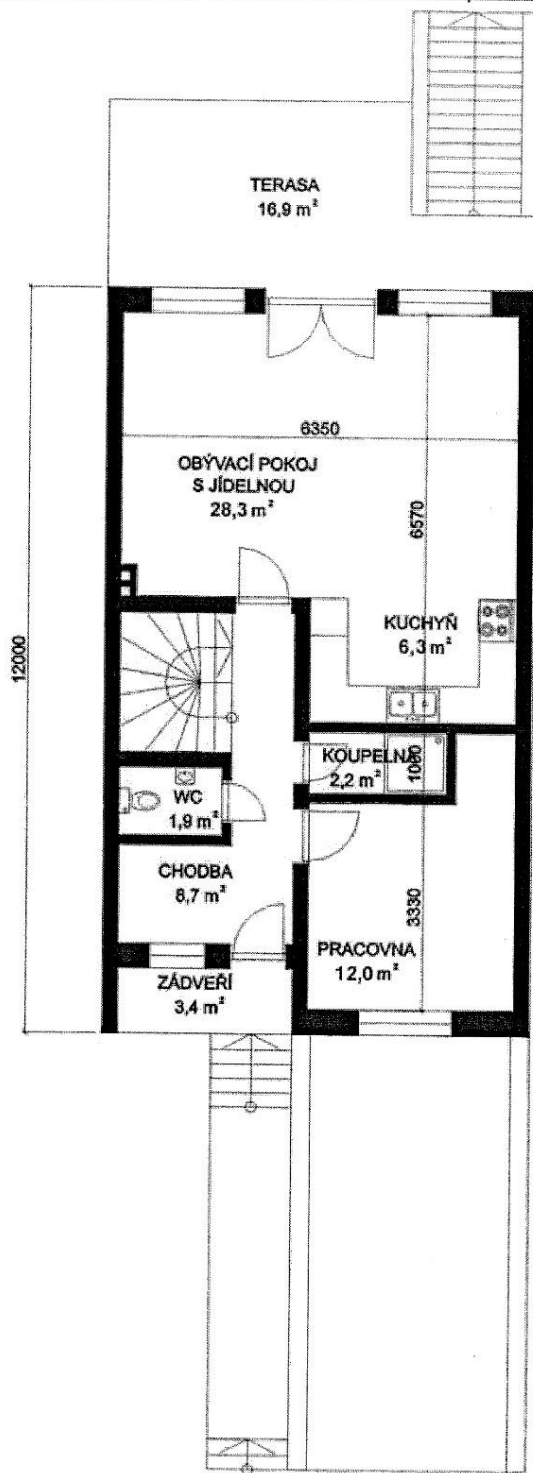
¹ Junkers & Co. *Plynový závěsný kotel s průtokovým ohřevem teplé vody Ceraclass* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://www.junkers.cz/pro_nase_zakazniky/produkty_junkers/detail_produkty/detail_produkty_6081

v přízemí do jedné místnosti na místě koupelny. To ale výpočet tepelných ztrát obálkovou metodou neovlivní.

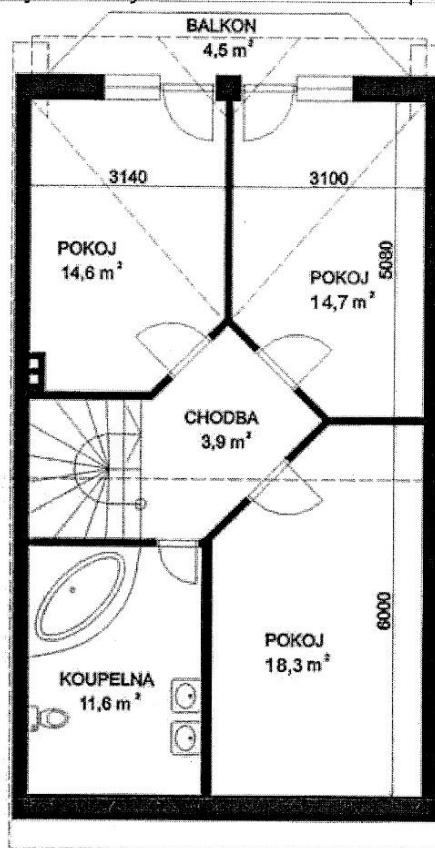
Obálková metoda výpočtu tepelné ztráty budovy počítá tepelné ztráty vytápěné zóny plochou konstrukcí, které ji oddělují od venkovního prostředí. Kromě výpočtu obálkovou metodou lze provést výpočet tepelné ztráty jednotlivých místností. Tato metoda je vhodná pro navrhování otopné soustavy v jednotlivých místnostech². Vzhledem k tomu, že se zabývám dodávkou tepla pro rodinný dům jako celek, je výpočet obálkovou metodou dostačující.

² HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov: základní pojmy a platná legislativa*[online]. Praha: EkoWATT, 2009 [cit. 2018-05-23]. ISBN 978-80-87333-03-7. Strana 38

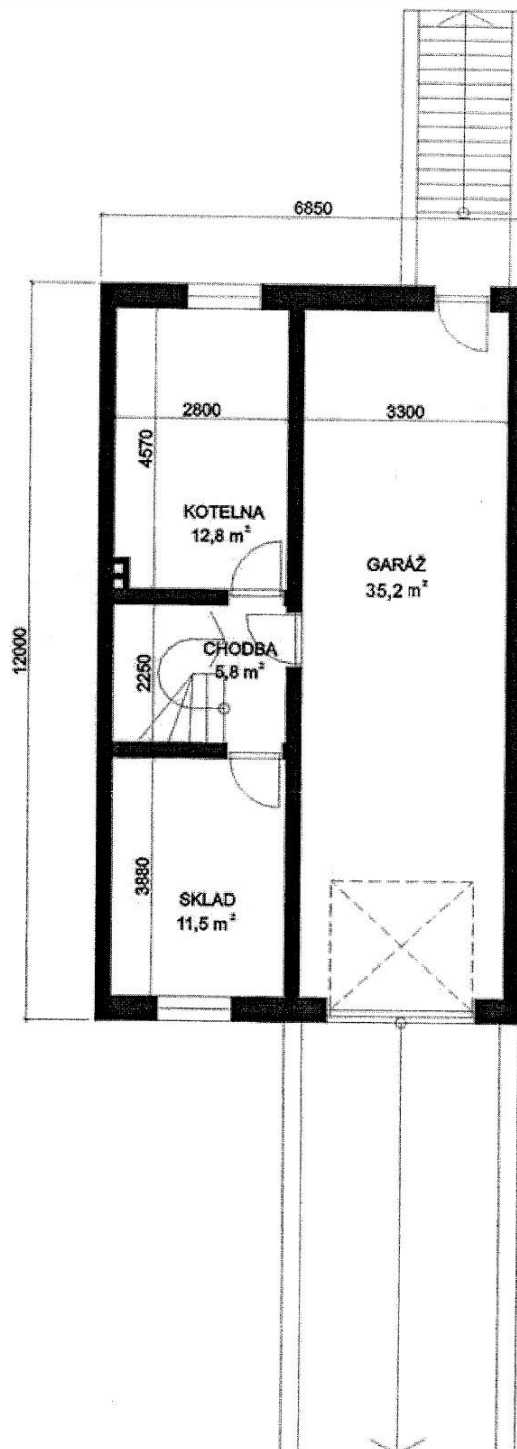
Řadový rodinný dům 1 KOMFORT: přízemí



Řadový rodinný dům 1 KOMFORT: podkroví



Řadový rodinný dům 1 KOMFORT: suterén



2. Určení tepelných ztrát budovy

Pro určení tepelných ztrát budovy jsem použil program „Online kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám“³, který je volně k dispozici na serveru tzb-info.cz. Pro výpočet jsem musel údaje o budově zpracovat tak, aby je bylo možné zadat do této kalkulačky. V následující části práce popisuji, které části budovy představují různé předdefinované konstrukce v programu a jaké jsem zvolil parametry pro výpočet. Vzhledem k neúplnosti plánů budovy jsem byl nucen některé rozměry změřit přímo, proto nemusejí být zcela přesné a rovněž nebude možné pouze z plánů budovy určit veškeré rozměry, které zde uvádím.

Konstrukce jsou určeny jejich plochou, součinitelem prostupu tepla a činitelem teplotní redukce, jehož nastavením na jinou hodnotu než 1 je možné započítat tepelné ztráty konstrukcí přiléhajících k terénu nebo k nevytápěným prostorám.

Součinitel prostupu tepla jsem určil pomocí programu „Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci“⁴, který je rovněž volně přístupný na serveru tzb-info.cz. V případě, že se zadaný materiál nacházel v nabídce programu, použil jsem pro danou vrstvu programem zadanou hodnotu součinitele prostupu tepla. V případě, že jsem zadávaný materiál v nabídce předdefinovaných materiálů nenašel, určil jsem hodnotu tak, že jsem vybral z nabídky obdobný materiál a zvolil tloušťku náhradní vrstvy tak, aby hodnota součinitele prostupu tepla odpovídala. Tento postup sice neumožňuje určení průběhu teplot v konstrukci, ale pro účely této práce je potřebný pouze součinitel prostupu tepla celé konstrukce, jehož hodnotu lze tímto způsobem vypočítat.

Nastavení programu Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí:

Umístění stavby: Praha

Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období: $\theta_e = -13 \text{ °C}$

(Výchozí hodnota program pro lokalitu Praha.)

Návrhová vnitřní teplota v zimním období: $\theta_i = 20 \text{ °C}$

Výpočtová teplota vnitřního vzduchu: $\theta_{ai} = 20,6 \text{ °C}$

(Opět se jedná o základní hodnoty.)

Program počítá vždy pouze jednu konstrukci a žádné názvy jim nepřiděluje. Pro přehlednost jsem se rozhodl konstrukce již v této části popsat názvy, které jim budou příslušet v programu On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám.

³ REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>

⁴ TZB-info. Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestruvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>

2.1. Popis konstrukcí a výpočet tepelné prostupnosti

Stěna 1

Stěna 1 představuje většinu východní, jižní a západní stěny budovy od úrovně podlahy prvního nadzemního podlaží po úroveň stropu pod nevytápěným podkrovím. Vrstvy jsou číslovány z vnitřku budovy směrem ven.

Vrstva 1: Omítka vápenná

Tloušťka vrstvy $d = 0,015$ m (bohužel v tomto případě skutečnou hodnotu neznám, ani ji nemohu změřit bez narušení fasády budovy, proto jsem se rozhodl ponechat základní hodnotu určenou v programu)

Vrstva 2: Porotherm P+D 40

V nabídce programu se tento materiál nenachází, proto jsem vyhledal hodnotu součinitele prostupu tepla uváděnou výrobcem ($U = 0,38 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$)⁵. Rozhodl jsem se počítat s horní hranicí rozsahu. Pro výpočet jsem tuto vrstvu nahradil.

Substituce vrstvy 2: Porotherm 40 EKO+ Profi Dryfix

Tloušťka vrstvy $d = 0,225$ m

Vrstva 3: Omítka perlitová

Tloušťka vrstvy $d = 0,015$ m

Opět se jedná o základní variantu v programu a její přednastavenou tloušťku, protože podrobnější informace o omítce budovy nejsou k dispozici.

Stěna 2:

V konstrukci budovy jsou na několika místech použity tenčí Porothermové bloky v kombinaci s vrstvou izolace. Jejich souhrnnou plochu představuje ve výpočtu tato pomyslná konstrukce.

Vrstva 1: Omítka vápenná

Tloušťka vrstvy $d = 0,015$ m

Vrstva 2: Porotherm P+D 24

Tento materiál se opět v nabídce programu nenachází. Použil jsem tedy hodnotu $U = 1,1 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ získanou z webových stránek⁶ výrobce a do výpočtu zadal náhradní vrstvu.

Substituce vrstvy 2: Porotherm SK+ Profi Dryfix

Tloušťka vrstvy $d = 0,0835$ m

Vrstva 3: Pěnový polystyren

Tloušťka vrstvy $d = 0,05$ m

Vrstva 4: Omítka perlitová

Tloušťka vrstvy $d = 0,015$ m

⁵Wienerberger s.r.o.. Porotherm 40: Tepelněizolační vnější stěna. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/ke-stazeni/20170512113134/porotherm-40-vyroba-ukoncena-v-r.-2017.pdf>

⁶Wienerberger s.r.o.. Porotherm 24. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/produkty/porotherm-24-p-d#collapse-collapse1366232729722>

V tomto místě bych měl dodat, že jsem pro zjednodušení zanedbal stěnu, kterou budova sousedí s vedlejším domem. Vzhledem ke značné souhrnné tloušťce stěn v tomto místě (48 cm Porothermu) a faktu, že sousední budova je dlouhodobě a trvale obydlená (tedy rozdíl teplot na obou stranách konstrukce bude celoročně nejméně 5 °C) považuji ztráty touto konstrukcí za nevýznamné.

Podlaha na terénu:

O podlaze na terénu (resp. podlaze sklepa) nejsou k dispozici informace o její konstrukci a použitých materiálech. Proto jsem použil možnost z nabídky Kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám „Podlaha bez tepelné izolace $U = 3,1 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ “.

Podlaha nad sklepem (sklep částečně nad terénem):

Pokud jde o podlahu v přízemí budovy, nejsou k dispozici žádné podrobné informace o použitých materiálech. Víím ale, že mezi pevnou částí podlahy a sádrokartonovým stropem sklepa je vrstva izolace o tloušťce přibližně 10 cm. Proto jsem použil předdefinovanou možnost z nabídky Kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám označenou „Podlaha s tepelnou izolací 10 cm $U = 0,35 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ “.

Střecha:

Výpočet tepelných ztrát střechou je v tomto případě poněkud problematický. Komplikuje jej fakt, že pod střechou je nevytápěné podkroví, ale střecha částečně přesahuje pod úroveň stropu pod půdou a v místnostech druhého nadzemního podlaží přiléhá v rozích přímo na vytápěné místnosti. Konstrukce „Střecha“ v tomto výpočtu představuje pouze tyto přesahy. Vliv většiny střechy, která se nachází nad nevytápěným podkrovím je započítán činitelem teplotní redukce ve výpočtu ztrát konstrukcí „strop pod půdou“.

Vrstva 1: Omítka vápenná

Tloušťka vrstvy $d = 0,015 \text{ m}$

Vrstva 2: Sádrokarton

Tloušťka vrstvy $d = 0,013 \text{ m}$

Vrstva 3: Výrobky z minerální vlny (MW) ČSN EN 13162

Tloušťka vrstvy $d = 0,15 \text{ m}$

Zde program nabízí několik variant materiálu se zcela stejným názvem. Vzhledem k absenci podrobných informací jsem zvolil střední variantu, materiál s objemovou hmotností 100 kg/m^3 .

Vrstva 4: Taška pálená

Tloušťka vrstvy $d = 0,013 \text{ m}$

Strop pod půdou:

Ani o konstrukci stropu pod půdou nejsou v plánech k budově podrobnější informace. Přímým změřením jsem určil tloušťku izolace na 17 cm, ale tloušťku a druh dalších použitých materiálů neznám. V nabídce Kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám se ale nachází předdefinovaná možnost „Strop s tepelnou izolací 16 cm $U = 0,21 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ “. Rozdíl v tloušťce izolace o velikosti 1 cm považuji za zanedbatelný a zvolil jsem tedy tuto možnost.

Okna – typ 1:

Na rámu oken budovy je uvedena hodnota součinitele prostupu tepla $U = 1,4 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Tato hodnota je stejná pro všechna okna v budově i prosklené dveře balkonu a terasy.

Vstupní dveře:

K domovním dveřím se nedochovala žádná dokumentace a ani jsem na nich nikde nenalezl žádné popisky nebo štítek s technickými údaji. Nemám žádné bližší informace o jejich vnitřním konstrukčním uspořádání. Dveře jsou plastové s malým proskleným průzorem o ploše přibližně $0,04 \text{ m}^2$. Zvolil jsem tedy v Kalkulačce úspor Zelená úsporám možnost „nové kvalitní domovní dveře $U = 1,2 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ “. Tomuto popisu z nabízených možností nejlépe odpovídají.

Jiná konstrukce 1:

Tato konstrukce představuje stěnu mezi vytápěnou částí sklepa a nevytápěnou garáží.

Vrstva 1: Omítka vápenná

Tloušťka vrstvy $d = 0,015 \text{ m}$

Vrstva 2: Porotherm P+D 24

Tento materiál se opět v nabídce programu nenachází. Použil jsem tedy hodnotu $U = 1,1 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ získanou z webových stránek⁷ výrobce a do výpočtu zadal náhradní vrstvu.

Substituce vrstvy 2: Porotherm SK+ Profi Dryfix

Tloušťka vrstvy $d = 0,0835 \text{ m}$

Vrstva 3: Omítka vápenná

Tloušťka vrstvy $d = 0,015 \text{ m}$

Tato stěna tvoří hranici vytápěných prostor, ale ne mezi interiérem a exteriérem, proto je na obou stranách stěny interiérová omítka.

Jiná konstrukce 2:

Tato konstrukce představuje stěnu vytápěné části sklepa. Stěna je částečně pod terénem.

Vrstva 1: Omítka vápenná

Tloušťka vrstvy $d = 0,015 \text{ m}$

Vrstva 2: Porotherm P+D 40

V nabídce programu se tento materiál nenachází, proto jsem vyhledal hodnotu součinitele prostupu tepla uváděnou výrobcem ($U = 0,38 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$)⁸. Rozhodl jsem se počítat s horní hranicí rozsahu. Pro výpočet jsem tuto vrstvu nahradil.

Substituce vrstvy 2: Porotherm 40 EKO+ Profi Dryfix

Tloušťka vrstvy $d = 0,225 \text{ m}$

Vrstva 3: Omítka perlitová

Tloušťka vrstvy $d = 0,015 \text{ m}$

⁷Wienerberger s.r.o.. Porotherm 24. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/produkty/porotherm-24-p-d#collapse-collapse1366232729722>

⁸Wienerberger s.r.o.. Porotherm 40: Tepelněizolační vnější stěna. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/ke-stazeni/20170512113134/porotherm-40-vyroba-ukoncena-v-r.-2017.pdf>

2.2. Popis konstrukcí a výpočet tepelných ztrát

Nastavení programu a vstupní data

Nastavení programu Kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám

Město: Praha

Venkovní návrhová teplota v zimním období θ_e : - 13 °C

Délka otopného období d : 216 dní

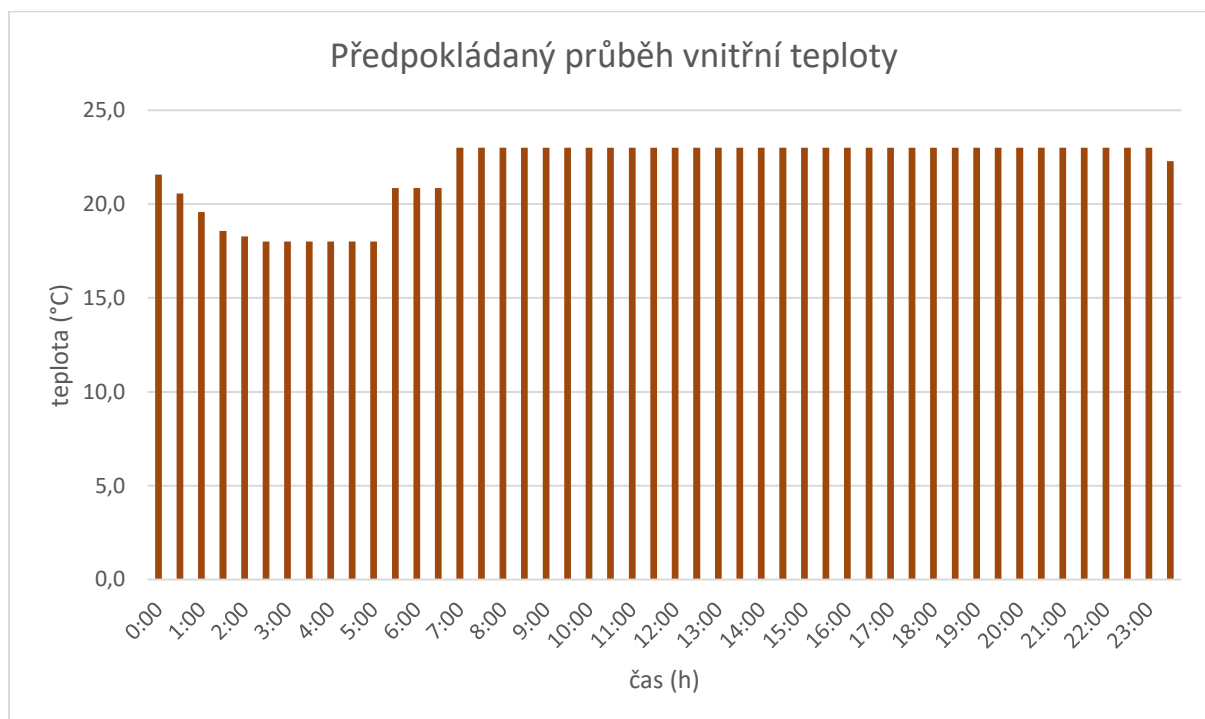
Průměrná venkovní teplota v otopném období θ_{em} : 4 °C

Výše uvedené parametry jsou v programu dány zvolenou lokalitou a nelze je měnit. Výpočet reálné spotřeby, která závisí na lokalitě, je doplňkovou funkcí programu, který je v základu nastaven na standardizované parametry pro celou republiku určené k výpočtu výše dotace. Pro zkoumání reálné spotřeby je toto nastavení méně vhodné.

Převažující vnitřní teplota v otopném období θ_{im} : 21,9 °C

Teplota v budově je řízená termostatem. Režim vytápění se liší podle dne v týdnu, aby teplota co nejlépe odpovídala dennímu režimu obyvatel domu. Pro určení skutečného průběhu by bylo třeba provést měření záznamníkem teplot, ten jsem ale neměl k dispozici. Na základě pozorování jsem tedy udělal dva předpoklady. První, z noční teploty 18 °C se budovy vytopí na 23 °C během půl hodiny. Druhý, samovolný pokles teploty z 23 °C na 18 °C trvá 2,5 hodiny. Podle těchto předpokladů jsem upravil ideální průběh teplot dle nastavení termostatu, který předpokládá skokové změny. Průběhy se liší podle dne v týdnu, spočítal jsem tedy průměrné hodnoty v čase za celý týden a z těchto hodnot jsem dále spočítal jednu průměrnou teplotu, kterou považuji za převažující vnitřní teplotu v otopném období a budu s ní dále počítat. Vzhledem k omezenému rozsahu práce jsem se rozhodl uvést pouze tuto výslednou hodnotu a graf jediného průběhu teploty, skládající se z průměrných hodnot. Tabulka popisující teploty během každého dne a příslušné grafy by zabraly několik stran.

Grafické zobrazení předpokládaného průběhu vnitřní teploty v budově



Graf 2.1

Objem budovy V: 465,9 m³

Tuto hodnotu jsem určil zadáním vnějších rozměrů budovy do programu Kalkulačka programu Nová Zelená úsporám⁹. Ten je pro vyhodnocení tepelných ztrát budovy nepřesný, protože umožňuje jen velmi hrubý popis s minimem údajů, ale pro určení objemu poslouží dobře. Nebere ovšem v úvahu podsklepení budovy, proto jsem objem vytápěné části sklepa přičetl sám.

Celková podlahová plocha A_c: 134 m² (zjištěno z plánů budovy)

Trvalý tepelný zisk H₊: 380 W

V popiskách programu je uvedeno, že za běžný tepelný zisk se považuje 100 W za spotřebiče v domácnosti a 70 W na každou ubytovanou osobu. Ve zkoumané budově trvale bydlí 4 lidé, proto jsem zvolil trvalý tepelný zisk 380 W, což je rovněž základní hodnota v programu.

Lineární tepelné mosty: $\Delta U = 0,02 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ – konstrukce téměř bez tepelných mostů

Intenzita větrání s původními okny n₁: n₁ = 0,4 h⁻¹

Ostatní parametry nelze uživatelem měnit, jsou vypočítávané z ostatních údajů. Hodnotu solárních tepelných zisků jsem ponechal výchozí.

Stěna 1:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: U = 0,36 Wm⁻² K⁻¹

Plocha: A_i = 142,2 m²

Činitel teplotní redukce: b_i = 1,00

⁹Státní fond životního prostředí. Kalkulačka programu Nová zelená úsporám [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://kalkulacka-rd.novazelenausporam.cz/>

Stěna 2:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 0,39 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 11,7 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 1,00$

Podlaha na terénu:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 3,1 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 11,5 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 0,40$

Hodnota činitele teplotní redukce je pro tuto konstrukci ponechána výchozí.

Podlaha nad sklepem (sklep částečně pod terénem):

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 0,35 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 53,8 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 0,49^{10}$

Střecha:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 0,26 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 23,3 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 1,00$

Tato konstrukce nepředstavuje celou plochu střechy, ale pouze části, které přímo přiléhají k vytápěným prostorům budovy.

Strop pod půdou:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 0,21 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 60,9 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 0,83^{11}$

Půda je nevytápěná a střecha nad ní je neizolovaná a netěsná.

Okna – typ 1:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 1,4 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 24,2 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 1,00$

¹⁰ ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Metody hodnocení energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.fdyson.cz/prednasky_ke_stazeni/enb_cast_2.pdf. Strana 62.

¹¹ ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Metody hodnocení energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.fdyson.cz/prednasky_ke_stazeni/enb_cast_2.pdf. Strana 62.

Vstupní dveře:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 1,2 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 1,9 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 1,00$

Jiná konstrukce – typ 1:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 1,06 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 9,1 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 1,00$

Jiná konstrukce - typ 2:

Součinitel prostupu tepla před zateplením: $U = 0,36 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Plocha: $A_i = 6,7 \text{ m}^2$

Činitel teplotní redukce: $b_i = 0,57^{12}$

2.3. Výsledek hodnocení

Výstupem programu je měrná potřeba energie, která je v tomto případě **112,1 kWh/m²**. Pro účely posouzení je ale vhodnější souhrnná hodnota, proto jsem vynásobil získanou hodnotu celkovou podlahovou plochou 134 m², čímž jsem získal výslednou hodnotu **15 021 kWh**. Tato hodnota ale sama o sobě neposkytuje žádné informace o tom, kam zaměřit úsilí o úsporu tepla. Naštěstí program nabízí ještě tzv. Stavebně – technické vyhodnocení, ve kterém rozepisuje ještě tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi. Pro přehlednost jsem ještě přidal přepočtené hodnoty na procenta, který jinak není součástí výstupu programu. Pozor, v tomto případě se jedná o okamžitý ztrátový výkon (pro teploty odpovídající nastavení programu), tedy jednotkou jsou watt.

Tab 2.1

Typ konstrukce	Tepelná ztráta (W)	%
Obvodový plášť	1 946	25,7
Podlaha	820	10,8
Střecha	582	7,7
Okna, dveře	1 262	16,6
Jiné konstrukce	385	5,1
Tepelné mosty	241	3,2
Větrání	2 349	31,0
Celkem	7 585	

¹² ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Metody hodnocení energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.fdyson.cz/prednasky_ke_stazeni/enb_cast_2.pdf. Strana 62.

Výsledek je rovněž k dispozici v grafické formě.



Graf 2.2

Na první pohled konstatuji, že největší podíl na ztrátách budovy má větrání. Následuje obvodový plášť, představující konstrukce Stěna 1 a Stěna 2. Po přičtení položky Jiné konstrukce, která v tomto případě rovněž představuje stěny, by se pořadí nezměnilo. Třetí v pořadí je konstrukce Okna, Dveře.

3. Analýza spotřeby plynu

Analýza spotřeby je v případě této budovy poněkud problematická. V dubnu roku 2015 došlo k výměně kotle za současný kotel Ceraclass. K původnímu kotli, který sloužil od roku 2004 nejsou k dispozici použitelné informace o jeho účinnosti. Současně v době tvorby této práce není k dispozici vyúčtování za konec roku 2017, vzhledem k tomu, že fakturační období trvá jeden rok, jehož začátek se nekryje se začátkem roku kalendářního. Proto jsem nucen klíčové závěry dělat pouze z jednoho roku, tedy z roku 2016, informace o ostatních rocích jsou orientační či uváděné z jiného důvodu.

Analýzu spotřeby jsem začal souhrnem informací z faktur za několik posledních fakturačních období.

Tab 3.1

zúčtovací období	spotřeba (kWh)
1.1. 2017 - 11.12. 2017	25 521
13.12. 2016 - 31.12. 2016	2 997
1.1. 2016 - 12.12. 2016	23 962
11.12. 2015 - 31.12. 2015	2 462
1.1. 2015 - 10.12. 2015	21 524
12.12. 2014 - 31.12. 2014	2 389
1.1. 2014 - 11.12. 2014	19 840

Údaje za rok 2017 jsou nekompletní, údaje za rok 2016 jsou jako jediné ucelené i zcela relevantní, rok 2015 byl z velké části a rok 2014 zcela ovlivněn parametry předchozího kotle, nicméně níže je použiji, protože k nim jsou k dispozici informace o spotřebě za jednotlivé měsíce, tedy jsem je již zde uvedl. Údaje lze snadno přepočítat na spotřebu za kalendářní rok.

Tab 3.2

kalendářní rok	spotřeba (kWh)
2017	25 521
2016	26 959
2015	23 986
2014	22 229

Spotřeba plynu na vytápění během roku je značně ovlivněná klimatickými podmínkami, jmenovitě teplotou během topné sezóny a délkou topné sezóny. Abych ji ale mohl zkoumat, musím nejprve od spotřeby odečíst plyn spotřebovaný na ohřev teplé vody. To je komplikováno tím, že teplou vodu i vodu pro vytápění poskytuje jeden kotel a nikde nedochází k jejich oddělenému měření. K odhadu této hodnoty použiji údaje o spotřebě plynu za roky 2014 a 2015.

Tabulka 3.3

	2014		2015	
	kWh	denostupně	kWh	denostupně
leden	3 844	631,7	4 160	601,4
únor	3 258	514,1	3 972	581,5
březen	2 462	411,8	3 322	499,3
duben	1 446	236,6	2 096	339,0
květen	1 016	175,9	870	126,4
červen	419	0	367	0,0
červenec	335	0	209	0,0
srpen	482	0	209	0,0
září	649	61	650	127,3
říjen	1 582	260,8	2 043	367,2
listopad	2 755	450,4	2 536	416,4
Prosinec	3 981	586,3	3 552	491,6

Údaje v této tabulce jsou rozepsány na spotřebu za jednotlivé měsíce. Kvůli změnám dodavatele plynu nejsou bohužel takto podrobné údaje k dispozici pro roky 2016 a 2017. Objevuje se i sloupec s označením denostupně. Tento pojem je třeba vysvětlit.

„**Počet denostupňů** je součin dnů vytápění a rozdílu teplot vnitřního a venkovního vzduchu za určité období.

$$D^{\circ} = d * (t_{is} - t_{es})$$

kde:

Počet dnů vytápění (d) se obecně stanoví pro každou budovu individuálně tak, že vytápět se začíná při takové venkovní teplotě, kdy tepelné ztráty budovy převýší vnitřní a venkovní tepelné zisky. V legislativní praxi je ale počátek i konec vytápění stanoven vyhláškou č. 152/2001 Sb. Mezní teplotou, od níž se začíná vytápět, je 13°C a předpis stanovuje řadu podmínek podle průběhu venkovních teplot.

Vnitřní teplota (t_{is}) je teplotou vzduchu ve vytápěném prostoru. Pro dimenzování zařízení je stanovena technickými normami, pro provoz vyhláškami z oblasti hygieny a hospodaření energií. Vnitřní teplota je vztahnou hodnotou a musí se u denostupňových údajů uvádět - např. $D^{\circ}(20) = 3500$.

Venkovní teplota (t_{es}) je průměrná teplota venkovního vzduchu. U průměrných denních teplot nejde o aritmetický průměr celodenní řady naměřených teplot. Stanovuje se jako čtvrtina součtu venkovních teplot měřených v 7, 14 a 21 hodin s tím, že hodnota teploty ve 21 hodin se bere dvakrát. Jde o zvláštnost vyplývající z metodiky meteorologických porovnání a historického vývoje.¹³

V tuto chvíli ještě přepočítání pomocí denostupňů nepoužiji. Poslouží ale jako ukazatel. V obou zkoumaných obdobích jsou měsíce červen, červenec a srpen měsíci s nulovým počtem denostupňů. Tedy lze předpokládat (ač se pro rodinné domy nejedná o jistotu), že během těchto měsíců vůbec nedocházelo k vytápění a spotřebovaný plyn odpovídá spotřebě teplé vody. Tato hodnota bude v největších vedrech oproti zbytku roku nižší, vzhledem k tendenci většiny lidí sprchovat se v létě spíše chladnější vodou. Nepoužiji tedy průměr těchto hodnot, pouze na jejich základě učiním odhad, že

¹³ TINTĚRA, Ladislav. Přepočítání spotřeby paliva a průměrné teploty - představení nové výpočetní pomůcky. *Tzb-info* [online]. 2005, 4.7.2005 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/2586-prepocet-spotreby-paliva-a-prumerne-teploty-predstaveni-nove-vypocetni-pomucky>

spotřeba plynu na ohřev vody činí **500 kWh** na měsíc, což jen mírně převyšuje nejvyšší z těchto hodnot, která je 482 kWh.

Nyní se vrátím k tabulce 1, do které přidám několik sloupců. Sloupec vytápění bude obsahovat původní hodnoty spotřeby snížené a roční spotřebu plynu na ohřev vody, tedy o dvanáctinásobek odhadované měsíční spotřeby 500 kWh, což je **6 000 kWh**. Ve sloupci denostupně uvádím počet denostupňů spočítaný programem Výpočet denostupňů¹⁴ na serveru tzb-info.cz. Použil jsem hodnoty meteorologické stanice Praha – Libuš a počítal jsem s průměrnou teplotou interiéru 21,9 °C a referenční teplotou 13 °C. Ve sloupci přepočtené spotřeby uvádím hodnoty dle následujícího vzorce, které spotřebu v daném roce přepočítávají na spotřebu dle dlouhodobého klimatického průměru. Dlouhodobý průměr počtu denostupňů za kalendářní rok uvádí tentýž program jako 3886,7 denostupňů.

„Absolutní přepočtení“

$$\text{spotřeba (úroveň NORMÁL)} = \text{spotřeba (2003)} * (D^{\circ}\text{NORMÁL}/D^{\circ}2003)^{15}$$

Ve sloupci teplo dodané kotlem násobím spotřebu v daném roce přepočtenou na dlouhodobě průměrný rok výrobcem deklarovanou účinností kotle. Musím znovu zmínit, že účinnosti původního kotle neznám. Použil jsem tedy stejnou hodnotu pro všechny roky s tím, že výsledná hodnota pro roky 2014 a 2015 může být do určité míry nepřesná.

Tab 3.4

kalendářní rok	spotřeba (kWh)	vytápění (kWh)	denostupně	přepočtené (kWh)	teplo dodané kotlem (kWh)
2017	25 521	19 521	N/A	N/A	N/A
2016	26 959	20 959	3 793,7	21 473	16 725
2015	23 986	17 986	3 550,1	19 691	14 353
2014	22 229	16 229	3 328,6	18 950	12 951

V tuto chvíli se nabízí otázka, proč jsem v posledním sloupci přepočítával teoretické hodnoty, a ne ty skutečné. Udělal jsem to proto, abych mohl výsledek porovnat s teoretickou roční potřebou energie na vytápění. Aritmetický průměr hodnot za roky 2014-2016 je **14 676 kWh**. Vypočtená hodnota spotřeby energie je **15 021 kWh**. Tyto hodnoty jsou si velmi blízké a z toho usuzuji, že navzdory spíše orientačnímu charakteru provedených výpočtů jsou získané hodnoty odpovídající realitě a je možné z nich nadále vycházet.

¹⁴ REINBERK, Zdeněk a Ladislav TINTĚRA. TZB-info. Výpočet denostupňů. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu>

¹⁵ TINTĚRA, Ladislav. Přepočtení spotřeby paliva a průměrné teploty - představení nové výpočetní pomůcky. *Tzb-info* [online]. 2005, 4.7.2005 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/2586-prepocet-spotreby-paliva-a-prumerne-teploty-predstaveni-nove-vypocetni-pomucky>

4. Možná opatření

4.1. Opatření na straně výroby

Při posuzování opatření na straně výroby beru v úvahu fakt, že současný kotel je relativně nový a jakékoli opatření které by vedlo k jeho náhradě musí být natolik účinné, aby vzniklá úspora pokryla ztrátu vzniklou jeho demontováním nebo nevyužíváním.

4.1.1. Výměna plynového kotle za nový

Jak jsem již popsal v úvodu této práce, teplo i ohřev teplé vody zajišťuje plynový kotel. Nabízí se tedy možnost výměny za účinnější model nebo typ kotle, například za kotel kondenzační. Tuto možnost ale po úvaze z ekonomických důvodů vylučuji. Současný kotel je pouze necelé tři roky starý. Pokud odhadnu jeho životnost na deset let s tím, že předchodí plynový kotel byl využíván po dobu jedenácti let, jeví se jeho výměna v tuto chvíli jako velmi ne hospodárný krok.

Instalace kondenzačního kotle by navíc pravděpodobně vyžadovala stavební úpravy a rekonstrukci komína. Kondenzační kotel pro svůj provoz vyžaduje zajištění odvodu spalin a přívodu venkovního vzduchu např. pomocí koncentrického potrubí, kdy jsou trubka odvádějící spaliny a trubka přivádějící vzduch pro spalování vsazeny v sobě. Jednoduchý komín, který je v budově nainstalovaný přívod spalovacího vzduchu bez úprav neumožňuje. Kondenzační kotel je možné provozovat s jednoduchým komínem, pokud tento kotel umožňuje nasávání vzduchu z místnosti. V takovém případě je ale místnost neustále ochlazována nasávaným venkovním vzduchem a účinnost kondenzačního kotle není optimální, protože nasávaný vzduch není předehříván odváděnými spalinami.¹⁶

Potřebné úpravy by nadále zvýšily náklady na opatření, přičemž jeho účinnost by nebyla o tolik vyšší než u stávajícího kotle, aby to vedlo k významné úspoře nákladů na vytápění.

4.1.2. Solární kolektory

Dalším možným způsobem výroby tepla je ohřev teplé vody pomocí solárních kolektorů. Bohužel u zkoumaného domu jsou hlavní plochy sedlové střechy orientované východním a západním směrem. Směrem na jih jsou orientovány pouze menší vedlejší plochy. Z jižní strany je navíc střecha částečně stíněna vyšší budovou. Proto bych nedoporučil ani instalaci solárních kolektorů.

4.1.3. Napojení na systém centrálního zásobování teplem

Napojení na systém centrálního zásobování teplem nepovažuji v tomto případě za proveditelné. Nejbližší takový systém se nachází několik set metrů daleko od budovy, napojení jednoho rodinného domu není ekonomicky únosné, ani proveditelné.

¹⁶ NOVÁK, Zdeněk. HLAVNÍ ÚSKALÍ PŘI INSTALACI KONDENZAČNÍCH KOTLŮ. *Asb-portal*[online]. Jaga Media, 09.05.2014 [cit. 2018-05-23].

Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/hlavni-uskali-pri-instalaci-kondenzacnich-kotlu>

4.1.4. Tepelné čerpadlo

Tepelných čerpadel existuje několik druhů. Jako první jsem zvážil typ země/voda. Tento typ u této budovy vylučuji, protože přilehlý pozemek se zahradou je vzhledem k řadovému uspořádání domů příliš malý. Hlavní plocha pozemku má přibližně pouhých 100 m², pro horizontální výměník tepelného čerpadla rodinného domu je obvykle potřeba 150 - 800 m².¹⁷ Realizování vrtu ve městě a na pozemku, jehož zahrada se nachází nad úroveň okolního terénu a nelze na ni vjet se stavební technikou rovněž považuji za nemožné.

Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch by bylo z hlediska nákladů dostupnější, ale zkoumaná budova je vnitřně velmi členitá, tedy by vytápění pravděpodobně nebylo příliš rovnoměrné. Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch navíc neumožňuje ohřev teplé vody, který by bylo nutné řešit dalším zdrojem.

Tuto nevýhodu by odstranilo použití čerpadla vzduch/voda, ale jeho instalace by byla spojená se značnými zásahy do rozvodu teplé vody a vyžadovala by výměnu topných těles.¹⁸ Pokud by bylo možné jeho instalaci spojit s rozsáhlejší rekonstrukcí či jiným větším stavebním zásahem do budovy, považoval bych jej za vhodné pro další zvážení. V tuto chvíli jej ale musím rovněž vyloučit.

Vzhledem k tomu, že jsem u zkoumané budovy nenalezl smysluplná opatření na straně výroby, ať už z důvodů technických či ekonomických, budu se nadále soustředit na opatření za straně spotřeby.

4.2. Opatření na straně spotřeby

4.2.1. Nucené větrání s rekuperací

Z vyhodnocení tepelných ztrát budovy jsem zjistil, že největší podíl na nákladech na vytápění mají ztráty způsobené větráním. Tyto ztráty lze snížit omezením větrání, nebo systémem nuceného větrání s rekuperací. Vzhledem k tomu, že zkoumaná budova je relativně nová stavba s moderními plastovými okny, nepovažuji snahu o omezení větrání za účelnou a budu zkoumat výhradně možnost rekuperace.

Předpokládaná úspora:

Program, který jsem použil pro určení tepelných ztrát rovněž umožňuje počítat vliv instalace tohoto systému pouhým nastavením výrobcem deklarované účinnosti systému. Zvolil jsem hodnotu **90 %**. Měrná potřeba energie tím poklesla na **80,4 kWh/m²**. Tepelné ztráty budovy poklesly na **10 774 kWh**. Teoretická úspora energie je tedy **28 %** resp. **4 247 kWh**.

Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi po realizaci opatření popisuje následující tabulka (pozor, jedná se o okamžité ztrátové výkony, ne souhrnné hodnoty).

¹⁷ KRAINER, Robert. Jaké tepelné čerpadlo zvolit pro vytápění rodinného domu. *Tzb-info*[online]. 23.3.2015 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12462-jake-tepelne-čerpadlo-zvolit-pro-vytapani-rodinneho-domu>

¹⁸ KRAINER, Robert. Jaké tepelné čerpadlo zvolit pro vytápění rodinného domu. *Tzb-info*[online]. 23.3.2015 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12462-jake-tepelne-čerpadlo-zvolit-pro-vytapani-rodinneho-domu>

Tab 4.1

Typ konstrukce	Tepelná ztráta (W)	%
Obvodový plášť	1 946	25,7
Podlaha	820	10,8
Střecha	582	7,7
Okna, dveře	1 262	16,6
Jiné konstrukce	385	5,1
Tepelné mosty	241	3,2
Větrání	470	6,2
Celkem	5 706	

Grafické zobrazení**Graf 4.1****Předpokládaná finanční úspora:**

Pro výpočet ceny nespotřebovaného plynu použiji cenu dle ceníku¹⁹ za kWh pro roční odběr nad 20 000 kWh do 25 000 kWh, která činí 1,20361 Kč. Vzhledem k přesnosti ostatních počítaných hodnot postačí zaokrouhlená cena na **1,2 Kč**. Fixní položku ceny ani možnost překročení horní či spodní hranice pásma uvažovat nebudu. Vynásobením této ceny odhadovanou úsporou 4 247 kWh jsem získal odhadovanou roční úsporu ve výši **5 097 Kč**.

Předpokládané výdaje:

Nyní přejdu na stranu výdajů. Podrobný výpočet výdajů na instalaci systému nucené ventilace s rekuperací by byl pro tuto práci příliš rozsáhlý. Provedu tedy vlastní zjednodušenou kalkulaci rozdělenou do dvou kroků. Prvním je odhad výkonu jednotky vyjádřeného v m³/h na základě tabulky. Vzhledem k možnosti delšího pobytu případné návštěvy zvolím pro intenzitu větrání doporučenou

¹⁹ Europe Easy Energy. CENÍK 2018: zemní plyn pro domácnosti Home Easy. Dostupné také z: <https://www.3-e.cz/files/download/KENOW0FvaThQlpjw1L7Lbp6vrDKHqV2j/>

hodnotu $0,5 \text{ h}^{-1}$. Pro dvě koupelny a kuchyň postačí minimální hodnoty dle tabulky. Tím získám navrhovaný výkon jednotky $408 \text{ m}^3/\text{h}$. Pro odhad ceny systému použiji hodnotu způsobilých výdajů dle dokumentu Pravidla pro žadatele a příjemce podpory v Operačním programu životní prostředí 400 Kč/m³,²⁰ která je příhodně vyjádřena v částce na m³ výkonu vzduchotechniky. Výslednou částku 163 200 Kč musím ještě vynásobit koeficientem 1,21 kvůli přičtení DPH. Výsledný náklad na instalaci tedy odhaduji na **197 472 Kč**.

Tab 4.2²¹

Tab. 1 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1					
Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /(h·os)]	Kuchyň [m ³ /h]	Koupelny [m ³ /h]	WC [m ³ /h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Předpokládané provozní náklady:

Pro určení provozních nákladů rekuperace potřebuji určit výši dvou hlavních složek. První je spotřeba elektrické energie a nucenou ventilaci, druhou je běžná údržba. Tyto údaje bych mohl určit buď pomocí nějakého obecného údaje, nebo z parametrů a dokumentace skutečné rekuperační jednotky. Vzhledem k tomu, že se mi nepodařilo najít věrohodný zdroj, který by poskytoval dostatečně přesné informace obecného charakteru, rozhodl jsem se jít cestou volby rekuperační jednotky z veřejně dostupných nabídek. Pro volbu jednotky jsem určil dva požadavky. Zaprvé musí jednotka přibližně odpovídat parametrům zvoleným v předchozím bodě a zadruhé musí být informace dostupné o jednotce dostatečné pro určení potřebných hodnot.

Po zvážení jsem se rozhodl pro jednotku SAVE VTC 300²² prodávanou na českém trhu firmou Systemair. Důvodem, proč jsem se rozhodl pro jednotku firmy Systemair je fakt, že tato firma umožňuje přímo na stránce výrobku spočítat příkon jednotky pro zadané zatížení. K jednotkám jiných prodejců, jejichž jednotky jsem zvažoval, byl v lepším případě k dispozici přibližný graf, v horším případě pouze údaj o jmenovitém výkonu, či výkonu při jednom konkrétním zatížení. Konkrétní jednotka SAVE VTC 300 je oproti určeným parametrům lehce poddimenzována, nicméně z nabízených jednotek odpovídá nejlépe. Vzhledem k tomu, že účelem práce není vypracovat konkrétní projekt ventilace s rekuperací a že volba této jednotky je pouze za účelem umožnění výpočtu ekonomického dopadu této varianty, poslouží lehce poddimenzovaná jednotka lépe než jednotka značně naddimenzovaná.

²⁰ Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. OPŽP [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%C5%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 93 bod b.

²¹ ZMRHAL, Vladimír. Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. *Tzb-info* [online]. 30.1.2012 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-ventrni-klimatizace/8239-pozadavky-na-ventrni-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>

²² , Systemair AB. *Save VTC 300 R* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/rezidencni-jednotky/rezidencni-jednotky-s-protiproudym-vymenikem/vertikalni-pripojeni/save/save-vtc-300-r-saveair/>

Spotřeba elektrické energie:

Požadovaný příkon jednotky závisí na okamžitém průtoku vzduchu. Vzhledem k tomu, že během typického dne je budova neustále obývána, rozhodl jsem se neuvažovat možnost snížené intenzity větrání a budu uvažovat pouze dva stupně. Trvalé větrání a nárazové větrání.

Trvalé větrání uvažuji stejně jako ve výpočtu navrhovaného výkonu o intenzitě $0,5 \text{ h}^{-1}$, při objemu budovy $465,9 \text{ m}^3$ tato intenzita větrání odpovídá průtoku vzduchu **233 m³/h**. Na základě návyků obyvatel odhaduji, že tato intenzita větrání bude využita po **20 hodin denně**.

Pro nárazové větrání uvažuji plný navrhovaný výkon jednotky, tedy **408 m³/h**. Dobu využití tohoto nastavení odhaduji na **4 hodiny denně**.

Vzhledem k tomu, že tématem práce jsou náklady na vytápění, budu uvažovat provoz jednotky pouze během otopného období. Jednotka umožňuje provoz v létě, během kterého vnitřní prostory do určité míry chladí a zvyšuje komfort obyvatel, nicméně náklady vynaložené na letní použití s vytápěním přímo nesouvisí, a proto jsem se rozhodl počítat roční spotřebu energie pro rok trvající **216 dní**.

Posledním rozhodnutím bylo, zda uvažovat jednotku s elektrickým přehřevem, či nikoli. Elektrický přehřev v zimě chrání jednotku před zamrznutím při poklesu teploty okolí pod určitou hranici. Skutečnou dobu provozu přehřevu bych ale určoval velmi obtížně, natolik podrobná data o teplotě nejen v průběhu roku, ale i během jednotlivých dnů nemám k dispozici. Energie spotřebovaná dohřevem by navíc negativně ovlivnila výši provozních nákladů. Jednotka je k dispozici ve variantě bez elektrického dohřevu, a i bez něj je schopná provozu, aniž by došlo k zamrznutí. Proto jsem se rozhodl pro variantu bez elektrického ohřevu. Případný vliv ochranných opatření proti zamrznutí na velikost úspory tepla nebo spotřeby energie jsem se rozhodl zanedbat.

Nastavení výpočetní pomůcky Výkonové křivky²³:

Verze výrobků: Bez ohřevu; Filtry G4-G4; Jednotka obsahuje filtr(y)

Na tomto místě se v nastavení výpočetní pomůcky nachází hodnoty průtoku vzduchu. Vzhledem k tomu, že ostatní parametry pro obě nastavení intenzity větrání nebudou měnit, uvedu tyto hodnoty až níže u výpočtu jednotlivých nastavení, místo abych nesmyslně uváděl celé nastavení dvakrát.

Externí tlak (Přívod): 100 Pa

Externí tlak (Odvod): 100 Pa

Tlaková ztráta potrubního systému je závislá na konkrétním konstrukčním řešení, které v tuto chvíli není známé. Manuál Installation and Service²⁴ nicméně uvádí, že pokud není hodnota známá, má se uvažovat 100 Pa. Zadal jsem tedy tuto hodnotu.

Metoda výběru: Charakteristika systému

Jedná se o výchozí volbu.

Filtry: Clean filter

Jedná se o výchozí volbu.

²³, Systemair AB. *Save VTC 300 R* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/rezidencni-jednotky/rezidencni-jednotky-s-protiproudym-vymenikem/vertikalni-pripojeni/save/save-rtc-300-r-savecair/>

²⁴ SYSTEMAIR UAB. *SAVE VTC 300: Installation and Service*. 211464 | A001. Dostupné také z: <http://catalogue2.systemair.com/FileHandler.axd?hash=CEVJ-SDkAm50dMBd3Flp8A!!> Strana 26.

Dále výpočetní pomůcka nabízí volbu mezi zimním a letním provozem, zaškrtl jsem volbu zimní provoz.

Teplota čerstvého vzduchu: 4 °C

Použil jsem hodnotu průměrné venkovní teploty v otopném období z nastavení Kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám.

Relativní vlhkost čerstvého vzduchu: 90 %

Jedná se výchozí hodnotu.

Teplota odváděného vzduchu: 21,9 °C

Použil jsem hodnotu Převažující vnitřní teploty v otopném období z nastavení Kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám.

Relativní vlhkost odváděného vzduchu: 45 %

Jedná se o výchozí hodnotu.

Trvalé větrání:

Průtok vzduchu (Přívod): 233 m³

Průtok vzduchu (Odvod): 233 m³

Výstupem výpočetní pomůcky je několik tabulek. Z nich jsem vybral hodnoty relevantní pro další postup.

Příkon (Přívod): 37,9 W

Příkon (Odvod): 36,6 W

Jedná se o hodnoty příkonu ventilátorů jednotky. Součet těchto hodnot budu považovat za příkon celé jednotky během provozu.

$P_{trv} = 74,5 \text{ W}$

Pro určení spotřeby elektrické energie režimem trvalého větrání během jednoho roku vynásobím tuto hodnotu časem provozu tohoto režimu během dne, tedy 20 hodinami a délkou topné sezóny, tedy 216 dní. Pro přehlednost ještě hodnotu vydělím tisícem, tedy převedu na kilowatthodiny.

$$E_{trv} = P_{trv} \times 20 \times 216 \times \frac{1}{1000} = 321,84 \text{ KWh}$$

Pro výpočet ceny spotřebované energie jsem použil jednotkovou cenu **3,93 Kč/KWh** s DPH (hodnota dle vyúčtování za poslední fakturační období). Vzhledem k relativně malému odběru se nemusím zabývat změnou tarifu. Vynásobením získám cenu **1 265 Kč ročně** včetně DPH

Nárazové větrání:

Průtok vzduchu (Přívod): 408 m³

Průtok vzduchu (Odvod): 408 m³

Zde se projeví výše zmíněné lehké poddimenzování jednotky. Požadované hodnoty průtoku vzduchu jsou nastavené na 408 m³, nicméně jednotka při tlakové ztrátě potrubního systému 100 Pa dosáhne maximálního výkonu při průtoku 398 m³ na přívodu a 387 m³ na odvodu. Jedná se ale o rozdíl jednotek

procent. Pokud by cílem práce bylo navrhnout konkrétní řešení ventilace s rekuperací, raději bych zvolil jednotku přibližně o 10 % výkonnější. Nepředpokládám ale, že by parametry takové jednotky byly natolik odlišné, aby významně ovlivnily závěr tohoto výpočtu a vzhledem k tomu, že zvolenou jednotku používám pouze jako model, nepovažuji její mírnou výkonovou nedostatečnost za problém.

Příkon (Přívod): 84,4 W

Příkon (Odvod): 84,5 W

Jedná se o hodnoty příkonu ventilátorů jednotky. Součet těchto hodnot budu považovat za příkon celé jednotky během provozu.

$P_{trv} = 168,9 \text{ W}$

Pro určení spotřeby elektrické energie režimem trvalého větrání během jednoho roku vynásobím tuto hodnotu časem provozu tohoto režimu během dne, tedy 4 hodinami a délkou topné sezóny, tedy 216 dní. Pro přehlednost ještě hodnotu vydělím tisícem, tedy převedu na kilowatthodiny.

$$E_{trv} = P_{trv} \times 4 \times 216 \times \frac{1}{1000} = 145,93 \text{ KWh}$$

Vynásobením této hodnoty jednotkovou cenou elektrické energie **3,93 Kč/KWh** (hodnota dle vyúčtování za poslední fakturační období) získám výslednou cenu **574 Kč ročně** včetně DPH.

Součtem cen spotřebované energie na provoz v obou režimech získám celkovou cenu spotřebované elektrické energie **1 839 Kč ročně** včetně DPH.

Náklady na údržbu

Náklady na údržbu jsou typicky dvojího druhu. Cena práce a cena materiálu. Pro účely tohoto výpočtu budu uvažovat s tím, že uživatel bude údržbu provádět sám a nebude tedy platit za služby servisního technika.

Spotřebním materiálem jednotky jsou filtry na přívodu a odvodu vzduchu. V nabídce výrobce jsou různé druhy filtrů pro tuto jednotku, resp. jednotka je dostupná s různými nainstalovanými filtry. Zvolil jsem variantu s dvěma filtry třídy G4, protože ostatní varianty měly dle výpočetní pomůcky negativní vliv na výkon jednotky. Jednotková cena filtru MPVTC 300 G4 uváděná na stránkách firmy Systemair je **1 071 Kč²⁵**. Jednotka pro provoz potřebuje dva filtry, tedy cena jedné výměny filtrů je **2 142 Kč**. Náklady na dopravu zanedbám.

Zbývá určit periodu výměny filtru. Manuál Installation and Service²⁶ uvádí, že výchozí doba od výměny filtru, po které jednotka upozorní na potřebu nového filtru je 12 měsíců. Budu tedy uvažovat výměnu filtru jednou ročně, tedy konečné náklady na údržbu jsou **2 142 Kč ročně**.

Shrnutí

Sečtením nákladů na elektrickou energii a na výměnu filtrů získám výslednou výši provozních nákladů **3 981 Kč ročně**. Tato částka nepřevyšuje předpokládanou roční úsporu 5097 Kč. Konstatuji tedy, že opatření skutečně náklady na vytápění sníží a mohu pokračovat výpočtem ekonomických dopadů tohoto opatření.

²⁵ , Systemair AB. *MPVTC 300 G4* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/rezidencni-jednotky/filtry/filtry-pro-rezidencni-jednotky/pf-save/MPVTC-300-G4/>

²⁶ SYSTEMAIR UAB. *SAVE VTC 300: Installation and Service*. 211464 | A001. Dostupné také z: <http://catalogue2.systemair.com/FileHandler.axd?hash=CEVJ-SDkAm50dMBd3Flp8A!!> Strana 20.

Čistá současná hodnota

„Čistá současná hodnota (Net Present Value) toku hotovosti sčítá budoucí hodnoty toků hotovosti projektu během doby porovnání. Výpočet kriteriální hodnoty kritéria NPV lze při použití konstantní diskontní sazby provést podle vzorce

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p-1} CF_t \cdot (1 + d)^{-t}$$

Kde

T_p doba porovnání

t rok porovnání

CF_t ... tok hotovosti v roce t porovnání

ddiskontní sazba“²⁷

Určení diskontu:

Před posuzováním čisté současné hodnoty investice potřebuji určit diskont, respektive výnosnost alternativní investice. Tato investice musí být bezriziková a vzhledem k tomu, že předmětem zkoumání je rodinný dům, musí být dostupná pro fyzické osoby. Porovnáváním veřejně dostupných nabídek jsem se rozhodl jako alternativní investici uvažovat stavební spoření, vzhledem k existenci státní podpory zvyšující výnosnost. Jako konkrétní produkt pro účely výpočtu jsem zvolil Stavební spoření Stavební spořitelny České spořitelny²⁸.

Pro účely výpočtu budu předpokládat jednorázovou úlošku na účet stavebního spoření ve výši 120 000 Kč bez následujících pravidelných úložek a dobu trvání smlouvy 6 let. Takto jsem se rozhodl kvůli určení výše státní podpory jako 10 % v daném roce uložené částky do maximální výše úložky 20 000 Kč a faktu, že při překročení se přebývající část úložky pro účely přidělení státní podpory převádí do dalších let.²⁹ Doba spoření 6 let je určená jako minimální doba pro výplatu státní podpory.³⁰

Investiční výdaje dále v práci zkoumaných opatření jsou různě veliké. Jako alternativní investice ke zkoumaným opatřením, jejichž investiční výdaje překračují 120 000 Kč budu uvažovat více takto uzavřených smluv tak, aby celková úložka na všech smlouvách byla nejbližším vyšším násobkem částky 120 000 Kč. Předpokládám, že částka, o kterou tento násobek převyšuje investiční výdaje zkoumaného opatření bude k dispozici pro uložení. Rovněž předpokládám uzavření smluv různými členy domácnosti, za účelem čerpání státní podpory na všech smlouvách.

Pro výpočet výnosnosti jsem použil program Kalkulátor stavebního spoření³¹, dostupný na webu Stavebky.cz. Na rozdíl od výpočetní pomůcky na stránkách České spořitelny umožňuje počítat jednorázové úložky. Program rovněž bere v úvahu účtované poplatky a připsování státní podpory.

²⁷ DLOUHÝ, Tomáš. *Ekonomika PE*. Skriptum. České vysoké učení technické v Praze. Strana 32

²⁸ , Stavební spořitelna České spořitelny. Stavební spoření. *Burinka.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.burinka.cz/stavebni-sporeni/>

²⁹ ZÁKON č. 96/1993 Sb § 10.

³⁰ ZÁKON č. 96/1993 Sb § 12 Odstavec 2. Písmeno b.

³¹ KIELAR, Petr. Kalkulátor stavebního spoření. *Stavebky.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.stavebky.cz/kalkulator-stavebniho-sporeni/>

Nastavení programu Kalkulátor stavebního spoření

Měsíc uzavření smlouvy: červenec

Cílová částka: 137 tisíc

Program umožňuje nastavení této jediné hodnoty pouze v tisících Korun.

První (jednorázová úložka): 120 000 Kč

Měsíční úložka: (prázdné pole)

Doba spoření: 6 let

Úroková sazba: 1,0 %³²

Poplatek za uzavření: 0,36 %

Při sjednání smlouvy online nabízí Česká spořitelna pevný poplatek za uzavření ve výši 495 Kč³³. Program nicméně počítá s výši poplatku určenou procentní sazbou z cílové částky. Přepočítám tedy 495 Kč na přibližně 0,36 % z částky 137 000 Kč.

Typ pravidelného poplatku: SSČS (na 12 měsíců)

Roční poplatek: 325 Kč³⁴

Nárok na státní podporu: nárokovat

Výstup programu

Čistá úroková sazba: 2,136 %

Výstupem programu je více hodnot, pro následující výpočty je klíčová Čistá úroková sazba, která zahrnuje jak připsanou státní podporu, tak zdanění úroků.

Jako nominální diskontní sazbu jsem tedy zvolil hodnotu **2,136 %**. Současně je ale třeba vzít v úvahu inflační růst ceny plynu, i inflační růst provozních nákladů. Výši inflace jsem zvolil **2 %** dle inflačního cíle ČNB³⁵. Z hodnot nominální diskontní sazby a předpokládané inflace určím reálný diskont pomocí vztahu 4.1.

$$d_r = \frac{1 + d_n}{1 + i} - 1 = \frac{1 + 0,02136}{1 + 0,02} - 1 \cong 0,00133 = 0,133 \%$$

Vztah 4.1. ³⁶

³² , Stavební spořitelna České spořitelny. Online sjednání. *Burinka.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.burinka.cz/online-sjednani/>

³³ Stavební spořitelna České spořitelny. Online sjednání. *Burinka.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.burinka.cz/formular-pro-online-sjednani-uzivatele/>

³⁴ Stavební spořitelna České spořitelny. *CENÍK STAVEBNÍ SPOŘITELNY ČESKÉ SPOŘITELNY, a. s.: Pro fyzické osoby*. Dostupné také z: <https://www.burinka.cz/media/2017/12/Cenik-FO-5.5.2017.pdf>

³⁵ , Česká národní banka. Cílování inflace v ČR. *Cnb.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/menova_politika/cilovani.html#inflacni_cile

³⁶ DLOUHÝ, Tomáš. *Ekonomika PE*. Skriptum. České vysoké učení technické v Praze. Strana 37.

Ekonomické zhodnocení investice:

Odečtením spočtené výše provozních nákladů 3609 Kč ročně od předpokládané roční výše úspor získám čistou úsporu **1 116 Kč ročně**. Vydělením očekávaných investičních nákladů 197 472 Kč touto částkou získám prostou dobu návratnosti **177 let** (vzhledem k tomu, že provoz zařízení není celoroční a ani během topné sezóny není velikost úspory konstantní, neměl by údaj obsahující necelé roky smysl, proto jsem hodnotu 176,9 zaokrouhlil).

Je samozřejmé, že rekuperační jednotka v žádném případě nemůže mít životnost 177 let či více. Proto jsem se rozhodl místo diskontované doby návratnosti počítat čistou současnou hodnotu investice pro odhadnutou dobu životnosti zařízení, kterou jsem zvolil dlouhou **15 let**. Reálný diskont uvažuji **0,133 %** dle předcházejícího výpočtu.

Pro účely výpočtu uvažuji úsporu v nultém roce poloviční, protože předpokládám realizace v průběhu roku v letním období. Jednotka je prodávána s jednou sadou filtrů, tedy v nultém roce uvažuji jako náklady na provoz pouze cenu elektrické energie. Spotřebu elektrické energie rovněž uvažuji poloviční. Zbytkovou životnost první použité sady filtru zanedbávám.

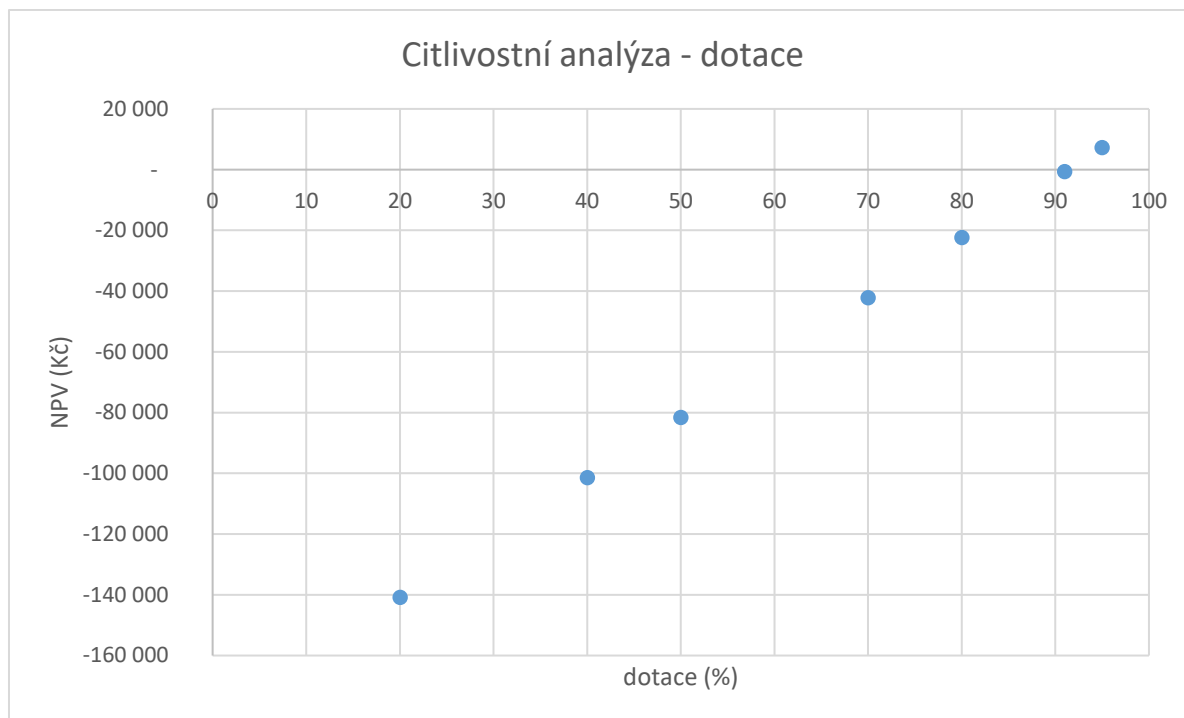
Tab 4.3

t (roky)	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)	CF _t (Kč)	CF _t · (1+d _r) ^{-t} (Kč)	NPV (Kč)
0	920	2 549	- 195 843	- 195 843,00	- 195 843
1	3 981	5 097	1 116	1 114,52	- 194 728
2	3 981	5 097	1 116	1 113,04	- 193 615
3	3 981	5 097	1 116	1 111,56	- 192 504
4	3 981	5 097	1 116	1 110,08	- 191 394
5	3 981	5 097	1 116	1 108,61	- 190 285
6	3 981	5 097	1 116	1 107,14	- 189 178
7	3 981	5 097	1 116	1 105,67	- 188 072
8	3 981	5 097	1 116	1 104,20	- 186 968
9	3 981	5 097	1 116	1 102,73	- 185 865
10	3 981	5 097	1 116	1 101,27	- 184 764
11	3 981	5 097	1 116	1 099,80	- 183 664
12	3 981	5 097	1 116	1 098,34	- 182 566
13	3 981	5 097	1 116	1 096,88	- 181 469
14	3 981	5 097	1 116	1 095,43	- 180 374
15	3 981	5 097	1 116	1 093,97	- 179 280
16	3 981	5 097	1 116	1 092,52	- 178 187
17	3 981	5 097	1 116	1 091,07	- 177 096
18	3 981	5 097	1 116	1 089,62	- 176 007
19	3 981	5 097	1 116	1 088,17	- 174 918

Výpočtem provedeným v souboru příloženém k práci jsem určil čistou současnou hodnotu investice při životnosti zařízení 15 let na **- 180 374 Kč** (viz. červeně zvýrazněný řádek tabulky). Je tedy zřejmé, že se zadanými parametry se investice nevyplácí, a to navzdory relativně optimisticky zvolené době životnosti. Nicméně vzhledem k faktu, že jsem dobu životnosti pouze odhadl a nemám pro tento svůj odhad žádný zdroj, rozhodl jsem se ponechat v tabulce řádky odpovídající životnosti až 20 let.

Přestože se za daných podmínek investice nevyplatí, vypočtená hodnota teoretické úspory tepla energie na vytápění **28 %** je zajímavá a nabízí se tedy možnost provést citlivostní analýzy a zkoumat, za jakých podmínek by opatření mohlo být výnosné.

Vzhledem ke značné výši energetické úspory se jako první možnost nabízí získání dotace. Na grafu níže je znázorněn výsledek citlivostní analýzy na velikost dotace provedené v příloženém souboru.

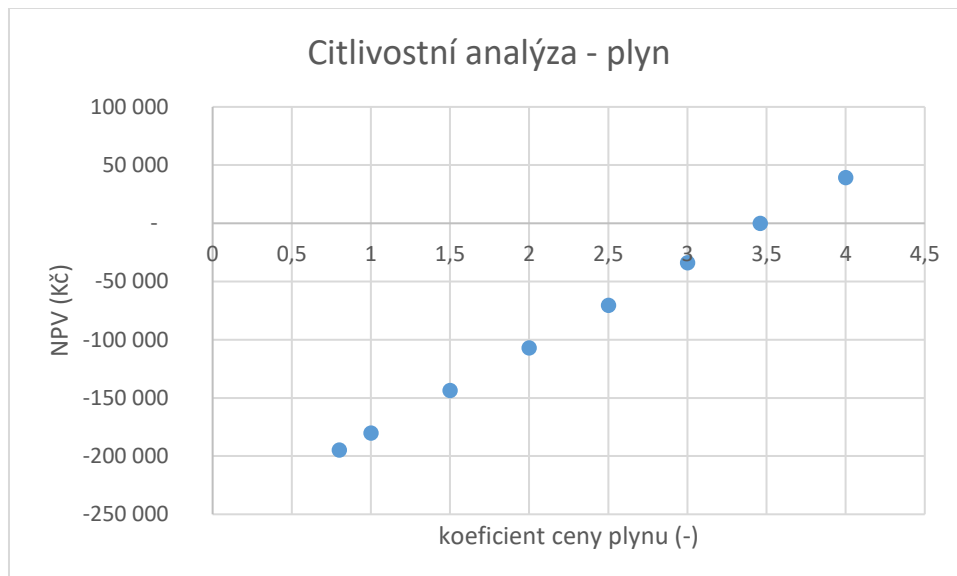


Graf 4.2

Kritickým bodem je výše dotace **91 %**. Nad tuto výši dotace bude mít investice kladnou čistou současnou hodnotu, pod ní bude čistá současná hodnota záporná a investice tedy prodělečná. Možnost dosáhnout návratnosti opatření pomocí dotace tedy nepovažuji za reálnou. Příslušný dotační titul by musel nabízet možnost získat dotaci ve výši 91 % či větší na opatření, jehož důsledkem bude úspora pouhých 28 % nákladů na vytápění.

Jako další možné kritérium pro provedení citlivostní analýzy se nabízí cena plynu. Ventilace s rekuperací z principu své funkce generuje úsporu snížením množství spotřebovaného plynu (za předpokladu vytápění plynem) za cenu provozních nákladů ve formě spotřebované elektřiny. V následující citlivostní analýze zkoumám vliv ceny plynu na čistou současnou hodnotu této investice. Tuto analýzu provádím za několika předpokladů. Zaprvé, důvod, ze kterého nastalo zvýšení ceny plynu neovlivnil cenu elektrické energie pro domácnosti a ani samotné zvýšení ceny plynu se na ceně elektrické energie neprojevovalo. Zadruhé, růst ceny plynu proběhl před provedením investice a mimo inflační růst zohledněný reálnou diskontní sazbou dle předcházejícího zhodnocení čisté současné hodnoty investice se během trvání investice nemění.

Výsledek citlivostní analýzy je znázorněn na následujícím grafu. Cena plynu je vyjádřena koeficientem, kterým je násobena úspora odpovídající ceně ušetřeného plynu. Pro přehlednost připomínám, že pro účely výpočtů úspor v této práci uvažuji cenu plynu 1,2 Kč/KWh (viz. bod 4.2.1. podkapitola Předpokládaná finanční úspora).



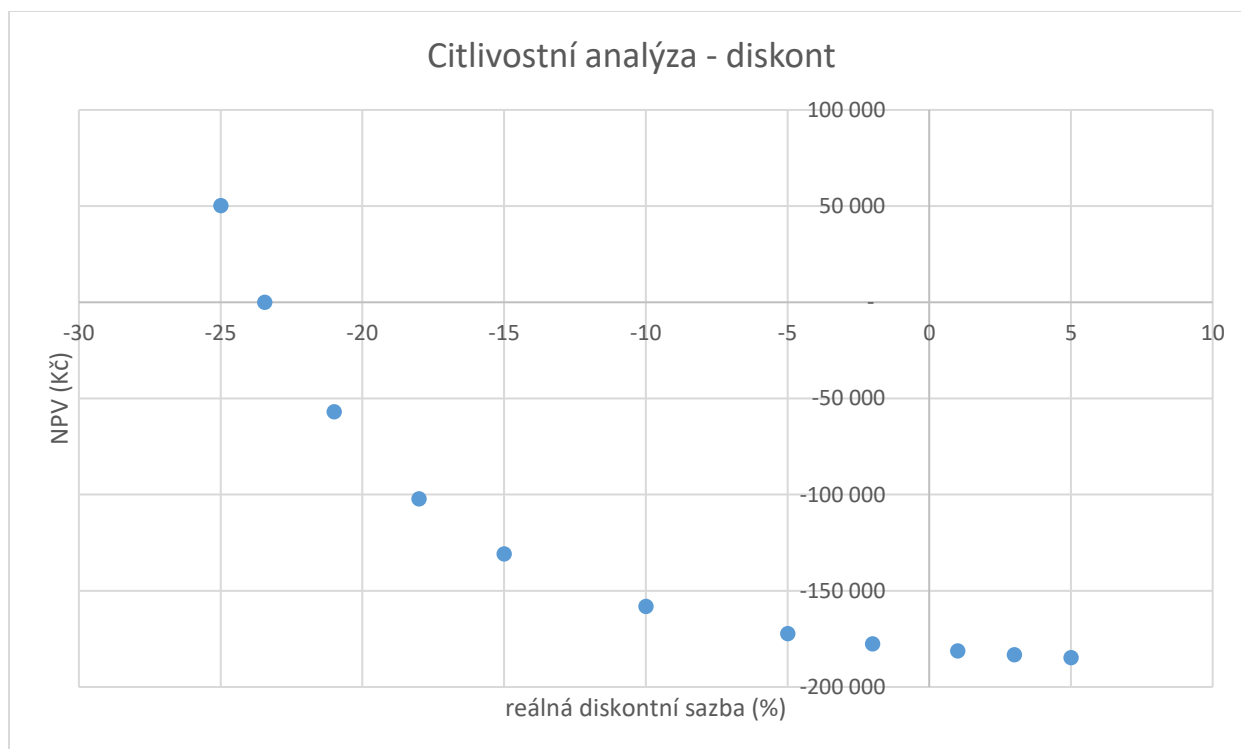
Graf 4.3

Kritickým bodem je koeficient zvýšení ceny plynu **3,46**. Takový nárůst ceny plynu považuji za nereálný, pokud by nedošlo k velmi nepříznivému geopolitickému vývoji. I v takovém případě by ale účelnost investice byla pochybná. V části práce, ve které se zabývám určením provozních nákladů uvažuji cenu elektrické energie 3,93 Kč/KWh. Pokud uvažovanou cenu plynu 1,2 Kč/KWh vynásobím koeficientem 3,46, získám výslednou cenu 4,15 Kč/KWh. V takové situaci by se nabízela otázka, zda spíše zcela nezměnit způsob vytápění a nahradit plynový kotel elektrokotlem srovnatelného výkonu, jehož pořizovací cena by patrně byla značně nižší. Zběžným vyhledáváním jsem našel elektrokotel THERM EL³⁷ s rozsahem elektrického výkonu 5 kW až 30 kW, což přibližně odpovídá výkonu současného plynového kotle, který je na českém trhu prodáván firmou Thermona za cenu 28 919 Kč včetně DPH. Výši ceny jsem nijak nesrovnával s cenou srovnatelných produktů, tedy je možné, že se jedná o produkt netypicky levný či netypicky drahý, nicméně jeho cena je o řád nižší než předpokládané investiční náklady ventilace s rekuperací.

Jako zkoumaný parametr pro poslední citlivostní analýzu jsem zvolil výši diskontu. V určení čisté současné hodnoty investice jsem pracoval s hodnotou reálného diskontu (respektující společné působení diskontní sazby a inflace). Proto budu i v rámci této citlivostní analýzy pracovat s reálným diskontem.

³⁷ , THERMONA, spol. s r.o. - Česká republika. THERM EL 30 [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/elektrokotle/elektrokotle-standardni-rada/kotel-therm-el-30>

Výsledek citlivostní analýzy je znázorněn na následujícím grafu.



Graf 4.4

Kritickým bodem je výše reálného diskontu – **23,45 %**. Z grafu je rovněž očividné, že přesná volba hodnoty reálného diskontu má v rozsahu ± 5 % na čistou současnou hodnotu minimální vliv. Pro hodnoty diskontu, které lze považovat za možné za normálních podmínek nelze investici považovat za ziskovou.

4.2.2. Zateplení obvodových stěn

Druhý největší zdroj tepelných ztrát představuje obvodový plášť budovy. Ten je ve výpočtu představován konstrukcemi Stěna 1 a Stěna 2. Následující opatření budu počítat pouze pro konstrukci Stěna 1. Konstrukce Stěna 2 se skládá ze stěny v závětrří u vchodových dveří a přesahu společné stěny se sousedním řadovým domem. Tyto stěny jsou již zateplené (viz. výpočet součinitele prostupu tepla). Pro výpočet jsem zvolil tloušťku zateplení **150 mm**. Tuto hodnotu umožňuje program On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám zadat přímo. Program uvažuje pro tuto izolační vrstvu součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,04$ W/mK.

Předpokládaná úspora:

Provedením opatření by dle výpočtu poklesla měrná potřeba energie na **94,8 kWh/m²**, tepelné ztráty budovy by poklesly na **12 703 kWh**, což představuje úsporu **15 %**, respektive **2 318 kWh**.

Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi po provedení opatření popisuje následující tabulka (pozor, jedná se o hodnoty okamžitého ztrátového výkonu).

Tab 4.4

Typ konstrukce	Tepelná ztráta (W)	%
Obvodový plášť	920	12,1
Podlaha	820	10,8
Střecha	582	7,7
Okna, dveře	1 262	16,6
Jiné konstrukce	385	5,1
Tepelné mosty	241	3,2
Větrání	2 349	31,0
Celkem	6 559	

Grafické zobrazení



Graf 4.5

Předpokládaná finanční úspora:

Vynásobením úspory v kWh odhadovanou cenou plynu získám finanční úsporu **2 782 Kč** ročně.

Předpokládané výdaje:

Odhad výdajů provedu jednoduchým vynásobením způsobných výdajů³⁸ 2 900 Kč/m² plochou konstrukce, která je 142,2 m². Výslednou částku 412 380 Kč je třeba ještě vynásobit koeficientem 1,21 pro určení výše včetně DPH. Odhadované výdaje tedy činí **498 979 Kč**.

Ekonomické zhodnocení investice:

Zateplení obvodových stěn nevyžaduje po instalaci žádné provozní náklady, případné náklady na údržbu neuvažuji. Prostou dobu návratnosti opatření tedy učím vydělením odhadovaných výdajů a spočtené výše úspory na **179 let**.

Vzhledem k délce prosté doby návratnosti, která značně přesahuje hranici smysluplnosti pro opatření realizované na rodinném domu ve prospěch současného majitele, zvolil jsem pro další posuzování jako hodnotící kritérium čistou současnou hodnotu, kterou budu počítat pro vhodně zvolenou dobu životnosti.

Určení doby životnosti komplikuje fakt, že nástroj On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám konkrétní materiál počítaného zateplení neuvádí, ale přednastavený součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,04$ W/mK odpovídá v tabulce 4.5 vlastností běžně užívaných izolačních materiálů materiálu Expanded polystyrene (tedy expandovaný pěnový polystyrén). Budu tedy uvažovat použití tohoto materiálu a jemu odpovídající dobu životnosti **50 let**.

Tab 4.5³⁹

Material	Density ρ [kg/m ³]	Thermal conductivity factor λ (U) [W/mK]	Useful life-time [Years]
Expanded polystyrene	15 – 30	0.04	50
Extruded polystyrene	25 – 35	0.028 – 0.032	50
Hard polyurethane plates	30 – 35	0.025 – 0.030	50
Polyurethane foam	35 – 50	0.030 – 0.035	30 – 50
Glass-wool	18 – 40	0.035 – 0.050	30 – 50
Stone-wool	30 – 150	0.035 – 0.050	30 – 50
Wood-wool	360 – 570	0.090	75 - 100
Combined plates of Wood-wool and polystyrene or wood-wool and stone-wool	n/a	0.040 – 0.045	50 - 75
Cork	120 – 200	0.045 – 0.055	50 - 80
Foam glass	100 - 150	0.045 – 0.050	50 - 80

TABLE 1: Physical properties of the most used insulating materials

³⁸Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. OPŽP [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%C5%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 92 tabulka.

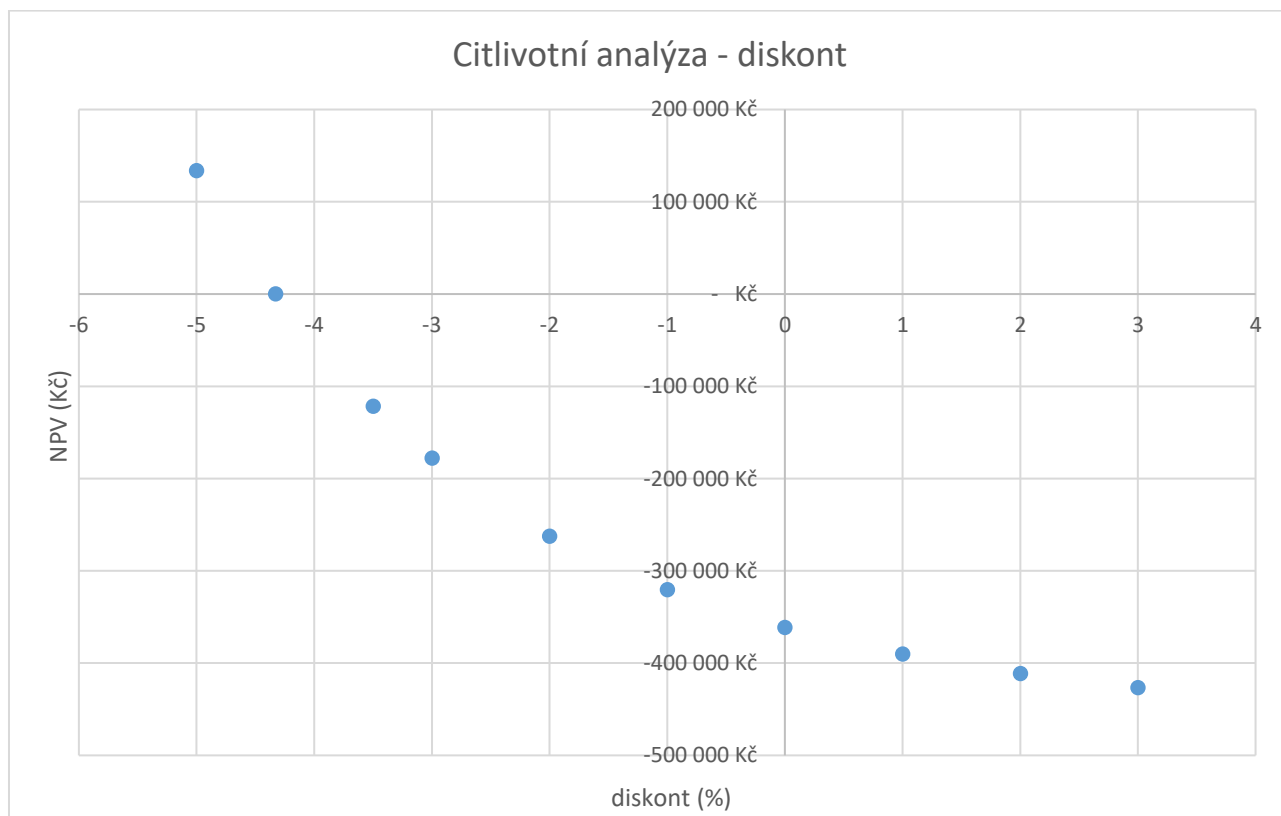
³⁹PAPADOPOULOS, A. M., A. KARAMANOS a A. AVGELIS. ENVIRONMENTAL IMPACT OF INSULATING MATERIALS AT THE END OF THEIR USEFUL LIFETIME. Dostupné také z: http://www.fibran.gr/sapppek/docs/publications/article_4.pdf. Aristotle University Thessaloniki.

Tab 4.6

t (roky)	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)	CF _t (Kč)	$\sum CF_t \cdot (1+d_t)^t$ (Kč)	NPV (Kč)
0	0	1 391 Kč	- 497 588 Kč	- 497 588,00 Kč	- 497 588 Kč
1	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 778,30 Kč	- 494 810 Kč
2	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 774,61 Kč	- 492 035 Kč
3	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 770,93 Kč	- 489 264 Kč
4	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 767,25 Kč	- 486 497 Kč
5	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 763,57 Kč	- 483 733 Kč
6	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 759,90 Kč	- 480 973 Kč
7	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 756,24 Kč	- 478 217 Kč
8	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 752,58 Kč	- 475 465 Kč
9	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 748,92 Kč	- 472 716 Kč
10	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 745,27 Kč	- 469 970 Kč
11	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 741,62 Kč	- 467 229 Kč
12	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 737,98 Kč	- 464 491 Kč
13	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 734,34 Kč	- 461 756 Kč
14	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 730,71 Kč	- 459 026 Kč
15	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 727,09 Kč	- 456 299 Kč
16	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 723,46 Kč	- 453 575 Kč
17	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 719,85 Kč	- 450 855 Kč
18	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 716,23 Kč	- 448 139 Kč
19	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 712,63 Kč	- 445 427 Kč
20	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 709,02 Kč	- 442 717 Kč
21	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 705,42 Kč	- 440 012 Kč
22	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 701,83 Kč	- 437 310 Kč
23	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 698,24 Kč	- 434 612 Kč
24	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 694,66 Kč	- 431 917 Kč
25	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 691,08 Kč	- 429 226 Kč
26	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 687,50 Kč	- 426 539 Kč
27	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 683,93 Kč	- 423 855 Kč
28	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 680,37 Kč	- 421 174 Kč
29	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 676,81 Kč	- 418 498 Kč
30	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 673,25 Kč	- 415 824 Kč
31	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 669,70 Kč	- 413 155 Kč
32	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 666,16 Kč	- 410 489 Kč
33	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 662,62 Kč	- 407 826 Kč
34	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 659,08 Kč	- 405 167 Kč
35	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 655,55 Kč	- 402 511 Kč
36	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 652,02 Kč	- 399 859 Kč
37	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 648,50 Kč	- 397 211 Kč
38	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 644,98 Kč	- 394 566 Kč
39	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 641,47 Kč	- 391 924 Kč
40	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 637,96 Kč	- 389 286 Kč
41	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 634,45 Kč	- 386 652 Kč
42	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 630,96 Kč	- 384 021 Kč
43	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 627,46 Kč	- 381 393 Kč
44	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 623,97 Kč	- 378 770 Kč
45	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 620,49 Kč	- 376 149 Kč
46	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 617,01 Kč	- 373 532 Kč
47	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 613,53 Kč	- 370 918 Kč
48	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 610,06 Kč	- 368 308 Kč
49	0	2 782 Kč	2 782 Kč	2 606,59 Kč	- 365 702 Kč

Pro účely výpočtu čisté současné hodnoty uvažují reálný diskont **0,133 %**. Výpočet reálného diskontu je uveden v bodě 4.2.1., podkapitola Určení diskontu. V nultém roce uvažují výši úspory poloviční, protože předpokládám realizaci v průběhu roku v letním období.

Výpočet (viz tabulka) ukazuje, že čistá současná hodnota investice je **- 365 702 Kč**. Za daných podmínek se tedy investice nevyplatí. Vzhledem k nízké výši energetické úspory pouhých **15 %** nepovažují možnost získání dotace na toto opatření za reálnou. Na druhou stranu se vzhledem ke dlouhé životnosti investice nabízí možnost provést citlivostní analýzu zaměřenou na výši reálného diskontu, jejíž výsledek je zobrazen na následujícím grafu.



Graf 4.6

Kritická výše reálného diskontu je **- 4,35 %**. Tato hodnota by teoreticky mohla nastat v případě vysoké inflace. Nicméně pro hodnoty reálného diskontu od 0 % do 3 % je vliv změny sazby na čistou současnou hodnotu relativně malý a nelze tedy očekávat značně odlišný závěr ekonomického zhodnocení investice při výpočtu pro odlišnou hodnotu v tomto intervalu.

4.2.3. Výměna oken

Třetím největším zdrojem tepelných ztrát jsou okna a dveře budovy. Ztráty dveřmi považují vzhledem k jejich malé ploše 1,9 m² za zanedbatelné, budu se tedy zabývat pouze okny, respektive konstrukcí Okna – typ 1. Původní okna mají součinitel prostupu tepla $U = 1,4 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Abych určil možnou úsporu a dobu návratnosti, musel jsem nejdříve určit součinitel prostupu tepla a přibližnou cenu oken nových. To je ale komplikované, protože výrobci u nabízených oken neuvádějí jednoduše spočitatelnou cenu např. za m² a jediná možnost, jak získat nějakou konkrétní hodnotu je nechat si vypracovat nabídku.

Místo toho jsem se rozhodl použít opět hodnotu způsobilých výdajů dle dokumentu Pravidla pro žadatele a příjemce podpory v Operačním programu životní prostředí a parametry oken určit dle požadavku na součinitel prostupu tepla oken, na něž je žádána podpora. Součinitel prostupu tepla oken je stanoven jako $\leq 0,80 \times U_{rec}$,⁴⁰ hodnota $U_{rec} = 1,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.⁴¹ Budu tedy počítat se součinitelem prostupu tepla $U = 0,96 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Předpokládaná úspora:

Po provedení úpravy činí měrná potřeba energie **105,9 kWh/m²**. Tepelné ztráty budovy tedy činí **14 191 kWh**, úspora tedy činí **6 %**, respektive **831 kWh**. Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi po provedení opatření vyjadřuje následující tabulka (pozor, jedná se o hodnoty okamžitého ztrátového výkonu).

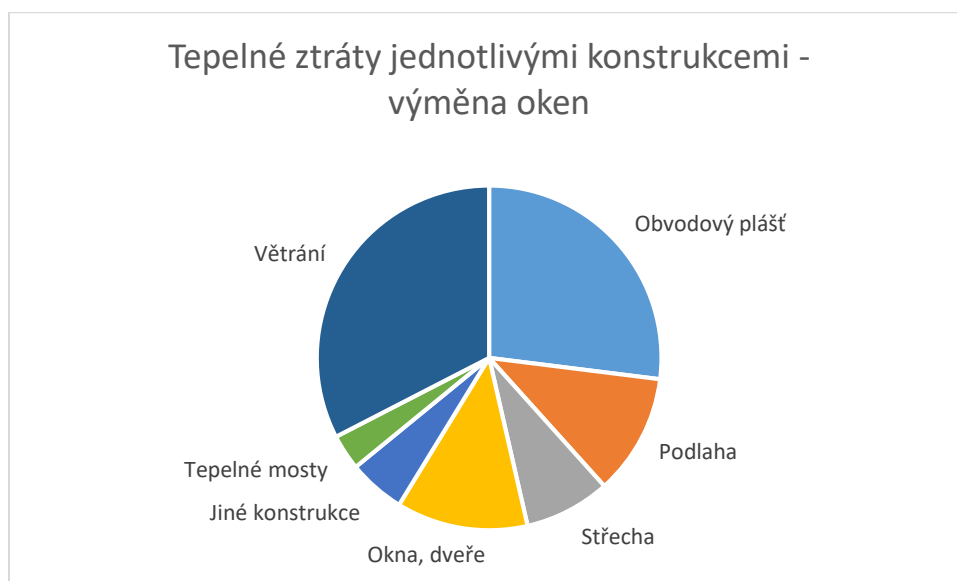
Tab 4.7

Typ konstrukce	Tepelná ztráta (W)	%
Obvodový plášť	1 946	25,7
Podlaha	820	10,8
Střecha	582	7,7
Okna, dveře	890	11,7
Jiné konstrukce	385	5,1
Tepelné mosty	241	3,2
Větrání	2 349	31,0
Celkem	7 213	

⁴⁰Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. OPŽP [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%25%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 87 tabulka běžné objekty.

⁴¹TZB-info. Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>

Grafické zobrazení



Graf 4.7

Předpokládaná finanční úspora:

Absolutní úsporu tepla 831 kWh přepočítám na finanční úsporu **997 Kč** ročně.

Předpokládané výdaje:

Plocha konstrukce Okna – typ 1 činí 24,2 m². Po vynásobení způsobilými výdaji⁴² 7 000 Kč/m² získám pořizovací výdaje 169 400 Kč bez DPH a **204 974 Kč** včetně DPH. Předpokládám provádění běžné údržby a případného seřízení oken přímo uživatelem, tedy provozní náklady uvažuji nulové.

Ekonomické zhodnocení investice:

Vydělením této částky odhadovanou úsporou **997 Kč** ročně získám odhadovanou prostou dobu návratnosti **206 let**.

Ani v tomto případě nemá smysl počítat diskontovanou dobu návratnosti, rozhodl jsem se tedy použít kritérium čisté současné hodnoty. Dobu životnosti investice určím dle popisu tabulky 4.8 podle životnosti rámu okna (Frame/Sash). Tabulka uvádí dobu životnosti 22,5 roku. Vzhledem k tomu, že předpokládám provedení případné výměny oken v letním období mimo topnou sezónu, zaokrouhlím tuto hodnotu dolů na dobu životnosti 22 let.

⁴²Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. OPŽP [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%C5%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 92 tabulka.

Tabulka 4.8⁴³

Frame Material	Frame/Sash	Frame/sash joints	Wedges, brushes, seals	Hardware	Glass	IGU	Reveal liners	Powder Coat	Paint
	yrs	yrs	yrs	yrs	yrs	yrs	yrs	yrs	yrs
Aluminium	35	15	5	15	35	20	15	15	5
Timber	35	15	5	15	35	15	15	15	5
Aluminium skinned Timber	45	15	5	15	45	20	15	15	5
PVC	22.5	15	5	15	-	20	15	15	5

The life of the whole window system is of course the same as the life of the Frame/sash combination.

Pro účely výpočtu uvažuji reálný diskont 0,133 %, jehož výpočet je rozepsán v bodě 4.2.1., podkapitola Určení diskontu. Instalaci opět uvažuji v průběhu roku v letním období, tedy v nultém roce počítám s poloviční úsporou.

⁴³ HOWARD, N. P., J. BURGESS a C. LIM. *Comparative service life assessment of window systems*. Forest and Wood Products Australia Limited. PR07.1047. Dostupné také z: <http://www.fwpa.com.au/images/marketaccess/PR07.1047%20Final%20Report%20WEB.pdf>

Tab 4.9

t (roky)	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)	CF_t (Kč)	$CF_t \cdot (1+d_r)^{-t}$ (Kč)	NPV (Kč)
0	0	499	- 204 475 Kč	- 204 475,00 Kč	- 204 475 Kč
1	0	997	997 Kč	995,68 Kč	- 203 479 Kč
2	0	997	997 Kč	994,35 Kč	- 202 485 Kč
3	0	997	997 Kč	993,03 Kč	- 201 492 Kč
4	0	997	997 Kč	991,71 Kč	- 200 500 Kč
5	0	997	997 Kč	990,40 Kč	- 199 510 Kč
6	0	997	997 Kč	989,08 Kč	- 198 521 Kč
7	0	997	997 Kč	987,77 Kč	- 197 533 Kč
8	0	997	997 Kč	986,46 Kč	- 196 547 Kč
9	0	997	997 Kč	985,14 Kč	- 195 561 Kč
10	0	997	997 Kč	983,84 Kč	- 194 578 Kč
11	0	997	997 Kč	982,53 Kč	- 193 595 Kč
12	0	997	997 Kč	981,22 Kč	- 192 614 Kč
13	0	997	997 Kč	979,92 Kč	- 191 634 Kč
14	0	997	997 Kč	978,62 Kč	- 190 655 Kč
15	0	997	997 Kč	977,32 Kč	- 189 678 Kč
16	0	997	997 Kč	976,02 Kč	- 188 702 Kč
17	0	997	997 Kč	974,73 Kč	- 187 727 Kč
18	0	997	997 Kč	973,43 Kč	- 186 754 Kč
19	0	997	997 Kč	972,14 Kč	- 185 782 Kč
20	0	997	997 Kč	970,85 Kč	- 184 811 Kč
21	0	997	997 Kč	969,56 Kč	- 183 841 Kč

Provedený výpočet ukazuje, že čistá současná hodnota investice je pro dobu životnosti 22 let **183 841 Kč**. Opatření se tedy za daných podmínek nevyplatí. Vzhledem k nízké úspoře pouhých **6 %** nákladů na vytápění nepovažuji možnost získání dotace za reálnou, ani nepovažuji za účelné provádět citlivostní analýzy.

4.2.4. Snížení teploty vytápění

Vzhledem k neuspokojivým výsledkům posouzení předchozích opatření jsem se rozhodl hledat alternativní řešení. Smyslem této práce je najít způsob snížení nákladů na vytápění rodinného domu. Nabízí se tedy možnost místo hledání způsobu, jak zvýšit účinnost vytápění, jednoduše méně vytápět.

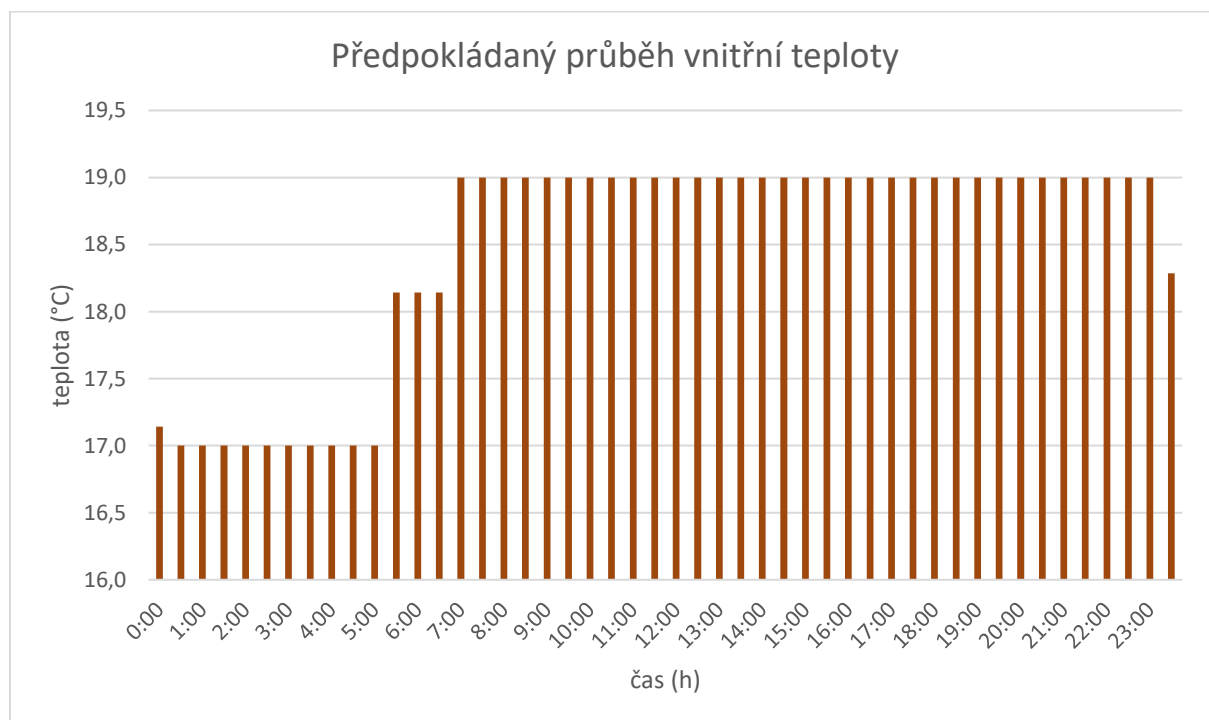
Tepelné ztráty budovy značně závisí na rozdílu teplot mezi vytápěnou zónou a okolním prostředím. Pro výpočty současného stavu tepelných ztrát jsem uvažoval převažující vnitřní teplotu v otopném období 21,9 °C, ke které jsem dospěl pozorováním rychlosti změny teploty při zapnutí či vypnutí vytápění a výpočtem ze známého nastavení termostatu.

Běžně se ale při výpočtech tepelných ztrát budovy uvažuje výpočtová teplota 20 °C⁴⁴. Tento rozdíl je zjevně způsoben tím, že je během otopného období termostat nastaven na udržování teploty 23 °C během dne. Konstatuji tedy, že budova je vytápěna více, než je pro obytné budovy obvyklé, a proto je vhodné zabývat se možností snížení nákladů na vytápění prostým snížením převažující vnitřní teploty.

Vytvořil jsem tedy hypotetické nastavení termostatu, při kterém je budova vytápěna ne na ustálenou teplotu během dne 23 °C, ale na denní teplotu 21 °C. Tuto teplotu lze stále považovat za komfortní a považuji za velmi pravděpodobné, že primárním důvodem vytápění na neobvykle vysokou teplotu 23 °C je pouze návyk obyvatel. Noční teplotu 18 °C jsem ponechal pro obě nastavení stejnou.

V modelu současného stavu jsem pro určení průběhu teploty během přechodů mezi denním a nočním nastavením udělal dva předpoklady. První byl, že teplota z denních 23 °C klesne na nočních 18 °C za 2,5 hodiny, tedy jsem teplotu snižoval o 1 °C za každý půlhodinový krok od ukončení vytápění na denní teplotu do dosažení noční teploty. Pro toto nové nastavení termostatu budu předpokládat stejnou rychlost poklesu teploty, tedy budu uvažovat dobu samovolného poklesu teploty z 21 °C na 18 °C jako 1,5 hodiny. Doba vytopení z noční teploty na denní teplotu budu uvažovat stále stejnou, tedy 0,5 hodiny. Jiné změny nastavení termostatu jsem neprovedl, časy vytápění na denní a noční teplotu jsou během jednotlivých dnů stejné. Průměrná teplota tohoto nastavení, kterou považuji za převažující vnitřní teplotu v otopném období je 20,3 °C, což je teplota velmi blízká běžně uvažovaným 20 °C, z čehož usuzuji, že toto nastavení poměrně dobře odpovídá typickému vytápění obytných prostor.

Grafické zobrazení předpokládaného průběhu vnitřní teploty v budově



Graf 4.8

⁴⁴ REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>

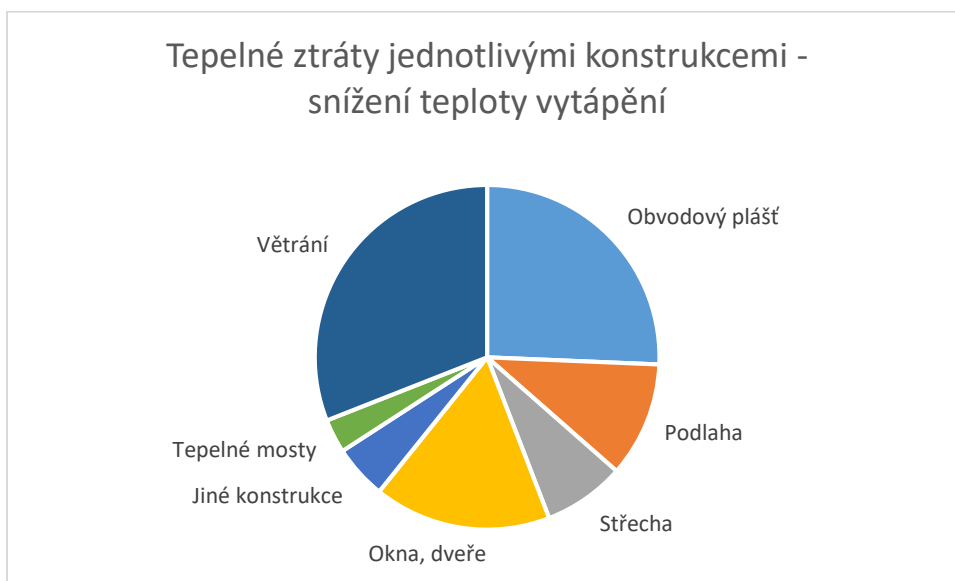
Předpokládaná úspora:

Po změně hodnoty v poli „Převažující vnitřní teplota v otopném období θ_{in} :“ na 20,3 °C poklesla měrná spotřeba energie na 101 kWh/m². Tepelné ztráty budovy tedy činí 13 534 kWh, úspora tedy činí 10 %, respektive 1487 kWh. Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi po provedení opatření popisuje následující tabulka (pozor, jedná se o okamžité ztrátové výkony).

Tab 4.10

Typ konstrukce	Tepelná ztráta (W)	%
Obvodový plášť	1 857	24,5
Podlaha	782	10,3
Střecha	555	7,3
Okna, dveře	1 204	15,9
Jiné konstrukce	367	4,8
Tepelné mosty	230	3,0
Větrání	2 241	29,5
Celkem	7 236	

Grafické zobrazení



Graf 4.9

Předpokládaná finanční úspora:

Absolutní úsporu tepla 1487 kWh přepočítám na finanční úsporu 1 784 Kč ročně.

Předpokládané výdaje:

Toto opatření nevyžaduje žádné investiční výdaje ani provozní náklady.

Ekonomické zhodnocení opatření:

Je zřejmé, že pouhá změna nastavení termostatu na nižší teploty nevyžaduje žádné investiční výdaje, ani provozní náklady vzniklé navíc oproti původnímu stavu. Rovněž ani nelze mluvit o omezené životnosti opatření, snad kromě faktu, že po skončení životnosti současného systému dodávky tepla může mít nový jiné parametry a výši úspory by bylo třeba přepočítat.

Pro účely výpočtu uvažují reálný diskont 0,133 %, jehož výpočet je rozepsán v bodě 4.2.1., podkapitola Určení diskontu. Opatření nevyžaduje žádné stavební práce ani instalaci nového zařízení, nicméně v zájmu srovnatelnosti s ostatními zkoumanými možnostmi budu uvažovat provedení během roku v letním období a počítám tedy s poloviční úsporou v nultém roce.

Tab 4.11

t (roky)	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)	CF_t (Kč)	$CF_t \cdot (1+d_r)^{-t}$ (Kč)	NPV (Kč)
0	0	892 Kč	892 Kč	892,00 Kč	892 Kč
1	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 781,63 Kč	2 674 Kč
2	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 779,26 Kč	4 453 Kč
3	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 776,90 Kč	6 230 Kč
4	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 774,54 Kč	8 004 Kč
5	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 772,18 Kč	9 777 Kč
6	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 769,83 Kč	11 546 Kč
7	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 767,48 Kč	13 314 Kč
8	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 765,13 Kč	15 079 Kč
9	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 762,79 Kč	16 842 Kč
10	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 760,45 Kč	18 602 Kč
11	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 758,11 Kč	20 360 Kč
12	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 755,77 Kč	22 116 Kč
13	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 753,44 Kč	23 870 Kč
14	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 751,11 Kč	25 621 Kč
15	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 748,79 Kč	27 369 Kč
16	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 746,46 Kč	29 116 Kč
17	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 744,14 Kč	30 860 Kč
18	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 741,83 Kč	32 602 Kč
19	0	1 784 Kč	1 784 Kč	1 739,51 Kč	34 341 Kč

Provedený výpočet ukazuje, že čistá současná hodnota opatření je **18 602 Kč** pro desetiletou dobu trvání a **34 341 Kč** pro dobu trvání dvacet let.

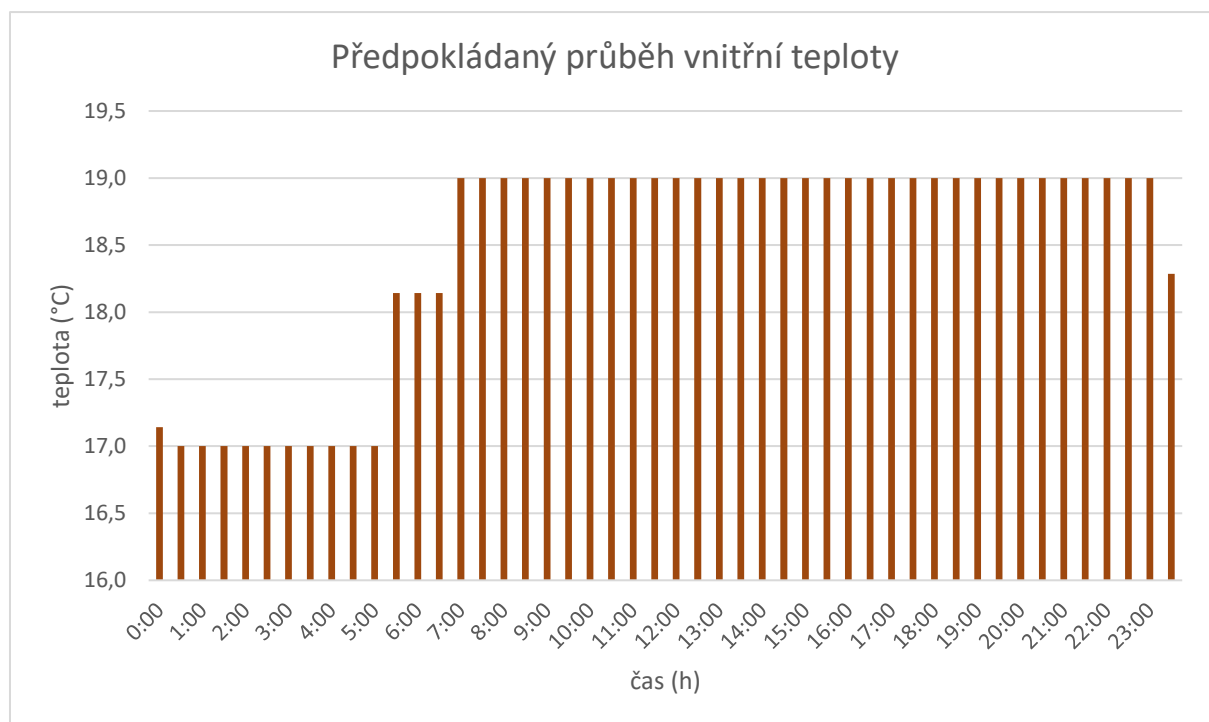
4.2.5. Snížení teploty vytápění 2

Vzhledem k tomu, že první varianta snížení teploty přinesla relativně zajímavou úsporu, a to bez jakýchkoli nákladů, rozhodl jsem se zpracovat ještě druhou variantu s citelnějším snížením teploty. Předchozí varianta snižovala teplotu interiéru z poněkud vysoké na obvyklou hodnotu, tato varianta představuje snížení pod běžné teploty vytápění obytných budov.

Vytvořil jsem druhé hypotetické nastavení termostatu, v tomto případě s denní teplotou 19 °C a noční teplotou 17 °C. Stále předpokládám vytopení z noční teploty na denní během jednoho půlhodinového kroku a samovolný pokles vnitřní teploty při přechodu z denní teploty na noční rychlostí 1 °C za 0,5 hodiny.

Tato varianta je již podstatně méně komfortní, nicméně pro domácnosti bez menších dětí či chronicky nemocných členů je stále možná. Rovněž ji lze považovat za nouzovou variantu v případě dlouhodobého poklesu příjmů či náhlé nutnosti co nejvíce snížit výdaje na provoz domácnosti z jiného důvodu.

Grafické zobrazení předpokládaného průběhu vnitřní teploty v budově



Graf 4.10

Předpokládaná úspora:

Pro toto opatření nastavíme hodnotu „Převažující vnitřní teplota v otopném období θ_{im} “ na 18,5 °C. Měrná spotřeba energie tímto poklesne na 88,5 kWh/m² čemuž odpovídají tepelné ztráty budovy 11 859 kWh. Toto představuje úsporu 21 %, respektive 3 162 kWh. Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi popisuje následující tabulka (pozor, jedná se o okamžité ztrátové výkony).

Tab 4.12

Typ konstrukce	Tepelná ztráta (W)	%
Obvodový plášť	1 756	23,2
Podlaha	740	9,8
Střecha	525	6,9
Okna, dveře	1 139	15,0
Jiné konstrukce	347	4,6
Tepelné mosty	218	2,9
Větrání	2 120	27,9
Celkem	6 845	

Grafické zobrazení**Graf 4.11****Předpokládaná finanční úspora:**

Úsporu tepla 3 162 kWh přepočítám na finanční úsporu, který činí **3 794 Kč** ročně.

Předpokládané výdaje:

Toto opatření nevyžaduje žádné investiční výdaje ani provozní náklady.

Ekonomické zhodnocení opatření:

Stejně jako předchozí varianta snížení teploty vytápění nevyžaduje toto opatření žádné investiční výdaje ani provozní náklady.

Pro účely výpočtu uvažuji reálný diskont 0,133 %, jehož výpočet je rozepsán v bodě 4.2.1., podkapitola Určení diskontu. Opatření nevyžaduje žádné stavební práce ani instalaci nového zařízení, nicméně v zájmu srovnatelnosti s ostatními zkoumanými možnostmi budu uvažovat provedení během roku v letním období a počítám tedy s poloviční úsporou v nultém roce.

Tab 4.13

t (roky)	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)	CF_t (Kč)	$CF_t \cdot (1+d_r)^{-t}$ (Kč)	NPV (Kč)
0	0	1 897 Kč	1 897 Kč	1 897,00 Kč	1 897 Kč
1	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 788,96 Kč	5 686 Kč
2	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 783,93 Kč	9 470 Kč
3	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 778,90 Kč	13 249 Kč
4	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 773,88 Kč	17 023 Kč
5	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 768,87 Kč	20 792 Kč
6	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 763,86 Kč	24 555 Kč
7	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 758,87 Kč	28 314 Kč
8	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 753,87 Kč	32 068 Kč
9	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 748,89 Kč	35 817 Kč
10	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 743,91 Kč	39 561 Kč
11	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 738,93 Kč	43 300 Kč
12	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 733,97 Kč	47 034 Kč
13	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 729,01 Kč	50 763 Kč
14	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 724,06 Kč	54 487 Kč
15	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 719,11 Kč	58 206 Kč
16	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 714,17 Kč	61 920 Kč
17	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 709,24 Kč	65 629 Kč
18	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 704,31 Kč	69 334 Kč
19	0	3 794 Kč	3 794 Kč	3 699,39 Kč	73 033 Kč

Výpočet ukazuje, že čistá současná hodnota opatření je **35 817 Kč** pro dobu trvání 10 let, respektive **73 033 Kč** pro dobu trvání dvacet let. V obou případech je tedy čistá současná hodnota opatření více jak dvojnásobná oproti předchozí variantě.

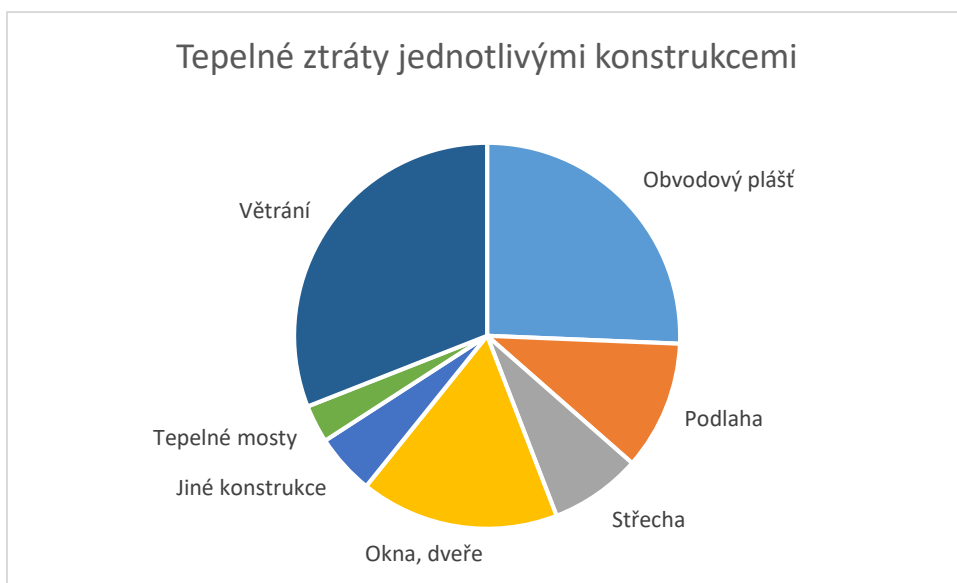
5. Závěr

5.1. Nejperspektivnější opatření

Nucené větrání s rekuperací

Z tepelného hlediska má nejvyšší potenciál pro úspory instalace systému nuceného větrání s rekuperací. Opatření by ovšem bylo spojené s vysokými investičními výdaji i provozními náklady. Možnost dosáhnout návratnosti je navíc omezená životností instalovaných zařízení.

Současné tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi.



Graf 5.1

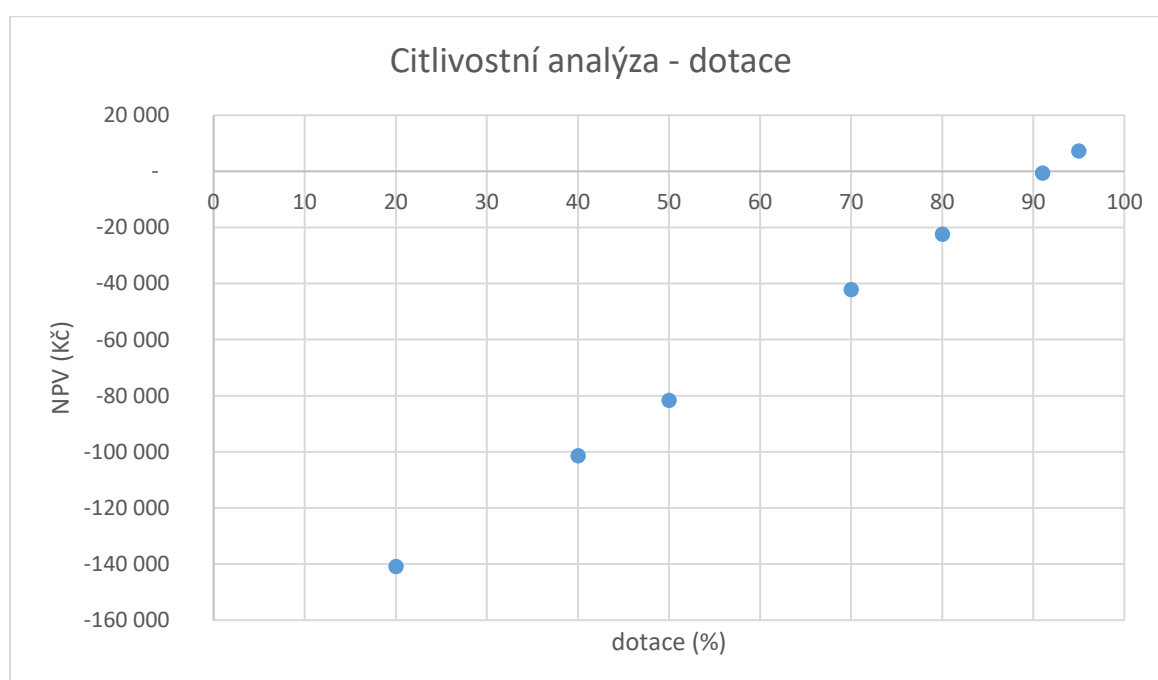
Teplené ztráty budovy po realizaci nuceného větrání s rekuperací



Graf 5.2

Předpokládanou úsporu jsem vyčíslil na **4 247 kWh** (28 % současné spotřeby tepla), z čehož jsem spočítal roční finanční úsporu výdajů na plyn ve výši **5 097 Kč**. Se zahrnutím provozních nákladů (spotřeba elektrické energie, filtry) ale činí čistá úspora pouze **1 116 Kč** ročně, což je v porovnání s investičními výdaji 197 472 Kč relativně malá částka. Důsledkem toho je i velmi nepříznivá čistá současná hodnota investice, kterou jsem pro odhadovanou dobu životnosti 15 let stanovil na **- 180 374 Kč**.

Vzhledem k vysoké potenciální úspoře tepla jsem provedl citlivostní analýzy na reálný diskont, cenu plynu a výši poskytnuté dotace, abych zjistil, za jakých podmínek by opatření mohlo dosahovat kladné čisté současné hodnoty. Vzhledem k výši úspory se jako nejzajímavější jevila možnost získání dotace. Výsledek citlivostní analýzy na její výši zobrazuje následující graf.



Graf 5.3

Kritickým bodem je výše dotace **91 %**. Získání dotace v takové výši nepovažuji za reálné. Pokud je mi známo, v současné době je možné získat dotaci na toto opatření pouze z programu Nová zelená úsporám, který umožňuje získat dotaci do maximální výše 50 % způsobilých výdajů.⁴⁵ Ani zbylé dvě citlivostní analýzy nedopadly pozitivně. Možnost, že by nastaly podmínky, za kterých by se toto konkrétní opatření na tomto konkrétním domě vyplatilo považuji za velmi nepravděpodobnou.

Snížení teploty vytápění I a II

Mimo opatření směřujících k zefektivnění dodávky tepla jsem zkoumal i možnosti snížení výdajů změnou teploty vytápění. Teplota vytápění budovy je řízena termostatem, který je v současné době

⁴⁵ Státní fond životního prostředí. Výše podpory. *Novazelenausporam.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/vyse-podpory/>

nastaven na denní teplotu vytápění 23 °C a noční teplotu 18 °C, s převažující vnitřní teplotou v otopném období **21,9 °C**. To je poměrně vysoká hodnota.

Vytvořil jsem tedy dvě varianty možného snížení teploty vytápění. Varianta **Snížení teploty vytápění I** je relativně mírná a spočívá ve změně denní teploty na 21 °C. Noční teplota zůstává beze změny. Důsledkem toho je pokles převažující vnitřní teploty v otopném období na **20,3 °C**.

Tato varianta vedla k úspoře **1 487 kWh**, což činí 10 % současné spotřeby tepla. To představuje finanční úsporu **1 784 Kč** ročně bez výrazného snížení komfortu obyvatel. Pro posouzení dlouhodobých dopadů jsem vyčíslil čistou současnou hodnotu opatření na **18 602 Kč** pro desetiletou dobu trvání a **34 341 Kč** pro dobu trvání dvacet let.

Dále jsem zkoumal možnost výraznějšího snížení teploty vytápění. Varianta **Snížení teploty vytápění II** představuje snížení denní teploty na **19 °C** a noční teploty na **17 °C**. Převažující vnitřní teplota v otopném období v tomto případě poklesne na **18,5 °C**. Takto nízkou teplotu lze již považovat za poměrně nekomfortní, nicméně lze ji uvažovat jako nouzovou variantu při náhlé nutnosti značně snížit výdaje na chod domácnosti.

Úspora tepla v tomto případě činí **3 162 kWh**, tedy **21 %** současné spotřeby tepla. Finanční úspora činí **3 794 Kč** ročně. Čistou současnou hodnotu opatření jsem spočetl na **35 817 Kč** pro desetiletou dobu trvání a **73 033 Kč** pro dvacetiletou dobu trvání.

5.2. Doporučení

Ze zkoumaných opatření považuji za nejperspektivnější **Snížení teploty vytápění I**, tedy úpravu nastavení termostatu tak, aby převažující vnitřní teplota v otopném období poklesla z 21,9 °C na 20,3 °C. Desetiprocentní úspora je sice druhá nejnižší ze všech zkoumaných možností, nicméně toto opatření nevyžaduje žádné investiční výdaje, ani není spojené s žádnými provozními náklady vzniklými navíc oproti současnému stavu. Díky tomu finanční úspora odpovídá celé úspoře tepla a opatření má kladnou čistou současnou hodnotu od nultého roku. Varianta **Snížení teploty vytápění II** by sice přinesla významnější úsporu, ale pouze za cenu značného snížení komfortu obyvatel.

5.3. Závěrečné shrnutí

Výsledek této práce je poněkud paradoxní. Zjistil jsem, že realizováním pouze jednoho ze zkoumaných opatření na straně spotřeby by bylo možné snížit spotřebu plynu na vytápění o 28 %. Kombinací třech opatření (nucené větrání s rekuperací, zateplení obvodových stěn, výměna oken), by bylo možné spotřebu snížit až o 49 %. Musím tedy konstatovat, že i u relativně nové budovy je z technologického hlediska značný potenciál na snížení spotřeby tepla.

Současně ovšem není možné ignorovat náklady spojené s těmito úsporami. Čistě z ekonomického hlediska jsou tato opatření nesmyslná. Náklady na jejich realizaci značně převyšují očekávaný přínos. Dle mého názoru dům ve svém současném stavu představuje rozumný kompromis mezi energetickou úsporností a náklady na stavbu a jeho zařízení.

Tato práce může být přínosná pro majitele rodinných domů, kteří zvažují kroky směřující k úsporám tepla a snížení nákladů na vytápění.

6. Seznam použité literatury

1. Junkers & Co. *Plynový závěsný kotel s průtokovým ohřevem teplé vody Ceraclass* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://www.junkers.cz/pro_nase_zakazniky/produkty_junkers/detail_produkty/detail_produkty_6081
2. HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov: základní pojmy a platná legislativa* [online]. Praha: EkoWATT, 2009 [cit. 2018-05-23]. ISBN 978-80-87333-03-7. Strana 38
3. REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
4. TZB-info. Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestvrou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
5. Wienerberger s.r.o.. Porotherm 40: Tepelněizolační vnější stěna. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/ke-stazeni/20170512113134/porotherm-40-vyroba-ukoncena-v-r.-2017.pdf>
6. Wienerberger s.r.o.. Porotherm 24. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/produkty/porotherm-24-p-d#collapse-collapse1366232729722>
7. Wienerberger s.r.o.. Porotherm 24. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/produkty/porotherm-24-p-d#collapse-collapse1366232729722>
8. Wienerberger s.r.o.. Porotherm 40: Tepelněizolační vnější stěna. *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/ke-stazeni/20170512113134/porotherm-40-vyroba-ukoncena-v-r.-2017.pdf>
9. Státní fond životního prostředí. *Kalkulačka programu Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://kalkulacka-rd.novazelenausporam.cz/>
10. ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Metody hodnocení energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.fdyson.cz/prednasky_ke_stazeni/enb_cast_2.pdf. Strana 62.
11. ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Metody hodnocení energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.fdyson.cz/prednasky_ke_stazeni/enb_cast_2.pdf. Strana 62.
12. ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Metody hodnocení energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.fdyson.cz/prednasky_ke_stazeni/enb_cast_2.pdf. Strana 62.
13. TINTĚRA, Ladislav. Přepočítání spotřeby paliva a průměrné teploty - představení nové výpočetní pomůcky. *Tzb-info* [online]. 2005, 4.7.2005 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/2586-prepocet-spotreby-paliva-a-prumerne-teploty-predstaveni-nove-vypocetni-pomucky>
14. REINBERK, Zdeněk a Ladislav TINTĚRA. TZB-info. Výpočet denostupňů. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu>
15. TINTĚRA, Ladislav. Přepočítání spotřeby paliva a průměrné teploty - představení nové výpočetní pomůcky. *Tzb-info* [online]. 2005, 4.7.2005 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/2586-prepocet-spotreby-paliva-a-prumerne-teploty-predstaveni-nove-vypocetni-pomucky>
16. NOVÁK, Zdeněk. HLAVNÍ ÚSKALÍ PŘI INSTALACI KONDENZAČNÍCH KOTLŮ. *Asb-portal* [online]. Jaga Media, 09.05.2014 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vytapani/hlavni-uskali-pri-instalaci-kondenzacnich-kotlu>
17. KRAINER, Robert. Jaké tepelné čerpadlo zvolit pro vytápění rodinného domu. *Tzb-info* [online]. 23.3.2015 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12462-jake-tepelne-čerpadlo-zvolit-pro-vytapani-rodinneho-domu>
18. KRAINER, Robert. Jaké tepelné čerpadlo zvolit pro vytápění rodinného domu. *Tzb-info* [online]. 23.3.2015 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12462-jake-tepelne-čerpadlo-zvolit-pro-vytapani-rodinneho-domu>
19. Europe Easy Energy. *CENÍK 2018: zemní plyn pro domácnosti Home Easy*. Dostupné také z: <https://www.3-e.cz/files/download/KENOW0FvaThQlpjw1L7Lbp6vrDKHqV2j/>
20. Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. *OPŽP* [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%C5%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 93 bod b.
21. ZMRHAL, Vladimír. Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. *Tzb-info* [online]. 30.1.2012 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
22. , Systemair AB. *Save VTC 300 R* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/rezidencni-jednotky/rezidencni-jednotky-s-protiproudym-vymenikem/vertikalni-pripojeni/save/save-vtc-300-r-savecair/>
23. , Systemair AB. *Save VTC 300 R* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/rezidencni-jednotky/rezidencni-jednotky-s-protiproudym-vymenikem/vertikalni-pripojeni/save/save-vtc-300-r-savecair/>
24. SYSTEMAIR UAB. *SAVE VTC 300: Installation and Service*. 211464 | A001. Dostupné také z: <http://catalogue2.systemair.com/FileHandler.axd?hash=CEVJ-SDkAm50dBd3Flp8A!!> Strana 26.
25. , Systemair AB. *MPVTC 300 G4* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/rezidencni-jednotky/filtry/filtry-pro-rezidencni-jednotky/pf-save/MPVTC-300-G4/>

26. SYSTEMAIR UAB. *SAVE VTC 300: Installation and Service*. 211464 | A001. Dostupné také z: <http://catalogue2.systemair.com/FileHandler.axd?hash=CEVJ-SDkAm50dMBd3Flp8A!!> Strana 20.
27. DLOUHÝ, Tomáš. *Ekonomika PE*. Skriptum. České vysoké učení technické v Praze. Strana 32
28. Stavební spořitelna České spořitelny. Stavební spoření. *Burinka.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.burinka.cz/stavebni-sporeni/>
29. *ZÁKON č. 96/1993 Sb § 10*.
30. *ZÁKON č. 96/1993 Sb § 12 Odstavec 2. Písmeno b*.
31. KIELAR, Petr. Kalkulátor stavebního spoření. *Stavebky.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.stavebky.cz/kalkulator-stavebniho-sporeni/>
32. , Stavební spořitelna České spořitelny. Online sjednání. *Burinka.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.burinka.cz/online-sjednani/>
33. Stavební spořitelna České spořitelny. Online sjednání. *Burinka.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.burinka.cz/formular-pro-online-sjednani-uzivatel/>
34. Stavební spořitelna České spořitelny. *CENÍK STAVEBNÍ SPOŘITELNY ČESKÉ SPOŘITELNY, a. s.: Pro fyzické osoby*. Dostupné také z: <https://www.burinka.cz/media/2017/12/Cenik-FO-5.5.2017.pdf>
35. , Česká národní banka. Cílování inflace v ČR. *Cnb.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/menova_politika/cilovani.html#inlacni_cile
36. DLOUHÝ, Tomáš. *Ekonomika PE*. Skriptum. České vysoké učení technické v Praze. Strana 37.
37. THERMONA, spol. s r.o. - Česká republika. *THERM EL 30* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/elektrokotle/elektrokotle-standardni-rada/kotel-therm-el-30>
38. Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. *OPŽP* [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%C5%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 92 tabulka.
39. PAPAPOPOULOS, A. M., A. KARAMANOS a A. AVGELIS. *ENVIRONMENTAL IMPACT OF INSULATING MATERIALS AT THE END OF THEIR USEFUL LIFETIME*. Dostupné také z: http://www.fibran.gr/sappek/docs/publications/article_4.pdf. Aristotle University Thessaloniki.
40. Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. *OPŽP* [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%C5%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 87 tabulka běžné objekty.
41. TZB-info. *Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
42. Státní fond životního prostředí. PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE PODPORY: v Operačním programu Životní prostředí pro období 2014–2020. *OPŽP* [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/33-14-Pr%C5%BDaP_verze%2014.pdf. Strana 92 tabulka.
43. HOWARD, N. P., J. BURGESS a C. LIM. *Comparative service life assessment of window systems*. Forest and Wood Products Australia Limited. PR07.1047. Dostupné také z: <http://www.fwpa.com.au/images/marketaccess/PR07.1047%20Final%20Report%20WEB.pdf>
44. REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
45. Státní fond životního prostředí. Výše podpory. *Novazelenausporam.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/vyse-podpory/>

