



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

REKONSTRUKCE RODINNÉHO DOMU PODLE POŽADAVKŮ NA BUDOVOVY S TĚMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE

ENERGY RETROFITTING OF A FAMILY HOME TO THE NEARLY ZERO ENERGY BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Uhlíř

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. David Uhlíř**
Studijní program: Energetické a termofluidní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Charvát, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Rekonstrukce rodinného domu podle požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V roce 2018 bylo v České republice dokončeno 10305 bytů v nových rodinných domech a 19152 bytů v nových bytových domech. Podle sčítání provedeného v roce 2011 bylo v České republice téměř 4.8 milionu bytů z toho 4.1 milionů bytů bylo obydlených. Z těchto čísel je zřejmé, že největší potenciál pro snížení energetické náročnosti bytového fondu nepředstavuje výstavba nových obytných budov, ale energetické rekonstrukce existujících obytných budov.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je navrhnout opatření pro snížení energetické náročnosti dvoupatrového rodinného domu z 60. let 20. století tak, aby dům vyhovoval požadavkům na budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Součástí diplomové práce bude posouzení vhodného způsobu vytápění, větrání a případně chlazení. Součástí opatření bude využití obnovitelných zdrojů energie, které bude podloženo energetickou simulací. Pro zvolené řešení budou provedeny potřebné technické výpočty a bude zpracována výkresová dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3.

BAŠTA, Jiří. Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-83-5.

SZÉKYOVÁ, Marta. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-037-3.

CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. Větrání a klimatizace. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.

2013 ASHRAE handbook: Fundamentals. S.I. Editions: ASHRAE, 2013. ISBN 978-1-936504-47-3.

ZMRHAL, Vladimír. Větrání rodinných a bytových domů. Praha: Grada, 2014. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4573-2.

GEBAUER, Günter. Vzduchotechnika. Brno: Era, 2005. ISBN 9788073660277.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje snížení energetické náročnosti budovy dvoupatrového rodinného domu z 60. let 20. století, do režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Nejprve je daný rodinný dům analyzován z pohledu stavu před rekonstrukcí. Výsledkem této analýzy je průkaz energetické náročnosti budovy v původním stavu. V rámci jednotlivých kapitol následně navrhuji specifická energeticky úsporná opatření. Na závěr každé kapitoly jsou tato opatření ekonomicky zhodnocena s využitím dotačního programu Nová zelená úsporám. První opatření se věnuje zkvalitnění tepelné technických vlastností obálky budovy. To je zajištěno komplexním zateplením rodinného domu a výměnou původních oken a dveří. Druhé opatření je věnováno návrhu vhodného způsobu nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. V rámci třetího opatření posuzuji a vybírám vhodný zdroj tepla, který nahradí původní zdroj tepla rodinného domu. Jako závěrečné opatření navrhuji využití obnovitelného zdroje energie ve formě fotovoltaického systému, které je podloženo energetickou simulací v programu DEKSOFT FVE. V závěru své práce vypracovávám průkaz energetické náročnosti budovy, který posuzuje splnění podmínky budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rekonstrukce rodinného domu, fotovoltaický systém, budova s téměř nulovou spotřebou energie, průkaz energetické náročnosti budovy, nucené větrání s rekuperací tepla, tepelné čerpadlo, DEKSOFT FVE

ABSTRACT

The diploma thesis is devoted to reducing the energy intensity of a two-storey family house from the 1960s, to a building with almost zero energy consumption. First, the family house is analyzed in terms of the condition before reconstruction. The result of this analysis is a certificate of energy performance of the building in its original condition. Within the individual chapters, I subsequently propose specific energy saving measures. At the end of each chapter, these measures are economically evaluated using the New Green Savings Grant Program. The first measure is dedicated to improving the thermal technical properties of the building envelope. This is ensured by the complex insulation of the family house and the replacement of the original windows and doors. The second measure is devoted to the design of a suitable method of forced ventilation with heat recovery. As part of the third measure, I assess and select a suitable heat source that will replace the original heat source of the family house. As a final measure, I propose the use of a renewable energy source in the form of a photovoltaic system, which is based on energy simulation in the program DEKSOFT FVE. At the end of my work, I am developing a building energy performance certificate, which assesses the fulfillment of the condition of a building with almost zero energy consumption.

KEYWORDS

Reconstruction of a family house, photovoltaic system, nearly zero energy buildings, building energy performance certificate, forced ventilation with heat recovery, heat pump, DEKSOFT FVE

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE

UHLÍŘ, David. Rekonstrukce rodinného domu podle požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140455>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne

.....

Bc. David Uhlíř

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D. za vynaložený čas a cenné rady, které mi poskytnul v rámci konzultací. Děkuji také za velikou ochotu a užitečné rady Ing. Marku Menšíkovi ze společnosti SINCLAIR Global Group s.r.o. Na závěr děkuji také všem mým přátelům, kteří mě v průběhu studia podporovali.

OBSAH

ÚVOD	13
1 Budovy s téměř nulovou spotřebou energie	14
1.1 Důvody snižování energetické náročnosti budov	14
1.2 Pojem budova s téměř nulovou spotřebou energie	14
1.3 Požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie.....	15
2 Hodnocení energetické náročnosti budovy	16
2.1 Energetická náročnost budovy	16
3 Analýza současného stavu rodinného domu	19
3.1 Popis řešeného rodinného domu	19
3.2 Dispozice rodinného domu.....	20
3.3 Technické dispozice rodinného domu	22
3.3.1 Zdroj tepla.....	22
3.3.2 Otopná soustava	23
3.3.3 Popis regulace soustavy	24
3.3.4 Větrání prostorů.....	24
3.4 Tepelné ztráty rodinného domu.....	24
3.4.1 Stavební konstrukce	24
3.4.2 Výpočet tepelných ztrát rodinného domu.....	28
3.5 Průkaz energetické náročnosti budovy	29
3.5.1 Vyhodnocení současných tepelně technických vlastností	30
3.5.2 Vyhodnocení dodané energie	32
3.6 Náklady na provoz rodinného domu.....	33
3.6.1 Spotřeba zemního plynu.....	33
3.6.2 Spotřeba elektrické energie	34
3.6.3 Celkové náklady na provoz rodinného domu.....	34
4 Rekonstrukce – zkvalitnění tepelně technických vlastností obálky budovy	35
4.1 Dotační program Nová zelená úsporám.....	35
4.1.1 Nová zelená úsporám – oblast A – zateplení	35
4.2 Zateplení stěn vnějších	37
4.3 Zateplení střechy šikmé a stropu pod nevytápěnou půdou	39
4.4 Výměna otvorových výplní	41
4.5 Zhodnocení energetických opatření	43
5 Rekonstrukce - návrh větrání rodinného domu	45
5.1 Zavedení nuceného větrání po rekonstrukci obálky budovy	45
5.2 Nová zelená úsporám – podoblast C.4 - větrání	46
5.3 Nucené větrání se ZZT – decentralizované řešení.....	47

5.3.1	Decentralizovaná větrací jednotka SEVI 160.....	48
5.4	Nucené větrání centralizované – větrací systém Zehnder	49
5.4.1	Stanovení množství přiváděného a odváděného vzduchu.....	49
5.4.2	Komfortní větrací jednotka Zehnder s rekuperací tepla a vlhkosti ..	51
5.4.3	Prvky větracího systému.....	53
5.4.4	Rozvod větracího potrubí v rodinném domě	57
5.4.5	Tlakové ztráty přívodního a odvodního potrubí.....	58
5.4.6	Regulace přívodního a odvodního potrubí.....	59
5.5	Zhodnocení energetického opatření – větrání.....	61
6	Rekonstrukce – návrh zdroje tepla.....	65
6.1	Výběr vhodného zdroje tepla.....	65
6.1.1	Kotel na pelety	65
6.1.2	Kondenzační plynový kotel	65
6.1.3	Tepelné čerpadlo země - voda	66
6.1.4	Tepelné čerpadlo voda - voda	66
6.1.5	Tepelné čerpadlo vzduch - voda.....	66
6.2	Tepelné čerpadlo Sinclair.....	67
6.2.1	Nepřímotopný ohřívač teplé vody	68
6.2.2	Umístění tepelného čerpadla a hluk	69
6.2.3	Určení bodu bivalence	70
6.3	Otopná soustava nového zdroje tepla.....	72
6.3.1	Přepočet otopné soustavy na nový teplotní spád	72
6.3.2	Hydraulický výpočet otopné soustavy.....	74
6.3.3	Hydraulická regulace otopné soustavy	76
6.3.4	Expanzní nádoba otopné soustavy.....	78
6.3.5	Výpočet pojistného ventilu	79
6.3.6	Oběhové čerpadlo otopné soustavy	80
6.3.7	Ekvitermní regulace tepelného čerpadla.....	80
6.3.8	Řízení soustavy rodinného domu	81
6.4	Posouzení možnosti chlazení – fan coil jednotka.....	82
6.5	Spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla	83
6.5.1	Určení spotřeby elektrické energie na přípravu teplé vody	83
6.5.2	Určení spotřeby elektrické energie na vytápění.....	84
6.5.3	Roční spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla.....	85
6.6	Zhodnocení energetického opatření – nový zdroj tepla.....	86
7	Rekonstrukce – návrh využití obnovitelného zdroje energie	89
7.1	Popis fotovoltaického systému	89

7.1.1	Fotovoltaické panely	89
7.1.2	Třífázový střídač	90
7.1.3	Bateriové uložení	92
7.2	Prostorové dispozice rodinného domu	93
7.2.1	Nabídka S-Power MIDI	93
7.2.2	Nabídka S-Power TOP	94
7.2.3	Instalace a umístění jednotlivých prvků soustavy	94
7.3	Schématické zapojení fotovoltaického systému	95
7.4	Nová zelená úsporám – podoblast C.3	96
7.5	Roční spotřeba elektrické energie rodinného domu	97
7.6	Energetická simulace – bilance FVE	99
7.6.1	Výpočetní program DEKSOFT FVE	99
7.6.2	Energetická simulace – nabídka S-Power TOP	99
7.6.3	Energetická simulace – nabídka S-Power MIDI	101
7.6.4	Porovnání a vyhodnocení	103
7.7	Zhodnocení energetického opatření - FVE	105
8	Porovnání ekonomického zhodnocení se současnými cenami energie	109
8.1	Výsledky ekonomického porovnání	109
	ZÁVĚR	112
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	114
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	125
	SEZNAM OBRÁZKŮ	130
	SEZNAM GRAFŮ	131
	SEZNAM TABULEK	132
	SEZNAM PŘÍLOH	134

ÚVOD

Značně diskutovaným tématem dnešní doby je udržitelný rozvoj lidské společnosti. Evropská unie se tímto tématem zabývá ve snaze o dekarbonizaci evropské ekonomiky a o snížení závislosti na neobnovitelných zdrojích energie. S tímto tématem je úzce spjata problematika budov a jejich provozu. V současné době jsou na území Evropské unie nastaveny povinné legislativní požadavky pro stavbu nových budov. Ty v dnešní době už musí splňovat energetickou náročnost v režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

Větším potenciálem pro snížení energetické náročnosti budov proto představují už postavené obytné budovy. Tyto objekty se obvykle vyznačují nedostatečnými tepelně technickými vlastnostmi obálky budovy a zastaralými zdroji tepla, které jsou na dnešní standardy neúčinná a mnohdy využívají paliva ve formě neobnovitelných zdrojů energie, které přispívají ke znečištění ovzduší. Se zvyšujícími se cenami energií stoupají náklady na provoz těchto starších budov. Specificky se jedná o náklady na přípravu teplé vody a na vytápění, kdy vyšší náklady na vytápění jsou ovlivněny tepelnou ztrátou budovy, která je u starších domů většinou vysoká.

V této diplomové práci se zabývám rekonstrukcí stávajícího objektu ve formě dvoupatrového rodinného domu z 60. let 20. století. Cílem této rekonstrukce je za pomoci energeticky úsporných opatření dosáhnout režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie. V rámci diplomové práce analyzuji nejprve současný stav rodinného domu. Součástí této analýzy je výpočet tepelné ztráty budovy, zjištění nákladů na provoz rodinného domu a zpracování průkazu energetické náročnosti budovy, kdy z těchto dílčích informací dále vycházím při návrhu rekonstrukce budovy. Samotná rekonstrukce domu spočívá v návrhu jednotlivých energeticky úsporných opatření, která následně ekonomicky vyhodnocuji, a to s využitím dotačního programu Nová zelená úsporám.

Počáteční návrh energeticky úsporných opatření se týká zkvalitnění tepelně technických vlastností obálky budovy, což v důsledku znamená komplexní zateplení obálky budovy a výměnu původních otvorových výplní. Dále je navrhnut vhodný způsob nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, který zajistí potřebnou výměnu vzduchu v budově. Následně je důležité nahradit stávající zdroj tepla za nový, který odpovídá současným technickým standardům. A mezi poslední opatření patří návrh využití obnovitelného zdroje energie, kdy výběr je podložen energetickou simulací. Na závěr těchto opatření je znovu vypracován průkaz energetické náročnosti budovy, který posuzuje, zda bylo dosaženo cíle diplomové práce, a to splnění energetického standardu budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

1 Budovy s téměř nulovou spotřebou energie

V této kapitole se zabývám důvody, proč se v rámci Evropské unie, tedy i České republiky, postupně snižuje energetická náročnost budov. Následně popisuji definici samotného pojmu budovy s téměř nulovou spotřebou energie a stručně specifikuji chronologickou platnost v České republice. A na závěr stručně popisuji aktuální specifika na budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

1.1 Důvody snižování energetické náročnosti budov

Evropská komise představila v prosinci 2021, v rámci klimaticko-energeticky legislativního balíčku „Fit for 55“ návrh na snížení emisí skleníkového plynu alespoň o 55 % oproti roku 1990, čehož chce dosáhnout do roku 2030 [1]. Tento návrh podporuje dlouhodobou snahu o dosažení dekarbonizace evropské ekonomiky do roku 2050. Postupné snižování energetické náročnosti nově postavených a stávajících budov, je jedním z nezbytných dílčích způsobů, jak dosáhnout tohoto cíle.

Budovy v Evropské unii zodpovídají za spotřebu přibližně 40 % celkové konečné spotřeby energie, čímž přispívají ke tvorbě 36 % emisí skleníkových plynů z energie [2]. To je především dáno tím, že přibližně 75 % už postavených budov, je energeticky neúčinných, jelikož byly postaveny před zavedením současných požadavků na energetickou náročnost budov a stále využívají energii z fosilních paliv na vytápění a ohřev teplé vody [3]. Z toho vyplývá, že jeden z primárních důvodů snižování energetické náročnosti budov je snaha o splnění dlouhodobého závazku o ochraně klimatu.

Další benefity spjaté se snižováním energetické náročnosti budov jsou ekonomického charakteru. Ceny energií narůstají, což má za následek snižující se dobu návratnosti energetických opatření. Tyto opatření přispívají ke snížení spotřeby energie na vytápění a ohřev teplé vody, což v důsledku vede ke snížení provozních nákladů budovy.

Mezi další přínos patří energetická nezávislost na dovozu neobnovitelných zdrojů energie jako je ropa či zemní plyn, ale také zlepšení kvality ovzduší a vnitřního prostředí budov [4].

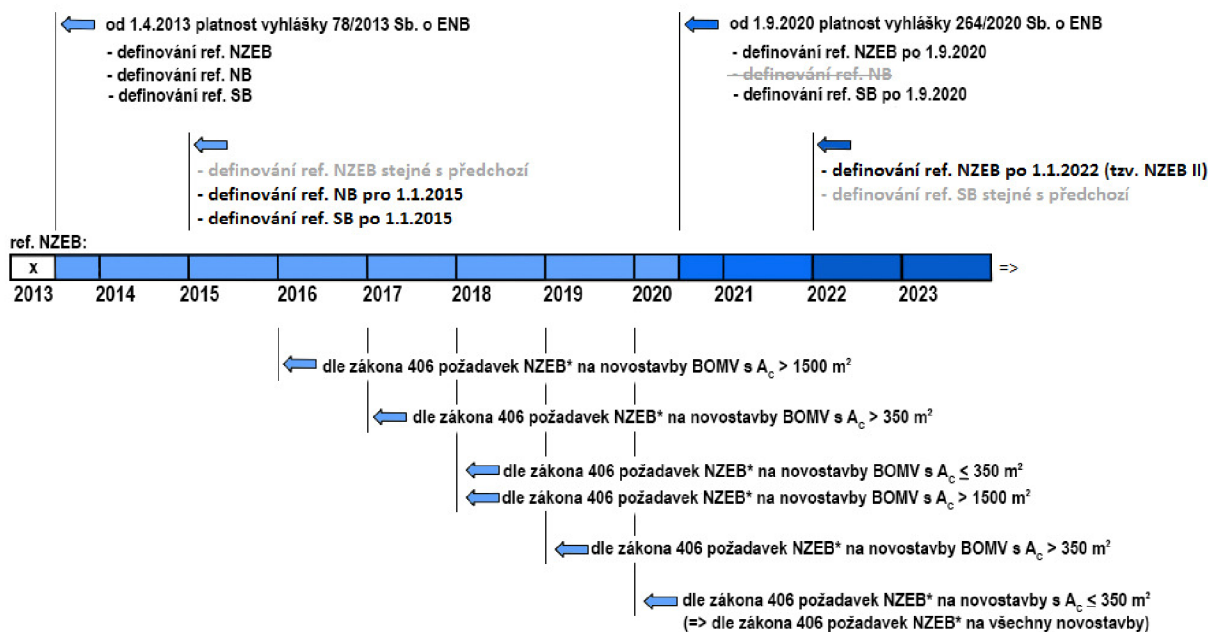
1.2 Pojem budova s téměř nulovou spotřebou energie

V rámci Evropského parlamentu a rady byla uvedena směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, ve které se definují opatření snižující energetickou náročnost budov a současně se zavádí pojem budovy s téměř nulovou spotřebou energie [5].

Tato směrnice byla v České republice implementovaná do zákona 406/2000 Sb., kde je budova s téměř nulovou spotřebou energie definovaná dle § 2 odst. 1 písm. w) jako: „*budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů*“ [6].

1.3 Požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie

Z obrázku 1.1 lze vidět chronologický přehled platnosti požadavků pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie v České republice. První požadavek na výstavbu novostaveb v režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie byl nejprve ustanoven pro budovy vlastněné orgánem veřejné moci s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1500 m², a to od 1.1.2016. Po průběžném zpříšňování, byla nakonec zavedena plošná legislativní povinnost pro splnění tohoto standartu, která se týká všech nově stavěných budov, a to od 1.1.2020 [7].



poznámka: "BOMV" - budovy užívané nebo vlastněné orgánem veřejné moci nebo jím zřízeným subjektem

*pro uvedenou ref. NZEB platí vždy aktuálně platné nastavení dle platné vyhlášky o ENB

Obrázek 1.1 Chronologický přehled platnosti požadavků (upraveno z [8])

Specifické požadavky pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie byly dány už vyhláškou 78/2013 Sb., která platila od 1.4.2013 do 31.8.2020 [9]. Aktuálně platí vyhláška 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, která definuje nejaktuálnější požadavek na budovy s téměř nulovou spotřebou energie od 1.1.2022.

V důsledku těchto nových požadavků se klade u novostaveb větší důraz na architektonické zpracování samotné budovy, které je nově bráno jako prvek energeticky úsporných opatření. V důsledku to znamená že budova, která se navrhne jako značně členitá, rozlehlá a nevhodně orientována vzhledem k světovým stranám, bude muset kompenzovat tuto skutečnost větším množstvím technických opatření, která budou muset vést ke snížení celkové energetické náročnosti budovy [10].

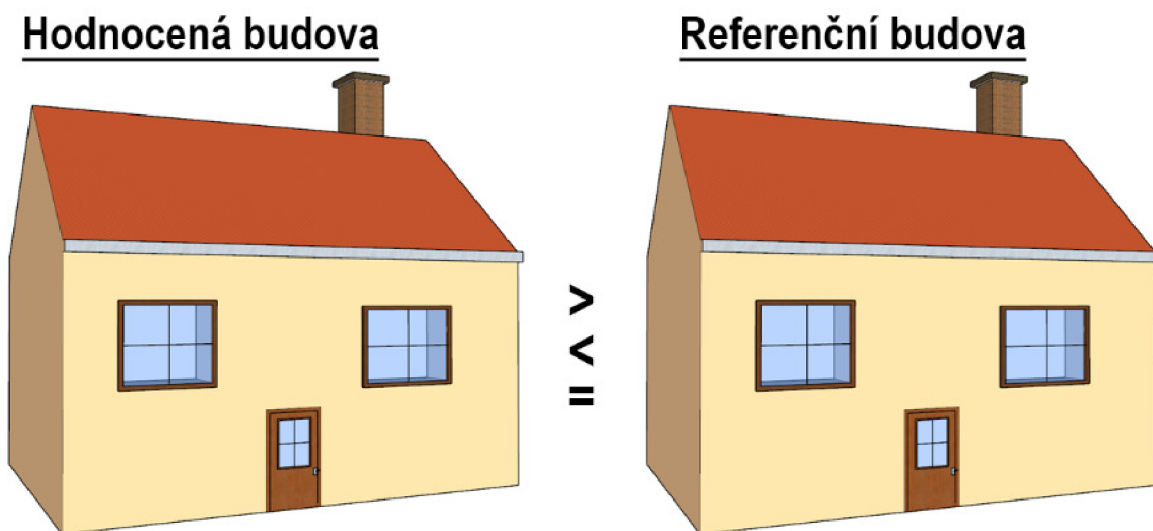
Nově se zpříšňuje požadavek na hodnotu primární energie z neobnovitelných zdrojů energie. Snížení hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů stanovené pro referenční budovu je závislé na měrné potřebě tepla na vytápění referenční budovy, která je dále závislá na energeticky vztažné ploše budovy pro obytné zóny dle vyhlášky 264/2020 Sb., příloha č.1, tab. č. 6 [11]. Z těchto faktů vyplývá, že pokud budu mít budovu, která je kvalitně architektonicky navržena budu mít i nízkou měrnou potřebu tepla na vytápění referenční budovy.

2 Hodnocení energetické náročnosti budovy

V rámci této kapitoly se zabývám stručným popisem hodnocení energetické náročnosti budovy. V kapitole jsou představeny základní pojmy a uvedeny dílčí ukazatele energetické náročnosti budovy. Následně uvádím různé energonositele a s nimi spjaté faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů. Na konci kapitoly se věnuji různým požadavkům na splnění ukazatelů energetické náročnosti budovy.

2.1 Energetická náročnost budovy

Na obrázku 2.1 lze ilustrativně vidět, že energetická náročnost budov se hodnotí na základě tzv. referenční budovy. Referenční budova se vyznačuje tím, že má stejný geometrický tvar, velikost, stejnou orientaci ke světovým stranám, identický způsob užívání a stejně uvažované klimatické podmínky jako budova hodnocená, ovšem referenční budova má některé vlastnosti odlišné [11]. Jedná se zejména o kvalitu obálky budovy, technických systémů a jejich účinností, které mají referenční parametry, které jsou určeny dle platné vyhlášky [11].



Obrázek 2.1 Porovnání hodnocené budovy s referenční budovou

Existují tři hlavní ukazatele, které jsou porovnávány mezi hodnocenou budovou a budovou referenční [11]:

- **Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE}** – stanovuje druh energonositelů spotřebovaných v budově, popřípadě výrobu energie v rámci systémové hranice budovy, které přímo ovlivňují ukazatel energetické náročnosti [12].
- **Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em}** – určuje stupeň kvalitativního řešení obálky budovy, které přímo ovlivňuje ukazatel energetické náročnosti [12].
- **Celková dodaná energie do budovy Q_{fuel}** – stanovuje užití technické systémy pro vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, větrání, vlhčení a osvětlení, které přímo ovlivňují ukazatel energetické náročnosti [12].

Jedná se tedy o porovnání hodnocené budovy s budovou referenční. Pokud tedy vyjdou ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy nižší, nebo rovny než ukazatele budovy referenční, tak jsou naplněny legislativní požadavky. Zároveň dochází dle parametrů referenční budovy ke kategorizaci dílčích dodaných energií, celkové dodané energie, neobnovitelné primární energie a průměrného součinitele prostupu tepla [13].

Ukazatel energetické náročnosti budovy ve formě primární energie z neobnovitelných zdrojů je blíže definován jako energie, která neprošla žádným procesem konverze, kdy je určena za pomoci faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů [11]. V tabulce 2.1 je uveden výpis několika nejdůležitějších faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů energie, které se vážou ke svým energonositelům.

Hodnoty těchto faktorů jsou určeny na základě údajů českého statistického úřadu, kdy na jejich výši má vliv řada okolností. Jedná se zejména o účinnost samotného procesu, tedy účinnost těžby, přeměny, ukládání, distribuce a následného předání energie. V případě energonositele ve formě elektrické energie má výrazný vliv na výši tohoto faktoru energetický mix České republiky, který má v současné době nízký podíl obnovitelných zdrojů energie [14].

Vzhledem k těmto hlavním vlivům má elektrická energie jako energonositel nejvyšší faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie. Z hlediska splnění ukazatelů energetické náročnosti budovy se tedy například nedoporučuje používat čistě elektrický zdroj tepla. V průběhu diplomové práce se na dílčí energonositele, a jejich vliv na primární energii z neobnovitelných zdrojů, která je patrná z hodnot faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů, budu průběžně odkazovat.

Tabulka 2.1 Faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [11]

Ergonositel	Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [-]
Zemní plyn	1,0
Tuhá fosilní paliva	1,0
Propan-butan/LPG	1,2
Topný olej	1,2
Elektřina	2,6
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	0
Elektřina – dodávka mimo budovu	-2,6

Tabulka 2.2 Požadavky na splnění ukazatele energetické náročnosti [12]

Ukazatel energetické náročnosti	Požadavek na splnění ukazatele energetické náročnosti				
	Hodnocení A	Hodnocení B			
		Možnost 1	Možnost 2	Možnost 3	Možnost 4
Neobnovitelná primární energie Q_{nPE}	x	x			
Celková dodaná energie Q_{fuel}	x		x		
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}	x	x	x		
Účinnosti měněných prvků TZB				x	
Dílčí U_i měněných prvků obálky budovy					x
Poznámka: Hodnocení A - nová budova nebo přístavba, či nástavba zvětšující energeticky vztahnou plochu o více než 25 % Hodnocení B - větší změna dokončené budovy nebo jiná, než větší změna dokončené budovy					

V tabulce 2.2 lze vidět různé možnosti splnění požadavků ukazatele energetické náročnosti pro různé možné situace.

V případě novostavby (hodnocení A) je třeba, aby daná budova splnila současně všechny tři ukazatele energetické náročnosti budovy, tedy primární energii z neobnovitelných zdrojů, celkovou dodanou energii do budovy a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy [11].

V případě větší změny dokončené budovy (hodnocení B) existuje několik kombinací, jak lze docílit splnění požadavků na energetickou náročnost.

- **Možnost 1** – renovovaná budova musí splnit průměrný součinitel prostupu tepla a současně musí splnit primární energii z neobnovitelných zdrojů [11].
- **Možnost 2** – renovovaná budova musí splnit průměrný součinitel prostupu tepla a celkovou dodanou energii do budovy [11].
- **Možnost 3** - pokud se realizuje dílčí zásah do obálky hodnocené budovy je nutné prokázat, že měněné prvky na dané obálce mají výsledný dílčí součinitel prostupu tepla lepší, než je hodnota doporučená dle normy ČSN 73 0540-2 [11].
- **Možnost 4** – pokud se mění technické prvky systému hodnocené budovy, tedy dochází například ke změně zdroje tepla. Tak je nutné prokázat, že hodnota účinnosti měněného zdroje je na hodnotě lepší, než je vyhláškou č. 264/2020 definovaná minimální hodnota účinnosti technických systémů [12].

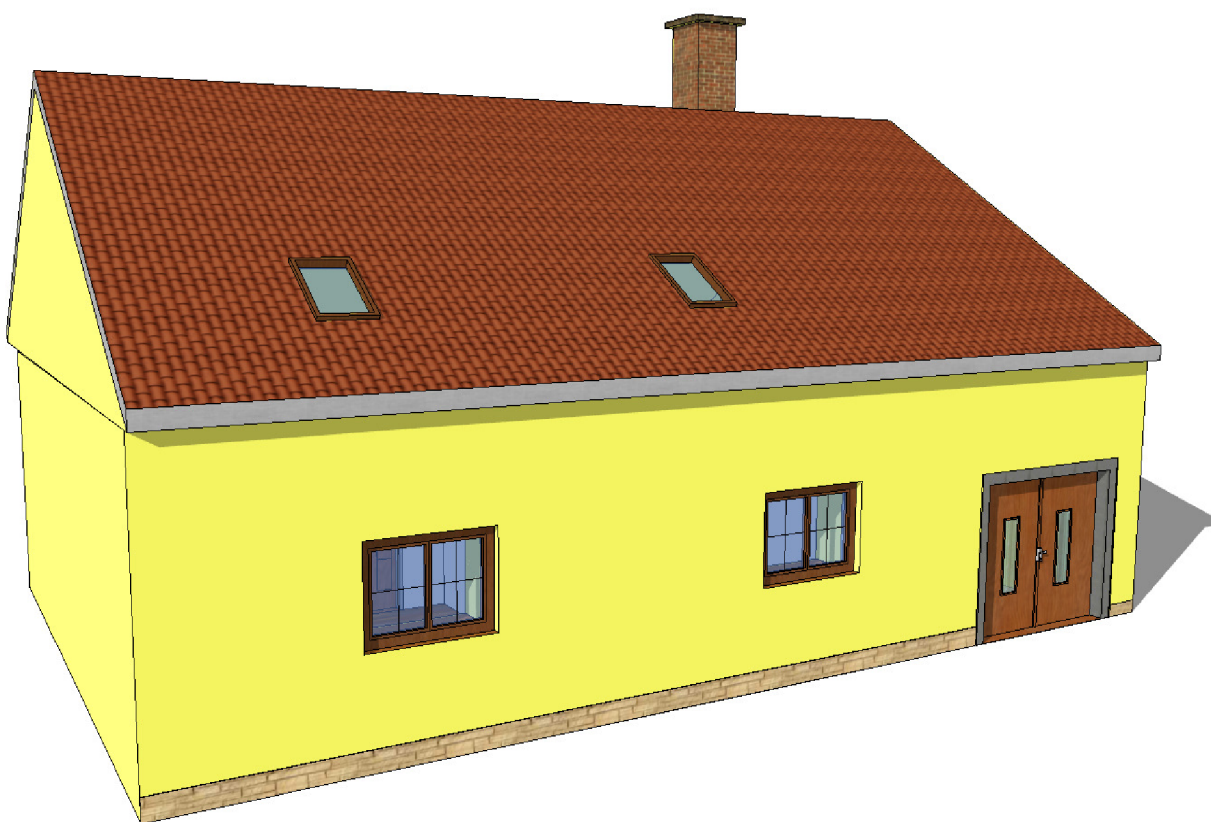
Pro případ rekonstrukce budovy s požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie, platí stejné podmínky jak pro novostavbu. Musí tedy být splněny všechny tři hlavní ukazatele energetické náročnosti budovy.

3 Analýza současného stavu rodinného domu

Aby mohly být vypracovány návrhy opatření pro přechod rodinného domu do režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie, je třeba nejprve provést analýzu současného stavu objektu. V této kapitole se zabývám stručným popisem řešené budovy, jejími prostorovými a technickými dispozicemi, výpočtem tepelných ztrát rodinného domu, zpracováním průkazu energetické náročnosti budovy a vyčíslení ročních nákladů na provoz objektu.

3.1 Popis řešeného rodinného domu

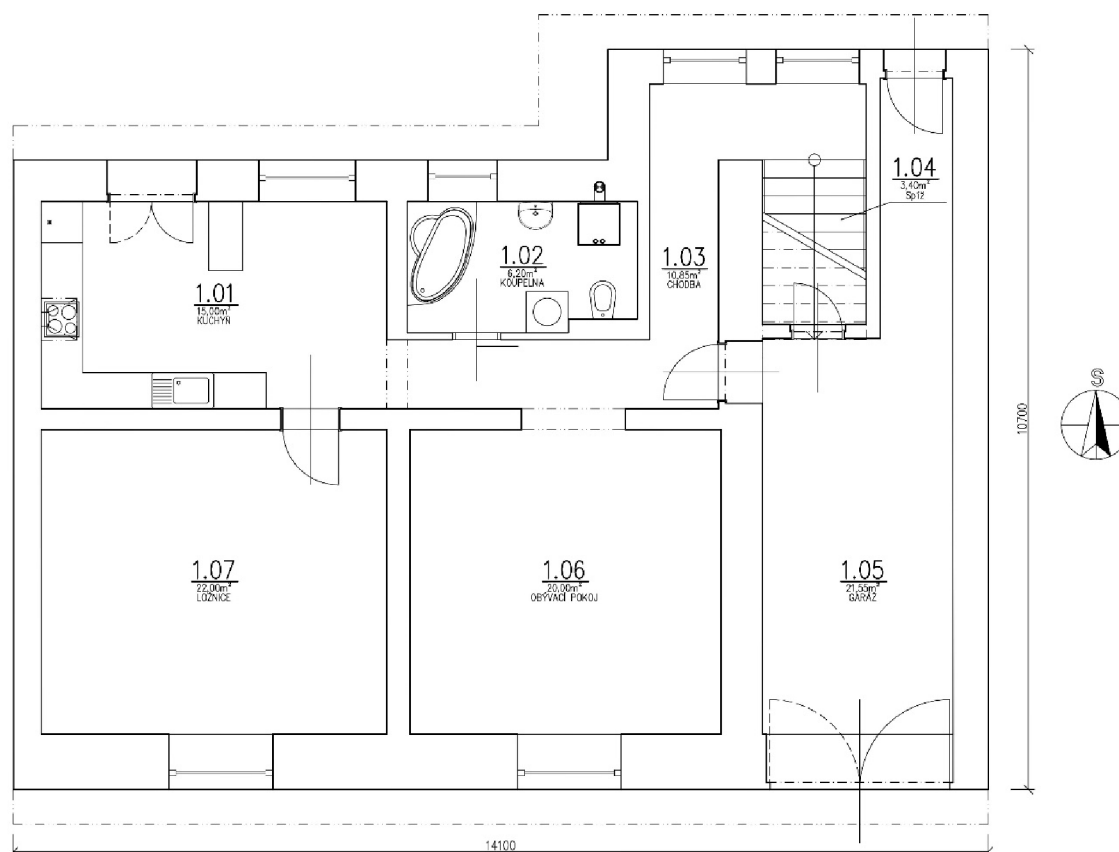
Řešenou budovou je nepodsklepený dvoupatrový rodinný dům (viz obrázek 3.1), který je situován v Olomouckém kraji, konkrétně na kraji města Olomouce. Budova je umístěna v zástavbě rodinných domů, kdy boční strany objektu přiléhají k sousedním rodinným domům. Stavba byla postavena na počátku 60. let 20. století a prošla do dnešního dne několika zásadními rekonstrukcemi a úpravami. Poslední významnou rekonstrukcí, která proběhla v roce 2018, bylo zhotovení nové střešní krytiny, výměna krovu a nahrazení původní střešní tepelné izolace za novou. Všechny venkovní otvorové výplně, kromě vstupních garážových vrat, byly vyměněny v rámci starší rekonstrukce v roce 2003 za okna dřevěná s izolačními dvojskly. Složení vnějších i vnitřních stěn stavby je stále původní, tvořeno převážně z plných pálených cihel, kdy vnější stěny jsou bez tepelné izolace. Detailnější složení všech konstrukcí objektu a výpočet jejich součinitele prostupu tepla bude dále ukázáno v kapitole 3.4, kde budou počítány tepelné ztráty objektu.



Obrázek 3.1 Stávající stav rodinného domu

3.2 Dispozice rodinného domu

Rodinný dům disponuje dvěma nadzemními patry, která dohromady čítají 196,40 m² podlahové plochy a budova je trvale obývána třemi osobami. Jižní strana objektu je orientována k místní komunikaci a severní strana je situována k pozemku zahrady rodinného domu. Na obrázku 3.2, lze vidět stavební výkres půdorysu prvního nadzemního patra. Na tomto patře se nachází vstup do domu, který vede přes nevytápěnou garáž. Detailní výčet místností, jejich plocha, světlá výška a objem místností jsou uvedeny níže v tabulce 3.1.

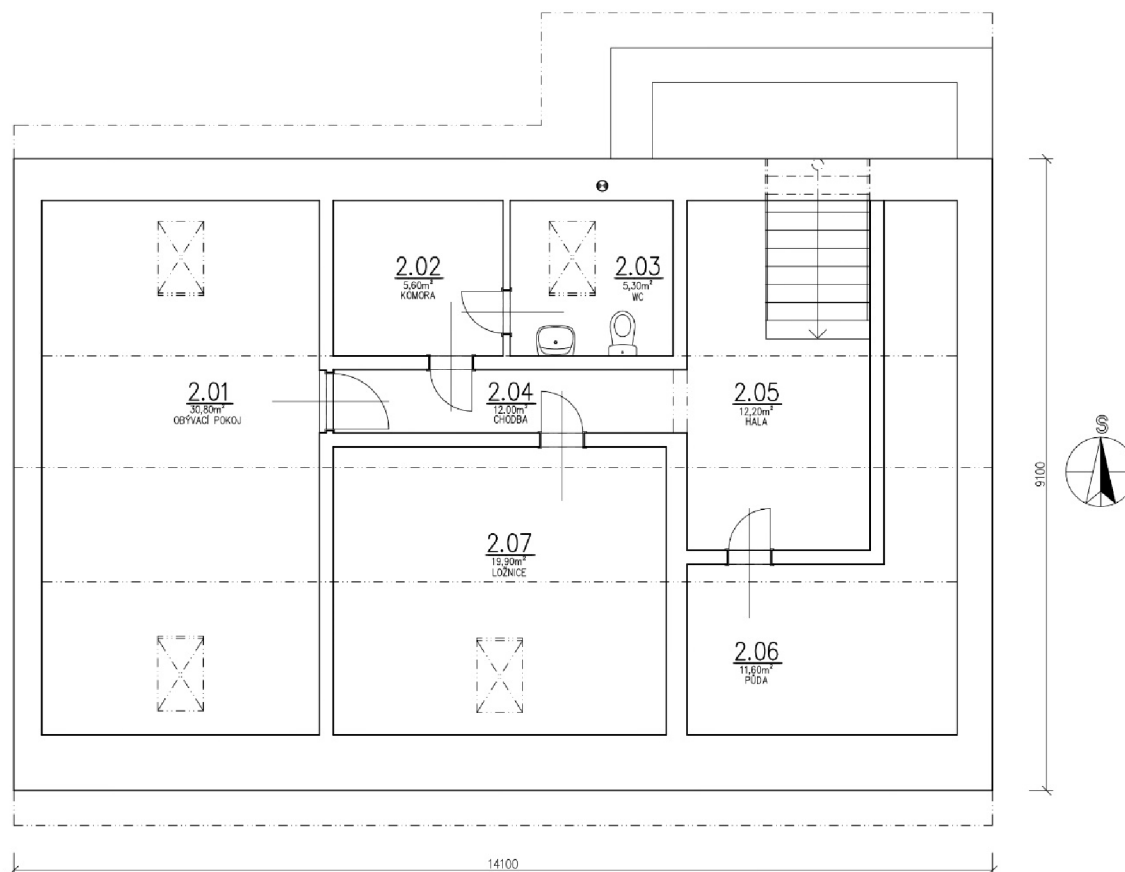


Obrázek 3.2 Půdorys 1.NP

Tabulka 3.1 Místnosti 1.NP

Tabulka místností - 1.NP				
Číslo	Název	Plocha [m ²]	Světlá výška [m]	Objem místnosti [m ³]
1.01	Kuchyň	15,00	2,40	36,00
1.02	Koupelna	6,20	2,40	14,90
1.03	Chodba	10,85	2,40	26,04
1.04	Spíž	3,40	1,70	5,78
1.05	Garáž	21,55	2,40	51,72
1.06	Obývací pokoj	20,00	2,40	48,00
1.07	Ložnice	22,00	2,40	52,80
Celková podlahová plocha 1.NP		99,00	Celkový objem 1.NP	235,24

Stavební výkres půdorysu druhého nadzemního patra lze vidět níže na obrázku 3.3. Detailní výčet místností, jejich plocha, světlá výška a objem místnosti jsou uvedeny v tabulce 3.2. Nad tímto patrem se nachází sedlová střecha rodinného domu, tudíž jsou v místnostech přítomny střešní šikminy, proto je pro toto patro počítáno s průměrnou světlou výškou místnosti. Vzhledem k tomu, že původní výkresová dokumentace objektu nebyla v minulosti vyhotovena, bylo nutné celkový stav dispozic rodinného domu zaměřit. Pro toto zaměření jsem použil laserový dálkoměr.



Obrázek 3.3 Půdorys 2.NP

Tabulka 3.2 Místnosti 2.NP

Tabulka místností - 2.NP				
Číslo	Název	Plocha [m ²]	Průměrná světlá výška [m]	Objem místnosti [m ³]
2.01	Obývací pokoj	30,80	2,02	62,40
2.02	Komora	5,60	1,79	10,02
2.03	WC	5,30	1,79	9,50
2.04	Chodba	12,00	2,50	30,00
2.05	Hala	12,20	2,02	24,62
2.06	Půda	11,60	2,02	23,38
2.07	Ložnice	19,90	2,18	43,50
Celková podlahová plocha 2.NP		97,40	Celkový objem 2.NP	203,42

3.3 Technické dispozice rodinného domu

V této kapitole se věnuji popisu současných technických dispozic rodinného domu. V kapitole popisují stávající řešení zdroje tepla, otopné soustavy, její regulace a způsob větrání rodinného domu.

3.3.1 Zdroj tepla

Na obrázku 3.4 lze vidět plynový závěsný kotel Junkers ZWR 24-3 KE, který je v rodinném domě využíván pro potřeby vytápění a přípravy teplé vody. Samotný kotel je umístěn v prvním nadzemním patře v místnosti – 1.02 Koupelna (viz obrázek 3.2).



Obrázek 3.4 Plynový kotel Junkers ZWR 24-3 KE [15]

Kotel byl nainstalován v roce 1999 a je napojený přímo na otopnou soustavu. Součástí kotle je membránová expanzní nádoba, membránový pojistný ventil a oběhové čerpadlo. Odvod spalin je zajištěn kouřovodem z ocelového plechu do komína, který je vyústěn na střechu budovy rodinného domu [15]. Základní technické parametry kotle jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 Základní technické parametry kotle Junkers ZWR 24-3 KE [15]

Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Nejmenší tepelný výkon [kW]	Maximální teplota topné vody [°C]	Objem membránové expanzní nádoby [l]
24,0	10,9	90	11

3.3.2 Otopná soustava

Otopná soustava rodinného domu je řešena jako teplovodní dvoutrubková soustava s nuceným oběhem topné vody, s teplotním spádem 75/65 °C. Rozvodné potrubí soustavy je z mědi a je opatřeno tepelnou izolací.

Otopné plochy jsou tvořeny převážně deskovými otopnými tělesy značky Korado – řady RADIK VK a jedním trubkovým otopným tělesem Korado – řady Koralux Linear Classic. Detailnější popis všech otopných těles, jejich umístění a výkony jsou uvedeny v tabulce 3.4 pro první nadzemní patro a v tabulce 3.5, pro druhé nadzemní patro.

Rozměry jednotlivých otopných těles byly fyzicky přeměřeny a konkrétní typ byl určen dle dokumentace výrobce. Výkony jednotlivých otopných těles jsou zjištěny na základě teplotního spádu soustavy a návrhové teploty pro danou místnost ze stránek výrobce Korado [16].

Tabulka 3.4 Otopná tělesa 1.NP

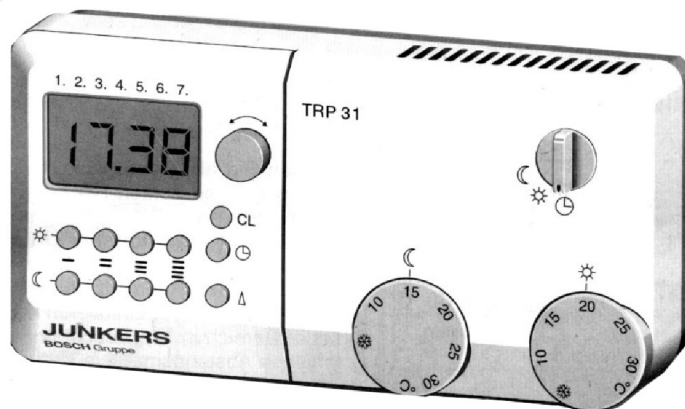
Tabulka místností - 1.NP				
Číslo	Název	Návrhová teplota t_i [°C]	Typ otopného tělesa	Výkon otopného tělesa [W]
1.01	Kuchyň	20	Korado RADIK VK typ 22 600 x 800	1343
1.02	Koupelna	24	Koralux Linear Classic 1220 x 750	655
1.03	Chodba	20	Korado RADIK VK typ 22 600 x 1400	2351
1.04	Spíž	Nevytápěno	-	-
1.05	Garáž	Nevytápěno	-	-
1.06	Obývací pokoj	20	Korado RADIK VK typ 22 600 x 900	1511
1.07	Ložnice	20	Korado RADIK VK typ 22 600 x 900	1511

Tabulka 3.5 Otopná tělesa pro 2.NP

Tabulka místností - 2.NP				
Číslo	Název	Návrhová teplota t_i [°C]	Typ otopného tělesa	Výkon otopného tělesa [W]
2.01	Obývací pokoj	20	Korado RADIK VK typ 22 600 x 800	1343
2.02	Komora	Nevytápěno	-	-
2.03	WC	20	Korado RADIK VK typ 10 600 x 600	362
2.04	Chodba	Nevytápěno	-	-
2.05	Hala	Nevytápěno	-	-
2.06	Půda	Nevytápěno	-	-
2.07	Ložnice	20	Korado RADIK VK typ 22 600 x 800	1343

3.3.3 Popis regulace soustavy

Regulace deskových otopných těles je realizována za pomoci termostatických hlavíc. Celý systém je řízen regulátorem prostorové teploty s proporcionálním výstupem Junkers TRP 31, který se nachází v místnosti 1.06 - Obývací pokoj.



Obrázek 3.5 Termostat Junkers TRP 31 [17]

3.3.4 Větrání prostorů

Větrání v rodinném domě je zajištěno za pomoci přirozeného větrání, kdy dochází k výměně vzduchu kvůli netěsnostem otvorových výplní a stavební konstrukce. Případně je větrání zabezpečeno krátkodobým otevřením oken, které je zprostředkováno manuálně osobami v objektu.

3.4 Tepelné ztráty rodinného domu

V této kapitole se věnuji skladbě stavebních konstrukcí rodinného domu a výpočtu součinitele prostupu tepla těchto konstrukcí. Na závěr jsou vypočteny tepelné ztráty jednotlivých vytápěných místností. Tyto ztráty jsou porovnány s tepelnými výkony otopných těles, kdy vyhodnocuji, zda jsou v současném stavu dostatečně dimenzována.

3.4.1 Stavební konstrukce

V dále uvedených tabulkách jsou představeny stavební konstrukce a otvorové výplně rodinného domu. Celkově je v rodinném domě 12 skladeb konstrukcí a 4 typy otvorových výplní. Pro názornost zde uvádím pouze 5 základních skladeb konstrukcí, jelikož další konstrukce už jsou jen variací těchto skladeb jen o jiných tloušťkách vrstev.

Kromě výčtu jednotlivých konstrukcí jsou zde uvedeny také tloušťky jednotlivých vrstev, jejich součinitel tepelné vodivosti, tepelný odpor a celkový součinitel prostupu tepla celé konstrukce. Všechna uvedená složení jednotlivých konstrukcí byla konzultována s majitelem domu, aby byla zajištěna jejich korektnost.

Tabulka 3.6 Parametry stěny vnější

Stěna vnější					
Konstrukce	Tloušťka vrstvy d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	R [m ² ·K·W ⁻¹]	U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Zdroj uvedených hodnot
Omítka vnitřní	0,01	0,60	0,017		[18]
Cihla plná	0,80	0,86	0,930		[18]
Fasáda	0,02	0,71	0,028		[18]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok) R_{si}			0,13		
Odpor při přestupu tepla na vnější straně (vodorovný tepelný tok) R_{se}			0,04		
Suma	0,83		1,145	0,873	

Tabulka 3.7 Parametry stěny vnitřní

Stěna vnitřní					
Konstrukce	Tloušťka vrstvy d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	R [m ² ·K·W ⁻¹]	U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Zdroj uvedených hodnot
Omítka vnitřní	0,01	0,60	0,017		[18]
Cihla plná	0,30	0,86	0,349		[18]
Omítka vnitřní	0,01	0,60	0,017		[18]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok) R_{si}			0,13		
Odpor při přestupu tepla na vnější straně (vodorovný tepelný tok) R_{se}			0,13		
Suma	0,32		0,642	1,557	

Tabulka 3.8 Parametry podlahy na zemině

Podlaha na zemině					
Konstrukce	Tloušťka vrstvy d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	R [m ² ·K·W ⁻¹]	U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Zdroj uvedených hodnot
Keramická dlažba	0,01	1,01	0,010		[18]
Beton hutný	0,06	1,30	0,046		[18]
Tepelná izolace	0,15	0,037	4,054		[19]
Hydroizolace	0,001	0,16	0,006		[18]
Železobetonová konstrukce	0,2	1,43	0,140		[18]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem dolů) R_{si}			0,17		
Odpor při přestupu tepla na vnější straně R_{se}			0		
Suma	0,421		4,426	0,226	

Tabulka 3.9 Parametry stropu k nevytápěné půdě

Strop k nevytápěné půdě					
Konstrukce	Tloušťka vrstvy d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	R [m ² ·K·W ⁻¹]	U _k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Zdroj uvedených hodnot
SDK deska	0,015	0,21	0,068		[20]
Parozábrana	0,0001	-	-		-
Tepelná izolace	0,20	0,036	5,556		[21]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem nahoru) R _{si}			0,10		
Odpor při přestupu tepla na vnější straně R _{se}			0,10		
Suma	0,215		5,827	0,172	

Tabulka 3.10 Parametry střechy šikmé

Střecha šikmá						
Konstrukce	Tloušťka vrstvy d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	λ_{ev} [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	R [m ² ·K·W ⁻¹]	U _k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Zdroj uvedených hodnot
Střešní krytina	0,04	-	-	-		-
Hydroizolace	0,0001	0,16	0,16	0,001		[18]
Tepelná izolace mezi dřevěnými krokvemi	0,16	0,036	0,052	3,077		[21]
Tepelná izolace pod dřevěnými krokvemi	0,04	0,036	0,040	1,000		[21]
SDK deska	0,015	0,22	0,21	0,068		[20]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem nahoru) R _{si}				0,10		
Odpor při přestupu tepla na vnější straně R _{se}				0,04		
Suma	0,255			4,286	0,230	

V tabulce 3.10 lze vidět dílčí stavební konstrukce střechy šikmé, které obsahují nehomogenní vrstvu ve formě tepelné izolace, která je umístěna mezi dřevěnými krokvemi. Proto v této vrstvě uvažují při výpočtu součinitele prostupu tepla s ekvivalentním součinitelem tepelné vodivosti λ_{ev} . Tento ekvivalentní součinitel je určen pomocným výpočtem v programu Energie 2020, kdy samotný výpočet je proveden dle čl. 6.7.2, EN ISO 6946 [22].

Tabulka 3.11 Otvorové výplně parametry

Otvorové výplně		
Typ	U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Zdroj uvedených hodnot
Dveře		
Domovní dveře - dřevěné s jedním sklem	4,0	[18]
Dveře dřevěné zasklené jedním sklem	3,5	[18]
Okna		
Okno dřevěné s izolačním dvojsklem bez selektivní vrstvy	2,5	[18]
Střešní okno dřevěné s izolačním dvojsklem	2,5	[18]

Výpočty součinitele prostupu tepla a tepelných odporů jsou provedeny dle ČSN EN ISO 6946 - Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody [22].

Výpočet tepelného odporu při prostupu tepla stavebním prvkem složeným z homogenní vrstvy je proveden dle vzorce:

$$R_{tot} = R_{si} + R + R_{se} \quad [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (3.1)$$

R_{si} ... vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

R_{se} ... vnější tepelný odpor při přestupu tepla [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

R ... tepelný odpor dané konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

Hodnoty vnitřních a vnějších tepelných odporů jsou určeny dle ČSN 73 0540-3, tabulka J.1 [18].

Výpočet tepelného odporu R je proveden dle vzorce:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (3.2)$$

d ... tloušťka vrstvy materiálu [m]

λ ... návrhový součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

Výpočet součinitele prostupu tepla U_k je proveden dle vzorce:

$$U_k = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (3.3)$$

R_{tot} ... celkový tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

3.4.2 Výpočet tepelných ztrát rodinného domu

K určení tepelné ztráty je nutné určit základní klimatické údaje pro místo, kde se objekt nachází, v mém případě pro Olomouc, kdy tyto hodnoty jsou uvedeny níže v tabulce 3.12. Údaje určí podle normy ČSN EN 12831-1, dle tabulky NA.1 [23].

Tabulka 3.12 Základní klimatické údaje

Klimatické údaje - Olomouc			
Popis	Označení	Hodnota	Jednotka
Návrhová teplota prostředí pro výpočet tepelných ztrát	θ_e	-15	[°C]
Teplota pro definování otopného období	$\theta_{hp,e}$	13	[°C]
Průměrná venkovní teplota během otopného období	$\theta_{m,e}$	3,8	[°C]
Počet dnů otopného období	d_o	231	[den]

Výpočet tepelných ztrát je proveden ve výpočtovém programu DEKSOFT – modulu tepelné ztráty, dle normy ČSN EN 12831-1 [23], kdy výpočtový protokol je uveden v příloze diplomové práce. Ze známých hodnot výkonů otopných těles pro jednotlivé vytápěné místnosti, které byly určeny v kapitole 3.3.2, mohu posoudit, zda jsou tyto tělesa dostatečně dimenzovaná pro pokrytí vypočtených tepelných ztrát.

Tyto tepelné ztráty jsou uvedeny v tabulce 3.13, ve které lze vidět pro jednotlivé místnosti hodnoty tepelných ztrát prostupem, větráním a následně celkovou tepelnou ztrátou, která je porovnána s výkonem otopného tělesa v dané místnosti.

Tabulka 3.13 Tepelné ztráty vytápěných místností

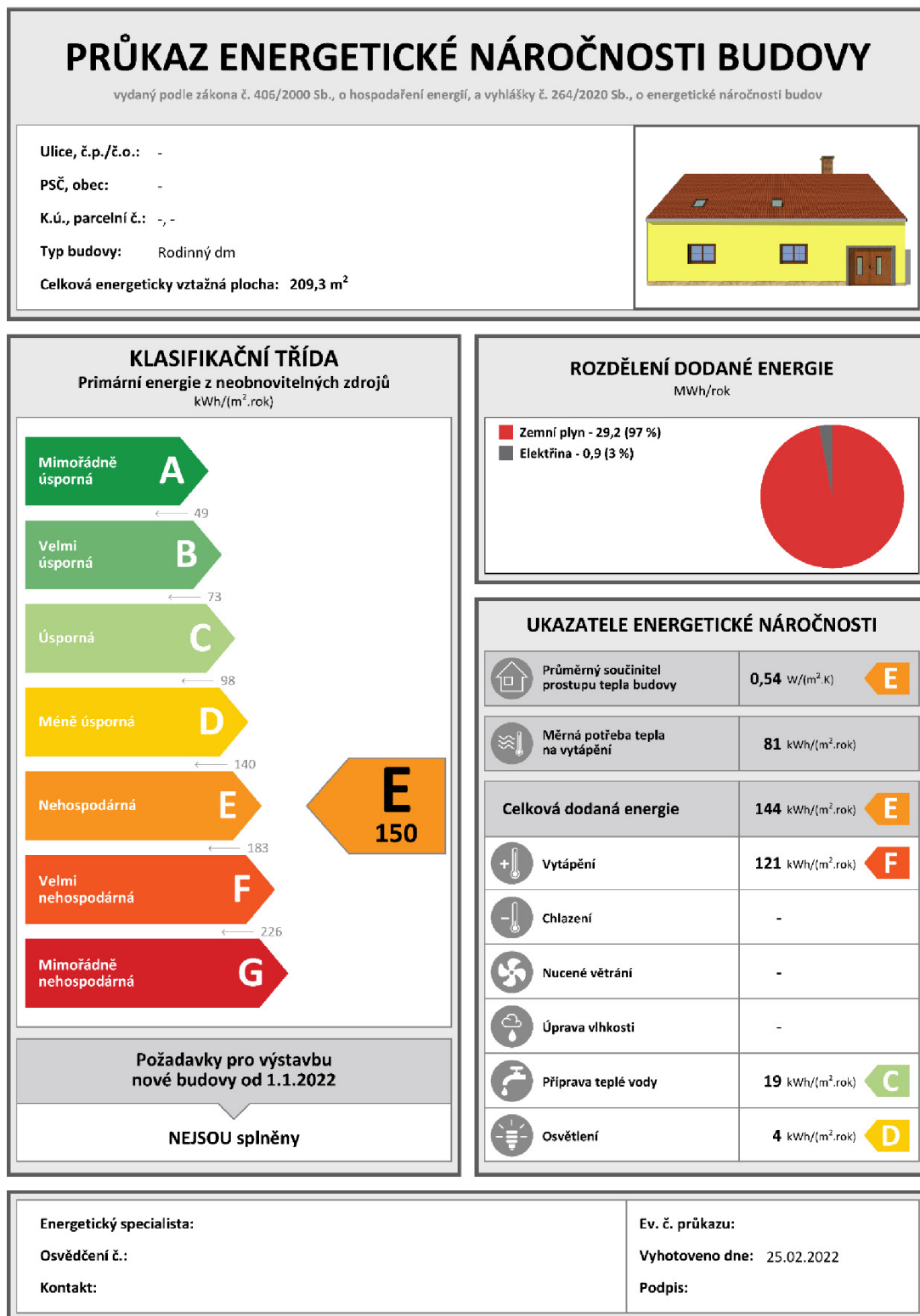
Tabulka vytápěných místností						
Číslo	Název	Návrhová tepelná ztráta prostupem ϕ_T [W]	Návrhová tepelná ztráta větráním ϕ_V [W]	Návrhový tepelný výkon ϕ_{HL} [W]	Výkon otopného tělesa Q_T [W]	Pokrytí tepelné ztráty Q_T/ϕ_{HL} [%]
1.01	Kuchyň	793,5	642,9	1 436,4	1343	93,5
1.02	Koupelna	574,8	297,1	871,9	655	75,1
1.03	Chodba	749,7	151,9	901,6	2351	260,8
1.06	Obývací pokoj	624,2	285,7	909,9	1511	166,1
1.07	Ložnice	547,2	315,4	862,5	1511	175,2
2.01	Obývací pokoj	687,5	371,3	1 058,8	1343	126,8
2.03	WC	217,3	169,0	386,4	333,8	93,7
2.07	Ložnice	561,1	258,9	820,0	1343	163,8
Celkem		4 755,3	2 492,3	7 247,6	-	-

Z výpočtu tepelných ztrát lze usoudit, že výkony otopných těles v některých místnostech nedokáží pokrýt tepelnou ztrátou daných vytápěných místností. Jedná se konkrétně o místnosti v prvním patře – koupelna a kuchyň a v druhém patře – WC.

Pro snížení tepelných ztrát prostupem bude třeba navrhnout opatření ve formě komplexního zateplení budovy a pro snížení tepelných ztrát větráním bude třeba realizovat nucené větrání se zpětným získáváním tepla.

3.5 Průkaz energetické náročnosti budovy

Pro konečné zhodnocení současného stavu rodinného domu je vypracován průkaz energetické náročnosti budovy, který je zhotoven v programu Energie 2020, kdy samotný průkaz je uveden v příloze. Na obrázku 3.6 lze vidět, že objekt v současném stavu spadá pro všechny ukazatele energetické náročnosti budovy do klasifikační třídy **E – neohospodárná**.



Obrázek 3.6 Průkaz energetické náročnosti – stav před rekonstrukcí

3.5.1 Vyhodnocení současných tepelně technických vlastností

V rámci průkazu energetické náročnosti budovy jsou porovnány součinitele prostupu tepla jednotlivých hodnocených konstrukcí vůči referenčním hodnotám. Pro budovy se zónou, která má převažující návrhovou teplotu 18 až 22 °C, se referenční hodnota součinitele prostupu tepla vypočítá z požadované hodnoty součinitele prostupu tepla, která se určí dle ČSN 73 0540-2, tabulka 3 [24], kdy tato hodnota se dále násobí redukčním činitelem, viz vzorec 3.4.

Pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie, která je zde uvažována, má dle vyhlášky 264/2020 Sb. redukční součinitel hodnotu $f_r = 0,7 [-]$ [11].

$$U_{R,j} = f_R \cdot U_{N,20,j} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (3.4)$$

f_R ... redukční součinitel [-]

$U_{N,20,j}$... požadované hodnoty součinitele prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

$U_{R,j}$... referenční hodnota součinitele prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

Tabulka 3.14 Porovnání součinitele prostupu tepla

Přehled stavebních konstrukcí	Součinitel prostupu tepla konstrukce [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]		Splnění požadavku
	Vypočtená hodnota U_k	Referenční hodnota U_R pro 18-22 °C	
Stěna vnější 1	0,873	0,21	Nesplněno
Stěna vnější 2	1,082	0,21	Nesplněno
Stěna vnější 3	1,238	0,21	Nesplněno
Střecha šikmá	0,230	0,17	Nesplněno
Podlaha k zemině	0,226	0,32	Splněno
Stěna vnitřní 1	1,902	0,42	Nesplněno
Stěna vnitřní 2	1,009	0,42	Nesplněno
Strop k nevytápěné půdě	0,172	0,21	Splněno
Výplně otvorů			
Dveře dřevěné zasklené jedním sklem	3,50	1,19	Nesplněno
Okno dřevě s izolačním dvojsklem	2,50	1,05	Nesplněno
Střešní okno dřevěné s izolačním dvojsklem	2,50	0,98	Nesplněno

Z tabulky 3.14 je patrné, že většina stavebních konstrukcí nesplňuje požadavky dané platnou normou. Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce mají vyšší hodnoty než hodnoty referenční. Současný stav tepelně technických vlastností rodinného domu je tedy neslučitelný s režimem budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Pro splnění těchto požadavků bude nutné navrhnout vhodná energeticky úsporná opatření, která tepelně technicky zkvalitní obálku budovy.

V tabulce 3.15 lze vidět porovnání průměrného součinitele prostupu tepla budovy pro současný stav rodinného domu a pro referenční budovu, která je v režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Vzhledem k tomu, že průměrný součinitel prostupu tepla budovy je jeden z hlavních ukazatelů energetické náročnosti budovy, je nutné, aby současný stav rodinného domu měl tuto hodnotu nižší, nebo rovnou jak budova referenční.

Tabulka 3.15 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy - porovnání

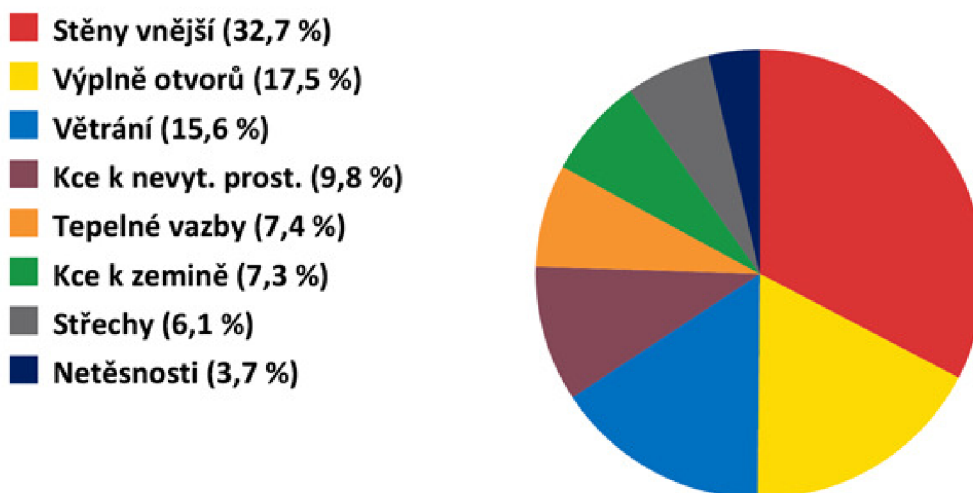
Obálka budovy	Současný stav rodinného domu	Referenční budova
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0,54	0,24

Celkovou bilanci tepelných ztrát rodinného domu je možné ilustrativně vidět na grafu 3.1. Z daného grafu vyplývá, že dominantní podíl na tepelných ztrátách mají stěny vnější a to konkrétně 32,7 % z celkové hodnoty. Tato hodnota je v rámci tepelných ztrát významná, proto bude nutné navrhnout energeticky úsporné opatření ve formě zateplení těchto stavebních konstrukcí.

Druhý největší podíl na tepelných ztrátách mají výplně otvorů, které tvoří 17,5 % z celkové hodnoty. Pro snížení tohoto příspěvku tepelných ztrát bude nutné navrhnout energeticky úsporné opatření, které se projeví výměnou těchto otvorových výplní za takové, které mají kvalitnější tepelně technické vlastnosti.

Vliv ostatních podílů tepelných ztrát rodinného domu na obálku budovy a konkrétní řešení těchto energeticky úsporných opatření jsou dále uvedeny v kapitole 4.

Bilance ztrát energie (%)



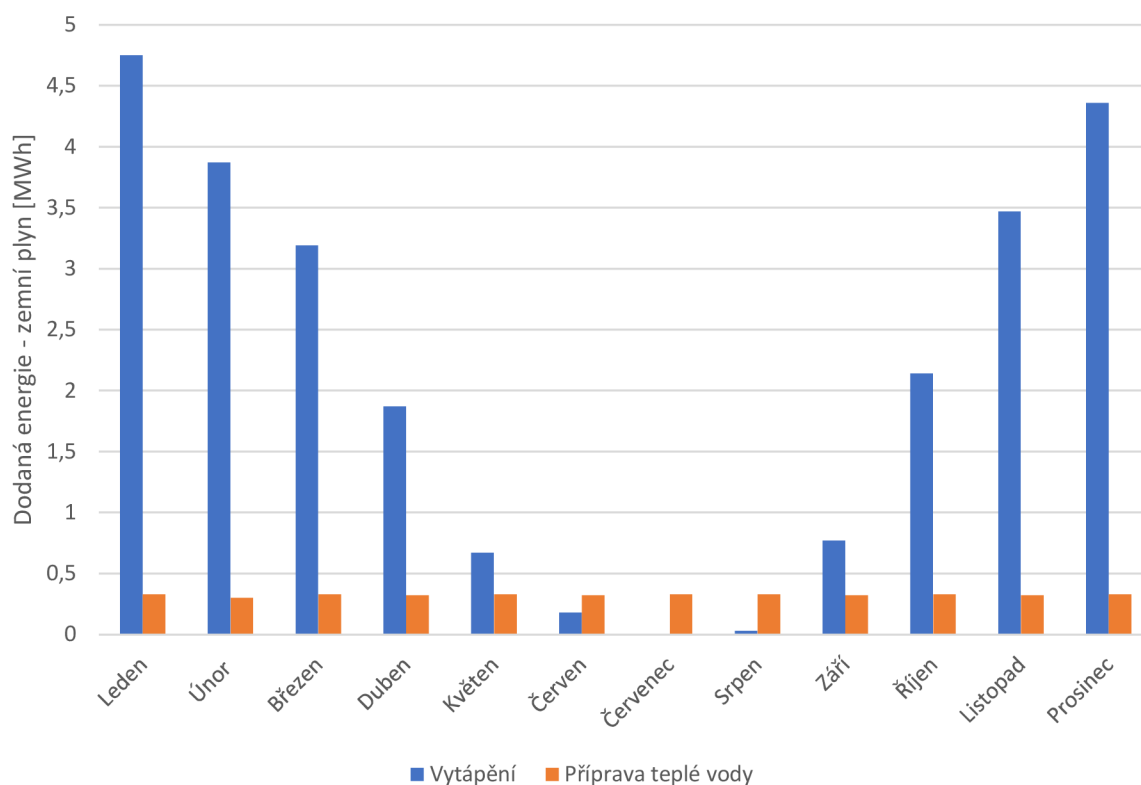
Graf 3.1 Bilance ztrát energie rodinného domu před rekonstrukcí

3.5.2 Vyhodnocení dodané energie

Z průkazu energetické náročnosti budovy je vypočtena roční bilance spotřeby energie dle účelu spotřeby pro hodnocený rodinný dům, kterou lze vidět na grafu 3.2. Z kapitoly 3.3.1 – zdroj tepla je patrné, že pro přípravu teplé vody a vytápění je používán plynový kotel, z čehož vyplývá, že energonositelem je zemní plyn.

Celková dodaná energie za rok ve formě zemního plynu na vytápění a přípravu teplé vody činí dle průkazu energetické náročnosti budovy $29,2 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$. Dílčí celková spotřeba na vytápění dosahuje $25,3 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ a na přípravu teplé vody $3,9 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Dodaná energie ve formě elektřiny se rovná $0,9 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$. Tato hodnota poskytuje údaj pouze o dodané energii, která je spotřebovaná pro osvětlení rodinného domu a nezahrnuje provoz elektrických zařízení, která se v budově nachází.



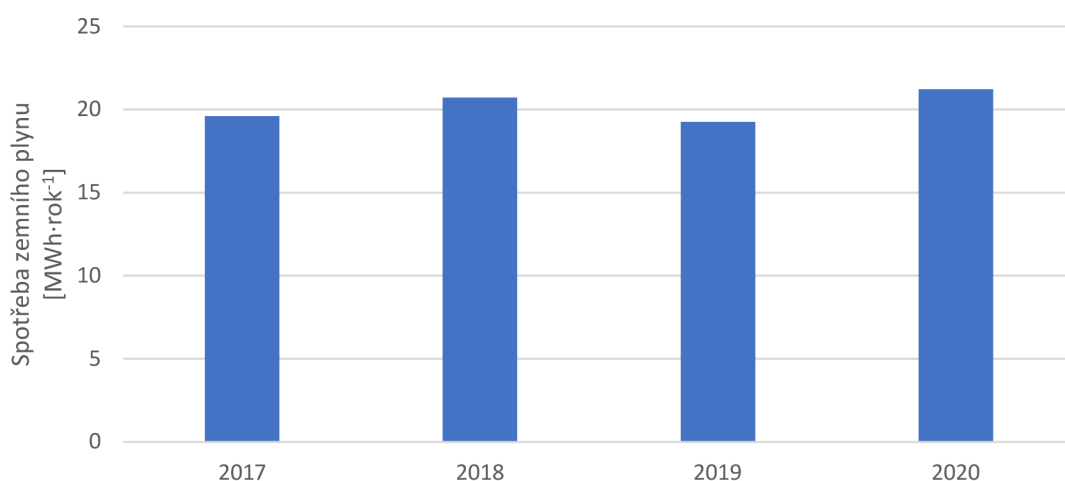
Graf 3.2 Roční průběh dodané energie pro vytápění a přípravu teplé vody

3.6 Náklady na provoz rodinného domu

Pro vyhodnocení nákladů na provoz rodinného domu je vhodné vycházet z reálných spotřeb. V této kapitole se zabývám reálnými spotřebami zemního plynu a elektrické energie, které jsou určeny jako průměrná hodnota za období dodané majitelem domu. Na základě těchto dílčích vyhodnocení jsou na závěr určeny celkové náklady na provoz rodinného domu.

3.6.1 Spotřeba zemního plynu

Reálná spotřeba zemního plynu, který je v rodinném domě využíván na vytápění a přípravu teplé vody, je patrná z grafu 3.3. Tato spotřeba je určena z faktur, které byly poskytnuty majitelem domu od roku 2017 do roku 2020. Dle těchto údajů je průměrná spotřeba za 4 roky provozu rodinného domu $20,194 \text{ MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$.



Graf 3.3 Spotřeba zemního plynu rodinného domu za poslední 4 roky

Oproti hodnotě $29,2 \text{ MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$, která byla vypočtena v rámci průkazu energetické náročnosti budovy, je reálná spotřeba o 30,8 % menší.

Tento rozdíl je dán především tím, že při výpočtu, který vychází z normy ČSN 73 0331-1, se určuje počet osob v objektu na základě normové obsazenosti [25]. Dle tohoto výpočtu počítá průkaz energetické náročnosti budovy pro tento rodinný dům s tím, že objekt trvale obývají čtyři osoby. Reálně je však objekt trvale obýván pouze třemi osobami, z čehož plyne, že spotřeba bude celkově nižší.

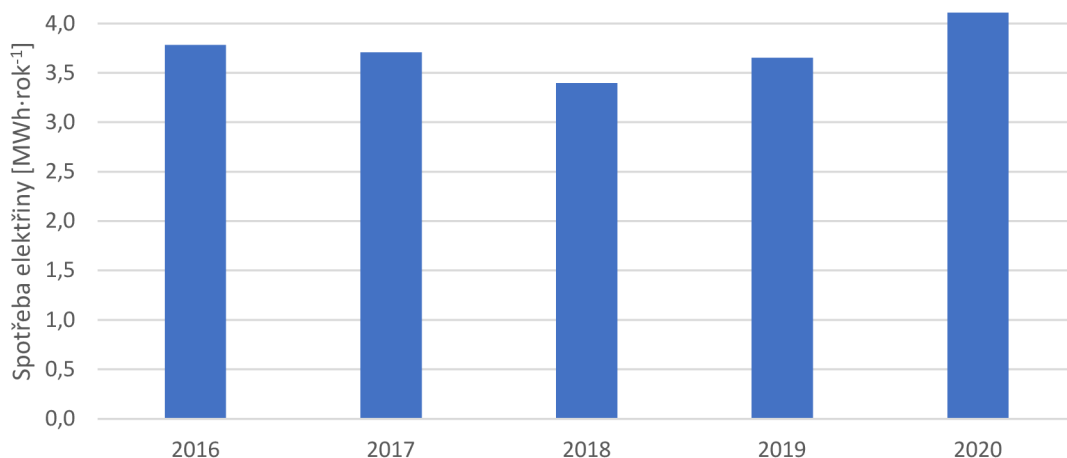
Hodnota vypočtena v průkazu energetické náročnosti budovy je tedy čistě teoretická a dostatečně neodpovídá reálné spotřebě objektu. Vychází totiž ze zjednodušeného modelu budovy a jeho technických systémů, přičemž se uvažují standardní okrajové podmínky ve formě klimatických údajů.

Pro výpočet energetické náročnosti budovy se vychází s měsíčním krokem výpočtu. To znamená, že není například možné brát v potaz intenzitu slunečního záření, užívání samotné budovy a dynamickou změnu teploty v průběhu dne [26].

Z těchto důvodů budu při vyhodnocování nákladů na provoz rodinného domu vycházet ze spotřeb reálných.

3.6.2 Spotřeba elektrické energie

Z grafu 3.4 lze vidět spotřebu elektřiny v rodinném domě od roku 2016 až do roku 2020, kdy tato spotřeba byla určena z ročních faktur energie, které byly poskytnuty majitelem domu. Průměrná spotřeba za 5 let provozu rodinného domu činí 3,729 MWh·rok⁻¹.



Graf 3.4 Roční spotřeba elektrické energie rodinného domu

3.6.3 Celkové náklady na provoz rodinného domu

V tabulce 3.16 jsou uvedeny průměrné roční náklady na provoz rodinného domu. Procentuální poměry spotřeby zemního plynu na vytápění a přípravu teplé vody přebírám z průkazu energetické náročnosti budovy.

Celková cena energie pro odběr plynu je určena dle aktuálního dodavatele E.ON Energie a.s, kdy pro výpočet je použit ceník Variant PRO 24 Zima I, pro roční odběr od 15 – 25 MWh·rok⁻¹ [27].

Celková jednotková cena elektrické energie je určena dle aktuálního dodavatele E.ON Energie a.s, kdy pro výpočet je použit ceník Variant PRO 24 Zima I pro distribuční sazbu D 02d [28].

Tabulka 3.16 Roční náklady na provoz domu

Spotřeba energie	Plyn [MWh·rok ⁻¹]	Elektřina [MWh·rok ⁻¹]
Vytápění	17,634	-
Příprava teplé vody	2,560	-
Průměrná spotřeba elektřiny celková	-	3,729
Celková spotřeba	20,194	3,729
Ekonomické zhodnocení nákladů		
Cena energie za MWh s DPH [Kč·MWh⁻¹]	2 505	6 737
Náklady na vytápění [Kč·rok⁻¹]	44 173	-
Náklady na přípravu teplé vody [Kč·rok⁻¹]	6 413	-
Celkové dílčí náklady [Kč·rok⁻¹]	50 586	25 122
Celkové náklady na provoz domu [Kč·rok⁻¹]	75 708	

4 Rekonstrukce – zkvalitnění tepelně technických vlastností obálky budovy

V této kapitole navrhuji energeticky úsporná opatření, která zkvalitní tepelně technické vlastnosti obálky budovy na hodnoty, které jsou dány v kapitole 3.5.1, tabulce 3.13. Tyto opatření využijí podpory dotačního programu Nová zelená úsporám, která je v této kapitole stručně popsána a dále specifikována pro oblast podpory týkající se zateplení. Následně jsou popsána dílčí energeticky úsporné opatření, která jsou ekonomicky zhodnocena. Na závěr této kapitoly vyhodnocuji konečnou energetickou náročnost rodinného domu a celkovou finanční dobu návratnosti těchto opatření.

4.1 Dotační program Nová zelená úsporám

Cílem dotačního programu Nová zelená úsporám je podpora snižování energetické náročnosti budov a motivace pro širší využívání obnovitelných zdrojů energie. Dotační program byl spuštěn ve svém prvním programovém období v roce 2014, kdy ve svém původním znění pokračoval až do roku 2021 [29].

Od 21.9.2021 platí aktuální znění tohoto dotačního programu, které bylo aktualizováno tak, aby lépe odpovídalo směřování závazků Evropské unie [29].

V rámci dotačního programu Nová zelená úsporám lze zažádat o podporu na specifická energeticky úsporná opatření, která se týkají zateplení budov, výměny neekologických zdrojů energie a dalších opatření. Mezi nově podporovaná opatření patří například výstavba infrastruktury pro elektromobilitu či program dešťovka, která se zabývá hospodařením s dešťovou vodou u obytných budov. V případě kombinace několika oblastí podpory, například zateplení a použití fotovoltaického systému, lze na jednu žádost pro rodinné domy dosáhnout až na 60 % z celkových přímých realizačních výdajů projektu. Kombinační bonus je v rámci jedné žádosti ohodnocen částkou 10 000 Kč za každé podporované opatření. Finanční příspěvek je v rámci dotačního programu možné také zajistit pro náklady spjaté s projektovou podporou, a to částkou 30 000 Kč pro případ rekonstrukce a 35 000 Kč pro novostavbu [30].

4.1.1 Nová zelená úsporám – oblast A – zateplení

První z podpor je tzv. oblast A, která se vztahuje na zateplení vnějších a vnitřních konstrukcí a také na výměnu výplní stavebních otvorů.

V průběhu trvání tohoto programu je možno čerpat až 650 000 Kč na energeticky úsporná opatření pro jeden rodinný dům v oblasti této podpory [30]. V tabulce 4.1 je možné vidět výši částky podpory na metr čtvereční zateplované plochy pro jednotlivá podporovaná opatření dle typu konstrukce.

Tabulka 4.1 Nová zelená úsporám - oblast A - výše podpory na zateplení [30]

Typ konstrukce	Podporovaná opatření			
	Dílčí [Kč·m ⁻²]	Základ [Kč·m ⁻²]	Komplex [Kč·m ⁻²]	Památky [Kč·m ⁻²]
Stěny vnější, střechy, podlahy nad venkovním prostorem, lehké obvodové pláště, konstrukce k nevytápěným prostorům a k sousední budově	600	800	1000	800
Výplně otvorů	2 200	3 000	3 800	3 800
Konstrukce k zemině	800	1 050	1 300	1 050

Pro dosažení nároku na poskytnutí této podpory je nutné splnění požadovaných parametrů, které jsou blíže specifikovány v tabulce 4.2. Z této tabulky je patrné, že existuje několik podporovaných opatření, které jsou podmíněny pro splnění požadavků danými specifickými sledovanými parametry.

Tabulka 4.2 Nová zelená úsporám - oblast A - požadované parametry [30]

Sledovaný parametr	Podporovaná opatření			
	Památky	Dílčí	Základ	Komplex
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	bez požadavku		$\leq 0,84$ $U_{em,R}$	$\leq 0,70$ $U_{em,R}$
Součinitel prostupu tepla konstrukce na obálce budovy, na které je prováděno opatření	Splnění požadavků vyhl. č. 264/2020 Sb. a ČSN 73 0540-2	$\leq 0,7$ $U_{N,20}$	Splnění požadavků vyhl. č. 264/2020 Sb. a ČSN 73 0540-2	
Součinitel prostupu tepla měněných výplní otvorů svislých konstrukcí na obálce budovy		$\leq 0,6$ $U_{N,20}$		
Procentní snížení průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy oproti stavu před realizací opatření	$\geq 10 \%$		$\geq 20 \%$	
Snížení výpočtové hodnoty celkové primární energie z neobnovitelných zdrojů dodané do budovy	$\geq 10 \%$		$\geq 30 \%$	
Snížení výpočtové hodnoty celkové dodané energie do budovy	$\geq 10 \%$			
<p>$U_{em,R}$ - průměrný součinitel prostupu tepla referenční budovy, stanovený v souladu s vyhl. č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov, ve znění pozdějších předpisů ($f_r=1,0$).</p> <p>$U_{N,20}$ - požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla pro daný typ konstrukce a návrhovou teplotu v posuzované zóně budovy dle ČSN 730540-2 ve znění platném k datu podání žádosti.</p>				

4.2 Zateplení stěn vnějších

V kapitole 3.5.1 bylo už dříve zmíněno, že největší podíl na tepelných ztrátách mají stěny vnější. Tyto stěny jsou v původním stavu bez tepelné izolace, proto je nutné v rámci energeticky úsporných opatření tuto konstrukci zateplit. V rámci rekonstrukce navrhuji pro zateplení vnějších stěn použít fasádní izolační desky ISOVER EPS GreyWall [31].

V levé části tabulky 4.3 jsou uvedeny parametry všech typů stěn vnějších, které jsou rozděleny dle dané tloušťky konstrukce, kdy pro každou konstrukci je určena celková čistá plocha, která bude zateplena. V pravé části tabulky je uvedena jednotná tloušťka izolační desky, která bude použita pro zateplení a je zde uveden návrhový součinitel tepelné vodivosti izolační desky.

Tabulka 4.3 Technické parametry pro zateplení vnějších stěn

Parametry vnějších stěn			Fasádní izolační desky ISOVER EPS GreyWall	
Konstrukce	Tloušťka d [m]	Celková čistá plocha [m ²]	Tloušťka izolační desky [m]	Návrhový součinitel tepelné vodivosti izolační desky ¹ λ_u [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Stěna vnější 1	0,8	33,33	0,16	0,033
Stěna vnější 2	0,6	23,27		
Stěna vnější 3	0,5	16,18		

Z tabulky 4.4 vyplývá, že po zateplení vnějších stěn rodinného domu klesne součinitel prostupu tepla pod hodnoty referenční, které byly určeny v kapitole 3.5.1. Tyto hodnoty součinitele prostupu tepla také splňují dílčí hodnotu, která je požadovaná pro dotace Nová zelená úsporám, které jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.4 Srovnání hodnot součinitele prostupu tepla vnějších stěn

Konstrukce	Hodnota součinitele prostupu tepla před zateplením U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Hodnota součinitele prostupu tepla po zateplením U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Referenční hodnota U_R pro 18-22 °C [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Splnění požadavku referenční hodnoty
Stěna vnější 1	0,873	0,167	0,21	Splněno
Stěna vnější 2	1,082	0,173	0,21	Splněno
Stěna vnější 3	1,238	0,177	0,21	Splněno

Pro výpočet ceny materiálu pro zateplení vnějších stěn jsem využil kalkulačku od firmy Weber, která ve výpočtu zahrnuje všechny nezbytná příslušenství [32]. Náklady na zateplení, včetně ceny za práci [33], lze vidět v tabulce 4.5. Pro zateplení 72,78 m² čisté plochy vnějších stěn, je třeba vynaložit celkovou částku 130 043 Kč.

¹ Hodnota návrhového součinitele tepelné vodivosti izolační desky je určena ze zdroje [31]

Tabulka 4.5 Náklady na zateplení vnějších stěn

Položka	Cena za balení s DPH [Kč]	Počet balení [ks]	Celková cena s DPH [Kč]
Penetrace podkladu – weber podklad A	133	4	561
Lepicí hmota - webermel 700	270	12	3 412
Izolant - Isover EPS GreyWall, 160 mm	578	51	44 283
Hmoždinka - webertherm SD-5 ø 8 mm	957	9	7 405
Výztužná síť - webertherm 117	1 752	2	3 686
Stěrková hmota - webermel 700	270	12	3 412
Penetrace - weberpas podklad UNI	106	15	1 678
Omítka - weberpas aquaBalance zrnitá 1,5 mm, BI00 - 33,33 m ²	2 731	7	20 116
Celková cena za materiál	-	-	84 556
Činnosti spjaté s instalací	Cena za m² [Kč]	Celková cena s DPH [Kč]	
Činnosti spojené s montáží izolace ²	435	31 659	
Lešení ³	130	9 461	
Přípravné práce, úklid a odvoz sutí ⁴	60	4 366	
Celková cena za práci	-	45 487	
Celková cena za materiál a práci s DPH [Kč]	130 043		

Srovnání o kolik se sníží základní ukazatele energetické náročnosti po zateplení lze vidět v tabulce 4.6. Je patrné, že největší vliv na snížení průměrného součinitele prostupu tepla budovy má zateplení stěn vnějších a to o 33,3 %. Výrazně také poklesne celkově dodaná energie a primární energie z neobnovitelných zdrojů. Z toho vyplývá, že tímto dílčím energeticky úsporným opatřením poklesnou náklady na provoz rodinného domu, specificky na vytápění.

Tabulka 4.6 Zateplení stěn vnějších – vyhodnocení opatření

Ukazatele energetické Náročnosti budovy	Stav před zateplením	Stav po zateplení	Procentuální snížení [%]
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,54	0,36	33,3
Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE} [kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]	150	107	28
Celková dodaná energie Q_{fuel} [kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]	144	102	29,2

² Cena za m² pro montáž izolace byla zvolena ze zdroje [33]

³ Cena za m² pro lešení byla zvolena ze zdroje [33]

⁴ Cena za m² pro přípravné práce, úklid a odvoz sutí zvolena ze zdroje [33]

4.3 Zateplení střechy šikmé a stropu pod nevytápěnou půdou

Dalším opatřením v rámci energeticky úsporných opatření je zateplení střechy šikmé a stropu pod nevytápěnou půdou. Pro rekonstrukci navrhuji použití interiérové izolační desky z fenolické pěny Kooltherm K17. Tento typ vnitřního zateplení volím především z důvodu velmi dobrých tepelněizolačních vlastností, které jsou zachovány při minimální tloušťce oproti ostatním typům tepelných izolací, čímž neubude tolik místa v interiéru. Tato izolační deska obsahuje také ve své konstrukci parotěsnou zábranu, což zamezuje průniku vodních par z interiéru [34].

V levé části tabulky 4.7 jsou uvedeny stavební konstrukce pro zateplení, jejich tloušťka a celková čistá plocha. V pravé části tabulky jsou základní vlastnosti izolační desky, tedy použitá tloušťka pro danou konstrukci, ve které je započtena i sádkartonová deska výrobce o tloušťce 12,5 mm a dále je uveden součinitel tepelné vodivosti izolační desky [35].

Tabulka 4.7 Technické parametry pro zateplení

Parametry konstrukcí			Interiérová izolační deska Kooltherm K17	
Konstrukce	Tloušťka d [m]	Celková čistá plocha [m ²]	Tloušťka izolační desky [m]	Součinitel tepelné vodivosti izolační desky ⁵ λ_D [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Strop k nevytápěné půdě	0,215	37,25	0,0325	0,021
Střecha šikmá	0,255	60,15	0,0825	0,020

Po zateplení konstrukcí střechy šikmé a stropu pod nevytápěnou půdou se sníží součinitel prostupu tepla pod žádanou referenční hodnotu, což lze vidět v tabulce 4.8. Stejně jak pro předchozí opatření platí, že konečné hodnoty součinitele prostupu tepla daných konstrukcí splňují dílčí požadavky pro dotaci Nová zelená úsporám.

Tabulka 4.8 Srovnání součinitele prostupu tepla šikmé střechy a stropu

Konstrukce	Hodnota součinitele prostupu tepla před zateplením U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Hodnota součinitele prostupu tepla po zateplení U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Referenční hodnota U_R pro 18-22 °C [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Splnění požadavku referenční hodnoty
Strop k nevytápěné půdě	0,172	0,148	0,21	Splněno
Střecha šikmá	0,230	0,129	0,17	Splněno

⁵ Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti izolačních desek jsou určeny ze zdroje [35]

Náklady na zateplení střechy šikmé a stropu pod nevytápěnou půdou jsou uvedeny v tabulce 4.9. Jednotlivé hodnoty cen izolačních desek Kooltherm K17 v této tabulce byly brány z oficiálního ceníku firmy Kingspan [36]. Ceny byly z ceníku převedeny z eur na české koruny, dle platného kurzu a k této hodnotě bylo připočteno 21 % DPH. Celková cena za materiál a práci zateplení 97,4 m² čisté plochy je v rámci tohoto opatření vyčíslena na 112 838 Kč.

Tabulka 4.9 Náklady na zateplení střechy šikmé a stropu

Položka	Cena s DPH [Kč·m ⁻²]	Počet balení [ks]	Množství (m ² ·balení ⁻¹)	Celková cena s DPH [Kč]
Kooltherm K17 Interiérová deska 20 / 12,5 mm	595	1	37,44	22 310
Kooltherm K17 Interiérová deska 70 / 12,5 mm	1 220	2	31,20	76 152
Celková cena za materiál	-			98 463
Činnost	Celková cena s DPH [Kč]			
Zateplení stavebních ploch ⁶	14 375			
Celková cena za materiál a práci s DPH [Kč]	112 838			

Vyhodnocení změny hodnot ukazatelů energetické náročnosti budovy prvních dvou energeticky úsporných opatření, tedy zateplení vnějších stěn, střechy šikmé a stropem pod nevytápěnou půdou, lze vidět v tabulce 4.10. Z této tabulky je patrné, že druhé opatření nepřináší procentuálně tak velké snížení ukazatelů energetické náročnosti jak zateplení vnějších stěn. To je dáno tím, že konstrukce střechy byla už v rámci minulé rekonstrukce komplexně zateplena. Aby bylo dosaženo kompletního zkvalitnění obálky budovy a dosažení režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie je vhodné toto opatření realizovat.

Tabulka 4.10 První a druhé energeticky úsporné opatření – vyhodnocení

Ukazatele energetické náročnosti budovy	Stav po prvním opatření	Stav po druhém opatření	Procentuální snížení [%]
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,36	0,34	5,6
Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE} [kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]	107	103	3,7
Celková dodaná energie Q_{fuel} [kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]	102	97	4,9

⁶ Cena za zateplení stavebních ploch je orientačně určena dle dodavatele

4.4 Výměna otvorových výplní

Posledním energeticky úsporným opatřením, které se týká zkvalitnění tepelně technických parametrů obálky budovy je výměna starých otvorových výplní za nové. Z vyhodnocení průkazu energetické náročnosti budovy je zřejmé, že tyto konstrukce se výrazně podílejí na tepelných ztrátách rodinného domu. V rámci rekonstrukce je tedy nutné je vyměnit, aby bylo dosaženo požadovaného referenčního průměrného součinitele prostupu tepla budovy. Rozměry a počet kusů jednotlivých otvorových výplní v rodinném domě jsou vidět v tabulce 4.11.

Tabulka 4.11 Specifické rozměry otvorových výplní - původní

Otvorové výplně	Rozměry (š x v) [m]	Počet [ks]
Okna dřevěná s izolačními dvojskly bez selektivní vrstvy	1,50 x 1,20	2
	1,20 x 1,50	2
	1,00 x 1,00	1
	1,40 x 1,20	1
Dveře dřevěné zasklené jedním sklem	0,90 x 1,97	1
	1,30 x 1,97	1
Střešní okno dřevěné s izolačním dvojsklem bez selektivní vrstvy	0,78 x 1,18	4

Tabulka 4.12 ukazuje hodnoty součinitele prostupu tepla otvorových výplní před výměnou, po výměně a následné porovnání s referenční hodnotou, kterou je nutné splnit. Jako výměnu za okna dřevěná s izolačními dvojskly bez selektivní vrstvy, volím okna plastová s izolačními trojskly od firmy WINDOW STAR typu Q10 PREMIUM o hodnotě součinitele prostupu tepla $U_w = 0,72 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ [37]. Dále navrhuji vyměnit dveře dřevěné, které jsou situovány do zahrady a do garáže rodinného domu. Tyto dveře nahrazuji plastovými vedlejšími vchodovými dveřmi od firmy WINDOW STAR, typu K Q10, o hodnotě součinitele prostupu tepla dveřmi $U_d = 1,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ [38]. A na závěr tohoto opatření navrhuji vyměnit původní dřevěná střešní okna s izolačním dvojsklem za střešní okna kyvná od firmy RotoQ třídy Q4 s izolačním trojsklem řady comfort, o hodnotě součinitele prostupu tepla $U_w = 0,90 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ [39]. Jednotlivé hodnoty součinitele prostupu tepla otvorovými výplněmi splňují dílčí požadavky, které jsou dány dotací Nová zelená úsporám.

Tabulka 4.12 Srovnání hodnot součinitele prostupu tepla otvorových výplní

Konstrukce	Hodnota součinitele prostupu tepla před výměnou $U_k [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	Hodnota součinitele prostupu tepla po výměně $U_k [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	Referenční hodnota U_R pro 18-22 °C $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	Splnění požadavku referenční hodnoty
Dveře výplně	3,50	1,10	1,19	Splněno
Okenní výplně	2,50	0,72	1,05	Splněno
Střešní okno	2,50	0,90	0,98	Splněno

Jednotlivé náklady na výměnu otvorových výplní je možné vidět v tabulce 4.13. Na základě poptávky od firmy HZB spol. s.r.o. jsem obdržel cenovou nabídku střešních oken RotoQ Q4. Další poptávku jsem zadal firmě WindowStar s.r.o. od které jsem obdržel cenovou nabídku pro jednotlivá okna plastová, řady Q10 PREMIUM a plastové vedlejší vchodové dveře, typu K Q10. Pro regulaci slunečního záření a zabránění přehřívání interiéru jsou okna, která jsou orientovaná na jih opatřena vnějšími žaluziemi. Střešní okna jsou zajištěna venkovními protislunečními žaluziemi, kdy dané prvky jsou obsaženy v celkové ceně. Do cenové kalkulace jsou započteny i ceny za služby. Ty zahrnují dopravu, demontáž původních oken, likvidaci původních oken, montáž oken nových a příslušné zednické práce.

Tabulka 4.13 Náklady na výměnu otvorových výplní

Položka	Počet [ks]	Celková cena s DPH [Kč]
Okna plastová s izolačními trojskly WINDOW STAR - Q10 PREMIUM	6	87 231
Střešní okna RotoQ Q4	4	97 748
Plastové vedlejší vchodové dveře WINDOW STAR typu K Q10	2	45 544
Celková cena za položky	-	230 523
Cena za služby	-	31 151
Materiálový příplatek	-	15 015
Celková cena za materiál a práci s DPH [Kč]		276 689

Vyhodnocení ukazatelů energetické náročnosti budovy po uplatnění posledního opatření lze vidět v tabulce 4.14. Z této tabulky vyplývá, že výměna otvorových výplní v rámci rekonstrukce má zásadní vliv na kvalitu obálky budovy, což se projeví výrazným snížením průměrného součinitele prostupu tepla budovy. Zbylé ukazatele energetické náročnosti poklesnou kvůli sníženým tepelným ztrátám. Sníží se potřeba na vytápění rodinného domu, klesne celková dodaná energie, a tedy i podíl primární energie z neobnovitelných zdrojů.

Tabulka 4.14 Výměna otvorových výplní – vyhodnocení opatření

Ukazatele energetické náročnosti budovy	Stav po prvních dvou opatřeních	Stav po třetím opatření	Procentuální snížení [%]
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0,34	0,24	29,4
Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	103	81	21,36
Celková dodaná energie Q_{fuel} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	97	74	23,71

4.5 Zhodnocení energetických opatření

Zhodnocení ukazatelů energetické náročnosti budovy před a po rekonstrukci je zřejmé z tabulky 4.15. Po provedení energeticky úsporných opatření, ve formě komplexního zateplení obálky budovy a výměně původních otvorových výplní, výrazně poklesnul průměrný součinitel prostupu tepla budovy. Tento pokles dosahuje na hodnoty, které už splňují požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie.

V důsledku zkvalitnění tepelně technických vlastností obálky budovy, se také snížila celková dodaná energie. V důsledku to znamená, že je potřeba především méně energie na vytápění rodinného domu, a to kvůli nižším tepelným ztrátám objektu. Hodnoty celkové dodané energie domu po rekonstrukci klesnou pod referenční hodnoty budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

Posledním ukazatelem energetické náročnosti budovy je primární energie z neobnovitelných zdrojů. Hodnota tohoto ukazatele se díky provedeným opatřením výrazně snížila, a to o celých 46,4 %. I přes tento pokles se však daná hodnota nesnížila na požadovanou úroveň, která je daná referenční budovou, proto tento požadavek není splněn. Ukazatel primární energie z neobnovitelných zdrojů rodinného domu bude více ovlivněn dalšími opatřeními. Tyto další opatření budou ve formě zavedení nuceného větrání s rekuperací tepla, výměnou zdroje tepla a využití obnovitelného zdroje energie.

Tabulka 4.15 Ukazatele energetické náročnosti budovy - porovnání

Ukazatele energetické náročnosti budovy	Původní stav domu	Stav domu po rekonstrukci obálky budovy	Referenční hodnoty	Splnění požadavků
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0,54	0,24	0,24	SPLNĚNO
Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	151	81	60	NESPLNĚNO
Celková dodaná energie Q_{fuel} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	144	74	77	SPLNĚNO

Účelem těchto konkrétních energeticky úsporných opatření bylo snížit průměrný součinitel prostupu tepla budovou na úroveň budovy s téměř nulovou spotřebou energie, kdy tento cíl byl splněn. Všechny tři hlavní ukazatele energetické náročnosti budovy jsou po rekonstrukci hodnoceny v klasifikační třídě C, tedy jako úsporné. Uvedené hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy jsou převzaty z vypracovaného průkazu energetické náročnosti budovy, který je uveden v příloze diplomové práce.

V tabulce 4.16 lze vidět srovnání nákladů na provoz rodinného domu v původním stavu a po návrhu komplexního zateplení. Po zateplení výrazně klesly tepelné ztráty objektu, což mělo za následek i snížení spotřeby zemního plynu na vytápění. Samotné náklady na vytápění klesly o 49,8 % a ročně se díky těmto opatřením ušetří za provoz rodinného domu částka 25 207 Kč.

Tabulka 4.16 Náklady na provoz rodinného domu - porovnání

	Původní stav domu	Stav domu po rekonstrukci obálky budovy	Procentuální snížení [%]
Spotřeba zemního plynu na vytápění a přípravu teplé vody [MWh·rok⁻¹]	20,19	10,13	49,8
Náklady na vytápění a přípravu teplé vody [Kč·rok⁻¹]	50 586	25 379	
Roční úspory na provoz domu [Kč·rok⁻¹]	25 207		

Z tabulky 4.17 je zřejmé, že po sečtení nákladů za všechny tři energeticky úsporná opatření vyjde celková cena 519 570 Kč. Když následně vezmu v potaz roční úspory na provoz domu z tabulky 4.16 a podělím je celkovou cenou těchto opatření, tak vyjde celková doba návratnosti, která vychází na 20,6 let.

Vzhledem k tomu, že jsou splněny všechny dílčí podmínky dotačního programu Nová zelená úsporám, lze využít této dotace dle podporovaného opatření komplex, která nabízí nejvyšší částku na metr čtvereční zatepované plochy. Po uplatnění dotací klesne doba návratnosti na 11,3 let. Tato doba návratnosti se pohybuje v rámci životnosti jednotlivých navrhovaných energeticky úsporných opatření, proto tato opatření dávají ekonomický smysl provést.

Tabulka 4.17 Ekonomické vyhodnocení provedených opatření

Celková cena za komplexní zateplení domu s DPH [Kč]	519 570
Doba návratnosti [rok]	20,6
Výše dotace Nová zelená úsporám	
Výše dotace pro zateplení vnějších stěn, střechy šikmé a stropu (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	170 180
Výše dotace pro výměnu otvorových výplní (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	65 077
Celková výše dotace [Kč]	235 257
Ekonomické zhodnocení po započtení dotací Nová zelená úsporám	
Celková cena za komplexní zateplení domu s DPH po započtení dotací [Kč]	284 313
Doba návratnosti po započtení dotací [rok]	11,3

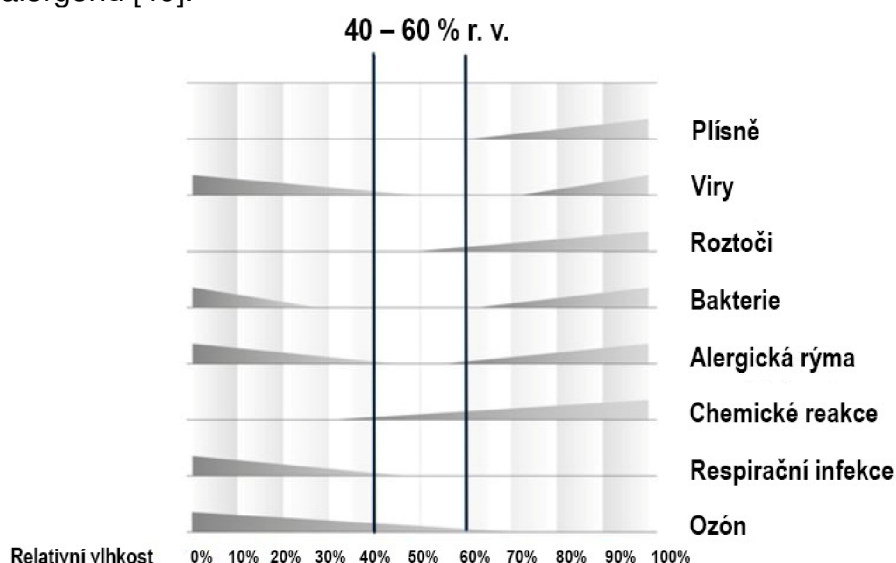
5 Rekonstrukce - návrh větrání rodinného domu

V této kapitole se věnuji návrhu větrání rodinného domu. Nejdříve zdůvodňuji potřebu nuceného větrání se zpětným získáváním tepla po zateplení rodinného domu. Dále popisují další oblast dotačního programu Nová zelená úsporám, která je věnována podoblasti větrání. Věnuji se také možnosti použití decentralizovaného způsobu větrání oproti centralizovanému, kdy po zvážení všech možností vybírám nejvhodnější způsob. Vybraný systém větrání je v dalších podkapitolách podrobněji popsán. Na závěr této kapitoly rozebírám ekonomické zhodnocení tohoto energeticky úsporného opatření.

5.1 Zavedení nuceného větrání po rekonstrukci obálky budovy

Jedním z důvodů zavedení nuceného větrání je fakt, že se v rámci předchozích energetických úsporných opatření zateplovala obálka budovy a vyměňovaly se původní otvorové výplně za nové. Z toho vyplývá, že přirozený způsob větrání, který je způsoben hlavně infiltracemi stavební konstrukcí a netěsnostmi oken či dveří, nebude tak efektivní a kvalita vnitřního prostředí se bez potřebné výměny vzduchu v budově výrazně zhorší. Nedostatečné větrání budov vede tedy ke zhoršení kvality vnitřního prostředí, což vede ve svém důsledku ke zvýšení rizika pro lidské zdraví.

Jednou z několika hlavních veličin, které se ve vnitřním prostředí sledují, je vlhkost vzduchu. Optimálně by se hodnota vlhkosti vzduchu měla ve vnitřním prostředí pohybovat okolo 40 až 60 %, což lze ilustrativně vidět na obrázku 5.1. V obytných budovách, které jsou vzduchotěsné a nemají k dispozici vhodnou cirkulaci vzduchu hrozí zvýšení vlhkosti vzduchu. Důsledkem je zvýšení rizika výskytu plísní a roztočů, s čímž je spjaté riziko alergenů [40].



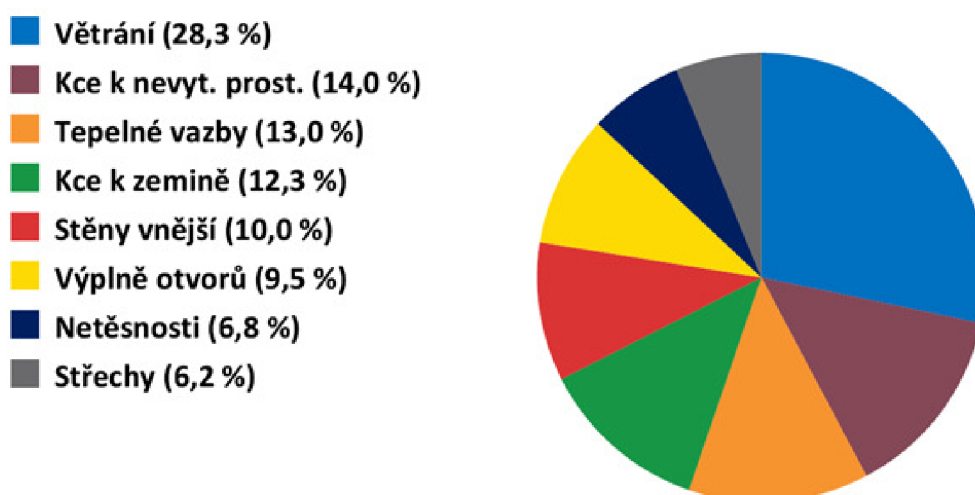
Obrázek 5.1 Sterling-Scofieldův diagram (upraveno z [41])

Další důležitou veličinou, která se ve vnitřním prostředí sleduje je koncentrace oxidu uhličitého (CO₂). Zvýšená úroveň CO₂ se u člověka projevuje ve formě poklesu pozornosti, únavy, bolesti hlavy a nevolností. Stejně jako u vlhkosti vzduchu je zvýšená koncentrace CO₂ důsledkem vzduchotěsnosti budovy a nedostatečným větráním vnitřních prostorů. Maximální úroveň CO₂ ve vnitřním prostředí je doporučena do hodnoty 1500 ppm [42]. Splnění doporučení pro koncentraci CO₂ a vlhkosti, se dá nejlépe realizovat nuceným větráním, které je vybaveno snímači pro měření koncentrace CO₂ a vlhkosti.

Významným rizikem, především v České republice, je také výskyt radioaktivního plynu radonu. Ten se do budovy dostává převážně z podloží a jeho zvýšená koncentrace se negativně projevuje na lidském zdraví. Nebezpečný je zejména pro budovy, které neumožňují efektivní přirozené větrání a výměna vzduchu v místnostech je nízká, čímž se může zvýšit koncentrace radonu na nebezpečné hodnoty. Nucené větrání, které zajistí dostatečný přísun čerstvého vzduchu je proto jedno z vhodných, ale ne hlavních, protiradonových opatření [43].

Graf 5.1 je převzat z průkazu energetické náročnosti budovy a znázorňuje rozložení bilancí tepelných ztrát rodinného domu po komplexním zateplení a výměně otvorových výplní. Z grafu je patrné, že nejvyšším podílem na tepelných ztrátách má v rodinném domě větrání. Jediným způsobem, jakým je možné větrat rodinný dům po těchto opatřeních, je za pomoci provětrávání či mikroventilací. To má ale za následek vyšší tepelné ztráty a zhoršení tepelného komfortu ve vnitřním prostředí. Aby se minimalizovaly tepelné ztráty větráním je vhodné použít nucené větrání se zpětným získáváním tepla (ZZT).

Bilance ztrát energie (%)



Graf 5.1 Bilance ztrát energie rodinného domu po zateplení

5.2 Nová zelená úsporám – podoblast C.4 - větrání

V tabulce 5.1 jsou uvedeny možnosti podpory programu Nová zelená úsporám, které se týkají oblasti větrání. Specificky se jedná o podporu spojenou s pořízením a následnou instalací centrálního, nebo decentrálního systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla.

Tabulka 5.1 Nová zelená úsporám - oblast C.4 – výše podpory pro větrání [30]

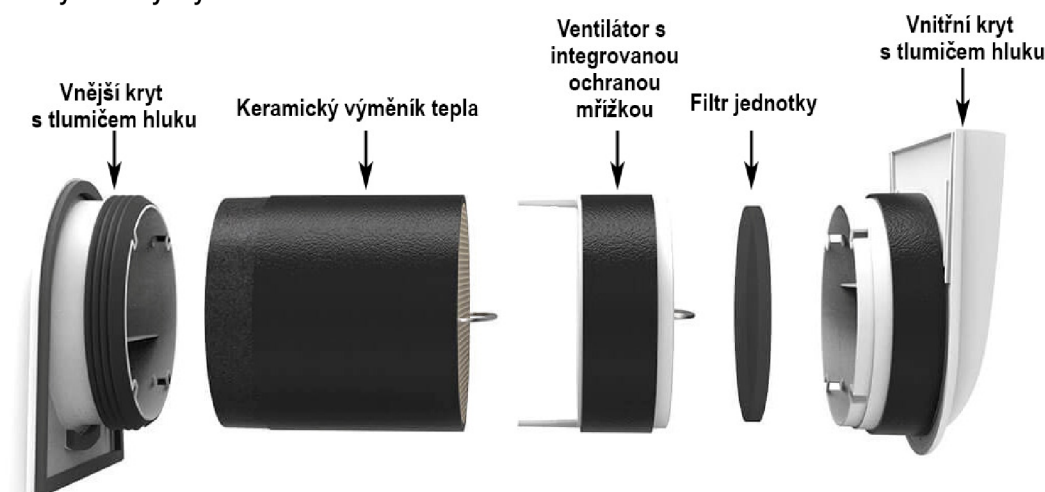
Označení podporovaných opatření	Podporovaná opatření	Výše podpory [Kč·dům ⁻¹]
VZT-C	Centrální systém řízeného větrání se zpětným získáváním tepla	100 000
VZT-D	Decentrální systém řízeného větrání se zpětným získáváním tepla	75 000

Pro získání této dotace je nutné splnit několik podmínek, které jsou dány závaznými pokyny pro žadatele a příjemce podpory Nová zelená úsporám [30]. Jednou z těchto podmínek je, aby minimální požadovaná účinnost zpětného zisku tepla dosahovala alespoň 75 %, kdy tato hodnota musí být stanovena dle platné normy. Pro získání dotace je také nutné dosáhnout maximální průvzdušnosti obálky budovy $n_{50} \leq 2,5 [h^{-1}]$. Splnění této podmínky je nutné doložit protokolem měření průvzdušnosti obálky budovy, kdy toto měření je prováděno tzv. blower-door testem.

5.3 Nucené větrání se ZZT – decentralizované řešení

Jednou z možností, jak zajistit nucené větrání se ZZT v obytných místnostech rodinného domu je za pomoci decentralizovaného řešení. Toto řešení spočívá v jednotlivých lokálních větracích jednotkách, které zajišťují hygienickou výměnu vzduchu přímo v obytných místnostech budovy.

Jedno z typických konstrukčních složení lokální větrací jednotky lze vidět na obrázku 5.2. Každá jednotka se skládá z vnějšího a vnitřního krytu, které jsou obvykle opatřeny tlumičem hluku. Součástí je výměník tepla, který je schopen rekuperace tepla, případně i vlhkosti. Nezbytnou součástí jednotky je ventilátor a vyměnitelný filtr. Větrací jednotky obsahují také už standardně snímače pro měření koncentrace CO₂ a vlhkosti. Dle těchto snímačů větrací jednotky flexibilně regulují množství přiváděného vzduchu do větraných obytných místností.



Obrázek 5.2 Decentralizovaná větrací jednotka SmartFan [44]

Výhodou tohoto řešení oproti centralizovanému provedení je jednoduchá instalace. Ta se provádí do vnějších stěn dané větrané místnosti, kdy je nutný vytvořit průraz stěny o požadovaném průměru, který je specifický dle výrobce. Do tohoto průrazu se následně umístí vzduchové potrubí s větrací jednotkou. V důsledku tedy odpadá řešení vzduchotechnických rozvodů, které nemusí být do každé budovy vhodné.

Vzhledem k tomu, že se jednotlivé větrací jednotky nacházejí přímo v obytných místnostech, tak je zjevnou nevýhodou zatížení hlukem. To může být nekomfortní především u větrání místností typu ložnice, kde může být narušen akustický komfort. Další nevýhodou je nižší účinnost rekuperace tepla a vlhkosti u těchto lokálních jednotek oproti centrálnímu řešení.

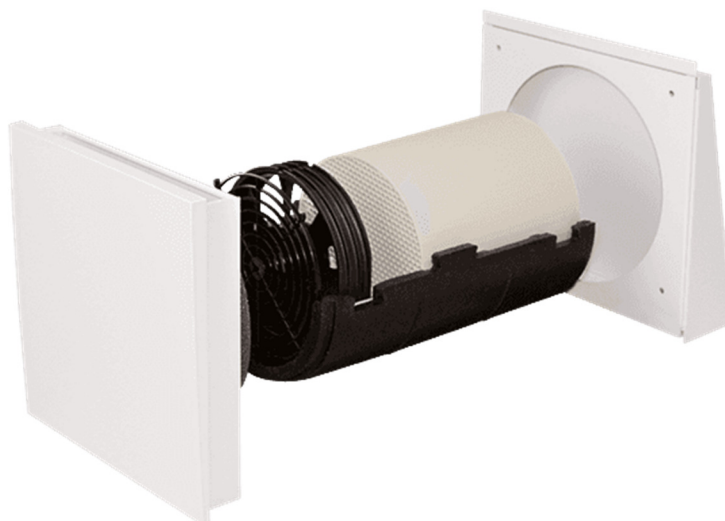
Tyto jednotky je vhodné volit spíše pro byty, případně menší rodinné domy, kde není potřeba velké množství těchto jednotek. Pro větší rodinné domy, kde by bylo nutné zajistit více těchto větracích jednotek, jsou pak spjaté vysoké náklady a požadavky na údržbu. Specificky se jedná o náklady na výměnu filtrů každé jednotky. Ty by se dle doporučení každého individuálního výrobce měly měnit po určitém časovém intervalu

několikrát v roce. Výrobci také doporučují obvykle každý půlrok vyčistit výměník tepla dané větrací jednotky. Další nevýhodou pro větší rodinné domy je také omezený maximální objemový průtok dané jednotky. Pro každou jednotku je také nutné zajistit elektrickou přípojku 230 V pro její napájení.

5.3.1 Decentralizovaná větrací jednotka SEVI 160

Pro účely názorného technického zhodnocení jsem si nechal zpracovat konkrétní nezávaznou nabídku decentralizované větrací jednotky se ZZT. Jedná se o decentralizovanou větrací jednotku typu SEVi 160, kterou lze vidět na obrázku 5.3.

Jednotka funguje na principu tzv. alternujícího provozu. To znamená, že jednotka pracuje v časovém intervalu 75 sekund v provozu odvádění vzduchu, kdy se následně přepne směr otáčení ventilátoru a poté běží 75 sekund v provozu přivádění vzduchu. V režimu odvádění vzduchu se akumuluje tepelná energie v keramickém rekuperačním výměníku, který po přepnutí provozu dodává tuto tepelnou energii přiváděnému venkovnímu vzduchu, čímž se zajistí rekuperace tepla [45].



Obrázek 5.3 Decentralizovaná větrací jednotka SEVi 160 [45]

Základní parametry této větrací jednotky lze vidět v tabulce 5.2. Z těchto parametrů lze usoudit, že daná jednotka nevyhovuje mým konkrétním požadavkům, které jsou kladeny na komplexní větrání rodinného domu. Specificky se jedná o maximální objemový průtok vzduchu v režimu ZZT, který není pro mé použití dostatečný. Akustický výkon při maximálním objemovém průtoku v režimu ZZT nebyl u výrobce uveden, proto nemohu posoudit jeho specifickou hlučnost.

Tabulka 5.2 Parametry větrací jednotky SEVi 160 [46]

Účinnost zpětného získávání tepla dle ČSN EN 308 [%]	Maximální objemový průtok vzduchu v režimu ZZT [m ³ ·h ⁻¹]	Akustický výkon při objemovém průtoku 23 m ³ ·h ⁻¹ [dB(A)]	Příkon jednotky při nejnižším stupni provozu [W]
80,4	45	28	3,4

Tato větrací jednotka nalezne vhodnější využití v bytových jednotkách, nebo menších bungalovech. Pro řešení komplexního větrání dvoupodlažního rodinného domu, by muselo být těchto jednotek nainstalováno příliš mnoho. Po zvážení všech

výhod a nevýhod decentralizovaného větrání, volím pro rekonstruovaný rodinný dům nucené větrání centralizované, které má pro můj projekt rekonstrukce vhodnější využití.

5.4 Nucené větrání centralizované – větrací systém Zehnder

V této kapitole se věnuji návrhu systému centralizovaného nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, který bude použit pro rodinný dům v rámci rekonstrukce. Projekt větrání byl konzultován s firmou Zehnder, od které jsem si zajistil nezávaznou nabídku na větrání rodinného domu. V rámci prvního kroku této kapitoly stanovuji množství větracího vzduchu, které je potřebné pro zajištění rovnotlakého větrání. Následně se věnuji popisu větrací jednotky Zehnder a specifickému řešení distribuce vzduchu v rodinném domě s popisem jednotlivých prvků větracího systému. V rámci této kapitoly je proveden výpočet tlakových ztrát jednotlivých úseků potrubí, který je zakončen regulací systému větrání. Na závěr této kapitoly vypracovávám ekonomické zhodnocení těchto opatření, kde posuzuji vhodnost tohoto systému.

5.4.1 Stanovení množství přiváděného a odváděného vzduchu

V rodinném domě je nejdříve nutné stanovit množství přiváděného venkovního vzduchu a množství odváděného vzduchu z daných místností. Množství přiváděného a odváděného vzduchu pro místnosti prvního patra rodinného domu lze vidět v tabulce 5.3. Pro druhé patro jsou hodnoty uvedeny v tabulce 5.4. Pro větrané místnosti byl brán ohled na hodnoty dávek venkovního vzduchu a nárazového větrání z normy ČSN EN 15665/Z1, dle tabulky NA.1 [47].

Specifické množství přiváděného a odváděného vzduchu je bráno pro nominální provoz, tedy na provoz domu bez nutnosti nárazového větrání. Systém větrání dokáže na požadavek uživatele či automaticky dle čidla fungovat v režimu nárazového větrání pro danou místnost. Pro budoucí flexibilitu větracího systému předpokládám při návrhu, že objekt bude obýván čtyřmi osobami, oproti současným třem.

Všechny místnosti, které jsou odděleny od ostatních vnitřních prostor dveřmi a do kterých se přivádí a odvádí vzduch mají zajištěné bezprahové provedení dveří pro plynulé proudění vzduchu.

Tabulka 5.3 Množství přiváděného a odváděného vzduchu 1.NP

Tabulka místností – 1.NP				
Číslo	Název	Objem místnosti [m ³]	Množství přiváděného vzduchu nominální [m ³ ·h ⁻¹]	Množství odváděného vzduchu nominální [m ³ ·h ⁻¹]
1.01	Kuchyň	36,00	-	80
1.02	Koupelna	14,90	-	45
1.06	Obývací pokoj	48,00	80	-
1.07	Ložnice	52,80	50	-
Celkové množství 1.NP			130	125

- **Místnost 1.01 – kuchyň**, pro nominální provoz volím množství odváděného vzduchu na hodnotu $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu což je dostatečně blízko doporučené hodnotě dané normou. Režim nárazového větrání bude možné zapnout automaticky pomocí čidla vlhkosti. V kuchyni se nachází recirkulační digestoř. Při potřebě nárazového větrání projde znečištěný vzduch od vaření nejprve tukovým a uhlíkovým filtrem digestoře a následně bude za pomoci vyústek větracího systému odsáván z místnosti.
- **Místnost 1.02 – koupelna**, množství odváděného vzduchu při nominálním režimu je voleno blízko hodnotě pro splnění minimálních hodnot nárazového větrání. Požadavek na režim boost při nárazovém větrání v koupelně bude zajištěn buďto "tlačítkem", nebo za pomoci čidla vlhkosti. Vzhledem k malému objemu dané místnosti je množství odváděného vzduchu dostatečné.
Už před rekonstrukcí byla místnost opatřena dvěma otvory s mřížkou o rozměrech $150 \times 150 \text{ mm}$, které jsou umístěny v konstrukci vnitřní zdi a budou sloužit k přívodu čerstvého vzduchu do koupelny.
- **Místnost 1.06 – obývací pokoj**, množství přiváděného vzduchu je v nominálním režimu voleno v souladu s místností 1.01 – kuchyň. Principem je, aby bylo odváděno stejné množství vzduchu, jako je přiváděno čerstvého vzduchu.
- **Místnost 1.07 – ložnice**, množství přiváděného vzduchu v nominálním režimu je voleno dle doporučených hodnot na osobu, kdy předpokládám pobyt dvou osob v místnosti. Jelikož se jedná o místnost, ve které je nutné zajistit vhodný akustický komfort pro spánek, budou použity dvě přívodní vyústky. Ty budou přivádět menší množství vzduchu, tak aby vyústky nebyly v místnosti akusticky rušivé.

Tabulka 5.4 Množství přiváděného a odváděného vzduchu 2.NP

Tabulka místností – 2.NP				
Číslo	Název	Objem místnosti [m ³]	Množství přiváděného vzduchu nominální [m ³ ·h ⁻¹]	Množství odváděného vzduchu nominální [m ³ ·h ⁻¹]
2.01	Obývací pokoj	62,40	40	-
2.02	Komora	10,02	-	25
2.03	WC	9,50	-	35
2.05	Hala	12,20	-	25
2.06	Půda	43,50		10
2.07	Ložnice	43,50	50	-
Celkové množství 2.NP			90	95

- **Místnost 2.01 – obývací pokoj**, množství přiváděného vzduchu v nominálním režimu je voleno dle specifického využití této místnosti. Vzhledem k tomu, že obývací pokoj druhého patra je výrazně méně využíván, uvažuji s pobytem pouze dvou osob a hodnoty přiváděného vzduchu volím nižší, než jsou doporučené.

- **Místnost 2.02 – komora**, pro potřeby dorovnání rovnotlakého systému větrání a zajištění odvodu vlhkosti z místnosti, je v komoře navržena vyústka pro odvod vzduchu.
- **Místnost 2.03 – WC**, množství odváděného vzduchu pro nominální režim je voleno dle normy pro splnění minimálních hodnot nárazového větrání pro místnost WC. Pro potřeby nárazového větrání je instalován “schodišťový” spínač. Vzhledem k malému objemu dané místnosti je množství odváděného vzduchu dostatečné.
- **Místnost 2.05 – hala**, pro potřeby dorovnání rovnotlakého systému větrání je v hale druhého patra navržena vyústka pro odvod vzduchu.
- **Místnost 2.06 – půda**, pro zajištění aspoň minimálního odvodu vzduchu v prostoru půdy, je v místnosti navržena odtahová vyústka.
- **Místnost 2.07 – ložnice**, množství přiváděného vzduchu v nominálním režimu je voleno dle doporučených hodnot na osobu, kdy předpokládám pobyt dvou osob v místnosti. Řešení větrání ložnice v druhém patře je ve svém principu totožné jako pro ložnici v patře prvním.

Celkově se do rodinného domu přivádí při nominálním režimu $220 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ čerstvého vzduchu a odvádí se $220 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ znehodnoceného vzduchu. Tímto poměrem přiváděného a odváděného vzduchu je zajištěno rovnotlaké větrání.

5.4.2 Komfortní větrací jednotka Zehnder s rekuperací tepla a vlhkosti

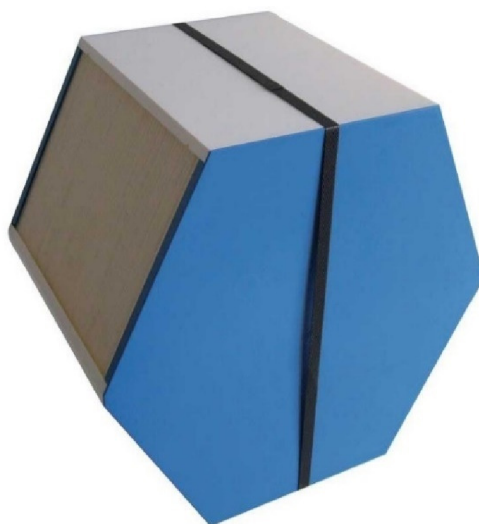
V rámci konzultací s firmou Zehnder jsem pro zajištění nuceného větrání vybral komfortní větrací jednotku Zehnder ComfoAir Q350 ERV, kterou lze vidět na obrázku 5.4. Jedná se o kompaktní větrací jednotku s rekuperací tepla a vlhkosti. Na větrací jednotce se nacházejí čtyři připojovací hrsla o vnitřním průměru 160 mm a ovládání samotné jednotky ve formě integrovaného displeje. Pro vyrovnání teploty přiváděného vzduchu slouží informace z teplotních a vlhkostních čidel jednotky, které ovládají modulační bypass. Ten řídí stupeň rekuperace a množství přiváděného vzduchu. V jednotce se nachází dva filtry třídy G4 pro odtah z interiéru a pro přívod čerstvého venkovního vzduchu [48].



Obrázek 5.4 Větrací jednotka Zehnder ComfoAir Q350 ERV [48]

Větrací jednotka je situována v místnosti 2.06 – půda, která bude v rámci rekonstrukce předělána na technickou místnost pro systém vzduchotechniky. Samotná větrací jednotka je instalována na montážním podstavci.

Zajištění rekuperace tepla a vlhkosti je v komfortní větrací jednotce Zehnder zabezpečeno křížovým protiproudým entalpickým výměníkem, který je vidět na obrázku 5.5. Entalpický výměník je použit zejména kvůli zabránění výraznému poklesnutí vlhkosti v obytných místnostech, které může nastávat především v zimním období. Vzduch ve vnitřních prostorách je v zimním období nahrazován vzduchem čerstvým, který je studený a má menší měrnou vlhkost než vzduch interiérový. V důsledku může vzniknout tzv. suché interiérové mikroklima, které není ve vnitřním prostředí rodinného domu žádoucí. Toto prostředí může negativně působit na lidské zdraví a také na vnitřní stavební konstrukce. Řešením tohoto problému je využití entalpického výměníku, který přes polymerické membrány předává nejen teplo, ale také získanou vlhkost ve formě vodní páry z odváděného znehodnoceného vzduchu. Ta se předává bez přenosu prachu a mikrobů přiváděnému čerstvému vzduchu, který je dále distribuován do místností rodinného domu. Naopak v létě, kdy může být vyšší teplota a vlhkost okolního vzduchu, je možné přiváděný vzduch přes entalpický výměník odvlhčovat. Výhodou je také, že entalpický výměník ve většině případů zabraňuje vzniku kondenzátu, proto není nutné mít jednotku napojenou na odvod kondenzátu [49].



Obrázek 5.5 Křížový protiproudý entalpický výměník větrací jednotky [50]

Technické parametry vybrané komfortní větrací jednotky lze vidět názorně v tabulce 5.5. Důležitým parametrem, který je dílčí podmínkou pro získání dotace Nová zelená úsporám je účinnost zpětného získávání tepla. Hodnota této jednotky převyšuje požadovanou hodnotu 75 %, která je dána závaznými požadavky, které byly popsány v kapitole 5.2. Tyto hodnoty účinnosti zpětného získávání tepla a zpětného získávání vlhkosti jsou certifikovány dle “Passive House Institute“ [51], kdy je tato certifikace uznávána pro dotační program Nová zelená úsporám.

Tabulka 5.5 Technické parametry větrací jednotky ComfoAir Q350 ERV [52]

Nejvyšší průtok vzduchu [m ³ ·h ⁻¹]	Provozní průtok vzduchu [m ³ ·h ⁻¹]	Účinnost zpětného získávání tepla [%]	Účinnost zpětného získávání vlhkosti [%]	Maximální spotřeba energie [W]	Provozní tlaková diference [Pa]	Hladina akustického výkonu [dB(A)]
350	245	86	73	175	50	41

Volitelnou součástí větrací jednotky Zehnder, je přehřívací registr, který lze vidět na obrázku 5.6, kdy slouží primárně jako protizámrazová ochrana výměníku. Tuto položku volím pro řešení větrací jednotky z důvodu zajištění bezproblémového celoročního provozu i při extrémních mrazech. V kombinaci s použitým entalpickým výměníkem je udáváno, že jednotka dokáže efektivně pracovat až do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [49].



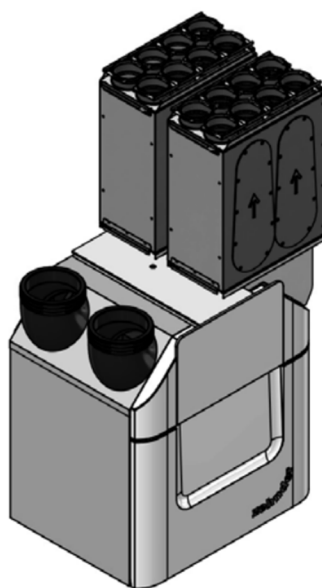
Obrázek 5.6 Přehřívací registr pro větrací jednotku ComfoAir Q350 [53]

5.4.3 Prvky větracího systému

Na dvě připojovací hrdla, která jsou určena pro přívod čerstvého vzduchu do místností a odvod vzduchu z interiéru jsou instalovány koncové desky CW-P 420, DN 160. Na tyto koncové desky jsou napojeny dva kulisové akustické tlumiče CW-S 420, které zároveň slouží jako rozdělovače, kdy toto napojení na větrací jednotku lze vidět na obrázku 5.7. Plášť tlumiče je vyroben z galvanizovaného ocelového plechu a tlumicí hmota je ve formě pěnového materiálu s hygienickým opláštěním [54]. Akustický útlum tlumiče v závislosti na frekvenci je uveden v tabulce 5.6.

Tabulka 5.6 Akustický útlum tlumiče v závislosti na frekvenci [54]

Frekvence [dB]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Útlum [dB]	4,8	11,7	16,7	23,3	17,3	32,4	21,8	18,3



Obrázek 5.7 Napojení akustických tlumičů a montážní desky [54]

Na oba akustické tlumiče jsou následně instalovány montážní desky CW-M 420. Každá z těchto desek je určena pro osm přívodních či odvodních rozvodných potrubí o vnějším průměru 90 mm. Vzhledem k tomu, že je na montážní desky připojeno jen sedm přívodních a sedm odvodních rozvodných potrubí, budou dva zbylé volné otvory zaslepeny.

Pro rozvod přiváděného vzduchu do místností a také pro odvod vzduchu je použita polyethylenová větrací trubka ComfoTube 90, která je vidět na obrázku 5.8. Tento typ rozvodů umožňuje velkou flexibilitu ohybu, což je vhodné pro snadnou montáž v rodinném domě. Větrací trubky jsou navíc velmi dobře čistitelné, kdy je jejich údržba prováděna přes rozdělovač, kde se nachází servisní otvor. Součástí systému větracího potrubí jsou držáky trubek, spojovací hrdla, těsnící kroužky, kolena a krytky trubek, které jsou potřeba pro kompletní instalaci.



Obrázek 5.8 Větrací trubka ComfoTube 90 [55]

Jednotlivé trubky jsou poté vedeny do jednotlivých místností, kde jsou napojeny na kryt vývodu vzduchu TVA-P 90, který lze vidět níže na obrázku 5.9. Tento kryt se dá instalovat na stěnu i na strop. Vzhledem k tomu, že instalace na strop by byla kvůli nízké světlé výšce místností rodinného domu nevhodná, volím montáž na stěnu. Na tyto kryty vývodu vzduchu se následně instalují přívodní a odvodní talířové ventily.



Obrázek 5.9 Kryt vývodu vzduchu TVA-P 90 [56]

Pro odvod vzduchu z daných místností je použit odtahový talířový ventil typu ComfoValve Luna E125, který lze vidět na obrázku 5.10. Tyto talířové ventily jsou vhodné k instalaci na strop a na stěnu, kdy pro mé řešení volím umístění na stěnu. Výrobce doporučuje při nominálním větrání volit do $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ odváděného množství vzduchu na výústku [57]. Toto doporučení jsem pro stanovení množství odváděného vzduchu z místností respektoval (viz kapitola 5.5.1). V režimu boost pro nárazové větrání je možné odvádět vyústkou až $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ [57].



Obrázek 5.10 Odtahový talířový ventil ComfoValve Luna E125 [58]

Pro přívod vzduchu do obytných místností volím přívodní talířové ventily typu ComfoValve Luna S125, který lze vidět na obrázku 5.11. Hodnoty množství přiváděného vzduchu pro nominální a nárazové větrání je obdobně jak u odtahového talířového ventilu doporučeno od výrobce. Pro nominální větrání je tedy vhodné přivádět na jednu vyústku do $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ čerstvého vzduchu a pro nárazové větrání je možné přivádět až $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ [57]. Pokud je to dispozičně možné, je lepší umístit v obytných místnostech typu ložnice více vyústek a rovnoměrně rozložit množství přiváděného vzduchu. Tímto se zajistí pro danou místnost mnohem vhodnější akustický komfort, než kdyby byla využita vyústka jedna a přivádělo by se přes ni větší množství čerstvého vzduchu.

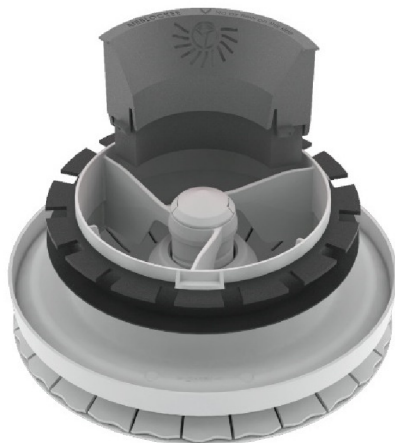


Obrázek 5.11 Přívodní talířový ventil ComfoValve Luna S125 [59]

Vzhledem k tomu, že je v rodinném domě nízká světlá výška místností, tak jsem se rozhodl pro umístění jednotlivých talířových ventilů na stěny. Pro talířový ventil Luna S125 je běžný úhel výdechu vzduchu 360° [57]. To by mělo za následek, že při instalaci na stěnu by vzduch byl distribuován převážně směrem k podlaze a byl by odváděn

pode dveřmi směrem do jiné místnosti. Tím by se nezajistilo dostatečné promíšení vzduchu, což je nežádoucí.

Pro omezení úhlu výdechu vzduchu talířového ventilu na 240° je možné použít tzv. AirBlocker, který se instaluje na talířový ventil Luna S125, což lze názorně vidět na obrázku 5.12. AirBlocker se připevní na spodní část talířového ventilu a distribuce vzduchu se více usměrní směrem ke stropu místnosti, čímž se vzduch v místnosti lépe promísí až k nejvzdálenějšímu bodu větrané místnosti. Každý přívodní ventil Luna S125 je v mém projektu z tohoto důvodu osazen AirBlockerem.



Obrázek 5.12 AirBlocker na talířovém ventilu ComfoValve Luna S125 [60]

Další nezbytnou částí větracího systému je sací potrubí, které nasává čerstvý vzduch z exteriéru do větrací jednotky a výfukové potrubí, které odvádí znehodnocený vzduch z místností přes větrací jednotku do exteriéru. Pro tyto účely je použito tepelně izolované potrubí Zehnder ComfoPipe Compact 160, které je vidět na obrázku 5.12. Potrubí zajišťuje vysokou parotěsnost a má velmi dobré tepelněizolační vlastnosti, čímž nedochází k povrchové kondenzaci vlhkosti [61].



Obrázek 5.13 Sací a výfukové potrubí Zehnder ComfoPipe Compact 160 [61]

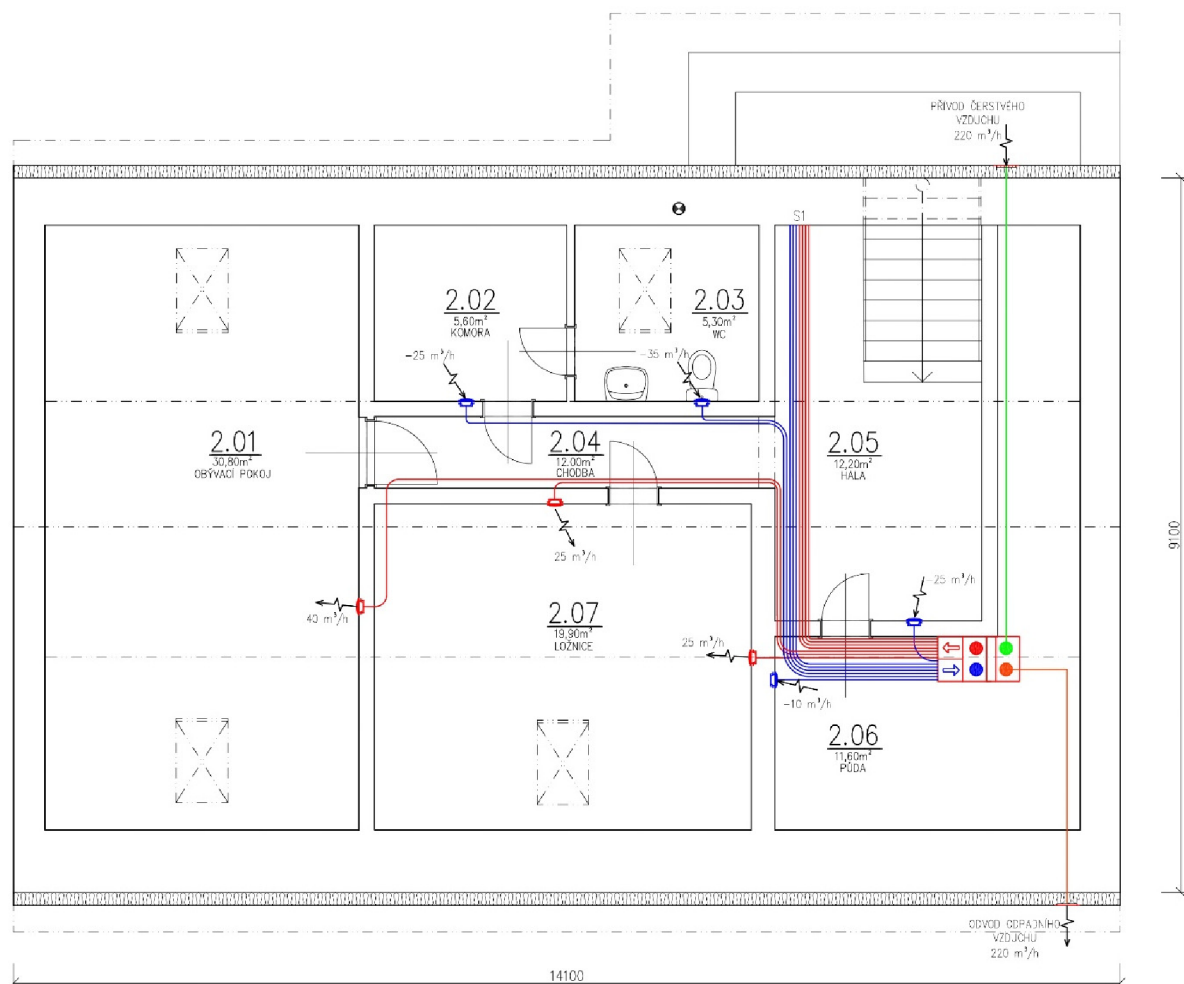
Venkovní vzduch je do větrací jednotky přiváděn ze severní strany rodinného domu, kdy je venkovní vzduch nasáván přes fasádní protidešťovou mřížku Zehnder. Znehodnocený vzduch z místností je odváděn na jižní stranu rodinného domu rovněž přes fasádní protidešťovou mřížku.

5.4.4 Rozvod větracího potrubí v rodinném domě

Společnost Zehnder má specifický systém vedení přívodního a odvodního potrubí od větrací jednotky. Nejedná se o řešení ve stylu klasického „páteřního“ systému, kdy je vzduch distribuován z větrací jednotky za pomoci přívodní a odvodní magistraly. Z těchto magistrál se pak dále větví dílčí potrubí, které vedou k vyústkám místností.

Systém od firmy Zehnder je pro rodinné domy navrhován nejčastěji ve formě tzv. paprskovitého řešení. Toto řešení lze názorně vidět na obrázku 5.14, kde je zobrazeno provedení rozvodů potrubí pro druhé patro rodinného domu. Toto řešení spočívá ve vedení individuálních přívodních a odvodních potrubí z rozdělovače větrací jednotky, který zároveň slouží jako tlumič hluku, do jednotlivých místností.

Tento způsob řešení rozvodů potrubí má výhodu oproti „páteřnímu“ systému převážně v menších tlakových ztrátách. To je dáno použitím flexibilního potrubí, a tedy i nižší potřebou použití většího množství přídatných armatur. Důsledkem distribuce vzduchu pomocí individuálních rozvodů je také zlepšení akustických vlastností potrubí. Konkrétně tento způsob distribuce vzduchu zabraňuje nežádoucímu akustickému jevu ve formě přeslechů mezi jednotlivými větranými místnostmi [62].



Obrázek 5.14 2.NP rodinného domu - paprskové řešení větrání

Vedení jednotlivých potrubí pro místnosti 2.06 – půda a 2.05 – hala, je instalováno v místním sádkokartonovém podhledu, jelikož se zde větví všechny trasy větracího potrubí. Pro jednotlivé odbočky je pak zajištěn sádkokartonový kryt podél rohů místností, aby se zajistilo co nejmenší snížení světlé výšky místností.

5.4.5 Tlakové ztráty přívodního a odvodního potrubí

Provedení výpočtu tlakových ztrát úseku přívodního a odvodního potrubí je nezbytné k regulaci systému větrání v rodinném domě. Přívodní a odvodní potrubí je zvoleno dle nabídky firmy Zehnder a to ve formě větracích trubek ComfoTube 90. Na základě vnitřního průměru potrubí je vypočtena plocha potrubí. Z poměru dílčích objemových průtoků vzduchu a plochy průřezu potrubí, jsou následně vypočteny rychlosti proudění v potrubí. Vzhledem k nízkým objemovým průtokům vzduchu, které proudí jednotlivými úseky potrubí, jsou rychlosti proudění v rozmezí daném doporučením výrobce [63].

Jednotlivé tlakové ztráty pro potrubí, ohyby a dílčí prvky úseku jsou určeny na základě diagramů výrobce, které jsou obsaženy v technických listech příslušných komponentů. Detailnější výpočet tlakových ztrát je obsažen v příloze diplomové práce.

Výsledné hodnoty jednotlivých tlakových ztrát pro přívodní potrubí je možné vidět v tabulce 5.7. Z výsledků je zřejmé, že nejvyšší tlaková ztráta je na úseku 5, který má při daném, relativně vysokém objemovém průtoku, největší délku potrubí.

Tabulka 5.7 Tlakové ztráty přívodního potrubí větracího systému

Tlakové ztráty přívodního potrubí								
Číslo úseku [-]	Přiváděný objemový průtok \dot{V}_p [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	Délka potrubí l_p [m]	Vnitřní průměr potrubí d_i [m]	Rychlost proudění v potrubí w_i [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Tlaková ztráta místními odpory Δp_ξ [Pa]	Měrná tlaková ztráta R_t [$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$]	Tlaková ztráta třením Δp_λ [Pa]	Tlaková ztráta úseku Δp_z [Pa]
1 - P	25	2,3	0,074	1,61	9	1	2,3	11,3
2 - P	25	7,2	0,074	1,61	11	1	7,2	18,2
3 - P	40	11,1	0,074	2,58	20	2	22,2	41,8
4 - P	40	12,7	0,074	2,58	22	2	25,4	47,4
5 - P	40	14,4	0,074	2,58	22	2	28,7	50,7
6 - P	25	17,7	0,074	1,61	12	1	17,7	29,7
7 - P	25	18,7	0,074	1,61	12	1	18,7	30,7

Hodnoty tlakových ztrát pro odvodní potrubí lze vidět v tabulce 5.8. Z výsledků je patrné, že nejvyšší tlaková ztráta je na úseku 7, kdy tento úsek je z daných potrubí nejvzdálenější při relativně vysokém objemovém průtoku. Vypočtené hodnoty dílčích tlakových ztrát pro přívodní a odvodní potrubí slouží dále k zajištění regulace větrací soustavy rodinného domu.

Tabulka 5.8 Tlakové ztráty odvodního potrubí větracího systému

Tlakové ztráty odvodního potrubí								
Číslo úseku [-]	Odváděný objemový průtok \dot{V}_{od} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	Délka potrubí l_p [m]	Vnitřní průměr potrubí d_i [m]	Rychlost proudění v potrubí w_i [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Tlaková ztráta místními odpory Δp_ξ [Pa]	Měrná tlaková ztráta R_t [$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$]	Tlaková ztráta třením Δp_λ [Pa]	Tlaková ztráta úseku Δp_z [Pa]
1 - O	25	0,8	0,074	1,61	9	1,0	0,8	9,8
2 - O	10	2,3	0,074	0,65	6	0,2	0,4	6,4
3 - O	35	6,5	0,074	2,26	15	1,8	11,7	26,7
4 - O	25	9,6	0,074	1,61	10	1,0	9,6	19,6
5 - O	45	10,9	0,074	2,91	23	2,5	27,2	50,3
6 - O	40	16,0	0,074	2,58	22	2,0	32,0	54,0
7 - O	40	16,6	0,074	2,58	22	2,0	33,2	55,2

5.4.6 Regulace přívodního a odvodního potrubí

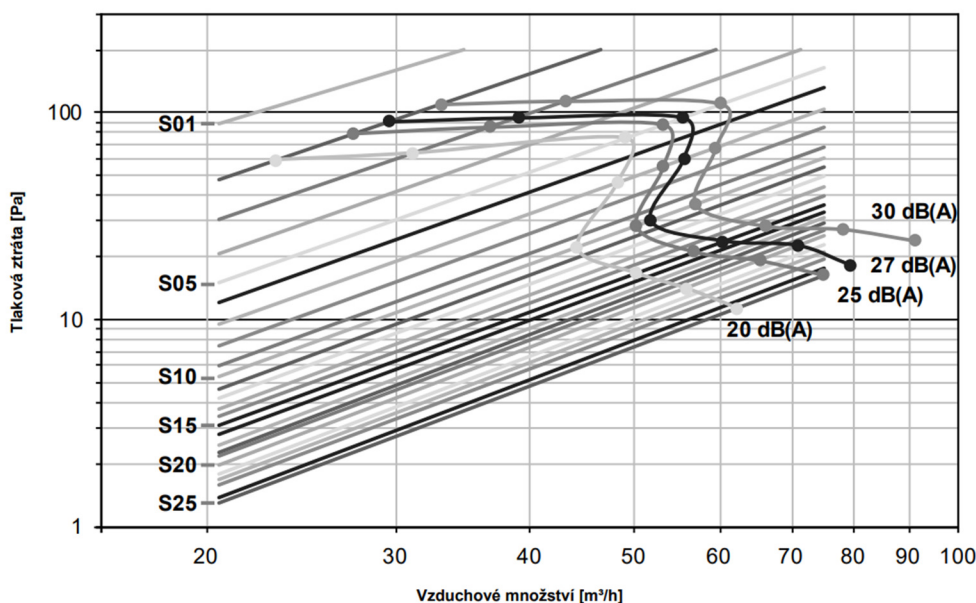
Důležitou součástí návrhu větrání v rodinném domě je zajištění správné regulace přívodního a odvodního potrubí. Pro regulaci je nutné nejdříve vypočítat jednotlivé tlakové ztráty úseku přívodního a odvodního potrubí, kdy dílčí výsledky těchto ztrát byly vypočteny v předchozí kapitole. V tabulce 5.9 jsou uvedeny jednotlivé úseky přívodního potrubí, do které místnosti vyústí, jejich přiváděný objemový průtok, celková tlaková ztráta, potřebné nastavení talířového ventilu a hladina akustického výkonu vyústky.

Nejvyšší hodnota tlakové ztráty připadá na úsek 5, který distribuuje čerstvý vzduch do obývacího pokoje prvního patra. Po přičtení tlakové ztráty při plně otevřeném talířovém ventilu tohoto úseku vyjde tlaková ztráta na hodnotu 55,7 Pa. Od této hodnoty se odečtou jednotlivé ztráty ostatních úseků, kdy vyjde závěrečná tlaková ztráta, na kterou je nutné nastavit talířové ventily k dorovnání této tlakové ztráty.

Tabulka 5.9 Parametry regulace přívodního potrubí větracího systému

Regulace přívodního potrubí						
Číslo úseku [-]	Číslo místnosti [-]	Přiváděný objemový průtok \dot{V}_p [m ³ ·h ⁻¹]	Celková tlaková ztráta úseku Δp_z [Pa]	Tlaková ztráta k dorovnání na talířovém ventilu Δp_d [Pa]	Nastavení talířového ventilu [-]	Hladina akustického výkonu vyústky L_{WA} [dB(A)]
1 - P	2.07	25	11,3	44,4	S02	20
2 - P	2.07	25	18,2	37,5	S03	20
3 - P	2.01	40	41,8	13,9	S12	20
4 - P	1.08	40	47,4	8,3	S17	20
5 - P	1.08	40	55,7	-	S25	20
6 - P	1.07	25	29,7	26,0	S05	20
7 - P	1.07	25	30,7	25,0	S05	20

Nastavení tlakové ztráty přívodního talířového ventilu Luna S125 je provedeno dle obrázku 5.15, na kterém se nachází graf tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku vzduchu. Z tohoto grafu je rovněž odečtena hladina akustického výkonu vyústky.



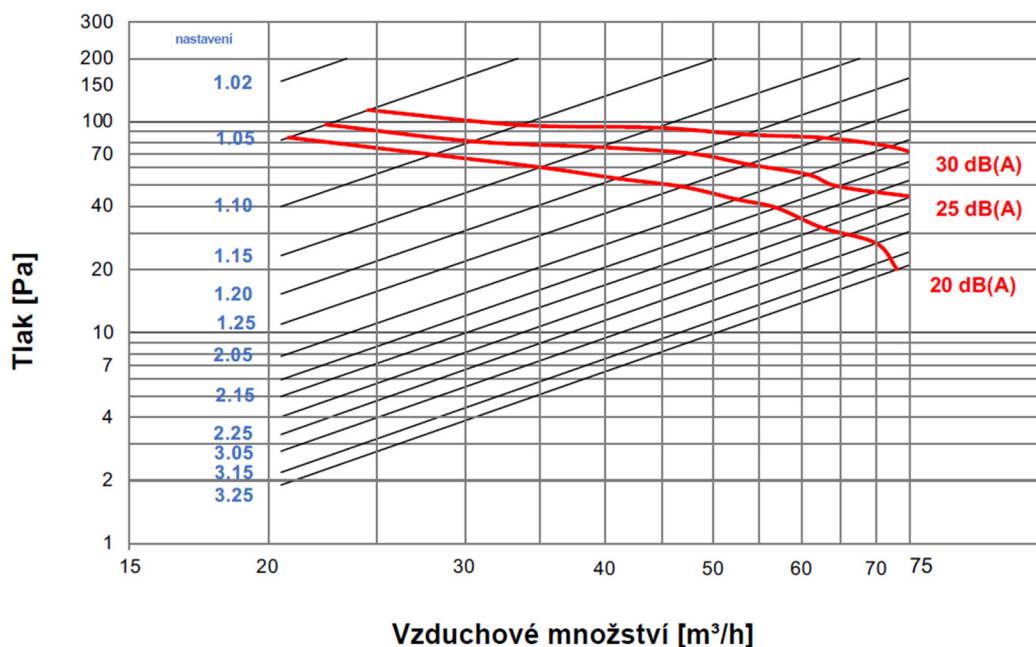
Obrázek 5.15 Diagram přívodního talířového ventilu Luna S125 [64]

Totožný postup je proveden pro úseky odvodního potrubí, kdy výsledné hodnoty je možné vidět v tabulce 5.10. Nejvyšší hodnota tlakové ztráty připadá pro odvodní potrubí na úsek 7. Tímto potrubím se odvádí znehodnocený vzduch z kuchyně prvního patra. Po přičtení tlakové ztráty při plně otevřeném talířovém ventilu tohoto úseku vyjde tlaková ztráta na hodnotu 61,2 Pa.

Tabulka 5.10 Parametry regulace odvodního potrubí větracího systému

Regulace odvodního potrubí						
Číslo úseku [-]	Číslo místnosti [-]	Odváděný objemový průtok \dot{V}_{od} [m ³ ·h ⁻¹]	Celková tlaková ztráta úseku Δp_z [Pa]	Tlaková ztráta k dorovnání na talířovém ventilu Δp_d [Pa]	Nastavení talířového ventilu [-]	Hladina akustického výkonu výústky L_{WA} [dB(A)]
1 - O	2.05	25	9,8	51,4	1,1	20
2 - O	2.06	10	6,4	54,8	1,02	30
3 - O	2.03	35	26,7	34,5	1,2	20
4 - O	2.02	25	19,6	41,6	1,1	20
5 - O	1.02	45	50,3	10,9	3,05	20
6 - O	1.01	40	54,0	7,2	3,15	20
7 - O	1.01	40	61,2	-	3,25	20

Nastavení tlakové ztráty odtahového talířového ventilu Luna E125 je provedeno dle obrázku 5.16, na kterém se nachází graf tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku vzduchu. Z tohoto grafu je rovněž odečtena hladina akustického výkonu výústky.



Obrázek 5.16 Diagram odtahového talířového ventilu Luna E125 [58]

5.5 Zhodnocení energetického opatření – větrání

Po zateplení rodinného domu je v rámci rekonstrukce rodinného domu navrženo nucené větrání s rekuperací tepla a vlhkosti. Srovnání hodnot ukazatelů energetické náročnosti budovy oproti stavu před zavedením nuceného větrání lze vidět v tabulce 5.11. Z této tabulky je zřejmé, že výrazně poklesla hodnota celkové dodané energie. To je zapříčiněno instalací vzduchotechnické jednotky se zpětným získáváním tepla a vlhkosti. V důsledku to znamená, že se sníží tepelné ztráty větráním, čímž se sníží podíl dodané energie pro vytápění rodinného domu. Hodnota celkové dodané energie se jak u referenční, tak u posuzované budovy zvýší na základě zavedení dodané energie pro nucené větrání.

V případě, že je v obytné budově instalován systém nuceného větrání se ZZT, má pak dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. referenční budova danou hodnotu účinnosti zpětného získávání tepla 0 % [11]. Při následném porovnání posuzované budovy s referenční budovou, je daná účinnost ZZT u vzduchotechnické jednotky brána jako energeticky úsporné opatření. Hodnota primární energie z neobnovitelných zdrojů tedy klesne na základě snížené hodnoty dodané energie na vytápění a sníží se také na základě vyšší účinnosti ZZT oproti referenční budově. Zavedením nuceného větrání se ZZT se dostane hodnota primární energie z neobnovitelných zdrojů blízko nad požadovanou hodnotu referenční, která je dána budovou s téměř nulovou spotřebou energie.

Použitím těchto dvou energeticky úsporných opatření, tedy komplexního zateplení s výměnou otvorových výplní a zavedením nuceného větrání se ZZT, není splněna podmínka pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Klasifikační třída pro primární energii z neobnovitelných zdrojů a celkovou dodanou energii je hodnocena jako B – velmi úsporná. Všechny hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy jsou uvedeny na základě vypracování dílčího průkazu energetické náročnosti budovy, který je uveden v příloze.

Tabulka 5.11 Ukazatele energetické náročnosti budovy – porovnání

Ukazatele energetické náročnosti budovy	Stav domu po rekonstrukci obálky budovy	Stav domu po návrhu nuceného větrání s ZZT	Referenční hodnoty	Splnění požadavků
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0,24	0,24	0,24	SPLNĚNO
Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	81	66	65	NESPLNĚNO
Celková dodaná energie Q_{fuel} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	74	57	79	SPLNĚNO

Nesplnění požadavků na primární energii z neobnovitelných zdrojů je dáno tím, že vzduchotechnická jednotka v průběhu roku spotřebovává na svůj provoz elektrickou energii. Ta jako energonositel, má vysoký faktor primární energie, který tento ukazatel energetické náročnosti budovy zhoršuje. V rodinném domě je také stále používán starý plynový kotel s nízkou účinností výroby tepla pro vytápění a přípravu teplé vody.

Pro další snížení primární energie z neobnovitelných zdrojů se v rámci energeticky úsporných opatření rodinného domu zaměřím na výměnu původního zdroje tepla a návrhu využití obnovitelného zdroje energie.

Pro výběr vhodného zdroje tepla, který bude v domě sloužit pro vytápění a přípravu teplé vody, je nutné znát současné tepelné ztráty rodinného domu. Na základě znalosti tepelných ztrát se může vybrat zdroj tepla, který nebude naddimenzovaný, nebo naopak poddimenzovaný. Tepelné ztráty jednotlivých vytápěných místností rodinného domu, které jsou ve stavu po rekonstrukci obálky budovy a návrhu nuceného větrání s rekuperací tepla, je možné vidět v tabulce 5.12. Výpočet tepelných ztrát je proveden ve výpočtovém programu DEKSOFT – modulu tepelné ztráty, dle normy ČSN EN 12831-1 [23], kdy výpočtový protokol je uveden v příloze diplomové práce.

Tabulka 5.12 Tepelné ztráty vytápěných místností rodinného domu

Tabulka vytápěných místností				
Číslo	Název	Návrhová tepelná ztráta prostupem ϕ_T [W]	Návrhová tepelná ztráta větráním ϕ_V [W]	Celková tepelná ztráta ϕ_c [W]
1.01	Kuchyň	220,5	15,4	235,9
1.02	Koupelna	247,7	64,4	312,0
1.03	Chodba	266,5	151,9	418,5
1.06	Obývací pokoj	291,6	147,0	438,5
1.07	Ložnice	185,1	98,4	283,6
2.01	Obývací pokoj	258,4	93,4	351,8
2.03	WC	62,7	62,2	125,0
2.07	Ložnice	333,6	95,7	429,4
Celkem		1 866,1	728,5	2 594,6

Oproti původním tepelným ztrátám vytápěných místností rodinného domu, které byly počítány v kapitole 3.4.2, klesne po těchto provedených opatření celková tepelná ztráta z hodnoty 7,25 kW na 2,59 kW. Z této hodnoty tepelné ztráty budu ve své práci dále vycházet v kapitole 6, při návrhu nového zdroje tepla pro rodinný dům.

Jednotlivé náklady na provoz rodinného domu je možné vidět v tabulce 5.13. Dopad těchto energeticky úsporných opatření je patrný z výrazného snížení nákladů na vytápění rodinného domu, což je dáno snížením tepelných ztrát prostupem a větráním. Pro vyhodnocení nákladů na provoz rodinného domu je ale nutné přičíst i náklady na provoz větrací jednotky, která zajišťuje nucené větrání se ZZT. Dle konzultace s firmou Zehnder byla určena průměrná spotřeba při provozním průtoku jednotky Q350 TR, na 35 W. Předpokládám, že větrací jednotka bude v provozu 24 hodin denně. Výsledná částka nákladů na provoz této jednotky je odečtena vůči celkovým ročním úsporám, které jsou dány snížením potřeby na vytápění rodinného domu.

Z výsledku porovnání oproti stavu po rekonstrukci obálky budovy plyne, že ušetřené roční náklady na vytápění, které jsou dané zavedením nuceného větrání se ZZT činí 4 862 Kč. Roční náklady na provoz větrací jednotky nepřesahují částku, která je spjatá s uspořenémi ročními náklady na vytápění rodinného domu dané tímto energeticky úsporným opatřením.

Tabulka 5.13 Náklady na provoz rodinného domu – porovnání

	Původní stav domu	Stav domu po rekonstrukci obálky budovy	Stav domu po návrhu nuceného větrání
Spotřeba zemního plynu na vytápění a přípravu teplé vody [MWh·rok⁻¹]	20,19	10,13	7,37
Náklady na vytápění a přípravu teplé vody [Kč·rok⁻¹]	50 586	25 379	18 451
Spotřeba elektřiny na provoz větrací jednotky se ZZT [MWh·rok⁻¹]	-	-	0,31
Náklady na provoz větrací jednotky se ZZT [Kč·rok⁻¹]	-	-	2 066
Roční úspory na provozu domu [Kč·rok⁻¹]	30 070		

Ekonomické zhodnocení všech dílčích energeticky úsporných opatření, které jsou provedeny v rámci rekonstrukce rodinného domu lze vidět v tabulce 5.14. Z této tabulky je zřejmé, že bez využití dotace Nová zelená úsporám je doba návratnosti, s ohledem na životnost jednotlivých opatření, příliš vysoká. Ze stránky ekonomické je návrh těchto energeticky úsporných opatření bez započtení dotací nevhodný.

Pro prokázání splnění všech podmínek k využití dotace Nová zelená úsporám bude nutné doložit protokol o průvzdušnosti obálky budovy, který je dán blower door testem, kdy jeho provedení je vyčísleno v ekonomických nákladech [65]. Vzhledem k tomu, že jsou zhodnocena obě energeticky úsporná opatření dohromady, je možné využít dotační bonus za kombinaci opatření. Jako další je započteno do ekonomického zhodnocení využití dotací na projektovou podporu, kterou lze využít pro měření průvzdušnosti obálky budovy.

Po započtení celkové výše dotace Nová zelená úsporám se doba návratnosti sníží na hodnotu, která je v rámci životnosti dílčích opatření ekonomicky vhodná. Do ekonomického zhodnocení nejsou započítány náklady na výměnu filtrů větrací jednotky a její případný servis v rámci jejího provozu. Celková cena větrací jednotky s detailním výpisem jednotlivých položek je uvedena v příloze diplomové práce.

Tabulka 5.14 Ekonomické zhodnocení dílčích opatření v rámci rekonstrukce

Celková cena za komplexní zateplení a výměnu otvorových výplní s DPH [Kč]	519 570
Celková cena nuceného větrání se ZZT s DPH [Kč]	250 127
Celková cena za rekonstrukci s DPH [Kč]	769 697
Doba návratnosti [rok]	26
Výše dotace Nová zelená úsporám	
Výše dotace pro zateplení vnějších stěn, střechy šikmé a stropu (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	170 180
Výše dotace pro výměnu otvorových výplní (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	65 077
Výše dotace pro pořízení centrálního systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla [Kč]	100 000
Náklady na provedení blower door testu [Kč]	- 6 000
Dotační bonus za kombinaci opatření [Kč]	10 000
Dotace na projektovou podporu [Kč]	30 000
Celková výše dotace [Kč]	369 257
Ekonomické zhodnocení po započtení dotací Nová zelená úsporám	
Celková cena rekonstrukce domu s DPH po započtení dotací Nová zelená úsporám [Kč]	400 440
Doba návratnosti po započtení dotací [rok]	13

6 Rekonstrukce – návrh zdroje tepla

V této kapitole se věnuji nejprve stručnému posouzení možností výběru vhodného zdroje tepla. Zdroj tepla bude v rodinném domě využit pro vytápění a přípravu teplé vody, kdy nahradí původní zdroj tepla ve formě plynového kotle. Po vybrání vhodného zdroje tepla se věnuji jeho popisu, použití a příslušným výpočtům otopné soustavy, kdy na konci této kapitoly toto opatření v rámci rekonstrukce vyhodnocuji.

6.1 Výběr vhodného zdroje tepla

Vzhledem k tomu, že stávající zdroj tepla je starší a nevyhovuje současným technickým standardům, je vhodné ho v rámci rekonstrukce nahradit. Při výběru nového zdroje je vhodné brát v potaz prostorové dispozice rodinného domu. Prioritou je také co nejmenší závislost na neobnovitelných zdrojích energie a příklon k větší soběstačnosti. V této kapitole se proto věnuji stručnému zvážení jednotlivých typů zdrojů tepla. Na základě těchto posouzení vyberu nejvhodnější zdroj tepla, který bude v rodinném domě použit pro vytápění a přípravu teplé vody.

6.1.1 Kotel na pelety

Pro vytápění a přípravu teplé vody je možné využít kotle na pelety. Výhodou tohoto řešení je fakt, že pelety se vyrábí z biomasy, proto se jedná o obnovitelný zdroj energie. Z hlediska energetické náročnosti budovy jsou dřevěné peletky hodnoceny nižším faktorem primární energie z neobnovitelného zdroje než u referenční budovy. Použitím tohoto zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody by proto došlo ke snížení primární energie z neobnovitelných zdrojů. Mezi výhody také patří skutečnost, že se jedná o automatický provoz, kdy si kotel sám dávkuje palivo ze zásobníku [66].

Nevýhodou je, že přestože se jedná o spalování paliva ve formě obnovitelného zdroje energie, tak lokální emise jsou srovnatelné s vytápěním za pomoci uhlí [66]. Další nevýhodou je potřeba mít k dispozici prostory, které budou určeny pro skladování pelet. Oproti jiným zdrojům tepla je stále nutnost aspoň částečné obsluhy a čištění.

Vzhledem k omezeným prostorovým dispozicím rodinného domu jsem se rozhodl tento zdroj tepla pro projekt rekonstrukce nepoužít. Specificky se jedná o absenci vhodného místa pro umístění samotného kotle a také není k dispozici vhodné místo pro skladování samotných pelet.

6.1.2 Kondenzační plynový kotel

Stávajícím zdrojem tepla v rodinném domě je plynový kotel, proto přichází v úvahu náhrada tohoto zdroje za kondenzační plynový kotel. Tato náhrada by byla výhodná kvůli už vybudovanému zázemí a náklady na změnu soustavy by byly velmi nízké. Oproti klasickému plynovému kotli je výhodná také vyšší účinnost, díky které by klesla spotřeba plynu ve formě dodané energie pro vytápění a přípravu teplé vody.

Z hlediska energetické náročnosti budovy by instalace kondenzačního plynového kotle neměla dostatečně výrazný vliv na snížení primární energie z neobnovitelných zdrojů. To je dáno tím, že referenční budova používá pro vytápění a přípravu teplé vody stejný energonositel, a to zemní plyn.

S přihlédnutím k tomu, že zemní plyn je neobnovitelný zdroj energie a v aktuální době se ceny zemního plynu značně navyšují, kdy vývoj je značně nepředvídatelný, nepovažuji použití tohoto zdroje tepla do projektu rekonstrukce rodinného domu za vhodné.

6.1.3 Tepelné čerpadlo země - voda

Jako další možnost se nabízí možnost využití zdroje tepla ve formě tepelného čerpadla. Existuje několik typů tepelných čerpadel, kdy v rámci mého projektu posuzuji jako první tepelné čerpadlo země - voda. Tento typ tepelného čerpadla funguje na principu odnímání tepla z přilehlého okolí rodinného domu, a to specificky ze země. Pomocí tepelného čerpadla se toto teplo následně předá do teplotnosného média, kterým může být například topná voda, kterou je možné využít pro vytápění rodinného domu, nebo přípravu teplé vody v zásobníku.

Výhodou tohoto typu tepelného čerpadla je stabilnější a vyšší topný výkon v zimním období oproti typu vzduch – voda, což je dáno tím, že typ země – voda je méně ovlivněn venkovní teplotou [67]. Tepelné čerpadlo tedy spotřebuje méně elektrické energie ke svému provozu, než kolik tepla vyrobí. Z hlediska energetické náročnosti jsou pro tepelná čerpadla dva druhy energonositelů. Prvním je elektřina, která je nutná pro pohon tepelného čerpadla a druhá energie prostředí. Vzhledem k tomu, že energie prostředí je brána jako obnovitelný zdroj energie dojde ke snížení primární energie z neobnovitelných zdrojů.

Značná nevýhoda tohoto typu tepelného čerpadla je zajištění dostatečných prostor u rodinného domu. Vzhledem k tomu, že je rodinný dům situován v řadové zástavbě, tak by bylo velmi obtížné dostat na místo potřebnou techniku pro vyhloubení geotermálního vrtu. Pro zemní plošný kolektor je problém obdobný, ale navíc není ani k dispozici dostatečně velká plocha zahrady. Z těchto důvodů tento typ tepelného čerpadla v mém projektu nepoužiji.

6.1.4 Tepelné čerpadlo voda - voda

Mezi další možnost patří typ tepelného čerpadla voda – voda. Principiálně funguje tepelné čerpadlo obdobně jako předchozí typ země – voda s tím rozdílem, že nízkopotenciální energie není odebírána přímo ze země, ale z vodní plochy. Tato vodní plocha může být ve formě povrchové vody, nebo podzemní vody, kam například patří hlubinné studny. S tímto požadavkem je spjatá značná nevýhoda, a to že je nutné tento typ tepelného čerpadla instalovat do místa, které je dispozičně vhodné. Výhodou je, že tento typ tepelného čerpadla je pro vytápění stabilní a má ze všech typů nejvyšší topný faktor [68].

Stejně jako u tepelného čerpadla země – voda, je použití omezeno pozemkem. Rodinný dům nemá vyhloubenou žádnou studnu a pro vyhloubení by byla nutná technika, která by se na pozemek nedostala, proto považuji toto řešení jako nevhodné.

6.1.5 Tepelné čerpadlo vzduch - voda

Posledním posuzovaným a také nejvíce rozšířeným typem je tepelné čerpadlo vzduch – voda. Tento typ oproti předchozích odebírá nízkopotenciální energii přímo ze vzduchu, která se opět předá pomocí tepelného čerpadla do teplotnosného média.

Největší předností je, že se dají snadno instalovat a nejsou výrazně omezena prostorem oproti předchozím typům. Nevýhodou ale je, že výkon tepelného čerpadla je závislý na teplotě venkovního vzduchu. V zimě, kdy je teplota vzduchu nízká, tak výkon tepelného čerpadla klesá. Naopak v létě, kdy je teplota vzduchu vyšší, tak výkon tepelného čerpadla roste. V zimě je proto nutné zajistit bivalentní zdroj energie, který funguje při nižší teplotě, která je určena bodem bivalence. Hluk tepelného čerpadla vzduch – voda může být značně problematický, proto je nutné se mu při návrhu věnovat [69]. Tento druh tepelného čerpadla nemá žádné výrazné prostorové požadavky a lze ho instalovat i v rekonstruovaném rodinném domě, proto tento typ volím jako zdroj tepla v rámci rekonstrukce.

6.2 Tepelné čerpadlo Sinclair

Pro účely vytápění a přípravy teplé vody jsem se rozhodl v rámci rekonstrukce použít tepelné čerpadlo typu vzduch - voda. Výběr specifického modelového typu byl konzultován s firmou SINCLAIR Global Group, kdy dle vypočtené tepelné ztráty rodinného domu, který je proveden v kapitole 5.5, jsem vybral monoblokové tepelné čerpadlo Sinclair typu SMH-40IRB, které lze názorně vidět na obrázku 6.1. Součástí tepelného čerpadla jsou oběhové čerpadlo s možností řízení otáček, dvoustupňový invertorový kompresor, expanzní nádoba o objemu 2 l a pojistný ventil o tlaku 3 bar.



Obrázek 6.1 Tepelné čerpadlo monoblok SINCLAIR SMH-40IRB [70]

Hlavní technické parametry zvoleného tepelného čerpadla je možné vidět v tabulce 6.1. Typ tepelného čerpadla jsem volil tak, aby výkon tepelného čerpadla nebyl poddimenzován ani předdimenzován na danou tepelnou ztrátu rodinného domu. Výkon pro topení a hodnotu COP, je dle technického listu udáván pro venkovní teplotu 7 °C a výkon pro chlazení a hodnotu EER, je brán pro venkovní teplotu 35 °C [70]. Tepelné čerpadlo lze využít v reverzním režimu pro chlazení rodinného domu za pomoci fan coil jednotek.

Tabulka 6.1 Technické parametry tepelného čerpadla [70]

Výkon pro topení [kW]	Výkon pro chlazení [kW]	COP topení [-]	EER chlazení [-]	Hladina akustického tlaku v 1 m pro topení [dB(A)]	Hladina akustického tlaku v 1 m pro chlazení [dB(A)]
4	3	4,1	3,2	58	56

6.2.1 Nepřímotopný ohřívač teplé vody

Pro přípravu teplé vody jsem vybral nepřímotopný ohřívač teplé vody Sinclair ST-300DE, který lze vidět na obrázku 6.2. Ohřívač teplé vody je určen pro provoz s navrženým tepelným čerpadlem. V případě dohřevu ohřívače na požadovanou teplotu je v jeho horní části možné instalovat elektrickou topnou jednotku TJ 6/4“ .

Samotná nádoba ohřívače je svařena z ocelového plechu a je chráněna smaltem. Uvnitř nádoby se nachází ocelový spirálový výměník, který je určený pro proudění teplotnosného média. Ohřívač je opatřen izolací o tloušťce 60 mm polyuretanové pěny, kterou chrání plastový plášť ohřívače [71].



Obrázek 6.2 Nepřímotopný ohřívač teplé vody SINCLAIR ST-300DE [72]

Hlavní parametry ohřívače teplé vody je možné vidět v tabulce 6.2. Objem ohřívače teplé vody je volen na základě konzultací s firmou Sinclair, kdy je v rodinném domě předpokládán pobyt čtyř osob.

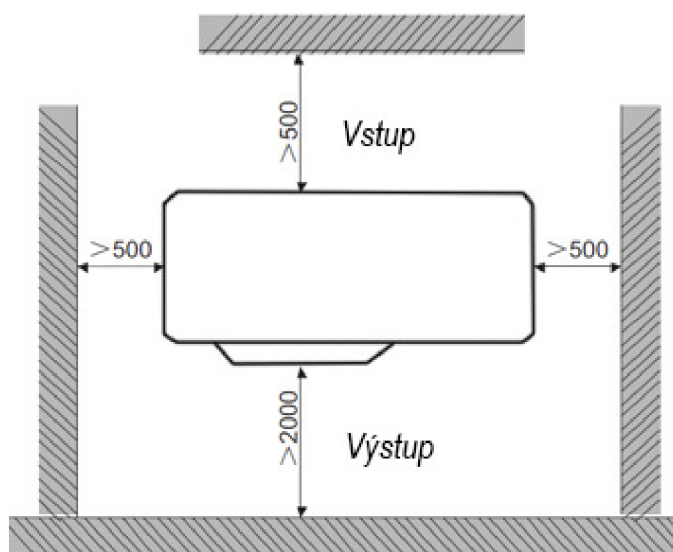
Tabulka 6.2 Technické parametry ohřívače teplé vody [71]

Objem ohřívače vody [l]	Výhřevná plocha výměníku [m ²]	Objem výměníku [l]	Maximální teplota TV [°C]	Maximální teplota topné vody [°C]
295	3,2	24	90	110

6.2.2 Umístění tepelného čerpadla a hluk

Samotná jednotka monoblokového tepelného čerpadla je umístěna dle doporučení výrobce, které lze vidět na obrázku 6.3. Důležité je dodržet danou minimální vzdálenost od vnější zdi, kde je nasáván venkovní vzduch do tepelného čerpadla. Je také nutné myslet na volný prostor před samotným tepelným čerpadlem, kde se vyfukuje vzduch z ventilátoru tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo je vhodné umístit na samostatný základ, který je oddělený od budovy. Výrobce doporučuje betonový základ o výšce 10 cm [73]. Odvod kondenzátu je zajištěn do šterkové lože pod tepelným čerpadlem. Jelikož jsou venkovní rozvody vystaveny vlhkosti a nízkým teplotám je nutné venkovní potrubí izolovat použitím parotěsné izolace o tloušťce 25 mm [74]. Pro potrubí je dále zajištěno krytí povrchu ve formě plastové folie.



Obrázek 6.3 Doporučení pro umístění tepelného čerpadla [73]

Místo, které není vhodné pro instalaci tepelného čerpadla je pod okny, která vedou do klidových místností jako je ložnice z důvodu nežádoucího šíření hluku. Není také vhodné volit místo instalace bezprostředně vedle míst, která jsou frekventovaně využívána jako jsou například altány, terasy a podobné [74].

Jelikož je rodinný dům situován v řadové zástavbě domů je nutné myslet na vhodné umístění tepelného čerpadla z pohledu vlivu hluku. Tepelné čerpadlo vzduch – voda pro svůj provoz potřebuje kompresor a axiální ventilátor, kdy tyto komponenty jsou hlavním zdrojem hluku. Při provozu tepelného čerpadla je nutné dbát na dodržení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, které je dáno dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb [75]. Dle tohoto nařízení jsou zavedeny i hygienické limity hladiny akustického tlaku v chráněných venkovních prostor staveb, kdy jsou určeny pro denní dobu, která je od 6 do 22 hodin a pro kterou platí limit 50 dB(A). Noční doba je od 22 do 6 hodin a má limit 40 dB(A) [75]. Pro obě hodnoty se obvykle hygienický limit může snížit o 5 dB(A), a to kvůli tzv. tónové složce hluku [75].

Nejpřesnější zhodnocení, zda tepelné čerpadlo tyto limity reálně dodržuje, lze vyhodnotit zpracováním akustické studie. Uváděné hladiny akustického tlaku, které jsou dodány výrobcem, jsou jen pro nominální výkon tepelného čerpadla. Hodnoty pro maximální zatížení tepelného čerpadla, které jsou nejdůležitější, k dispozici nejsou.

6.2.3 Určení bodu bivalence

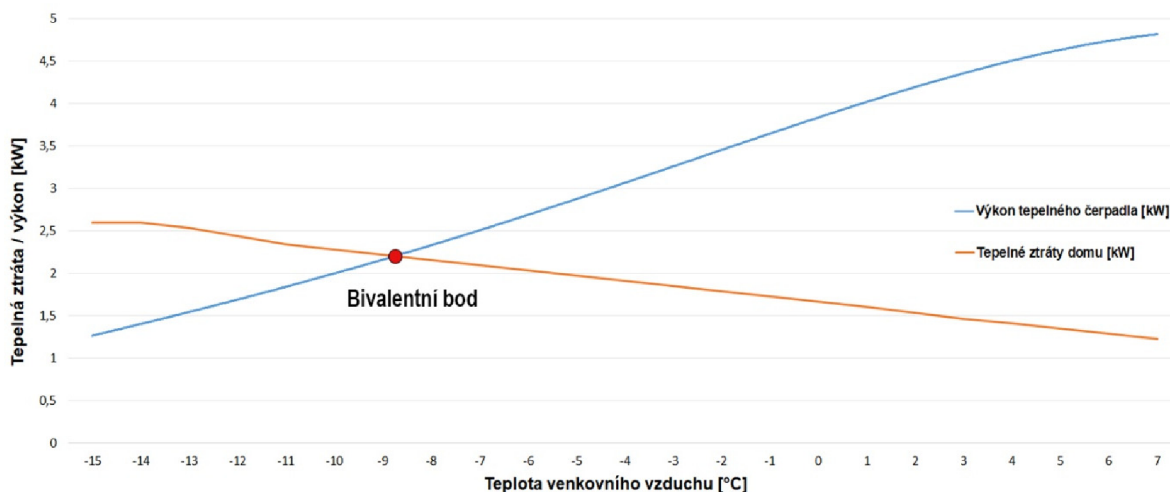
Parametry tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě lze vidět v tabulce 6.3. Hodnoty výkonu tepelného čerpadla a jeho příkonu jsou voleny pro výstupní teplotu vody 55 °C. Jednotlivé hodnoty byly určeny z technického manuálu vybraného tepelného čerpadla [73]. Hodnota COP, tedy topného faktoru, je teoretickým poměrem mezi topným výkonem a příkonem tepelného čerpadla. Tepelná ztráta rodinného domu byla určena pro každou hodnotu venkovní teploty z programu DEKSOFT – modulu tepelné ztráty.

Tabulka 6.3 Parametry tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě [73]

Venkovní teplota [°C]	Topný výkon tepelného čerpadla $Q_{t\check{c}}$ [kW]	Příkon tepelného čerpadla $P_{t\check{c},t}$ [kW]	COP [-]	Tepelná ztráta rodinného domu $\phi_{C,t}$ [kW]
10	3,68	0,94	3,90	1,05
9	4,00	1,10	3,62	1,11
8	4,36	1,30	3,35	1,17
7	4,72	1,53	3,08	1,23
6	4,68	1,55	3,02	1,29
5	4,64	1,57	2,96	1,35
4	4,60	1,59	2,89	1,41
3	4,56	1,62	2,81	1,47
2	4,52	1,65	2,75	1,54
1	4,12	1,45	2,84	1,60
0	3,72	1,27	2,93	1,66
-1	3,32	1,13	2,94	1,73
-2	2,92	0,98	2,99	1,79
-3	2,96	1,08	2,74	1,85
-4	3,00	1,21	2,48	1,91
-5	3,04	1,36	2,23	1,98
-6	3,08	1,56	1,98	2,04
-7	3,12	1,81	1,72	2,10
-8	2,62	1,56	1,68	2,16
-9	2,08	1,25	1,66	2,22
-10	1,64	1,00	1,64	2,28
-11	1,60	1,13	1,41	2,34
-12	1,56	1,23	1,27	2,44
-13	1,50	1,20	1,25	2,54
-14	1,46	1,18	1,24	2,59
-15	1,40	1,18	1,19	2,60

Z tabulky je patrné, že výkon tepelného čerpadla klesá se snižující se venkovní teplotou. Je tedy zřejmé, že se výkon tepelného čerpadla při určité venkovní teplotě dostane na hodnotu nižší, než je tepelná ztráta rodinného domu. Tomuto stavu, při kterém tato situace nastane, se říká tzv. bivalentní bod. Bivalentní bod se obvykle pohybuje v rozmezí od $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy v tomto bodě je nutné zapnout provoz bivalentního zdroje tepla [76]. Z tabulky je patrné, že pro mé tepelné čerpadlo a ztráty rodinného domu nastane bod bivalence při $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Na grafu 6.1 lze vidět křivku výkonu tepelného čerpadla a tepelné ztráty rodinného domu v závislosti na venkovní teplotě. Bod bivalence se nachází na průsečíku těchto dvou křivek.



Graf 6.1 Bod bivalence tepelného čerpadla

Jako bivalentní zdroj je volen pomocný elektrický ohřívač EH-SMH, který je určen pro monoblokové jednotky od společnosti Sinclair. Bivalentní zdroj je možno použít i v případě poruchy tepelného čerpadla. Trubkové topné těleso ohřívá vodu, kdy je v jímce umístěno čidlo bezpečnostního termostatu. Teplota vody se řídí dále pomocí regulace tepelného čerpadla. Výkon elektrického ohřívače je 3 kW pro připojení do hvězdy a 9 kW pro připojení do trojúhelníku [77].



Obrázek 6.4 Pomocný elektrický ohřívač pro monoblokové jednotky [77]

6.3 Otopná soustava nového zdroje tepla

Pro zdroj tepla ve formě tepelného čerpadla je obecně volen nižší teplotní spád otopné soustavy. Nejnižší teplotní spád se používá pro velkoplošné sálavé topné systémy ve formě podlahového, stropního a stěnového vytápění. Pro případ rekonstruovaného rodinného domu, kde se nachází převážně desková otopná tělesa volím teplotní spád 55/45 °C. Bude tedy nutné posoudit, zda je původní otopná soustava pro tento teplotní spád vhodná.

6.3.1 Přepočet otopné soustavy na nový teplotní spád

Vzhledem ke snížení teplotního spádu oproti původní otopné soustavě lze očekávat nižší tepelné výkony otopných těles. V rámci návrhu je tedy vhodné přepočítat jednotlivá otopná tělesa na nový teplotní spád a posoudit, zda tělesa vyhovují k pokrytí tepelných ztrát jednotlivých místností rodinného domu.

Při přepočtu tepelného výkonu otopného tělesa na odlišné podmínky vycházím z výpočtů, které jsou daný dle normy ČSN 06 1101 [78]. Přepočet tepelného výkonu na odlišné podmínky se provádí dle rovnice 6.1.

$$Q_T = Q_{Tn} \cdot f \quad [W] \quad (6.1)$$

Q_T ... tepelný výkon otopného tělesa [W]

Q_{Tn} ... jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa [W] ; f ... celkový opravný součinitel [–]

Celkový opravný součinitel se určuje dále dle vztahu 6.2.

$$f = f_{\Delta t} \cdot f_m(f_{\delta t}) \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \quad [–] \quad (6.2)$$

$f_{\Delta t}$... opravný součinitel na teplotní rozdíl [–]

f_m ... opravný součinitel na hmotnostní průtok vody [–]

f_x ... opravný součinitel na připojení tělesa [–] ; f_o ... opravný součinitel na úpravu okolí [–]

f_n ... opravný součinitel na počet článků [–]

f_p ... opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru [–]

Jelikož otopná soustava zůstane původní a mění se pouze teplotní spád této soustavy, tak se zabývám pouze opravným součinitelem na teplotní rozdíl $f_{\Delta t}$. Tento součinitel závisí na teplotním podílovém součinitelem, který se počítá dle rovnice 6.3. Do této rovnice dosazuji vzorový výpočet pro moji otopnou soustavu. Uvažuji zvolený teplotní spád 55/45 °C a vnitřní výpočtovou teplotu pro místnost 1.01 - kuchyň, která je 20 °C.

$$c_t = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} = \frac{45 - 20}{55 - 20} = 0,71 \quad [–] \quad (6.3)$$

c_t ... teplotní podílový součinitel [–] ; t_i ... vnitřní výpočtová teplota [°C]

t_{w1} ... teplota vstupní vody [°C] ; t_{w2} ... teplota výstupní vody [°C]

Pro případ, že $c_t \geq 0,7$ platí, že opravný součinitel na teplotní rozdíl se počítá dle rovnice 6.4. Vzhledem k tomu, že hodnota teplotního podílového součinitele vyšla pro tuto podmínku, pokračuji dále ve vzorovém výpočtu. Při výpočtu vycházím z hodnot původního teplotního spádu, který byl 75/65 °C a novou hodnotu teplotního spádu. Teplotní exponent byl volen dle katalogu výrobce Korado pro dané otopné těleso RADIK VK 22, 600 x 800 mm, kdy vychází hodnota $n = 1,3241$ [-] [79].

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right)^n = \left(\frac{\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i}{\frac{t_{w1n} + t_{w2n}}{2} - t_{in}} \right)^n = \left(\frac{\frac{55 + 45}{2} - 20}{\frac{75 + 65}{2} - 20} \right)^{1,3241} = 0,508 \text{ [-]} \quad (6.4)$$

Δt ... aritmetický teplotní rozdíl pro nové výpočetní podmínky [°C]

Δt_n ... aritmetický teplotní rozdíl v základním provozním stavu [°C]

n ... teplotní exponent zvoleného otopného tělesa [-]

Pro případ, že $c_t < 0,7$ platí, že opravný součinitel na teplotní rozdíl se počítá dle rovnice 6.5.

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t_{ln}}{\Delta t_{n,ln}} \right)^n \text{ [-]} \quad (6.5)$$

Δt_{ln} ... logaritmický teplotní rozdíl pro nové výpočetní podmínky [°C]

$\Delta t_{n,ln}$... logaritmický teplotní rozdíl v základním provozním stavu [°C]

Po výpočtu opravného součinitele na teplotní rozdíl se vypočítá tepelný výkon otopného tělesa pro odlišný teplotní spád dle rovnice 6.6. K tomuto přepočtu je nutné znát jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa při původním teplotním spádu 75/65 °C, který byl určen v kapitole 3.3.2, tab.3.4 a má hodnotu $Q_{Tn} = 1343 \text{ W}$.

$$Q_T = Q_{Tn} \cdot f_{\Delta t} = 1343 \cdot 0,508 = 682,24 \text{ [W]} \quad (6.6)$$

Následně se přepočítaný výkon otopného tělesa porovná s tepelnou ztrátou místnosti, která byla vypočtena v programu DEKSOFT – modulu tepelné ztráty, kdy její výsledky jsou uvedeny kapitole 5.5, tabulce 5.12. Dle této tabulky je návrhový tepelný výkon pro místnost 1.01 – kuchyň, o hodnotě $\phi_{HL} = 235,9 \text{ W}$. Vyhodnocení pokrytí tepelné ztráty se provede dle rovnice 6.7.

$$\frac{Q_T}{\phi_{HL}} \cdot 100 = \frac{682,24}{235,9} \cdot 100 = 2,89 \cdot 100 = 289,2 \text{ [%]} \quad (6.7)$$

Z výsledku tohoto porovnání je zřejmé, že nově přepočítaný výkon otopného tělesa pokryje s velkou rezervou tepelnou ztrátu dané místnosti.

Všechny hodnoty přepočítaných otopných těles v rodinném domě je možné vidět v tabulce 6.4. Výpočet tepelných ztrát, společně s přepočítáním hodnot výkonu otopných těles, byl proveden ve výpočtovém programu DEKSOFT – modulu tepelné ztráty, kdy protokol výpočtu je uveden v příloze diplomové práce. Z výsledku tabulky lze vidět, že všechna otopná tělesa pokrývají danou tepelnou ztrátu místností, proto není nutné měnit původní otopná tělesa a v rámci rekonstrukce počítám s původní otopnou soustavou, která je vyhovující.

Vzorový výpočet pro místnost 1.01 – kuchyň, se s výslednou hodnotou přepočteného výkonu otopného tělesa, která byla vypočtena v programu DEKSOFT, liší o přibližně o 3 W. Tento rozdíl je dán zaokrouhlováním při přepočtu v daném programu. Vzhledem k tomu že se jedná o zanedbatelný rozdíl, uvádím v tabulce hodnoty, které byly vypočítané v programu DEKSOFT.

Tabulka 6.4 Posouzení vhodnosti výkonu otopných těles

Tabulka vytápěných místností						
Číslo	Název	Návrhová tepelná ztráta prostupem ϕ_T [W]	Návrhová tepelná ztráta větráním ϕ_V [W]	Návrhový tepelný výkon ϕ_{HL} [W]	Výkon otopného tělesa Q_T [W]	Pokrytí tepelné ztráty Q_T/ϕ_{HL} [%]
1.01	Kuchyň	220,5	15,4	235,9	679,0	287,8
1.02	Koupelna	247,7	64,4	312,0	319,0	102,2
1.03	Chodba	266,5	151,9	418,5	1 188,6	284,0
1.06	Obývací pokoj	291,6	147,0	438,5	763,9	174,2
1.07	Ložnice	185,1	98,4	283,6	763,9	269,4
2.01	Obývací pokoj	258,4	93,4	351,8	679,0	193,0
2.03	WC	62,7	62,2	125,0	186,9	149,6
2.07	Ložnice	333,6	95,7	429,4	679,0	158,1
Celkem		1 866,1	728,5	2 594,6	-	-

6.3.2 Hydraulický výpočet otopné soustavy

V rámci posouzení původní otopné soustavy je vhodné provést hydraulický výpočet otopné soustavy a následně provést regulaci.

Hydraulický výpočet je proveden dle topenářské příručky [80]. Kompletní výpočet je uveden v příloze diplomové práce. Vzorový výpočet provádím pro závěrečný úsek prvního patra, který se napojuje na otopné těleso v místnosti 1.06 – obývací pokoj, kdy v příloze diplomové práce jde o úsek přívodního potrubí 13.

Dle rovnice 6.8 se vypočítá hmotnostní průtok, který závisí na celkovém přenášeném tepelném výkonu tohoto úseku, který má dle tabulky 6.4 pro toto těleso hodnotu $Q_T = 763,9 \text{ W}$. Měrná tepelná kapacita je brána pro vodu, která má hodnotu $c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a teplotní spád otopné soustavy je 55/45 °C.

$$\dot{m} = \frac{Q_T}{c \cdot \Delta t} = \frac{Q_T}{c \cdot (t_{w2} - t_{w1})} = \frac{763,9}{4180 \cdot (55 - 45)} \cdot 3600 = 65,79 \text{ [kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (6.8)$$

Q_T ... přenášený tepelný výkon daného úseku [W]

c ... měrná tepelná kapacita vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

\dot{m} ... hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$]; Δt_s ... teplotní spád soustavy [°C]

Dále byla spočítána rychlost proudění, a to dle rovnice 6.9. Rovnice závisí na už vypočteném hmotnostním průtoku a hustotě vody, která byla určena pro střední teplotu otopné vody 50 °C, kdy má hodnotu $\rho = 988 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [81]. Rovnice také závisí na vnitřním průměru daného úseku potrubí, které je v mém případě $d = 0,013 \text{ m}$. Rychlost proudění by neměla u menších otopných soustav překračovat hodnotu $w = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{65,79}{988 \cdot \frac{\pi \cdot 0,013^2}{4} \cdot 3600} \doteq 0,14 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.9)$$

w ... rychlost proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]; ρ ... hustota tekutiny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

d ... vnitřní průměr potrubí [m]

Ve výpočtu se dále určuje Reynoldsovo číslo, které je počítáno dle rovnice 6.10. Reynoldsovo číslo se spočítá na základě rychlosti proudění v potrubí, vnitřního průměru potrubí a kinematické viskozity vody. Kinematická viskozita je určena pro střední teplotu vody 50 °C, kdy má hodnotu $\nu = 0,556 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ [81].

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0,14 \cdot 0,013}{0,556 \cdot 10^{-6}} = 3273 \text{ [-]} \quad (6.10)$$

Re ... Reynoldsovo číslo [-]; ν ... kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Na základě výsledku Reynoldsova čísla se určuje součinitel třecích ztrát. Pro řešení součinitele třecích ztrát použijí Colebrookovu rovnici, která se používá pro přechodovou oblast a turbulentní proudění [80]. Řešení probíhá iteračně dle rovnice 6.11. Pro řešení rovnice je třeba znát Reynoldsovo číslo, hydraulickou drsnost stěny potrubí, která má pro měděné potrubí hodnotu $k = 0,0015 \text{ mm}$ [82] a vnitřní průměr potrubí.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_t}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda_0}} + \frac{k}{3,7 \cdot d} \right) \text{ [-]} \quad (6.11)$$

λ_t ... součinitel třecích ztrát [-]; λ_0 ... součinitel třecích ztrát – iterační [-]

k ... hydraulická drsnost stěn potrubí [m]

Dále se spočítá tlaková ztráta třením, a to dle rovnice 6.12. Pro výpočet je třeba znát součinitel třecích ztrát, který je v příloze diplomové práce vypočítán iteračně, kdy pro tento úsek má hodnotu $\lambda_t = 0,043$ [-]. Nezbytné je také znát délku daného úseku. Délka byla odečtena z výkresu vytápění, který je obsažen v příloze diplomové práce, a hodnota tohoto úseku je $L = 2,2 \text{ m}$. Zbylé hodnoty jako je hustota vody, rychlost proudění a vnitřní průměr potrubí jsou už známé.

$$\Delta p_\lambda = \lambda_t \cdot \frac{L \cdot \rho \cdot w^2}{2 \cdot d} = 0,043 \cdot \frac{2,2 \cdot 988 \cdot 0,14^2}{2 \cdot 0,013} = 70,45 \text{ [Pa]} \quad (6.12)$$

Δp_λ ... tlaková ztráta třením [Pa]

L ... délka daného úseku [m]

Tlaková ztráta místními odpory se vypočítá dle rovnice 6.13. Pro výpočet je nutné znát součinitel místních odporů. Do součinitelů místních odporů jsou započítány jednotlivé t-kusy, kdy tyto hodnoty jsou brány na základě dílčích poměrů vnitřních průměrů potrubí a poměrů hmotnostního průtoku [83]. Dále jsou do součinitelů místních odporů voleny jednotlivé hodnoty pro základní tvarovky v potrubí [84] a součinitele místních odporů pro otopná tělesa [79]. V rámci celé soustavy jsou započítány do místních tlakových ztrát také všechny nezbytné armatury. Hodnoty tlakových ztrát těchto armatur jsou odečteny z katalogů příslušných výrobců. Ve vzorovém výpočtu uvádím už celkový součinitel místních ztrát pro daný úsek o hodnotě $\xi = 15 [-]$, kdy se skládá z již zmíněných dílčích odporů, které jsou podrobněji uvedeny v příloze diplomové práce.

$$\Delta p_{\xi} = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 15 \cdot \frac{988 \cdot 0,14^2}{2} \doteq 145 [Pa] \quad (6.13)$$

Δp_{ξ} ... místní tlaková ztráta [Pa]

ξ ... součinitel místních ztrát [-]

Celková tlaková ztráta daného úseku se spočítá z rovnice 6.14. Ta je dána součtem dílčí tlakové ztráty třením a dílčí tlakové ztráty místními odpory pro daný úsek.

$$\Delta p_z = \Delta p_{\lambda} + \Delta p_{\xi} = 70,45 + 145 = 215,45 [Pa] \quad (6.14)$$

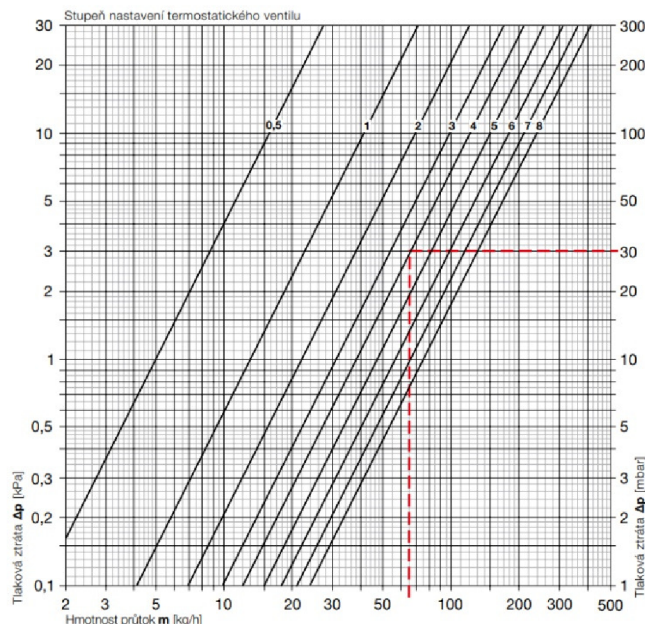
Δp_z ... celková tlaková ztráta [Pa]

Tímto vzorovým výpočtem se určila tlaková ztráta daného úseku pro přívodní potrubí, kdy pro výpočet potrubí zpátečky tohoto úseku se postupuje totožně. Změní se pouze součinitel místních ztrát při výpočtu t-kusů, proto bude odlišná tlaková ztráta místními odpory. Hodnoty výsledků se ve vzorovém výpočtu zanedbatelně liší od výpočtu uvedeného v příloze diplomové práce, to je dáno vlivem zaokrouhlování při vzorovém výpočtu.

Obdobným způsobem se spočítají zbylé úseky otopné soustavy. Dle znalosti tlakových ztrát těchto dílčích úseku se dále určí celkové tlakové ztráty jednotlivých úseků otopných těles.

6.3.3 Hydraulická regulace otopné soustavy

Na základě znalosti celkových tlakových ztrát dílčích úseku otopných těles se provede hydraulická regulace otopné soustavy. Postup je obdobný jak u regulace větrání. Určí se úsek otopného tělesa s nejvyšší tlakovou ztrátou v celém rodinném domě. K hodnotě celkové tlakové ztráty tělesa se přičte hodnota tlakové ztráty, která je daná pro otevřený ventil. Na základě znalosti hmotnostního průtoku daným otopným tělesem se určí tato tlaková ztráta pro nastavení 8, z obrázku 6.5.

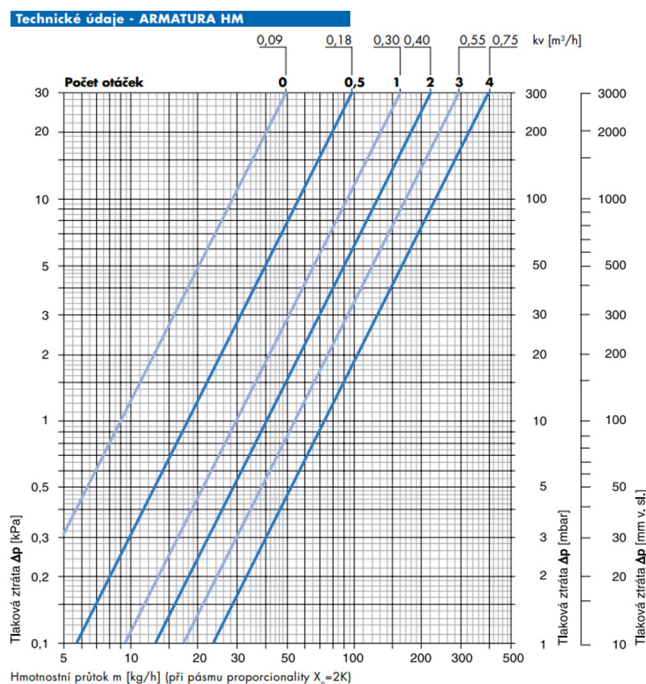


Obrázek 6.5 Nastavení termostatického ventilu pro otopná tělesa Korado [79]

Hodnoty tlakových ztrát a hmotnostních průtoků pro jednotlivá otopná tělesa rodinného domu jsou uvedeny v tabulce 6.5. Z tabulky je zřejmé, že nejvyšší tlaková ztráta je pro otopné těleso, které je v obývacím pokoji prvního patra. K této hodnotě tlakové ztráty se z obrázku 6.5 přičte dílčí tlaková ztráta o hodnotě 780 Pa, která byla určena pro průtok $65,79 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ a otevřený ventil, tedy nastavení ventilu 8. Na tuto konečnou hodnotu tlakové ztráty, která po sečtení činí $\Delta p_z = 3617 \text{ Pa}$, se budou regulovat zbylá otopná tělesa. Regulace probíhá na základě nastavení ventilu na otopném tělese, které se určí dle obrázku 6.5, a to dle hodnoty tlakové ztráty, která je potřebná k dorovnání, a hmotnostním průtokem. Tento postup je proveden pro všechna desková otopná tělesa. Trubkové těleso, které se nachází v koupelně je napojeno za pomoci armatury HM, na které se nastavuje počet otáček. Nastavení daných počtů otáček pro dorovnání tlakové ztráty tělesa se provede dle obrázku 6.6.

Tabulka 6.5 Tlakové ztráty otopných těles v rodinném domě a jejich regulace

Místnosti 1.NP	Hmotnostní průtok \dot{m} [kg·h ⁻¹]	Délka úseku L [m]	Celková tlaková ztráta úseku Δp_z [Pa]	Regulace - hodnota [Pa]	Stupeň nastavení / počet otáček
Chodba	102,14	8,12	2243,22	1373,41	Nastavení 8
Koupelna	27,47	8,48	1601,06	2015,57	Počet otáček 0,5
Kuchyň	58,48	14,96	2587,03	1029,60	Nastavení 7
Ložnice	65,79	33,28	2833,49	783,14	Nastavení 8
Obývací pokoj	65,79	33,38	2836,63	780,00	Nastavení 8
Místnosti v 2.NP	Hmotnostní průtok \dot{m} [kg·h ⁻¹]	Délka úseku L [m]	Celková tlaková ztráta úseku Δp_z [Pa]	Regulace - hodnota [Pa]	Stupeň nastavení
WC	16,10	13,82	2149,19	1467,44	Nastavení 2
Obývací pokoj	58,48	24,82	2503,15	1113,48	Nastavení 6
Ložnice	63,30	42,22	2614,76	1001,87	Nastavení 7



Obrázek 6.6 Nastavení počtu otáček - Armatura HM [85]

6.3.4 Expanzní nádoba otopné soustavy

Dalším nezbytným prvkem otopné soustavy je expanzní nádoba. Součástí tepelného čerpadla je expanzní nádoba o objemu 2 l, kdy je nutné ověřit, zda je pro moji otopnou soustavu tento objem dostatečný. Výpočet je proveden dle topenářské příručky [80]. Při výpočtu vycházím z rovnice 6.15 pro určení expanzního objemu. Pro výpočet je nutné znát objem vody v soustavě, který je vypočítán pro dílčí úseky potrubí a zvolen pro jednotlivá otopná tělesa z katalogu Korado [79]. Objem vody v soustavě je detailněji spočítán v příloze mé práce, kdy celkový objem soustavy je $V_o = 62,57 \text{ l}$.

Dále je třeba určit součinitel zvětšení objemu, který volím dle maximální návrhové teploty vody při ohřátí z 10 °C, kdy hodnota je $n_o = 0,01413[-]$ [86].

$$V_e = 1,3 \cdot V_o \cdot n_o = 1,3 \cdot 62,57 \cdot 0,01413 \doteq 1,15 \text{ [l]} \tag{6.15}$$

V_e ... expanzní objem [l] ; V_o ... objem vody v soustavě [l]

n_o ... součinitel zvětšení objemu [-]

Vypočtený expanzní objem je pouze nejmenší objem, který nádoba musí pojmout. Je nutné proto dále spočítat předběžný objem expanzní nádoby, a to dle rovnice 6.16.

$$V_{cp} = V_e \cdot \frac{p_{hp} + 100}{p_{hp} - p_d} = 1,15 \cdot \frac{250 + 100}{250 - 50} = 2,01 \text{ [l]} \tag{6.16}$$

V_{cp} ... předběžný objem expanzní nádoby [l]

p_{hp} ... horní provozní přetlak [kPa] ; p_d ... dolní provozní přetlak [kPa]

Z výpočtů je zřejmé, že objem expanzní nádoby, která je součástí jednotky tepelného čerpadla, nevyhovuje. Je tedy nutné do otopné soustavy přidat doplňující expanzní nádobu. Do otopné soustavy volím přídatnou expanzní nádobu Reflex S 2/10 o objemu 2 l.



Obrázek 6.7 Expanzní nádoba Reflex S 2/10 -2 l [87]

Pro celkový objem, který je dohromady $V_c = 4 \text{ l}$, je tedy vhodné vypočítat skutečný nejvyšší provozní přetlak, kdy výpočet je patrný z rovnice 6.17.

$$p_h = \frac{p_d \cdot V_c + 100 \cdot V_e}{V_c - V_e} = \frac{50 \cdot 4 + 100 \cdot 1,15}{4 - 1,15} = 110,5 \text{ [kPa]} \quad (6.17)$$

p_h ... skutečný nejvyšší provozní přetlak [kPa]

6.3.5 Výpočet pojistného ventilu

K ochraně proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku je použit pojistný ventil. Průřez sedla pojistného ventilu se počítá dle rovnice 6.18. Maximální dovolený tlak otopné soustavy $p_{ot} = 250 \text{ kPa}$ [73]. Pro výpočet je nutné znát výtokový součinitel, který má hodnotu $\alpha_v = 0,444$ [-] a je určen na základě zvoleného pojistného ventilu typu DUCO 1/2" x 3/4", 2,5 bar o nejmenším průtočném průřezu 113 mm² [88].

$$S_o = \frac{2 \cdot Q_p}{\alpha_v \cdot p_{ot}^{0,5}} = \frac{2 \cdot 4}{0,444 \cdot 250^{0,5}} \doteq 1,14 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (6.18)$$

S_o ... průřez sedla pojistného ventilu [mm²]

Q_p ... výkon zdroje [kW]; α_v ... výtokový součinitel [-]

p_{ot} ... otevírací přetlak pojistního ventilu [kPa]

Dle rovnice 6.19 se dále vypočítá minimální vnitřní průměr pojistného potrubí.

$$d_v = 10 + 0,6 \cdot Q_p^{0,5} = 10 + 0,6 \cdot 4^{0,5} = 11,2 \text{ [mm]} \quad (6.19)$$

d_v ... minimální vnitřní průměr pojistného potrubí [mm]

6.3.6 Oběhové čerpadlo otopné soustavy

Součástí jednotky tepelného čerpadla je integrované oběhové čerpadlo WILO Yonos PARA, které lze vidět na obrázku 6.8.



Obrázek 6.8 Oběhové čerpadlo WILO Yonos PARA [73]

Okruh otopné soustavy rodinného domu má celkovou tlakovou ztrátu 18,9 kPa a maximální objemový průtok je $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Technické parametry oběhového čerpadla lze vidět v tabulce 6.6. Z těchto parametrů je patrné, že oběhové čerpadlo, které je integrované v jednotce tepelného čerpadla Sinclair, je pro mou otopnou soustavu dostačující.

Tabulka 6.6 Technické parametry oběhového čerpadla WILO [73]

Maximální dopravní výška H_{\max} [m]	Maximální objemový průtok Q_{\max} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
7,3	3,3

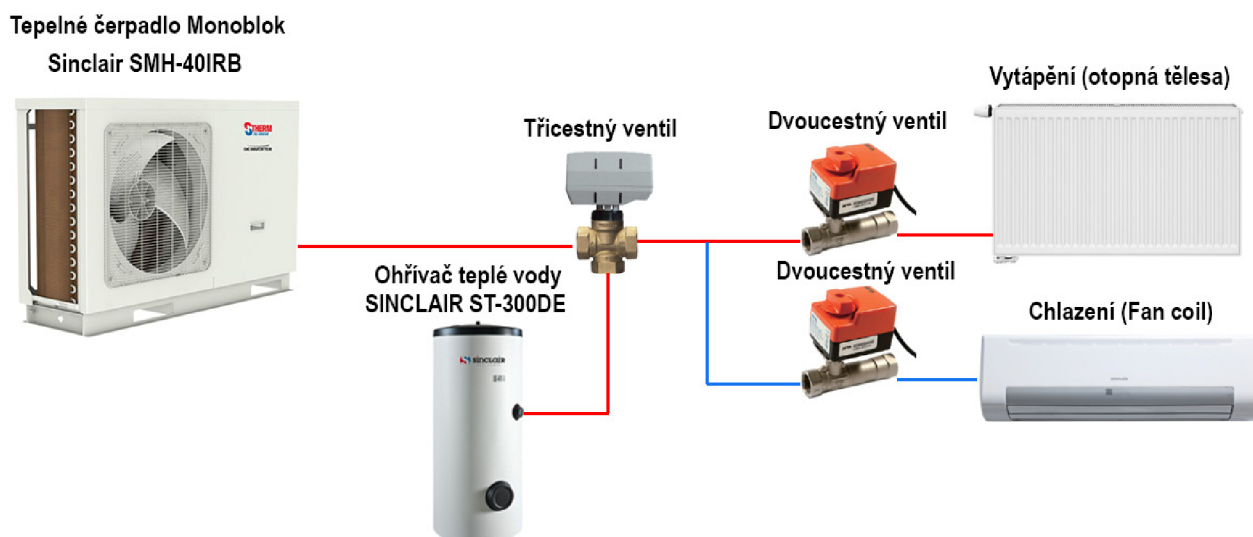
6.3.7 Ekvitermní regulace tepelného čerpadla

Součástí jednotky tepelného čerpadla je ekvitermní regulace. Na základě ekvitermní regulace se upravuje vstupující teplota topné vody do otopné soustavy, a to na základě venkovní teploty, kterou zaznamenává čidlo teploty, které je součástí jednotky tepelného čerpadla. Toto nastavení je u tepelných čerpadel výhodné kvůli tomu, že čím nižší teplota topné vody, tím jsou nižší náklady na provoz tepelného čerpadla. Tento systém regulace tedy lépe koresponduje s tepelnou ztrátou rodinného domu.

V rámci nastavení si lze zvolit předem definované ekvitermní křivky, nebo si ji mohou definovat individuálně a vytvořit si vlastní ekvitermní křivku, dle svých požadavků. Ekvitermní regulaci je možné doplnit o čidlo, které měří teplotu některé z obytných místností. Instalací vnitřního čidla se zohlední vnitřní a vnější tepelné zisky, které zpřesní samotnou ekvitermní regulaci, což má za následek snížení nákladů na provoz tepelného čerpadla [89].

6.3.8 Řízení soustavy rodinného domu

Zjednodušené schéma řízení celé soustavy za pomoci tepelného čerpadla lze vidět na obrázku 6.9. Z tohoto obrázku je patrné, že se soustava může dělit na několik dílčích okruhů. Samotné tepelné čerpadlo umí ovládat jeden třícestný ventil se servopohonem a dva dvoucestné ventily se servopohonem, které dokáží přepínat tok teplotnosného média dle přednastavených režimů.



Obrázek 6.9 Zjednodušené grafické znázornění soustavy (přizpůsobeno z [73])

Jeden z režimů, který bude používán je tzv. „Topení + TUV“, kdy se jedná o zajištění vytápění rodinného domu a ohřevu teplé vody v ohřivači. Na základě tohoto režimu se doporučuje nastavit prioritu nejprve pro ohřev teplé vody, kdy třícestný ventil zajistí přepnutí proudění teplotnosné látky do výměníku tepla ohřivače teplé vody. Na základě odezvy čidla teploty zásobníku se zajistí, aby teplota vody byla na dostatečné úrovni. Splněním tohoto požadavku, a to nahřátí ohřivače na dostatečnou teplotu, se následně třícestný ventil přepne na okruh vytápění. Přívod teplotnosného média do výměníku tepla je tedy uzavřen a teplotnosné médium proudí do jednotlivých otopných těles.

Dalším režimem, který se teoreticky může v budově využít je tzv. „Chlazení + TUV“. Tepelné čerpadlo může mít stejně jak u předchozího režimu nastavenou prioritu na ohřev teplé vody, kdy zde je podstata totožná. Pro požadavek na chlazení se tepelné čerpadlo přepne za pomoci reverzačního ventilu do reverzačního stavu, což znamená, že se obrátí chod tepelného čerpadla. To znamená, že tepelné čerpadlo může mít výstupní teplotu daného média například 7 °C. Kdy toto médium je dopravováno do dílčích fan coil jednotek, které by se nacházeli v rodinném domě. V režimu chlazení je důležité poznamenat, že dvoucestný ventil pro okruh vytápění je uzavřený a pro okruh chlazení je dvoucestný ventil otevřený. Obráceně to platí pro režim vytápění, kdy je dvoucestný ventil pro chlazení uzavřený a pro vytápěcí okruh je dvoucestný ventil otevřený. Tento způsob ovládání je dán kvůli logice řízení tepelného čerpadla Sinclair.

6.4 Posouzení možnosti chlazení – fan coil jednotka

Monoblokové tepelné čerpadlo SINCLAIR SMH-40IRB lze využít v rodinném domě kromě přípravy teplé vody a vytápění i pro chlazení. Chlazení je možné zajistit za použití fan coil jednotek, které nabízí firma Sinclair. Specificky lze například instalovat nástěnnou fan coil jednotku typu SF-250HM, která je z nabízených produktů výkonově nejslabší, kdy ji lze vidět na obrázku 6.10. Tato jednotka nabízí kromě možnosti chlazení obytných místností také možnost vytápění.



Obrázek 6.10 Nástěnná fan coil jednotka Sinclair SF-250HM [90]

Specifické parametry této jednotky lze vidět v tabulce 6.7. Hodnota pro výkon chlazení je určena pro teplotu vody na vstupu 7 °C, při teplotě vzduchu 27 °C. Hodnota pro výkon topení je dána pro teplotu vody na vstupu 50 °C, při teplotě vzduchu 20 °C. Z tabulky je patrné, že dané výkony fan coil jednotky pro chlazení a vytápění jsou poměrně výkonné pro rekonstruovaný rodinný dům.

Tabulka 6.7 Technické specifikace fan coil jednotky Sinclair SMH-40IRB [90]

Výkon chlazení nízké / střední / vysoké nastavení [kW]	Výkon topení nízké / střední / vysoké nastavení [kW]	Příkon jednotky [W]	Maximální hladina akustického tlaku v 1 m [dB(A)]
2,39 / 2,59 / 2,70	2,63 / 3,03 / 3,29	13	32

Vzhledem k tomu, že je v rodinném domě využita pro vytápění funkční otopná soustava s převážně deskovými otopnými tělesy, je použití fan coil jednotek pro tento účel nevhodné. Použitím fan coil jednotek pro vytápění je také nepříznivé s ohledem na zachování akustického komfortu obytných místností v porovnání se současnou otopnou soustavou.

Z hlediska chlazení je pro zabránění přehřívání rodinného domu využito několik funkčních opatření.

Prvním opatřením je nucené větrání, které je zajištěno větrací jednotkou Zehnder ComfoAir Q. Větrací jednotka poskytuje v letních dnech vysokou účinnost zpětného získávání chladu a je vybavena modulačním bypassem pro ventilační chlazení [91]. Druhým opatřením je zajištění vnějších žaluzií pro okenní výplně, která jsou orientovaná na jižní stranu rodinného domu, čímž se zajistí žádaná regulace slunečního záření do obytných místností. Vzhledem k těmto už aplikovaným opatřením neuvažují v řešení rekonstrukce rodinného domu s využitím fan coil jednotek pro chlazení.

6.5 Spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla

V této kapitole se věnuji určení spotřeby elektrické energie tepelného čerpadla na přípravu teplé vody a vytápění. Hodnoty těchto dílčích spotřeb budou dále využity pro ekonomické zhodnocení, kdy tyto hodnoty budou dále použity jako podklad pro návrh využití obnovitelného zdroje energie.

6.5.1 Určení spotřeby elektrické energie na přípravu teplé vody

Pro určení denní spotřeby elektrické energie k přípravě teplé vody vycházím z rovnice 6.20, která je určena ze zdroje [92].

Pro vzorový výpočet předpokládám s koeficientem energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody o hodnotě $z = 0,5 [-]$, která je dána pro rozvody běžných staveb. Předpokládám pobyt čtyř osob, kdy na jednu osobu počítám s denní spotřebou $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ vody, což je rovno $50 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$. Teplota ohřáté vody je pro můj teplotní spád otopné soustavy $t_2 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro teplotu studené vody předpokládám s hodnotou $t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} = \quad (6.20)$$
$$= (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot (0,05 \cdot 4) \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1000} \doteq 15,70 [\text{kWh} \cdot \text{den}^{-1}]$$

$Q_{TV,d}$... denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody [$\text{kWh} \cdot \text{den}^{-1}$]

z ... koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody [-]

ρ ... měrná hmotnost vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

c ... měrná tepelná kapacita vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

V_{2p} ... celková potřeba teplé vody za den [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

t_2 ... teplota ohřáté vody [$^\circ\text{C}$]; t_1 ... teplota studené vody [$^\circ\text{C}$]

Vzorové určení měsíční spotřeby elektrické energie na přípravu teplé vody počítám pro měsíc leden, kdy vycházím z rovnice 6.21. Počet dnů v tomto měsíci je rovno $d_p = 31 [-]$.

$$Q_{TV,m} = \frac{Q_{TV,d} \cdot d_p}{1000} = \frac{15,70 \cdot 31}{1000} \doteq 0,487 [\text{MWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}] \quad (6.21)$$

$Q_{TV,m}$... měsíční spotřeba pro ohřev teplé vody [$\text{MWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$]

d_p ... počet dnů v daném měsíci [-]

Měsíční spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla pro účel přípravy TV je uvedena v rovnici 6.22. Tato spotřeba je dána podílem měsíční spotřeby pro ohřev TV, která byla určena dle rovnice 6.21 a topného faktoru tepelného čerpadla.

Hodnoty dílčích topných faktorů pro dané venkovní teploty jsou určeny v kapitole 6.2.3, v tabulce 6.3. Pro měsíc leden a město Olomouc je průměrná venkovní teplota otopného období $t_L = -2,7\text{ °C}$ [93]. Z tabulky 6.3 si najdu topné faktory pro nejbližší teploty, kdy pro -3 °C je $COP_t = 2,74$ [-] a pro -2 °C je $COP_t = 2,99$ [-]. Za pomoci lineární interpolace [94] dopočítám topný faktor pro $t_L = -2,7\text{ °C}$. Pro tuto teplotu má topný faktor hodnotu $COP_t = 2,81$ [-].

$$E_{TV,r} = \frac{Q_{TV,m}}{COP_t} = \frac{0,487}{2,81} \doteq 0,173 \text{ [MWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}] \quad (6.22)$$

$E_{TV,r}$... měsíční spotřeba elektrické energie TČ pro ohřev teplé vody [MWh · měsíc⁻¹]

COP_t ... topný faktor při dané venkovní teplotě [-]

Obdobným způsobem je určena spotřeba na přípravu teplé vody pro zbylé měsíce. Kompletní výpočet pro všechny měsíce v roce je proveden v příloze diplomové práce.

6.5.2 Určení spotřeby elektrické energie na vytápění

Určení denní doby provozu tepelného čerpadla při maximálním topném výkonu, tak aby za den pokrylo danou tepelnou ztrátu rodinného domu je uvedeno v rovnici 6.23. Tato rovnice je poměrem tepelné ztráty rodinného domu při průměrné venkovní teplotě v daném měsíci a maximálního topného výkonu tepelného čerpadla pro vytápění při totožné teplotě.

Vzorový výpočet provádím opět pro měsíc leden. Tepelná ztráta pro rodinný dům při $t_L = -2,7\text{ °C}$ je dopočítána za pomoci lineární interpolace z kapitoly 6.2.3, tabulky 6.3, kdy hodnota tepelné ztráty je $\phi_{C,t} = 1,82\text{ kW}$. Obdobným způsobem je dopočítán z této tabulky i topný výkon tepelného čerpadla, který vyjde pro tuto teplotu $Q_{tč} = 2,94\text{ kW}$.

$$t_{provoz} = \frac{24 \cdot \phi_{C,t}}{Q_{tč}} = \frac{24 \cdot 1,82}{2,94} = 14,85 \text{ [h]} \quad (6.23)$$

t_{provoz} ... doba provozu tepelného čerpadla za den [h]

$\phi_{C,t}$... tepelná ztráta rodinného domu při dané venkovní teplotě [kW]

$Q_{tč}$... topný výkon tepelného čerpadla při dané venkovní teplotě [kW]

Energie dodaná tepelným čerpadlem v daném měsíci a při vypočtené době provozu je určena z rovnice 6.24. Pro měsíc leden je počet dní roven $d_p = 31$ a doba provozu je vypočtena z předešlé rovnice 6.23.

$$E_{tč,h} = \frac{Q_{tč} \cdot d_p \cdot t_{provoz}}{1000} = \frac{2,94 \cdot 31 \cdot 14,85}{1000} = 1,35 \text{ [MWh]} \quad (6.24)$$

$E_{tč,h}$... energie dodaná TČ pro daný měsíc a dobu provozu [MWh]

Spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla pro potřeby vytápění je spočítána dle rovnice 6.25. Při výpočtu vycházím z dodané energie tepelným čerpadlem pro daný měsíc a dobu provozu, který je spočten v rovnici 6.24 a topného výkonu tepelného čerpadla pro danou teplotu, který už byl určen pro rovnici 6.23. Příkon tepelného čerpadla je určen z kapitoly 6.2.3, tabulky 6.3, kdy je určen opět lineární aproximací pro teplotu $t_L = -2,7\text{ }^\circ\text{C}$, kdy jeho hodnota je $P_{t\check{c},t} = 1,05\text{ kW}$.

$$E_{t\check{c},r} = \frac{E_{t\check{c},h} \cdot P_{t\check{c},t}}{Q_{t\check{c}}} = \frac{1,35 \cdot 1,05}{2,94} \doteq 0,484 \text{ [MWh]} \quad (6.25)$$

$E_{t\check{c},r}$... spotřeba elektrické energie TČ pro potřeby vytápění [MWh]

$P_{t\check{c},t}$... příkon tepelného čerpadla pro danou venkovní teplotu [kW]

Celková měsíční spotřeba je dána součtem dílčích hodnot spotřeby elektrické energie pro přípravu teplé vody $E_{TV,r}$ a pro vytápění $E_{t\check{c},r}$. Výpočty pro zbylé měsíce v roce jsou provedeny obdobným způsobem a jsou uvedeny v příloze diplomové práce.

6.5.3 Roční spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla

Výsledky dílčích spotřeb elektrické energie pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny v tabulce 6.8. Pro dílčí měsíce v roce, které mají určený provoz tepelného čerpadla pro ohřev TV a vytápění, je určena průměrná venkovní teplota pro otopné období pro město Olomouc [93]. Pro zbylé měsíce, kdy je provoz tepelného čerpadla určen jen pro ohřev TV vycházím z průměrných teplot vzduchu pro rok 2021, který je dán pro Olomoucký kraj dle Českého hydrometeorologického ústavu [95].

Tabulka 6.8 Roční spotřeba elektrické energie dle specifického použití

Měsíc	Průměrná venkovní teplota [°C]	Provoz tepelného čerpadla	Příprava teplé vody $E_{TV,r}$ [MWh]	Vytápění $E_{t\check{c},r}$ [MWh]	Celková spotřeba el. energie [MWh]
Leden	-2,7	Ohřev TV a vytápění	0,173	0,484	0,657
Únor	-1,2		0,149	0,385	0,534
Březen	3,4		0,171	0,376	0,547
Duben	8,5		0,137	0,237	0,374
Květen	13,9		0,145	0,221	0,366
Červen	18,9	Ohřev TV	0,124	-	0,124
Červenec	19,5		0,126	-	0,126
Srpen	16,2		0,136	-	0,136
Září	14	Ohřev TV a vytápění	0,140	0,214	0,354
Říjen	8,7		0,137	0,238	0,375
Listopad	3,3		0,166	0,368	0,534
Prosinec	-0,5		0,166	0,425	0,591
Celkem za rok			1,769	2,948	4,717

6.6 Zhodnocení energetického opatření – nový zdroj tepla

V rámci rekonstrukce je pro rodinný dům navržen nový zdroj tepla ve formě tepelného čerpadla vzduch – voda, který je využit pro přípravu teplé vody a vytápění. Oproti původnímu zdroji tepla, jímž byl plynový kotel, se výrazně změní forma energonositelů dílčích dodaných energií. Jedná se především o změnu pro vytápění a přípravu teplé vody, kdy jsou pro tepelné čerpadlo dva energonositele, a to elektrická energie a energie okolního prostředí.

Energonositel ve formě elektrické energie je brán pro pohon tepelného čerpadla a v rámci faktoru primární energie z neobnovitelných zdrojů je hodnocen nejhůře. Naopak energonositel ve formě energie okolního prostředí je brán dle faktoru primární energie z neobnovitelných zdrojů jako obnovitelný zdroj energie, proto má tuto hodnotu nejnižší ze všech energonositelů. Dle hodnoty sezonního průměrného topného faktoru daného tepelného čerpadla se určí poměr těchto energonositelů, kdy ve větším poměru je vždy využita energie okolního prostředí.

V tabulce 6.9 lze vidět aktuální hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy, které jsou uvedeny po provedení všech energeticky úsporných opatření, kdy jsou porovnány s referenčními hodnotami. Z této tabulky je patrné, že po návrhu nového zdroje tepla, ve formě tepelného čerpadla, klesne primární energie z neobnovitelných zdrojů pod požadovanou referenční hodnotu. Je tedy patrné že oproti plynovému kotli, který zajišťuje vytápění a přípravu teplé vody, o specifické účinnosti, je použití tepelného čerpadla z pohledu energetické náročnosti výhodnější.

Z tohoto porovnání tedy plyne, že podmínky pro režim budovy s téměř nulovou spotřebou energie, které byly dány referenčními hodnotami, jsou v rodinném domě po aplikování všech energeticky úsporných opatření splněny.

Hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy jsou uvedeny ve vypracovaném průkazu energetické náročnosti budovy, který je uvedený v příloze diplomové práce.

Tabulka 6.9 Ukazatele energetické náročnosti budovy – porovnání

Ukazatele energetické náročnosti budovy	Stav domu po návrhu TČ	Referenční hodnoty	Splnění požadavků
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0,24	0,24	SPLNĚNO
Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	56	69	SPLNĚNO
Celková dodaná energie Q_{fuel} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	52	83	SPLNĚNO

Při využití tepelného čerpadla lze sjednat se současným dodavatelem, kterým je E.ON Energie, novou distribuční sazbu. Tato distribuční sazba je D 57d, která je dvoutarifní, kdy odběr elektřiny se dělí na tzv. vysoký tarif a nízký tarif. Vysoký tarif trvá 4 hodiny denně a nízký tarif trvá 20 hodin denně, kdy specifické rozdělení času na vysoký a nízký tarif udává daný distributor energie.

Cena jednotkové ceny elektrické energie je určena dle ceníku Variant PRO 24 Zima I [28], kdy vysoký tarif má cenu $5\,454 \text{ Kč}\cdot\text{MWh}^{-1}$ a nízký tarif je $5\,233 \text{ Kč}\cdot\text{MWh}^{-1}$. Pro výpočet nákladů vycházím z poměrové ceny, která je dána zastoupením hodin jednotlivých tarifů, kdy tato cena vychází na $5\,270 \text{ Kč}\cdot\text{MWh}^{-1}$.

V tabulce 6.10 je možné vidět porovnání nákladů na provoz rodinného domu, kdy porovnávám stav původní oproti stavu po provedení navržených energeticky úsporných opatření. Z tohoto porovnání je zřejmé, že se výrazně sníží celkové náklady na provoz rodinného domu. V původním stavu rodinného domu byla spotřeba zemního plynu určena pouze pro plynový kotel, který zajišťoval přípravu teplé vody a vytápění. Stav po rekonstrukci zahrnuje spotřebu elektrické energie pro zajištění nuceného větrání s rekuperací a provoz tepelného čerpadla, které zajišťuje přípravu teplé vody a vytápění.

Vzhledem k nové distribuční sazbě je vhodné započítat i snížené náklady za spotřebu energie, která je dána běžnými spotřebiči domácnosti, kdy uvažuji pro oba stavy se stejnou průměrnou spotřebou, která byla určena v kapitole 3.6.2. Určení spotřeby elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla a dílčích hodnot nákladů je podrobněji uvedeno v příloze diplomové práce.

Tabulka 6.10 Náklady na provoz rodinného domu – porovnání

	Původní stav domu	Rekonstruovaný stav domu
Spotřeba zemního plynu na vytápění a přípravu teplé vody [$\text{MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$]	20,19	-
Náklady na vytápění a přípravu teplé vody [$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$]	50 586	-
Spotřeba elektrické energie na provoz technického vybavení rodinného domu [$\text{MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$]	-	5,02
Náklady na provoz technického vybavení rodinného domu [$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$]	-	26 472
Průměrná spotřeba elektrických spotřebičů rodinného domu [$\text{MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$]	3,729	
Náklady na provoz elektrických spotřebičů domácnosti [$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$]	25 122	19 651
Celkové roční úspory na provoz rodinného domu [$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$]	29 585	

Celková cena tepelného čerpadla vzduch - voda, nepřímotopného ohříváče teplé vody a nezbytného příslušenství do kterého zahrnují i odhad ceny montáže je stanovena v kusovníku, který je uveden v příloze diplomové práce.

Celkové ekonomické zhodnocení všech energeticky úsporných opatření v rámci rekonstrukce je uvedeno v tabulce 6.11. Z tohoto zhodnocení je patrné, že doba návratnosti za všechna aplikovaná energeticky úsporná opatření bez vlivu dotací je s přihlédnutím k jejich životnosti ekonomicky nevýhodné.

Vzhledem k tomu, že se nahrazuje zdroj tepla z plynového kotle na tepelné čerpadlo vzduch – voda, není možné do ekonomického zhodnocení započítat další příspěvek dotačního programu Nová zelená úsporám. To je dáno tím, že se na tuto konkrétní výměnu žádný finanční příspěvek v současné době nevztahuje. V době návratnosti s využitím dotací Nová zelená úsporám tedy počítám jen s předchozími finančními příspěvků, které byly určeny v předchozích kapitolách této práce. S přihlédnutím na životnosti jednotlivých opatření usuzuji, že i přes využití dílčích dotací je doba návratnosti příliš vysoká a tyto energeticky úsporná opatření jako celek nelze z ekonomického hlediska doporučit.

Tabulka 6.11 Ekonomické zhodnocení dílčích opatření v rámci rekonstrukce

Celková cena za komplexní zateplení a výměnu otvorových výplní s DPH [Kč]	519 570
Celková cena nuceného větrání se ZZT s DPH [Kč]	250 127
Celková cena nového zdroje tepla s DPH [Kč]	229 537
Celková cena za rekonstrukci s DPH [Kč]	999 235
Doba návratnosti [rok]	34
Výše dotace Nová zelená úsporám	
Výše dotace pro zateplení vnějších stěn, střechy šikmé a stropu (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	170 180
Výše dotace pro výměnu otvorových výplní (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	65 077
Výše dotace pro pořízení centrálního systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla [Kč]	100 000
Náklady na provedení blower door testu [Kč]	- 6 000
Dotační bonus za kombinaci opatření [Kč]	10 000
Dotace na projektovou podporu [Kč]	30 000
Celková výše dotace [Kč]	369 257
Ekonomické zhodnocení po započtení dotací Nová zelená úsporám	
Celková cena rekonstrukce domu s DPH po započtení dotací Nová zelená úsporám [Kč]	629 978
Doba návratnosti po započtení dotací [rok]	21

7 Rekonstrukce – návrh využití obnovitelného zdroje energie

Tato kapitola diplomové práce je věnována návrhu využití obnovitelného zdroje energie ve formě fotovoltaického systému. V této kapitole se zabývám porovnáním dvou nabídek fotovoltaických elektráren. Tyto FVE se od sebe liší převážně instalovaným výkonem, kdy tyto nabídky mezi sebou porovnám a určuji, která je pro použití v rodinném domě výhodnější. Toto porovnání je ve formě vypracování energetické simulace výroby a využití elektrické energie v průběhu roku, a to v programu DEKSOFT FVE. V kapitole také posuzuji možnost využití dotačního programu Nová zelená úsporám a na závěr kapitoly vybírám nejvhodnější nabídku, kterou ekonomicky zhodnocuji.

7.1 Popis fotovoltaického systému

Pro návrh fotovoltaického systému vycházím ze dvou nabídek od firmy S-Power Energies, a to S-Power MIDI [96] a S-Power TOP [97]. Obě nabídky obsahují stejné prvky fotovoltaického systému, které v této kapitole blíže popisují.

7.1.1 Fotovoltaické panely

V obou nabídkách fotovoltaických elektráren S-power je použit monokrystalický fotovoltaický panel AEG 450 Wp s hliníkovým rámem. Tento typ fotovoltaického panelu lze názorně vidět na obrázku 7.1.

Pro nabídku S-Power MIDI, se počítá se čtrnácti kusy fotovoltaických panelů, kdy instalovaný výkon elektrárny je 6,3 kWp a teoretická předpokládaná roční výroba elektrické energie je uváděna v rozmezí 6 200 až 6 400 kWh [96]. Pro nabídku S-Power TOP, je počítáno s dvaceti kusy fotovoltaických panelů, kdy instalovaný výkon elektrárny je 9 kWp a teoretická předpokládaná roční výroba elektrické energie se pohybuje v rozmezí 8 880 až 9 200 kWh [97].



Obrázek 7.1 Fotovoltaický panel AEG 450 Wp [98]

Jednotlivé parametry vybraného fotovoltaického panelu lze vidět v tabulce 7.1. Technická data jsou uvedena pro standardní testovací podmínky (STC), což znamená, že charakteristiky fotovoltaických panelů jsou měřeny při podmínkách intenzity záření $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, teplotě panelu $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a světelném spektru $\text{AM} = 1,5$ [99].

Tabulka 7.1 Parametry fotovoltaických panelů AEG 450 Wp [99]

Mechanické charakteristiky	
Rozměry [mm]	2108 x 1048 x 35
Hmotnost [kg]	24
Technická data – dle STC	
Nominální výkon [Wp]	450
Jmenovité napětí [V]	41,32
Jmenovitý proud [A]	10,89
Napětí naprázdno [V]	48,03
Proud nakrátko [A]	11,37
Účinnost modulu [%]	20,4

7.1.2 Třífázový střídač

Další podstatnou částí celého systému je střídač, který převádí stejnosměrný proud z fotovoltaických panelů na proud střídavý, který se může využít v domácnosti. Pro fotovoltaický systém rodinného domu použijí hybridní třífázový střídač napětí od firmy GoodWe. Pro nabídku MIDI použijí střídač typu GW6,5K-ET, který lze vidět na obrázku 7.2. Pro nabídku TOP použijí typ GW10K-ET.

Střídač je vybaven dvěma regulátory s technologií MPPT (Maximum Power Point Tracking), které zajišťují nepřetržité udržování a sledování pracovního bodu, jenž zajišťuje maximální využití dodávané energie z fotovoltaického panelu [100]. V případě výpadku distribuční sítě dokáže střídač pracovat jako záložní zdroj. V rámci střídače je k dispozici monitorovací systém, který poskytuje informace o výkonu fotovoltaické elektrárny a stavu baterie [101].



Obrázek 7.2 Hybridní třífázový střídač GoodWe GW 6,5K-ET [101]

V tabulce 7.2 jsou uvedeny základní parametry obou použitých třífázových střídačů. Z této tabulky je zřejmé, že mechanické charakteristiky, ve formě rozměrů, hmotnosti a způsobu připojení, jsou pro oba střídače totožné. Střídače se však liší v maximálním vstupním výkonu, jmenovitém a maximálním výstupním výkonu a účinnosti střídače.

Tabulka 7.2 Parametry třífázových střídačů GoodWe

Typ třífázového střídače	GoodWe GW 6,5K-ET	GoodWe GW 10K-ET
	Mechanické charakteristiky	
Rozměry [mm]	415 x 516 x 180	
Hmotnost [kg]	25	
Způsob připojení	Třífázový/hybridní	
Technická data		
Maximální vstupní výkon [W]	8450	13 000
Maximální vstupní napětí [V]	1 000	
Maximální vstupní proud [A]	12,5	
Jmenovitý výstupní výkon [W]	6 500	10 000
Maximální výstupní výkon [W]	7 150	11 000
Maximální účinnost měniče [%]	98	98,2
Euro účinnost měniče [%]	97,2	97,5

7.1.3 Bateriové uložení

Jako poslední část celého fotovoltaického systému je bateriové uložení. Bateriové uložení je vhodné využít z důvodu, že chceme v rodinném domě dosáhnout maximální spotřeby elektrické energie a minimalizovat tak přetok do distribuční sítě.

V rodinném domě využijeme pro tento účel bateriové uložení Risen/SYL HomeESS HV3700 o kapacitě 14,8 kWh, která je určena pro nabídku MIDI, kdy lze toto uložení vidět na obrázku 7.3. Pro nabídku TOP využijeme stejný typ uložení, ale o vyšší kapacitě, a to 22,2 kWh. Samotná baterie je typu Li-ion a specificky se jedná o typ NMC, což značí že chemické složení katod je nikl-mangan-kobalt oxid [102]. Každý modul poskytuje kapacitu 3,7 kWh, kdy díky modulační instalaci je možné rozšířit celkovou kapacitu až na hodnotu 22,2 kWh, která je právě použita v nabídce TOP [103].



Obrázek 7.3 Bateriové uložení Risen/SYL HomeESS 14,8 kWh [103]

V tabulce 7.3 jsou uvedeny jednotlivé parametry vybraných bateriových uložení Risen/SYL. Dané varianty se od sebe liší převážně v počtu nainstalovaných modulů, od čehož se odvíjí zbylá technická data bateriového uložení.

Tabulka 7.3 Parametry bateriových uložení Risen/SYL [104]

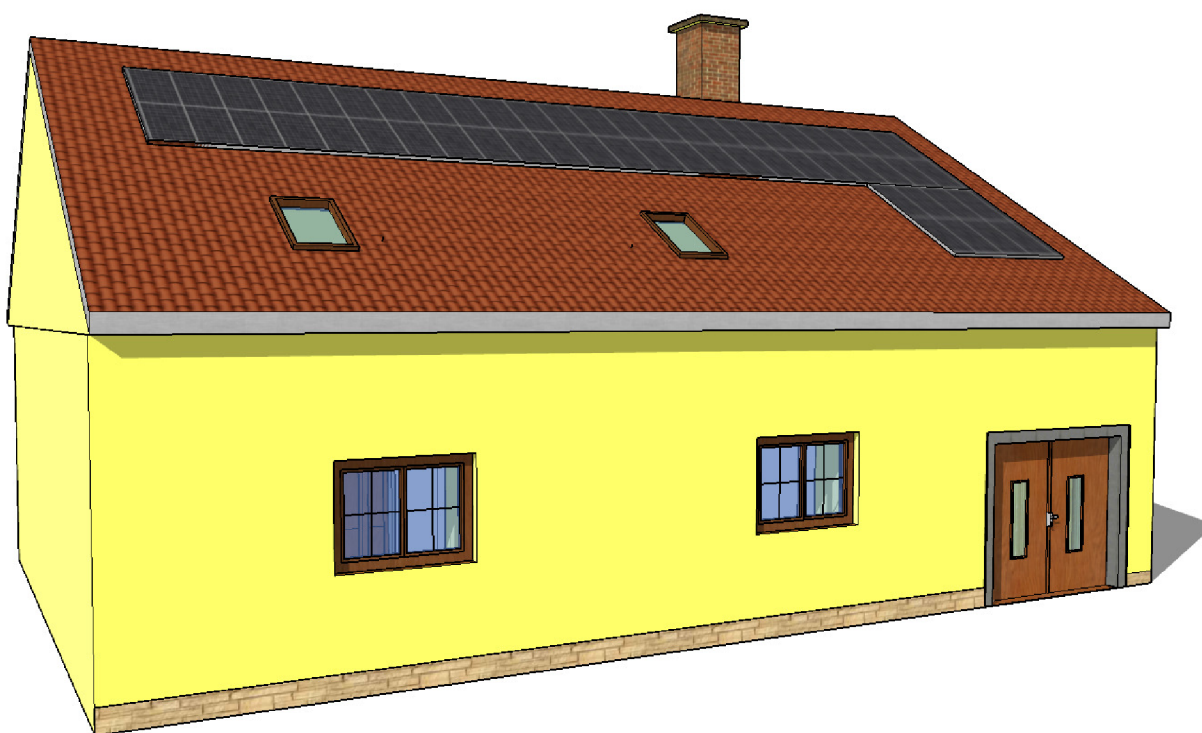
Typ uložení	Risen/SYL HomeESS 14,8 kWh	Risen/SYL HomeESS 22,2 kWh
Mechanické charakteristiky		
Rozměry [mm]	595 x 1068 x 345	595 x 1452 x 345
Hmotnost [kg]	160	230
Počet modulů	4	6
Typ baterie	NMC 50Ah	
Technická data		
Nominální kapacita [kWh]	14,8	22,2
Provozní kapacita [kWh]	13,3	19,9
Nominální výkon [kW]	7,4	11,1
Jmenovité napětí [V]	296	444

7.2 Prostorové dispozice rodinného domu

Pro určení volné střešní plochy, která je k dispozici pro umístění fotovoltaických panelů jsem využil program SketchUp ve kterém jsem vytvořil 3D model rodinného domu. Dle jednotlivých nabídek fotovoltaických elektráren jsem si vyčlenil vhodná místa na střeše rodinného domu a navrhnul jsem teoretická umístění fotovoltaických panelů. Samotná střecha rodinného domu je sedlová, kdy fotovoltaické panely jsou instalovány na jižní straně této střechy, a to pod úhlem 35 °.

7.2.1 Nabídka S-Power MIDI

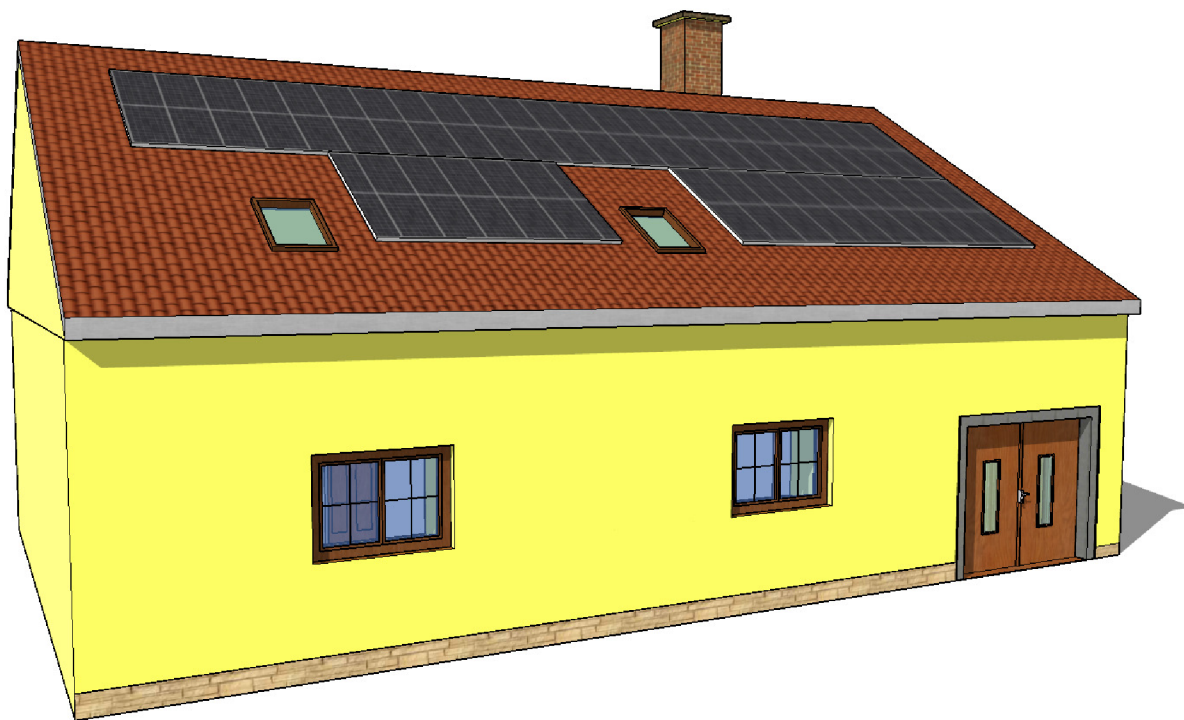
Nabídka S-Power MIDI počítá se čtrnácti kusy fotovoltaických panelů. Jejich teoretické umístění na rodinném domě lze vidět na obrázku 7.4. Jeden fotovoltaický panel má plochu 2,2 m², kdy pro čtrnáct kusů je potřeba volná plocha střechy o hodnotě 30,8 m².



Obrázek 7.4 Nabídka S-Power MIDI, umístění fotovoltaických panelů

7.2.2 Nabídka S-Power TOP

Nabídka S-Power TOP počítá s dvaceti kusy fotovoltaických panelů. Teoretické umístění těchto panelů na střeše rodinného domu lze vidět na obrázku 7.5. Pro dvacet kusů těchto panelů je nutné zajistit volnou plochu střechy rodinného domu o hodnotě 44 m².



Obrázek 7.5 Nabídka S-Power TOP, umístění fotovoltaických panelů

7.2.3 Instalace a umístění jednotlivých prvků soustavy

Instalace fotovoltaických panelů na střechu rodinného domu je realizována za pomoci pomocných háků, které se instalují do krovů střechy. Je vhodné, aby krovky byly ve vyhovujícím stavu, proto je nutné, aby je montážní firma před instalací zkontrolovala a posoudila jejich stav pro montáž.

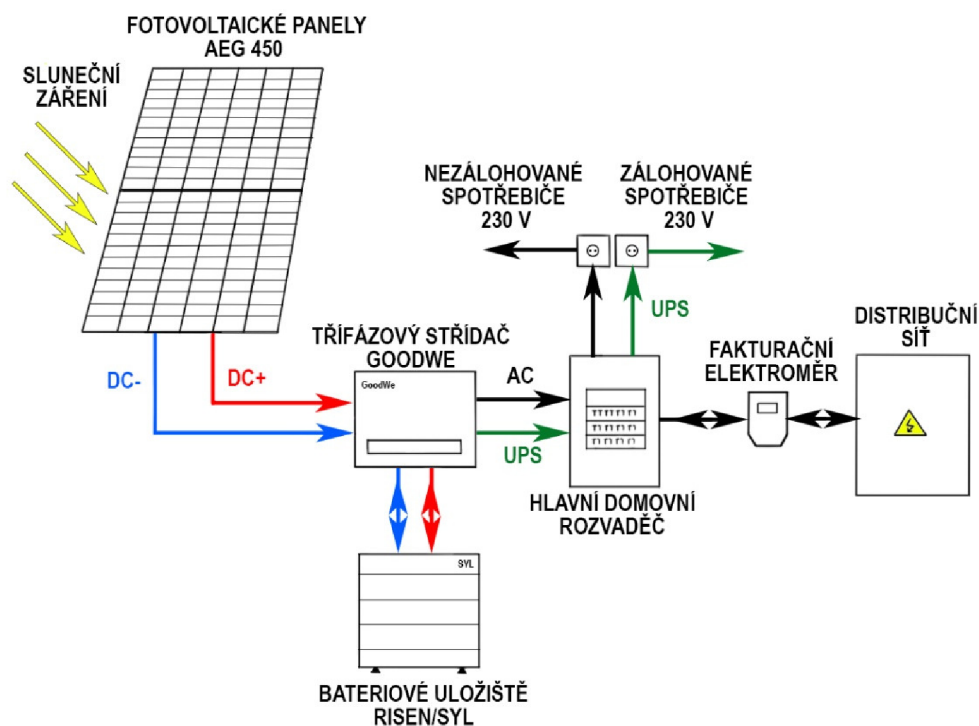
V rámci instalace fotovoltaických panelů je nutné realizovat vytvoření kabelových cest, které budou vést od panelů k třífázovému střídači a následně k domovnímu rozvaděči. V místnosti rodinného domu 1.05 – garáž, se už nachází hlavní domovní rozvaděč, proto zde bude umístěn i třífázový střídač GoodWe, který bude instalován na stěně. Do garáže bude umístěno i bateriové uložení, které bude umístěno na zemi pod třífázovým střídačem.

7.3 Schématické zapojení fotovoltaického systému

Schématické zapojení fotovoltaického systému rodinného domu lze vidět na obrázku 7.6. Z obrázku je patrné, že dopadem slunečního záření na fotovoltaické panely se za pomoci fotoelektrického jevu produkuje stejnosměrný elektrický proud, který v rámci systému dále putuje do střídače.

Důležitým úkolem střídače je přeměna stejnosměrného elektrického proudu na proud střídavý, který je dále využitelný pro spotřebiče v rodinném domě. Samotný střídač má dva samostatné výstupy, které vedou do hlavního domovního rozvaděče. První výstup slouží k připojení fáze rodinného domu a druhý výstup se napojí na spotřebiče, které chci mít zálohované, kde mohou připojit například oběhové čerpadlo, nebo jiné důležité spotřebiče [96]. Tyto zálohované spotřebiče budou fungovat i v případě výpadku distribuční sítě, kdy budou napájeny z fotovoltaických panelů a bateriového uložistiště.

Přebytky elektrické energie, které se nevyužijí v rodinném domě, jsou uloženy v bateriovém uložistišti. V případě, že je bateriové uložistiště kompletně nabito je přebytečná energie dále posílána do distribuční sítě. V případě, že fotovoltaické panely nevyrábí elektrickou energii a bateriové uložistiště je vybité, poté je elektrická energie dodávána z distribuční sítě.



Obrázek 7.6 Schématické zapojení systému (přizpůsobeno z [105])

7.4 Nová zelená úsporám – podoblast C.3

Pro využití fotovoltaické elektrárny v rodinném domě je možné využít dotační program Nová zelená úsporám, a to specificky podoblast C.3. Jednotlivé výše finanční podpory lze vidět v tabulce 7.4.

Tabulka 7.4 Výše podpory pro podoblast C.3 [30]

Instalované části systému FVE	Výše podpory [Kč]
Minimální instalace o výkonu 2 kWp	40 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem	60 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla	100 000
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	10 000
Za 1 kWh el. akumulčního systému s akumulátory na bázi lithia	10 000

Všechny požadavky, které jsou kladeny pro získání finanční podpory na fotovoltaické elektrárny, jsou dány dle závazných pokynů programu Nová zelená úsporám [30]. Podpora se vztahuje na maximální výkon fotovoltaického systému o hodnotě 10 kWp, kdy je možné žádat o tuto podporu pouze pro systémy, které jsou nové.

Měnič, který bude použit ve fotovoltaickém systému musí splňovat minimální hodnotu účinnosti, a to tzv. euro účinnost, kdy tato hraniční hodnota je 95 %. Pro hybridní měniče musí být hodnota euro účinnosti alespoň 92 %.

Panely a moduly, které jsou složené z monokrystalických a polykrystalických článků musí splňovat minimální účinnost 18 % dle standardních testovacích podmínek. Panely a moduly, které jsou složené z tenkovrstvých amorfních článků musí splňovat minimální účinnost 12 % dle standardních testovacích podmínek.

Obě posuzované nabídky FVE jsou dle dodavatele S-Power plně kompatibilní s podmínkami programu Nová zelená úsporám, kdy je pro tyto nabídky garantována dotace ve výši 205 000 Kč [95, 96].

7.5 Roční spotřeba elektrické energie rodinného domu

V této kapitole se věnuji určení roční spotřeby elektrické energie v rodinném domě, která by se za pomoci fotovoltaické elektrárny měla pokrýt. V tabulce 7.5 lze vidět jednotlivé spotřeby elektrické energie rozdělené dle jednotlivých měsíců. Pro tepelné čerpadlo byla spotřeba elektrické energie pro dílčí využití určena v kapitole 6.5, a to v tabulce 6.8.

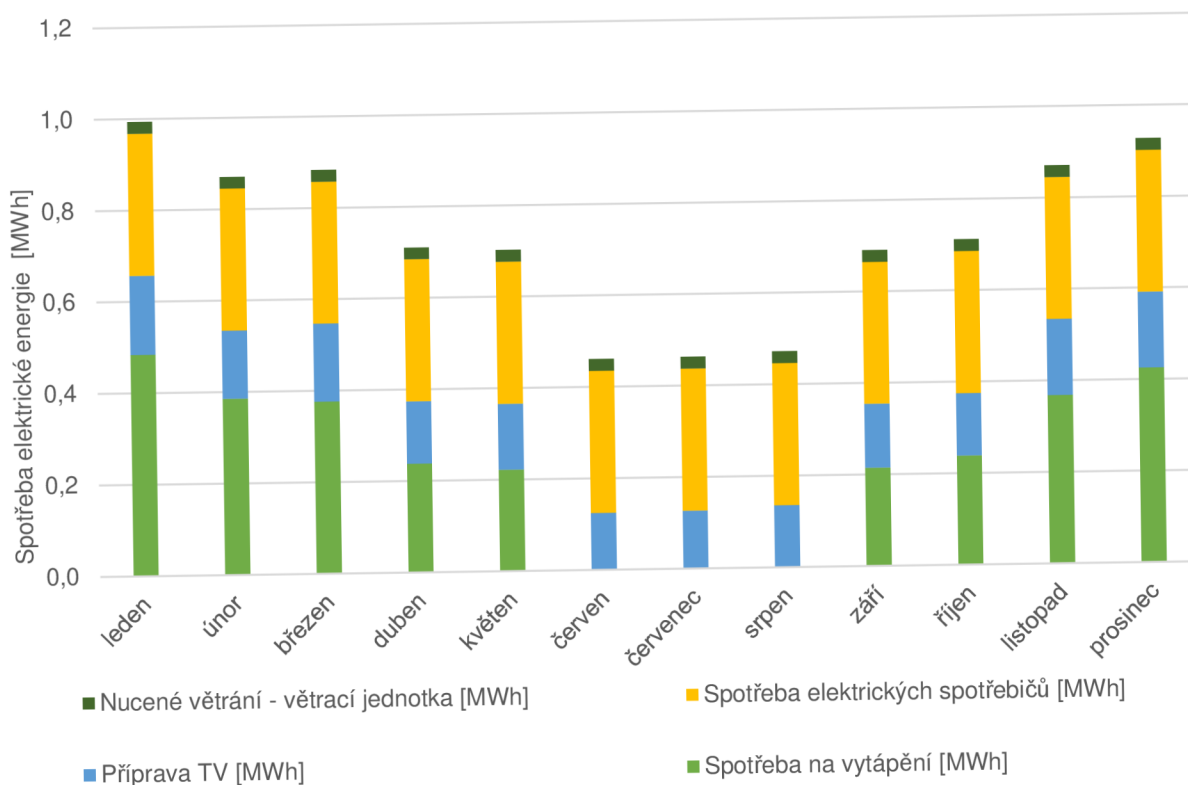
Roční spotřeba elektrické energie pro pohon větrací jednotky se zpětným získáváním tepla a vlhkosti je vyčíslena v kapitole 5.5 na hodnotu 0,31 MWh·rok⁻¹. Pro zjednodušení uvažuji, že pro každý měsíc bude hodnota spotřeby konstantní.

Průměrná roční spotřeba elektrické energie elektrických spotřebičů rodinného domu byla za pět roků určena z dílčích ročních faktur, a to v kapitole 3.6.2, kdy hodnota byla vyčíslena na 3,729 MWh·rok⁻¹. Pro zjednodušení uvažuji s konstantním měsíčním odběrem elektrické energie.

Tabulka 7.5 Spotřeba roční elektrické energie v rodinném domě dle využití

Měsíc	Tepelné čerpadlo		Nucené větrání	Ostatní	Celková spotřeba [MWh]
	Příprava teplé vody $E_{TV,r}$ [MWh]	Vytápění $E_{tč,r}$ [MWh]	Větrací jednotka [MWh]	Elektrické spotřebiče rodinného domu [MWh]	
Leden	0,173	0,484	0,026	0,311	0,993
Únor	0,149	0,385	0,026	0,311	0,871
Březen	0,171	0,376	0,026	0,311	0,883
Duben	0,137	0,237	0,026	0,311	0,710
Květen	0,145	0,221	0,026	0,311	0,703
Červen	0,124	-	0,026	0,311	0,461
Červenec	0,126	-	0,026	0,311	0,463
Srpen	0,136	-	0,026	0,311	0,472
Září	0,140	0,214	0,026	0,311	0,691
Říjen	0,137	0,238	0,026	0,311	0,711
Listopad	0,166	0,368	0,026	0,311	0,871
Prosinec	0,166	0,425	0,026	0,311	0,927
Celkem	1,769	2,948	0,310	3,729	8,756

Znázornění roční spotřeby elektrické energie dle využití v rodinném domě lze vidět na grafu 7.1. Znalost jednotlivých hodnot spotřeb elektrické energie, v daných měsících, je významná pro návrh fotovoltaického systému.



Graf 7.1 Rozdělení roční spotřeby elektrické energie rodinného domu

7.6 Energetická simulace – bilance FVE

Na základě znalosti jednotlivých parametrů fotovoltaického systému a dílčích měsíčních spotřeb elektrické energie rodinného domu lze provést energetickou simulaci fotovoltaického systému. Energetická simulace bude probíhat pro dvě nabídky od společnosti S-Power, a to S-Power MIDI a S-Power TOP, kdy jejich komponenty byly rozebrány v předchozích kapitolách. Energetickou simulaci provádím ve výpočtovém programu DEKSOFT FVE. Na základě výsledků vybírám vhodnou variantu, kterou použiji jako fotovoltaický systém pro rekonstruovaný rodinný dům.

7.6.1 Výpočetní program DEKSOFT FVE

DEKSOFT FVE je výpočetní program, který slouží k výpočtu produkce elektrické energie z fotovoltaického systému. Program počítá s deseti minutovým časovým krokem výpočtu, kdy splňuje požadavky pro použití s programem Nová zelená úsporám [106].

Pro výpočet používám klimatická data, které jsem získal z webové stránky PVGIS, kdy volím klimatická data pro město Olomouc a typický meteorologický rok z databáze dat PVGIS-SARAH2: 2005 - 2020 [107].

Pro nastavení výpočtu využívám technické parametry pro fotovoltaické panely, měnič a bateriové uložení, které jsou uvedeny v kapitole 7.1.

7.6.2 Energetická simulace – nabídka S-Power TOP

Pro nabídku S-Power TOP jsou výsledná data fotovoltaického systému, která jsou vygenerována v rámci energetické simulace, uvedeny v tabulce 7.6.

Tabulka 7.6 Data z energetické simulace FVE - S-Power TOP

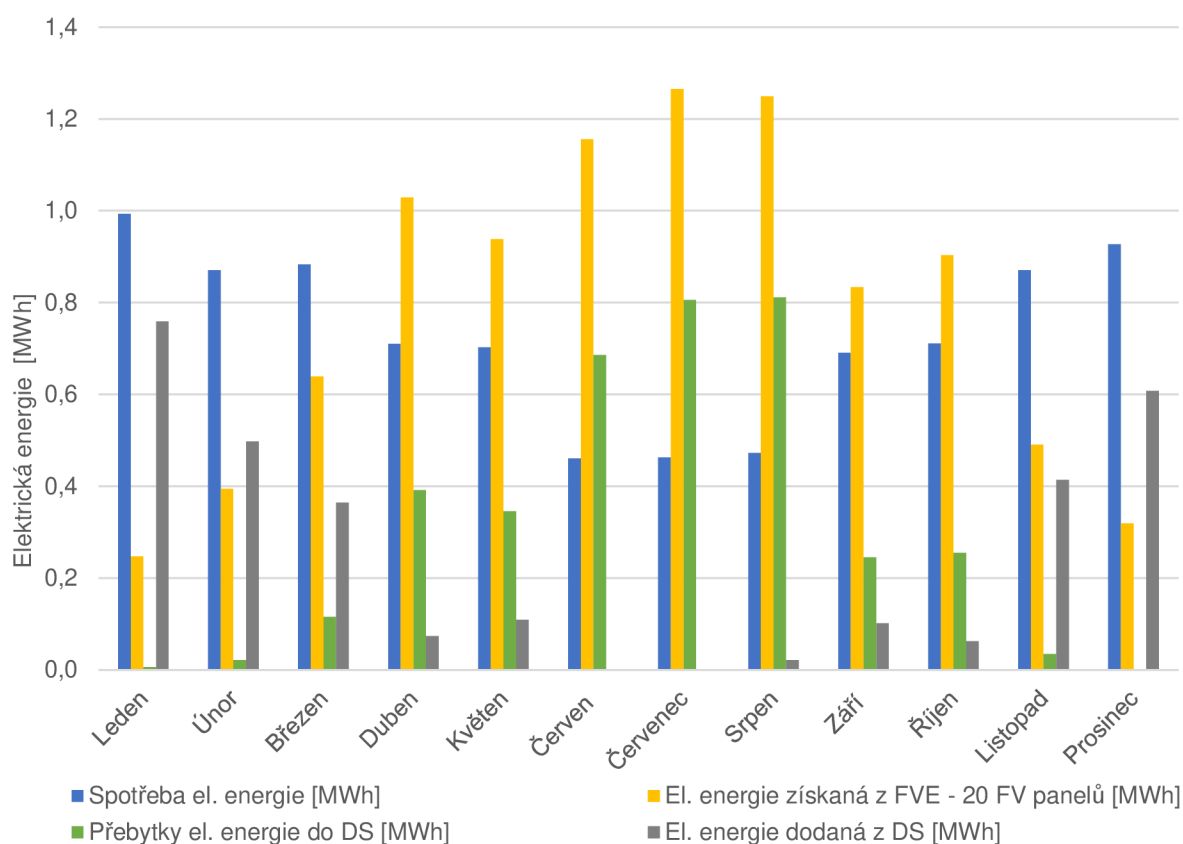
Měsíc	Fotovoltaické panely	Distribuční síť		Bateriové uložení
	Produkce el. energie [MWh]	Přetok el. energie do DS [MWh]	Koupená el. energie z DS [MWh]	Uložená el. energie [MWh]
Leden	0,247	0,006	0,759	0,011
Únor	0,394	0,021	0,498	0,031
Březen	0,639	0,115	0,365	0,049
Duben	1,029	0,392	0,073	0,073
Květen	0,938	0,346	0,109	0,065
Červen	1,156	0,686	0,000	0,056
Červenec	1,265	0,805	0,000	0,051
Srpen	1,249	0,811	0,021	0,050
Září	0,834	0,245	0,101	0,065
Říjen	0,903	0,255	0,062	0,085
Listopad	0,491	0,035	0,414	0,048
Prosinec	0,319	0,000	0,607	0,031
Celkem	9,464	3,717	3,010	0,615

Z tabulky je patrné, že dvacet fotovoltaických panelů v průběhu roku teoreticky vyrobí 9,464 MWh, kdy z této hodnoty je 3,717 MWh bez dalšího využití posláno do distribuční sítě. Bateriové uložení v průběhu roku uloží a následně využije množství 0,615 MWh, které by jinak putovalo do distribuční sítě. Pro období v průběhu roku, která nejsou pokryta produkcí elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou je dodáno 3,010 MWh z distribuční sítě.

Názornější prezentace výsledků z energetické simulace fotovoltaické elektrárny typu S-Power TOP lze vidět na grafu 7.2. Z grafu je patrné, že nejnižší výroba elektrické energie z fotovoltaické elektrárny je v měsících listopad, prosinec, leden, únor a březen. V těchto měsících je vyšší spotřeba elektrické energie, a to především kvůli požadavkům na vytápění rodinného domu. Z toho plyne, že se v těchto měsících musí výrazně dokupovat elektrická energie z distribuční sítě. Nejméně výhodně vychází pro produkci elektrické energie měsíc prosinec a leden, kdy je doba slunečního svitu nejnižší.

V měsících červen, červenec a srpen je spotřeba elektrické energie rodinného domu naprosto pokryta za pomoci fotovoltaických panelů a bateriového uložení, kdy se z distribuční sítě téměř nic nedokupuje. Tyto tři měsíce vyrobí 38,8 % z celkové elektrické energie dodané fotovoltaickými panely, přičemž rodinný dům má v těchto měsících nejmenší spotřebu elektrické energie.

Z grafu je dále zřejmé, že výroba elektrické energie z fotovoltaické elektrárny dokáže z větší části pokrýt spotřebu elektrické energie rodinného domu v sedmi měsících roku. V těchto měsících se v malém množství dokupuje elektrická energie z distribuční sítě, kdy se za tyto měsíce dokoupí pouze 0,366 MWh, což je přibližně pouze 12 % z celkové roční hodnoty, která je 3,010 MWh.



Graf 7.2 S-Power TOP - využitelnost el. energie z FVE

7.6.3 Energetická simulace – nabídka S-Power MIDI

Pro nabídku S-Power MIDI jsou výsledná data fotovoltaické elektrárny, která jsou vygenerována v rámci energetické simulace, uvedeny v tabulce 7.7. Z výsledků je zřejmé, že čtrnáct fotovoltaických panelů v průběhu roku teoreticky vyrobí 6,703 MWh, kdy 1,753 MWh je dodáno do distribuční sítě. Bateriové uložení dokáže za rok uložit a následně využít v rodinném domě elektrickou energii ve výši 0,465 MWh. Pro období v průběhu roku, která nejsou dostatečně pokryta produkcí elektrické energie z fotovoltaické elektrárny je třeba dodat 3,809 MWh z distribuční sítě.

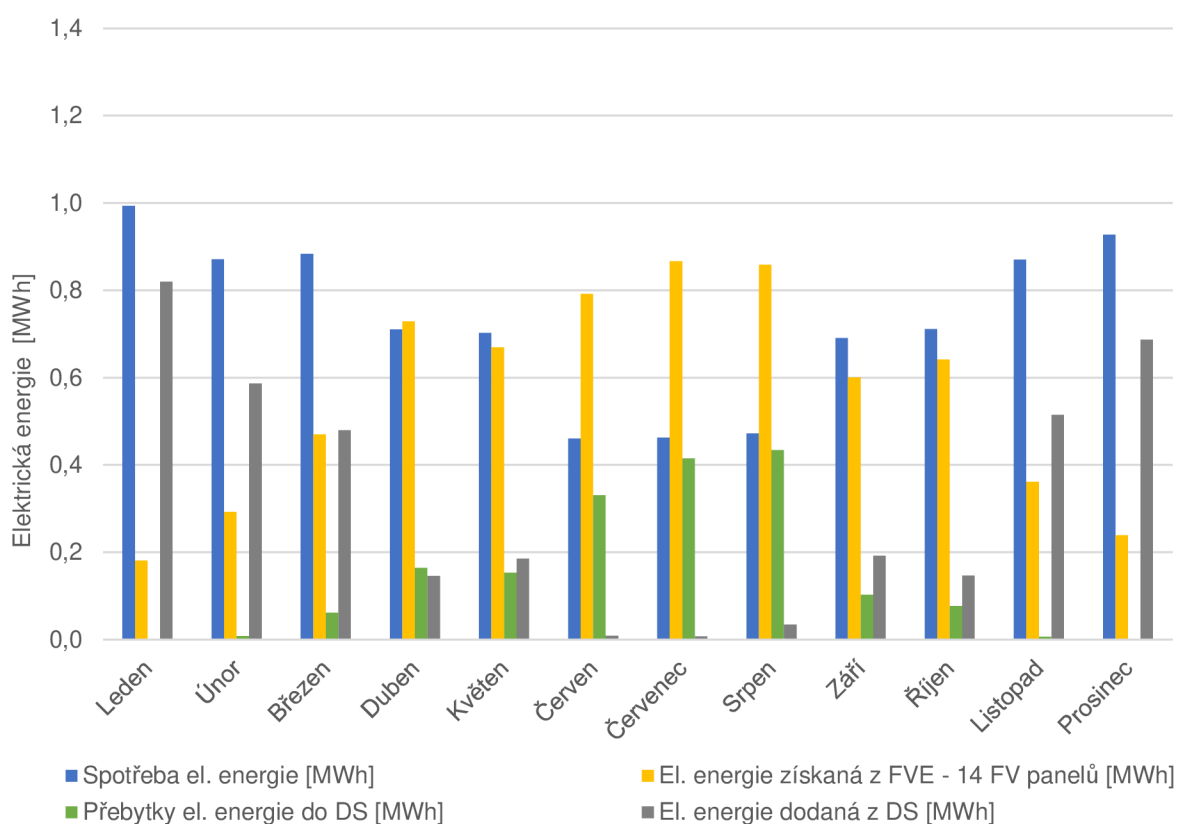
Tabulka 7.7 Data z energetické simulace FVE - S-Power MIDI

	Fotovoltaické panely	Distribuční síť		Bateriové uložení
Měsíc	Produkce el. energie [MWh]	Přetok el. energie do DS [MWh]	Koupená el. energie z DS [MWh]	Uložená el. energie [MWh]
Leden	0,181	0,001	0,820	0,005
Únor	0,293	0,008	0,586	0,016
Březen	0,470	0,062	0,480	0,028
Duben	0,729	0,164	0,146	0,057
Květen	0,670	0,153	0,185	0,046
Červen	0,792	0,331	0,009	0,055
Červenec	0,867	0,415	0,008	0,053
Srpen	0,859	0,434	0,034	0,049
Září	0,601	0,103	0,192	0,043
Říjen	0,641	0,077	0,146	0,066
Listopad	0,362	0,007	0,515	0,031
Prosinec	0,239	0,000	0,687	0,016
Celkem	6,703	1,753	3,809	0,465

Názornější prezentace výsledků z energetické simulace fotovoltaické elektrárny typu S-Power MIDI, lze vidět na grafu 7.3. Z grafu je patrné, že nejnižší výroba elektrické energie z fotovoltaické elektrárny, je stejně jako u nabídky S-Power TOP, v měsících listopad, prosinec, leden, únor a březen, kdy je vyšší spotřeba elektrické energie, a to především kvůli požadavkům na vytápění rodinného domu.

Oproti nabídce S-Power TOP se v průběhu roku nenachází žádné měsíce, kdy není nutné dokupovat elektrickou energii z distribuční sítě. V měsících červen, červenec a srpen jsou opět výrazné přebytky elektrické energie, ale oproti předchozí nabídce TOP jsou značně menší.

Největší změnou oproti předchozí nabídce je fakt, že výroba elektrické energie z fotovoltaické elektrárny dokáže z větší části pokrýt spotřebu elektrické energie rodinného domu pouze pro čtyři měsíce v roce, oproti předchozím sedmi.



Graf 7.3 S-Power MIDI - využitelnost el. energie z FVE

7.6.4 Porovnání a vyhodnocení

Porovnání výsledných hodnot energetické simulace FVE, pro obě nabídky, je uvedeno v tabulce 7.8. Z tabulky je zřejmé, že cenově nákladnější nabídka S-Power TOP vyprodukuje za rok vyšší množství elektrické energie. Z celkového množství vyrobené elektrické energie je ale 39,3 % posláno do distribuční sítě bez dalšího využití. Z toho vyplývá, že se využije 60,7 % celkové produkce fotovoltaické elektrárny. Rodinný dům dokáže z fotovoltaické elektrárny za rok pokrýt 65,6 % spotřeby elektrické energie, kdy zbylé množství se dodává z distribuční sítě.

V porovnání, cenově méně nákladná nabídka S-Power MIDI, vyprodukuje o 29,2 % méně elektrické energie než nabídka předchozí, což je dáno především nižším počtem fotovoltaických panelů. Z celkového množství vyrobené elektrické energie se 26,2 % odesílá do distribuční sítě. Celkové využití produkce fotovoltaické elektrárny pro pokrytí spotřeby v budově je 73,8 %, což je značně více než u nabídky předchozí. Procento pokrytí vlastní spotřeby rodinného domu je ale téměř o 10 % nižší než u předchozí nabídky. Vzhledem k tomu, že má tato nabídka i menší kapacitu bateriového uložení, tak se v porovnání uloží a využije o 24,4 % méně elektrické energie.

Tabulka 7.8 Porovnání výsledných hodnot dílčích nabídek

Nabídka	S-Power TOP	S-Power MIDI
Celková produkce el. energie [MWh·rok⁻¹]	9,464	6,703
Přetok el. energie do DS [MWh·rok⁻¹]	3,717	1,753
Koupená el. energie z DS [MWh·rok⁻¹]	3,010	3,809
Uložená el. energie [MWh·rok⁻¹]	0,615	0,465
Procento využití celkové produkce FVE pro krytí spotřeby v budově [%]	60,7	73,8
Procento pokrytí vlastní spotřeby pomocí FVE [%]	65,6	56,5
Celková cena bez započtení dotace⁷ [Kč]	655 000	495 000
Celková cena se započtením dotace Nová zelená úsporám⁸ [Kč]	450 000	290 000

⁷ Celková cena bez dotací je uvedena od dodavatele pro S-Power TOP [97] a S-Power MIDI [96]

⁸ Celková cena s dotací je uvedena od dodavatele pro S-Power TOP [97] a S-Power MIDI [96]

Ekonomické zhodnocení obou nabídek je uvedeno v tabulce 7.9. Z tabulky vyplývá, že nejvyšší roční úsporu nabízí nabídka S-Power TOP. Doba návratnosti bez započtení dotací je pro obě nabídky vcelku vysoká. Se započtením dotací Nová zelená úsporám vychází doba návratnosti pro obě nabídky už výhodněji. Dodavatel poskytuje záruku 15 let na mechanické části fotovoltaických panelů [96], kdy návratnost obou nabídek je se započtením dotací v rámci této udávané doby. Do doby návratnosti není započítán teoretický prodej přebytků elektrické energie do distribuční sítě, který by kvůli vyššímu množství přebytků více zvýhodňoval nabídku S-Power TOP.

Tabulka 7.9 Ekonomické zhodnocení nabídek FVE

Nabídka	S-Power TOP	S-Power MIDI
Celková spotřeba elektrické energie rodinného domu [MWh·rok⁻¹]	8,756	
Ušetřené množství elektrické energie [MWh·rok⁻¹]	5,746	4,947
Roční snížení nákladů na provoz rodinného domu [Kč·rok⁻¹]	30 278	26 068
Doba návratnosti bez dotací [rok]	21,63	19
Doba návratnosti s dotací [rok]	14,86	11,12

Z porovnání těchto nabídek vychází najevo, že pro aktuální využití rodinného domu je mírně výhodnější nabídka S-Power MIDI. Tato nabídka má nižší přetoky elektrické energie do distribuční sítě a celková produkce elektrické energie z fotovoltaické elektrárny má v domě vyšší využití pro pokrytí vlastní spotřeby, než nabídka S-Power TOP.

Pokud se ale ve své úvaze nesoustředím pouze na současné využití rodinného domu a budu brát v potaz budoucí využití rodinného domu, tak vychází výhodněji nabídka S-Power TOP. Vyšší přebytky elektrické energie mohou najít uplatnění například při pořízení elektromobilu, kdy mohou elektrickou energii využít efektivně k nabíjení vozidla. V případě využití tepelného čerpadla pro účely chlazení v kombinaci s dílčími fan coil jednotkami lze očekávat, že v letních měsících by se tato přebytková hodnota elektrické energie využila pro tento účel. Tato varianta také dokáže pokrýt vyšší část spotřeby elektrické energie v průběhu roku, což je výhodnější.

Vzhledem k tomu, že jsou v současné době ceny energií velmi nepředvídatelné a varianta S-Power TOP dokáže zajistit vyšší energetickou soběstačnost rodinného domu, přikláním se proto k této variantě pro rekonstrukci rodinného domu. Pro efektivnější využití elektrické energie vyprodukované z FVE je vhodné také zvážit změnu návyků používání energeticky náročnějších zařízení domácnosti v průběhu dne. Může se jednat například o spouštění zařízení typu pračka či myčka v době, kdy vím, že budu odebírat energii vyprodukovanou z FVE, a ne energii koupenou z distribuční sítě.

7.7 Zhodnocení energetického opatření - FVE

Závěrečné zhodnocení ukazatelů energetické náročnosti budovy lze vidět v tabulce 7.10. Z informací v tabulce je patrné, že se využitím FVE v rodinném domě výrazně snížil podíl primární energie z neobnovitelných zdrojů. Toto snížení je dáno tím, že se výrazná část spotřeby elektrické energie v rodinném domě pokryje obnovitelným zdrojem energie ve formě výroby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny.

V rámci vyhotovení průkazu energetické náročnosti budovy je v programu Energie 2020 provedena vlastní simulace produkce elektřiny z fotovoltaické elektrárny. V programu Energie 2020 se bohužel nedají dostatečně detailně nastavit jednotlivé prvky fotovoltaické elektrárny, kdy zde není ani možnost zakomponovat využití bateriového uložení pro ukládání elektrické energie. Z tohoto důvodu jsou hodnoty ohledně fotovoltaické elektrárny určené z průkazu energetické náročnosti budovy spíše doplňkové a jsou použity jen pro určení ukazatelů energetické náročnosti budovy.

Tabulka 7.10 Ukazatele energetické náročnosti budovy – porovnání

Ukazatele energetické náročnosti budovy	Stav domu po návrhu FVE	Referenční hodnoty	Splnění požadavků
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0,24	0,24	SPLNĚNO
Primární energie z neobnovitelných zdrojů Q_{nPE} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	11	69	SPLNĚNO
Celková dodaná energie Q_{fuel} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]	51	83	SPLNĚNO

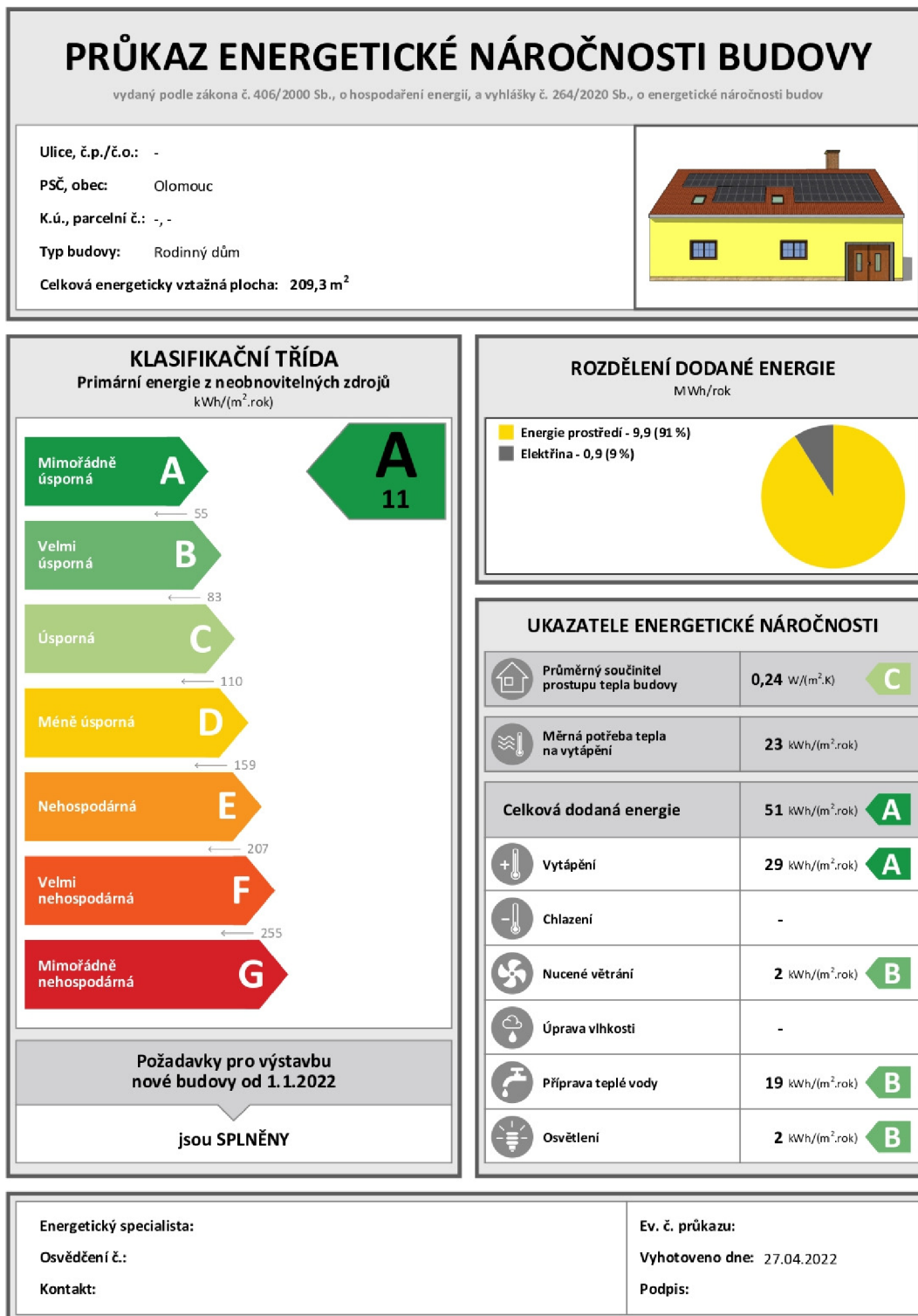
Výsledkem průkazu energetické náročnosti budovy je také zhodnocení provozu budovy dle produkce emisí CO₂ za rok. Toto hodnocení je závislé na příslušném emisním faktoru pro použitý energonositel v rodinném domě, kdy finální hodnota vychází z množství primární energie z neobnovitelných zdrojů.

V tabulce 7.11 je uvedeno porovnání rodinného domu před rekonstrukcí a po rekonstrukci z hlediska produkce CO₂. Z výsledků je zřejmé, že rodinný dům před rekonstrukcí využíval zemní plyn jako energonositel pro vytápění a přípravu teplé vody, kdy podíl primární energie z neobnovitelných zdrojů byl značný, z čehož plyne i vysoká roční produkce CO₂. V rámci rekonstrukce je aplikací dílčích opatření snížena potřeba pro vytápění a je využito také vyššího podílu obnovitelných zdrojů, proto je roční produkce CO₂ nižší o 85,8 %. Jedná se o roční snížení produkce CO₂ o 5,63 t·rok⁻¹. Z toho porovnání vyplývá, že vhodně navržená rekonstrukce obytných budov je efektivním prvkem ke snížení množství CO₂. Je tedy zřejmé, že rekonstrukce starších budov skrývá značný potenciál ke globálnímu snížení emisí CO₂ a je třeba tomuto tématu věnovat patřičnou pozornost.

Tabulka 7.11 Produkce CO₂ za rok - porovnání

	Původní stav rodinného domu	Stav domu po rekonstrukci
Emise CO ₂ za rok [$t \cdot rok^{-1}$]	6,56	0,93

Závěrečný titulní list průkazu energetické náročnosti budovy posuzovaného rodinného domu lze vidět na obrázku 7.7. Z tohoto obrázku je patrné, že rekonstrukce rodinného domu po všech aplikovaných opatřeních dosáhla svého cíle, a to režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie.



Energetický specialista:

Osvědčení č.:

Kontakt:

Ev. č. průkazu:

Vyhotoveno dne: 27.04.2022

Podpis:

Obrázek 7.7 Průkaz energetické náročnosti budovy - stav po rekonstrukci

V rámci vypracování průkazu energetické náročnosti budovy jsem navrhnul také výměnu osvětlení v rodinném domě. Jedná se o výměnu klasických žárovek za úspornější variantu ve formě LED žárovek. Následkem tohoto opatření se nepatrně sníží celková dodaná energie rodinného domu. S přihlédnutím ke všem už aplikovaným energeticky úsporným opatřením, má toto opatření zanedbatelnější vliv na celkový stav energetické náročnosti rodinného domu. Z tohoto důvodu se tímto tématem v práci detailněji nezabývám.

Zhodnocení nákladů na provoz rodinného domu před rekonstrukcí a po rekonstrukci je uvedeno v tabulce 7.12. Z této tabulky plyne, že před rekonstrukcí rodinného domu byla značná spotřeba zemního plynu, která byla využita plynovým kotlem pro vytápění a přípravu teplé vody. S vysokou spotřebou zemního plynu byly spjaté i vysoké finanční náklady na provoz rodinného domu.

V důsledku aplikací jednotlivých energeticky úsporných opatření se náklady na provoz rodinného domu postupně snižovaly. Poslední energeticky úsporné opatření ve formě návrhu fotovoltaické elektrárny zajistilo snížení spotřeby elektrické energie více než o polovinu. V konečném porovnání se oproti původnímu stavu snížily náklady na provoz rodinného domu o 79 %, což činí roční uspořenou částku 59 846 Kč.

Tabulka 7.12 Úspory provozu rodinného domu

	Původní stav domu	Konečný stav domu – po rekonstrukci
Spotřeba zemního plynu na vytápění a přípravu teplé vody [MWh·rok⁻¹]	20,19	-
Náklady na vytápění a přípravu teplé vody [Kč·rok⁻¹]	50 586	-
Průměrná spotřeba elektrických spotřebičů rodinného domu [MWh·rok⁻¹]	3,73	-
Náklady na provoz elektrických spotřebičů rodinného domu [Kč·rok⁻¹]	25 122	-
Koupená elektrická energie z distribuční sítě [MWh·rok⁻¹]	-	3,01
Celkové náklady na provoz rodinného domu [Kč·rok⁻¹]	-	15 862
Celkové roční úspory na provoz rodinného domu [Kč·rok⁻¹]	59 846	

V tabulce 7.13 lze vidět celkové dílčí náklady a celkovou výši dotace na rekonstrukci rodinného domu do standartu budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Z výsledných hodnot je zřejmé, že bez započtení dotací je doba návratnosti příliš velká a z ekonomického hlediska je nevýhodná.

Se započtením dotačního programu Nová zelená úsporám výrazně klesne doba návratnosti celé rekonstrukce rodinného domu. S přihlédnutím k životnosti jednotlivých energeticky úsporných opatření se však doba návratnosti nedostane na hodnotu, která je z ekonomického hlediska výhodná. Doba návratnosti je také vyšší kvůli tomu, že nebylo možné využít dotace na zdroj tepla.

Nejdražšími náklady pro rekonstrukci rodinného domu je opatření ve formě komplexního zateplení, výměny otvorových výplní a fotovoltaická elektrárna. Celková výše dotace pokryje přibližně 34,7 % z celkové ceny rekonstrukce rodinného domu.

Tabulka 7.13 Ekonomické zhodnocení rekonstrukce rodinného domu

Celková cena za komplexní zateplení a výměnu otvorových výplní s DPH [Kč]	519 570
Celková cena nuceného větrání se ZZT s DPH [Kč]	250 127
Celková cena nového zdroje tepla s DPH [Kč]	229 537
Celková cena za FVE s DPH [Kč]	655 000
Celková cena za rekonstrukci s DPH [Kč]	1 654 235
Doba návratnosti [rok]	27,6
Výše dotace Nová zelená úsporám	
Výše dotace pro zateplení vnějších stěn, střechy šikmé a stropu (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	170 180
Výše dotace pro výměnu otvorových výplní (dotace Nová zelená úsporám – opatření komplex) [Kč]	65 077
Výše dotace pro pořízení centrálního systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla [Kč]	100 000
Celková výše dotace pro FVE [Kč]	205 000
Náklady na provedení blower door testu [Kč]	- 6 000
Dotační bonus za kombinaci opatření [Kč]	10 000
Dotace na projektovou podporu [Kč]	30 000
Celková výše dotace [Kč]	574 257
Ekonomické zhodnocení po započtení dotací Nová zelená úsporám	
Celková cena rekonstrukce domu s DPH po započtení dotací Nová zelená úsporám [Kč]	1 079 978
Doba návratnosti po započtení dotací [rok]	18,0

8 Porovnání ekonomického zhodnocení se současnými cenami energie

Na základě neustále se zvyšujících cen energií jsem se rozhodl v této závěrečné kapitole porovnat ekonomické zhodnocení rekonstrukce rodinného domu. Jedná se o srovnání nákladů na provoz rodinného domu před a po rekonstrukci, které je provedeno dle aktuálnějšího ceníku energií. Výsledkem tohoto srovnání je zhodnocení vlivu vyšších cen energií na dobu návratnosti celkové rekonstrukce rodinného domu.

8.1 Výsledky ekonomického porovnání

Pro ekonomické zhodnocení jednotlivých energeticky úsporných opatření jsem v průběhu práce vycházel z ceníku pro elektrickou energii [27] a zemního plynu [26] od dodavatele E.ON Energie a.s., Variant PRO 24 Zima I, který byl platný od 29.1.2022.

V průběhu mé práce byly vydány pro elektrickou energii [108] a zemní plyn [109] nové ceníky od stejného dodavatele, a to Variant PRO 24 Jaro II, který je aktuálně platný od 1.4.2022. V těchto nových cenících jsou promítnuty neustále se zvyšující ceny jednotlivých energií, což ve svém důsledku ovlivní i roční úspory a dobu návratnosti rekonstrukce rodinného domu.

V tabulce 8.1 lze vidět rozdíly cen energií mezi variantami PRO 24 Zima I a PRO 24 Jaro II. Pro distribuční sazbu D 02d, která je využita pro zhodnocení původních ročních nákladů rodinného domu, se cena elektrické energie zvýšila o 14 %. Další je distribuční sazba D 057d, která je dvoutarifní a je určena pro aplikaci s tepelným čerpadlem, kdy pro výpočet ceny vycházím z poměrové ceny ze zastoupení hodin jednotlivých tarifů. Tato sazba se využívá pro zhodnocení nákladů elektrické energie po rekonstrukci rodinného domu, kdy se oproti minulému ceníku zvýšila o 14,9 %. Jako poslední jsem porovnával cenu zemního plynu pro roční odběr od 15 – 25 MWh-rok⁻¹, kterou využívám pro zhodnocení původních ročních nákladů rodinného domu. V tomto případě se cena za MWh zvýšila nejvíce, a to o 35,6 %.

Tabulka 8.1 Porovnání cen mezi jednotlivými variantami energií

	Cena elektrické energie s distribuční sazbou D 02d s DPH [Kč·MWh⁻¹]	Cena elektrické energie s distribuční sazbou D 057d s DPH [Kč·MWh⁻¹]	Cena zemního plynu s DPH [Kč·MWh⁻¹]
Variant PRO 24 Zima I	6 737	5 270	2 505
Variant PRO 24 Jaro II	7 834	6 194	3 890

Z těchto výsledků je patrné, že se s novými cenami elektrické energie a zemního plynu zvýší náklady na provoz rodinného domu. Toto zvýšení je nejlépe viditelné z tabulky 8.2. V této tabulce jsou uvedeny náklady na provoz rodinného domu před rekonstrukcí a náklady na provoz rodinného domu po aplikování všech opatření, tedy po rekonstrukci.

Tabulka 8.2 Porovnání změny nákladů na provoz rodinného domu

	Původní stav domu Variant PRO 24 Zima I	Konečný stav domu po rekonstrukci Variant PRO 24 Zima I	Původní stav domu Variant PRO 24 Jaro II	Konečný stav domu po rekonstrukci Variant PRO 24 Jaro II
Spotřeba zemního plynu na vytápění a přípravu teplé vody [MWh·rok⁻¹]	20,19	-	20,19	-
Náklady na vytápění a přípravu teplé vody [Kč·rok⁻¹]	50 586	-	78 555	-
Průměrná spotřeba elektrických spotřebičů rodinného domu [MWh·rok⁻¹]	3,73	-	3,73	-
Náklady na provoz elektrických spotřebičů domácnosti [Kč·rok⁻¹]	25 122	-	29 213	-
Koupená elektrická energie z distribuční sítě [MWh·rok⁻¹]	-	3,01	-	3,01
Celkové náklady na provoz rodinného domu [Kč·rok⁻¹]	-	15 862	-	18 644
Celkové roční úspory na provoz rodinného domu [Kč·rok⁻¹]	59 846		89 124	

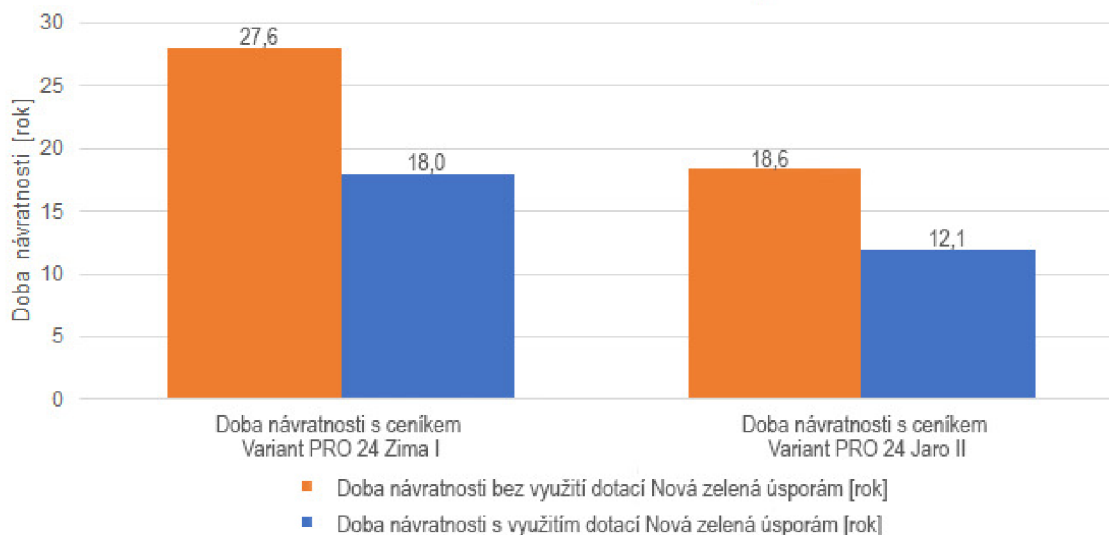
Z tabulky 8.2 je dále zřejmé, že se roční úspory rodinného domu po aplikaci nového ceníku zvýší o 32,9 %. Tato navýšená částka bude mít výrazný vliv na dobu návratnosti jednotlivých energeticky úsporných opatření.

Porovnání dob návratnosti kompletní rekonstrukce rodinného domu lze vidět v tabulce 8.3. Z tabulky je zřejmé, že se doba návratnosti s využitím nového ceníku výrazně sníží. U doby návratnosti pro celkovou cenu rekonstrukce, bez započtení dotací, lze předpokládat snížení o 9 roků. Pro dobu návratnosti rekonstrukce, s využitím dotace Nová zelená úsporám, je předpokládány pokles přibližně o 6 roků.

Tabulka 8.3 Porovnání dob návratnosti jednotlivých variant

	Variant PRO 24 Zima I	Variant PRO 24 Jaro II
Celkové roční úspory na provoz rodinného domu [Kč·rok⁻¹]	59 846	89 124
Celková cena za rekonstrukci s DPH [Kč]	1 654 235	1 654 235
Doba návratnosti [rok]	27,6	18,6
Celková cena rekonstrukce domu s DPH po započtení dotací Nová zelená úsporám [Kč]	1 079 978	1 079 978
Doba návratnosti po započtení dotací [rok]	18,0	12,1

Grafické znázornění porovnání dob návratnosti rekonstrukce rodinného domu dle použití jednotlivých ceníků lze vidět na grafu 8.1. Závěrečná doba návratnosti je s ceníkem Variant PRO 24 Jaro II a započtením dotace Nová zelená úsporám vyčíslena na 12,1 roků. Z hlediska množství použitých energeticky úsporných opatření je tato doba návratnosti pro rekonstrukci ekonomicky zajímavější. Tato doba návratnosti je už blízko hranice, kdy se dá uvažovat o ekonomicky výhodné investici s ohledem na životnost dílčích opatření.



Graf 8.1 Doba návratnosti rekonstrukce rodinného domu - porovnání variant

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout rekonstrukci dvoupatrového rodinného domu z 60. let 20. století, podle požadavků na budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Tohoto cíle bylo dosaženo výběrem vhodných energeticky úsporných opatření.

Prvním cílem diplomové práce bylo analyzovat současný stav rodinného domu. Vzhledem k tomu, že rodinný dům neměl k dispozici vyhotovenou výkresovou dokumentaci, bylo nutné v rámci této analýzy objekt kompletně zaměřit, vypracovat stavební výkresy půdorysu domu a následně určit jednotlivé skladby stavebních konstrukcí. Dalším krokem této analýzy byl výpočet tepelných ztrát rodinného domu, který byl proveden v programu DEKSOFT modulu tepelné ztráty, kdy tepelné ztráty domu vyšly dle výpočtu 7,24 kW.

Součástí tohoto zhodnocení bylo také zpracování průkazu energetické náročnosti budovy, který byl proveden v programu Energie 2020. Výstupem tohoto energetického hodnocení bylo, že rodinný dům spadá do kategorie E, tedy jako nevhodná budova.

Na závěr této analýzy bylo vypracováno ekonomické zhodnocení provozu rodinného domu, kdy celková částka na provoz za rok činila 75 708 Kč. Z této celkové částky připadalo 58,3 % na vytápění rodinného domu.

Na základě analýzy bylo zřejmé, že je vhodné navrhnout energeticky úsporné opatření ve formě komplexního zateplení a výměny původních otvorových výplní. Největší podíl na tepelných ztrátách prostupem tepla měla stavební konstrukce ve formě vnějších stěn, která byla ve svém původním stavu nezateplena. V rámci zateplení vnějších stěn bylo navrženo použití fasádní izolační desky ISOVER EPS GreyWall.

Dalšími stavebními konstrukcemi, které byly v rámci tohoto opatření zateplovány jsou střecha šikmá a strop pod nevytápěnou půdou. Pro zateplení těchto stavebních konstrukcí byla zvolena interiérová izolační deska z fenolické pěny Kooltherm K17.

Posledním dílčím opatřením byla výměna původních otvorových výplní rodinného domu. Jednalo se o výměnu původních okenních a dveřních výplní za nové výplně o lepších tepelněizolačních vlastnostech.

Účelem těchto opatření bylo zkvalitnit tepelně technické vlastnosti obálky budovy tak, aby dům dosáhl referenčních hodnot průměrného součinitele prostupu tepla. Aplikací těchto navržených opatření bylo tohoto dílčího cíle dosaženo. Důsledkem tohoto opatření bylo také snížení tepelné ztráty budovy, čímž se snížila spotřeba energie na vytápění. Z ekonomického zhodnocení bylo patrné, že se započtením dotačního programu "Nová zelená úsporám" je návratnost tohoto opatření vypočtena na 11,3 roků.

Druhým hlavním energeticky úsporným opatřením, které bylo provedeno v rámci rekonstrukce, byl návrh nuceného větrání. Na základě posouzení jednotlivých variant nuceného větrání jsem se rozhodl použít komfortní větrací jednotku Zehnder ComfoAir Q350 ERV, se zpětným získáváním tepla a vlhkosti. V rámci návrhu bylo dle specifických požadavků stanoveno množství přiváděného a odváděného vzduchu pro jednotlivé místnosti rodinného domu. Dále byly provedeny všechny nezbytné výpočty a byla vypracována výkresová dokumentace větrání rodinného domu.

Cílem tohoto opatření bylo zkvalitnění vnitřního prostředí rodinného domu, které by bez zavedení nuceného větrání bylo v nevyhovujícím stavu. Dalším výrazným benefitem bylo snížení tepelné ztráty způsobené větráním. Celková tepelná ztráta rodinného domu klesla po aplikaci obou hlavních energeticky úsporných opatření z původního stavu o 64,2 %, a to na 2,59 kW, což je hodnota, která se dá očekávat u domů s pasivním standardem. Z ekonomického zhodnocení bylo patrné, že při započtení předchozího a tohoto energeticky úsporného opatření, vyšla doba návratnosti na 13 roků, a to se započtením dotace Nová zelená úsporám.

Třetím hlavním energeticky úsporným opatřením bylo nahrazení původního zdroje tepla, který byl ve formě plynového kotle. Po posouzení jednotlivých možností jsem

vybral vhodnou variantu ve formě tepelného čerpadla vzduch - voda. V rámci rekonstrukce jsem na základě tepelné ztráty rodinného domu následně zvolil konkrétní typ, a to monoblokové tepelné čerpadlo Sinclair SMH-40IRB. Pro ohřev teplé vody byl vybrán nepřímotopný ohřivač teplé vody od společnosti Sinclair o objemu 300 l.

Bod bivalence tepelného čerpadla byl určen na teplotu $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy následně jako bivalentní zdroj slouží pomocný elektrický ohřivač EH-SMH. S novým zdrojem tepla, ve formě tepelného čerpadla, bylo nutné počítat s přechodem na nižší teplotní spád otopné soustavy. Bylo tedy nutné přepočítat tepelný výkon dílčích otopných těles, zda po změně tepelného spádu vyhovují tepelným ztrátám jednotlivých místností. Výsledkem tohoto přepočtu bylo, že otopná tělesa novému teplotnímu spádu vyhovují. Následně byly provedeny všechny nezbytné výpočty a byla vypracována výkresová dokumentace vytápění rodinného domu. V rámci tohoto opatření byla teoreticky zvážena možnost využití tepelného čerpadla pro chlazení rodinného domu. To by bylo možné zajistit za pomoci reverzibilního chodu tepelného čerpadla a za použití fan coil jednotek.

Vzhledem k tomu, že byl nahrazován zdroj tepla v podobě plynové kotle, nebylo možné na toto opatření využít dotace Nová zelená úsporám. Z ekonomického hlediska byla tedy doba návratnosti méně výhodná, kdy pro všechna aplikovaná opatření vycházela na 21 roků. Důsledkem tohoto opatření bylo také odstranění závislosti rodinného domu na dodávce zemního plynu, kdy v tomto stavu rekonstrukce, budova potřebovala na svůj provoz čistě elektrickou energii.

Snížení spotřeby elektrické energie a zvýšení energetické soběstačnosti rodinného domu bylo tématem posledního opatření, které bylo věnováno návrhu využití obnovitelného zdroje energie ve formě FVE. Na základě energetické simulace, která byla provedena v programu DEKSOFT FVE, byly porovnány dvě nabídky FVE od firmy S-Power. První nabídka MIDI byla o velikosti 6,3 kWp s bateriovým uložištěm o kapacitě 14,8 kWh a druhá nabídka TOP byla o velikosti 9 kWp s bateriovým uložištěm o kapacitě 22,2 kWh.

Tyto nabídky byly vybrány dle vypočtené roční potřeby elektrické energie, která pro rodinný dům, po zohlednění všech předchozích opatření, činila $8,756\text{ MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$. Z výsledků energetické simulace jsem pro rekonstrukci rodinného domu vybral variantu TOP, která byla sice finančně nákladnější, ale dokázala pokrýt vyšší podíl spotřeby rodinného domu. Vyšší přebytky vyrobené elektrické energie z FVE by v budoucnu bylo možné využít například pro nabíjení elektromobilu.

Po aplikaci všech energeticky úsporných opatření byl na závěr vypracován průkaz energetické náročnosti budovy. Z průkazu je zřejmé, že rodinný dům po rekonstrukci splňuje všechny dílčí ukazatele energetické náročnosti, kdy převážně dosáhl hodnocení A – mimořádně úsporná budova. Tímto byl splněn hlavní cíl diplomové práce, a to dosažení režimu budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

Z ekonomického hlediska vyšla celá rekonstrukce s využitím dotace Nová zelená úsporám na 1 079 978 Kč, kdy doba návratnosti rekonstrukce byla 18 roků. Aplikací všech opatření bylo dosaženo roční úspory na provoz domu v částce 59 846 Kč. Procentuálně byly sníženy roční náklady na provoz rodinného domu o 79 %.

Dalším důležitým faktorem bylo také snížení produkce CO_2 v rámci provozu budovy. To bylo sníženo o $5,63\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$ oproti původnímu stavu rodinného domu. Z tohoto výsledku je patrný značný potenciál v oblasti rekonstrukcí starších budov v rámci globálního snižování emisí CO_2 .

Závěrečná kapitola byla věnována dopadu zvyšujících se cen energií, kdy jsem porovnával ceny dílčích energií z nově vydaných ceníků oproti těm, z kterých jsem vycházel v průběhu celé práce. Z výsledku bylo zřejmé, že se vlivem zvýšených cen energií zvýší i roční úspory na provoz rodinného domu, které jsou výsledkem navržené rekonstrukce. V důsledku se snížila doba návratnosti celé rekonstrukce, a to na 12,1 roků, která je s ohledem na životnost jednotlivých opatření ekonomicky zajímavější.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Zelená dohoda pro Evropu: Balíček „Fit for 55“. In: *Rada Evropské unie* [online]. Brusel, 2021 [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/>
- [2] Tisková zpráva: Renovační vlna: zdvojnásobení míry renovací za účelem snížení emisí, podpory oživení a zmírnění energetické chudoby. In: *Evropská komise* [online]. Brusel, 2021 [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP_20_1835
- [3] *European Commission, Joint Research Centre, Filippidou, F., Jimenez Navarro, J., Achieving the cost-effective energy transformation of Europe's buildings : combinations of insulation and heating & cooling technologies renovations : methods and data, Publications Office, 2019, https://data.europa.eu/doi/10.2760/401441*
- [4] *Proč došlo k žalobě Evropské komise na Českou republiku?* [online]. In: . [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/18799-proc-doslo-k-zalobe-evropske-komise-na-ceskou-republiku>
- [5] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU ze dne 19. května 2010: o energetické náročnosti budov (přepřevládání). In: *L 153/13. ročník 2010*. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=CS>
- [6] *ČESKO. Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 11. 2. 2022]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406. In: .*
- [7] *Požadavky na energetickou náročnost budov se stavebním povolením od 1. 1. 2020* [online]. In: . Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/strategicke-dokumenty/pozadavky-na-energetickou-narocnost-budov-se-stavebnim-povolenim-od-1--1--2020--250867/>
- [8] VAGRA, Martin. *DEKSOFT ENERGETIKA podrobné představení nové vyhlášky o ENB: Webinář* [online]. In: . [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: https://deksoft.eu/data/files/cms_documents/110.pdf
- [9] *ČESKO. Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 12. 2. 2022]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78. In: .*

- [10] ČEJKA, Michal. *Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – Část 4: Úprava požadavků na NZEB: Úprava požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie* [online]. In: . Šance pro budovy [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/20768-novela-vyhlasiky-c-78-2013-sb-cast-4-uprava-pozadavku-na-nzeb>
- [11] *SBÍRKA ZÁKONŮ ČESKÁ REPUBLIKA: 264. Vyhláška o energetické náročnosti budov*. In: . Praha: Aleš Čeněk, s.r.o., 2020, ročník 2020, částka 98, číslo 264. ISSN 1211-1244.
- [12] *STUDIE KONCEPTŮ TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ SYSTÉMŮ PRO VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ: ve vztahu k legislativním požadavkům na ukazatele energetické náročnosti budov s využitím výrobků KORADO, a.s.* [online]. Praha: KORADO, a.s. [cit. 2022-02-09]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/198829407-Studie-konceptu-technickeho-reseni-systemu-pro-vytapeni-a-vetrani.html>
- [13] *Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – Část 1: základní přehled změn*. In: *TZB-Info* [online]. [cit. 2022-02-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/20449-novela-vyhlasiky-c-78-2013-sb-cast-1-zakladni-prehled-zmen>
- [14] ČEJKA, Michal. *Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – (264/2020 Sb.); Část 3: Nastavení faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů*. In: *TZB-Info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/20716-novela-vyhlasiky-c-78-2013-sb-cast-3-nastaveni-faktoru-primarni-energie-z-neobnovitelnych-zdroju#>:
- [15] *Návod pro instalaci, montáž a obsluhu plynového závěsného kotle CERASTAR: ZWR 24-3 KE* [online]. Praha: JUNKERS Robert Bosch, 1995 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/cs/document/read/40241220/zr-zwr-18-24-3-kea>
- [16] KORADO RADIK VK. In: *Korado* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/radik-vk>
- [17] *Manuál k termostatu Junkers TRP 31* [online]. In: . [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/37713673/trp-31>
- [18] *ČSN 73 0540-3: Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 96 s.
- [19] *Technický list Isover EPS 100: Isover EPS 100 Stabilizované desky z pěnového polystyrenu* [online]. In: . Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-100#descriptions>

- [20] *Knauf RED Piano 15: Prohlášení o vlastnostech* [online]. In: . Praha: Knauf Praha spol s.r.o., 2018 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.knauf.cz/file/4473-0106-knauf-red-piano-15-2018-03-29-cz.pdf>
- [21] *Technický list ISOVER Unirol Profi: Isover UNIROL PROFI Minerální izolace ze skelných vláken* [online]. In: . Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/technicke-listy/pds-isover-unirol-profi-cs-cz.pdf>
- [22] *ČSN EN ISO 6946: Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, 44 s.
- [23] *ČSN EN 12831-1: Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 98 s.
- [24] *ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Říjen 2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 56 s.
- [25] *ČSN 73 0331-1: Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. 1.10.2020. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 88 s.
- [26] HORÁK, Ondřej a Karel KABELE. *Energetická náročnost budovy a skutečná spotřeba energie* [online]. In: . Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra TZB [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/19623-energeticka-narocnost-budovy-a-skutecna-spotreba-energie>
- [27] *Ceník Variant PRO 24 Zima I. dodávky plynu E.ON Energie, a.s. pro maloodběratele a domácnosti s měřením typu C1 (ročně fakturovaní zákazníci)*. In: *E.ON Energie, a.s* [online]. České Budějovice [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/getmedia/0de6d2f9-2c59-46af-a623-c0d5344d23a0/Cenik-Variant-PRO-24-Zima-I-distribucni-uzemi-GasNet.pdf?ext=.pdf>
- [28] *Ceník Variant PRO 24 Zima I. dodávky elektřiny E.ON Energie, a.s., pro zákazníky kategorie D – Domácnosti* [online]. In: . E.ON Energie, a.s [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: https://www.eon.cz/getmedia/fac4e144-e4ac-431e-be72-5d5408cd3d01/Cenik-Variant-PRO-24-Zima-I-distribucni-uzemi-CEZ_D.pdf?ext=.pdf
- [29] *Nová zelená úsporám: Základní informace* [online]. In: . [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/zakladni-informace/>

- [30] *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory programu Nová zelená úsporám v rámci Národního plánu obnovy: RODINNÉ DOMY* [online]. Státní fond životního prostředí ČR, 2021, 57 s. [cit. 19.02.2022]. Dostupné z: https://novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2021/10/05/1633434577_NZ%C3%9A%20RD%20-%20Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny%20pro%20%C5%BEadatele.pdf
- [31] Isover EPS GreyWall: Šedé fasádní desky se zvýšeným izolačním účinkem. In: *ISOVER* [online]. Praha: Saint-Gobain Construction Products CZ a.s, 2019 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/technicke-listy/pds-isover-eps-greywall-cz-cz.pdf>
- [32] *Weber kalkulátor: Cena zateplení fasády* [online]. In: . [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.weber-kalkulator.cz/>
- [33] Kolik stojí zateplení fasády domu – polystyren, minerální vata, práce. In: *StavímBydlim.cz* [online]. [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/kolik-stoji-zatepleni-fasady-domu-polystyren-mineralni-vata-prace/>
- [34] *Interiérová deska pro účinné vnitřní zateplení obvodového zdiva či stropu* [online]. In: . Kingspan®, divize Izolací [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/15278-interierova-deska-pro-ucinne-vnitri-zatepleni-obvodoveho-zdiva-ci-stropu>
- [35] *Izolace Kooltherm K17 Interiérová deska* [online]. In: . Praha: Kingspan Izolace Česká republika [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolace/izolacni-desky/kooltherm-k17-interierova-deska>
- [36] *Kingspan - Ceník 2020: Kooltherm® K17 Interiérová deska* [online]. In: . [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://data.krytinystrechy.cz/100183/www/www.izolace-info.cz/ceniky/cenik-kingspan.pdf>
- [37] *PLASTOVÁ OKNA Q10 PREMIUM* [online]. In: . WindowStar s.r.o., 2022 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.windowstar.cz/q10-premium.html>
- [38] *PLASTOVÉ VEDLEJŠÍ VCHODOVÉ DVEŘE K Q10*. In: *WindowStar s.r.o.* [online]. 2021 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.windowstar.cz/q10-vitam-2.html>
- [39] Produktový list RotoQ Q4 – kyvné okno. In: *Roto střešní okna* [online]. Praha: ROTO střešní okna s.r.o., 2021 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.rotostresniokna.cz/fileadmin/user_upload/Produktovy_list_Rot oQ4.pdf
- [40] HOLCÁTOVÁ, Ivana. *Zdravotní aspekty nedostatečného větrání* [online]. In: . [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/8320-zdravotni-aspekty-nedostatecneho-vetrani>

- [41] ANDRES, Petr. *Vlhkost vzduchu a hygiena prostředí* [online]. In: . FLAIR, a.s. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/18142-vlhkost-vzduchu-a-hygiena-prostredi>
- [42] KAŠÍK, Petr. Jaká je správná koncentrace CO₂ ve zdravé budově?. In: *TZB-info* [online]. AMiT, spol. s r.o. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/17612-jaka-je-spravna-koncentrace-co2-ve-zdrave-budove>
- [43] LAJČÍKOVÁ, Ariana. *Škodliviny ve vnitřním prostředí – radon v ovzduší domů a bytů* [online]. In: . [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/14890-skodliviny-ve-vnitrnim-prostredi-radon-v-ovzdusi-domu-a-bytu>
- [44] Decentralizovaná jednotka SmartFan. In: *GetAir* [online]. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://www.getair.eu/sk/>
- [45] SEVi 160 Standard. In: *Seventilation* [online]. Plasy: SEVentilation [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.seventilation.cz/produkty/sevi-160-standard/>
- [46] *Základní výpis z listu výrobku: SEVi 160* [online]. In: . SEVentilation GmbH. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://registrace.novazelenausporam.cz/vyhledavani/vyrobek/SVT7421/decentralizovany-vecraci-system-se-zpetnym-ziskem-tepla/>
- [47] ČSN EN 15665: *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Z1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 12 s.
- [48] *Komfortní větrací jednotka: Zehnder ComfoAir Q350 TR* [online]. In: . Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://vyrobky.zehnder.cz/cs/produkt/zehnder-comfoair-q350-tr>
- [49] ŠUBRT, Roman. Vliv větracího systému s entalpickým výměníkem na interiérové mikroklima. In: *Vetrani.tzb-info.cz* [online]. Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/14333-vliv-vecraciho-systemu-s-entalpickym-vymenikem-na-interierove-mikroklima>
- [50] *Zehnder Entalpický výměník tepla: pro ComfoAir Q350/450/600* [online]. In: . [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.koupelny-venta.cz/zehnder-entalpicky-vymenik-tepla/87083/produkt?id=143886>

- [51] *Certified Passive House Component: ComfoAir Q350 ERV* [online]. In: . Darmstadt, Germany: Passive House Institute [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: https://database.passivehouse.com/en/components/details/ventilation_small/zehnder-group-nederland-bv-comfoair-q350-erv-comfort-vent-q350-erv-1006vs03
- [52] *Technická specifikace komfortní větrací jednotky: Zehnder ComfoAir Q350 TR*. 2022. Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o., 14 s.
- [53] Zehnder Předehřívací registr (ComfoAir Q350/450/600). In: *Lueftungs.net* [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.lueftungs.net/ZE-Vorheizregister>
- [54] *Technická specifikace akustického tlumiče: Zehnder ComfoWell 420* [online]. In: . Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/phocadownload/koncept-vetrani-nibe/zehnder-comfowell-420-v1805.pdf>
- [55] Zehnder - Větrací trubka ComfoTube 90. In: *Stavbavpohode* [online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://stavbavpohode.cz/produkt/vetraci-trubka-comfotube-90/>
- [56] Zehnder TVA-P. In: *Zehnder* [online]. Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://vyrobky.zehnder.cz/cs/produkt/zehnder-tva-p>
- [57] *Srovnání technických parametrů talířové ventily Zehnder ComfoValve Luna S a Luna E*. Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. Dostupné také z: <https://vyrobky.zehnder.cz/download/1a6b2384e39f4c08a02967a774410b00>
- [58] Zehnder Talířový ventil ComfoValve Luna E125: Technická specifikace talířového odtahového ventilu. In: *Zehnder* [online]. Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://vyrobky.zehnder.cz/cs/produkt/zehnder-talirovy-ventil-comfovalve-luna-e125>
- [59] Zehnder ComfoValve Luna: Řada ventilů pro nejvyšší komfort bydlení: Zehnder ComfoValve Luna S125. In: *Zehnder* [online]. Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://vyrobky.zehnder.cz/cs/produkt/zehnder-comfovalve-luna-s125>
- [60] *Zehnder ComfoValve Luna s125 AirBlocker* [online]. In: . Zehnder Group [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://zehnder.hu/termek/zehnder-comfovalve-luna-s125-szelep/>

- [61] Zehnder ComfoPipe Compact 160. In: *Zehnder* [online]. Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://vyrobky.zehnder.cz/cs/produkt/zehnder-comfopipe-compact>
- [62] *Systém rozvodu vzduchu* [online]. In: . Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.zehnder.cz/vyrobky-a-systemy/komfortni-systemy-vetrani-s-rekuperaci/systemy-rozvodu-vzduchu-comfofresh>
- [63] Technická specifikace Zehnder ComfoTube. In: *Zehnder* [online]. Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://vyrobky.zehnder.cz/cs/produkt/zehnder-comfotube-round>
- [64] *Technická specifikace Zehnder ComfoValve Luna S125* [online]. In: . Praha: Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://vyrobky.zehnder.cz/cs/produkt/zehnder-comfovalve-luna-s125>
- [65] *Ceník blower door test* [online]. In: . Brno: KS stavební s.r.o. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.ksstavebni.cz/blower-door-test-cena>
- [66] DUDA, František, Petr KOTEK, ed. Katalog úsporných opatření: Kotel na peletky. In: <http://www.kataloguspor.cz/> [online]. Praha: Asociace energetických specialistů, z.s, 2018 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <http://www.kataloguspor.cz/Kotel-na-peletky-1.html#bod4>
- [67] KOTEK, Petr. *Alternativní zdroje energie: Tepelné čerpadlo typu země - voda* [online]. In: . Praha: Asociace energetických specialistů, z.s [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <http://www.kataloguspor.cz/Tepelne-cerpadlo-typu-zeme-voda-8.html>
- [68] KOTEK, Petr. *Tepelné čerpadlo typu voda - voda* [online]. In: . Asociace energetických specialistů, z.s [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <http://www.kataloguspor.cz/Tepelne-cerpadlo-typu-voda-voda-3.html>
- [69] KOTEK, Petr. *Tepelné čerpadlo typu vzduch - voda* [online]. In: . Praha: Asociace energetických specialistů, z.s, 2018 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <http://www.kataloguspor.cz/Tepelne-cerpadlo-typu-vzduch-voda-3.html>
- [70] *TEPELNÉ ČERPADLO MONOBLOK - SMH-40IRB: Technický list*. SINCLAIR Global Group. s r.o.
- [71] NÁVOD K OBSLUZE - SMALTOVANÝ NEPŘÍMOTOPNÝ OHŘÍVAČ VODY ST-300DE. In: *Sinclair-solutions* [online]. Brno: SINCLAIR Global Group s.r.o., 2014 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.sinclair-solutions.com/files/xx-czech-cz/navody-k-obsluze-cz/heat-pump/tanks/sinclair-um-tanks-st-300de-cz.pdf>

- [72] *Sinclair samostatné zásobníky vody: ST-300DE* [online]. In: . Brno: SINCLAIR Global Group s.r.o. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.sinclair-solutions.com/cs/produkty/tepelna-cerpadla/samostatne-zasobniky-vody/257-st-300de-053121000002525.html>
- [73] *SINCLAIR - SERVICE & INSTALLATION MANUAL: MONOBLOCK INVERTER AIR TO WATER HEAT PUMPS SMH-XXXIRB*. Brno: SINCLAIR Global Group, s. 136.
- [74] Projekční podklady a provozní parametry. In: *Projektuj-tepelna-cerpadla* [online]. GT Energy s.r.o., 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/ivt-air-x-vzduch-voda>
- [75] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Ve znění novely č. 217/2016 Sb.*
- [76] BIVALENTNÍ ZAPOJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA S DOTOPOVÝM KOTLEM. In: *Projektuj-tepelna-cerpadla* [online]. GT Energy s.r.o. [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/bivalentni-zapojeni-tepelneho-cerpadla-s-dotopovym-kotlem>
- [77] *EH-SMH: Pomocný elektrický ohřívač pro monoblokové jednotky* [online]. In: . Brno: SINCLAIR Global Group s.r.o. [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.sinclair-solutions.com/cs/produkty/tepelna-cerpadla/prislusenstvi/8626-eh-smh.html>
- [78] ČSN 06 1101. *Česká technická norma - Otopná tělesa pro ústřední vytápění*. - Praha: Český normalizační institut, 2005, 32 s. ICS 91.140.10.
- [79] *Katalog RADIK - Desková otopná tělesa* [online]. In: . Česká Třebová: Korado a.s., 2020 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: http://ekatalogy.korado.cz/katalogy/CZ_KATALOG_RADIK/CZ_RADIK_01-2022.html
- [80] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-861-7683-5.
- [81] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. *Tepelné vlastnosti vody při tlaku nasycení* [online]. In: . [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/7-tepelne-vlastnosti-vody-pri-tlaku-nasyceni>
- [82] VRÁNA, Jakub. *Dimenzování vnitřních vodovodů - 2.část: Návrh průměru přívodního potrubí* [online]. In: . Topin Media, s. r. o, 2013 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/dimenzovani-vnitrich-vodovodu-2-cast-navrh-prumeru-privodniho-potrubu-detail-7031>

- [83] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy - podrobně. In: *TZB-info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/24-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-podrobne>
- [84] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát - základní tvarovky v potrubí. In: *TZB-Info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zakladni-tvarovky-v-potrubi>
- [85] *Korado ARMATURA HM* [online]. In: . KORADO, a. s. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.ozonius.sk/sub/ozonius.sk/images/attachments/korado-pripojovaci-armatura-hm.pdf>
- [86] BAŠTA, Jiří. Návrh tlakové expanzní nádoby: Objem expanzní nádoby, seřízení přetlaku na straně vzdušiny. In: *TZB-Info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/1156-navrh-expanzni-nadoby>
- [87] *Reflex expanzní nádoba S 2/10 - 2l, 10 bar* [online]. In: . PROFI-UNION, spol. s r.o. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/reflex-s-2-10-p7925/#gallery>
- [88] HOŘEJŠÍ, Miroslav a Jan NOVÁK. Výpočet pojistného ventilu pro kotle a výměníky tepla. In: *TZB-Info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/43-vypocet-pojistneho-ventilu-pro-kotle-a-vymeniky-tepla>
- [89] Ekvitermní regulace tepelného čerpadla. In: *Abeceda čerpadel* [online]. Praha: GT Energy s.r.o [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/ekvitermni-regulace>
- [90] *Sinclair nástěnná fan coil jednotka SF-250HM* [online]. In: . Brno: SINCLAIR Global Group s.r.o. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.sinclair-solutions.com/cs/produkty/fan-coil-jednotky/nastenne-jednotky-2-trubkove/9291-sf-250hm-053201200000125.html>
- [91] *Jak zabránit přehřívání interiéru? Nabízí se efektivní řešení pomocí systému rovnotlakého větrání* [online]. In: . Zehnder Group Czech Republic s.r.o. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/22577-jak-zabranit-prehrivani-interieru-nabizi-se-efektivni-reseni-pomoci-systemu-rovnotlakeho-vetrani>
- [92] REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. In: *TZB-Info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>

- [93] Průměrné venkovní teploty v otopném období pro vybrané lokality. In: *TZB-Info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/26-prumerne-venkovni-teploty-v-otopnem-obdobi-pro-vybrane-lokality>
- [94] REINBERK, Zdeněk. Výpočet hodnot lineární interpolací/extrapolací. In: *TZB-Info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/150-vypocet-hodnot-linearni-interpolaci-extrapolaci>
- [95] Územní teploty v roce 2021 - Olomoucký kraj. In: *Chmi* [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- [96] Fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům S-Power MIDI. In: *S-Power* [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/fotovoltaicka-elektrarna-s-power-midi/>
- [97] Fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům S-Power TOP. In: *S-Power* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/fotovoltaicka-elektrarna-s-power-top/>
- [98] Fotovoltaické panely AEG 450 Wp. In: *S-Power* [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/fotovoltaicke-panely-aeg>
- [99] Produktový list AEG 450 Wp. In: *S-Power* [online]. Brno: SOLSOL s.r.o. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/wp-content/uploads/aeg-as-m1443-m6.pdf>
- [100] *MPPT regulátor* [online]. In: . SOLARECO [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.solareco.sk/cs/regulator/predstaveni-regulatoru>
- [101] Hybridní 3f měnič GoodWe GW6,5K-ET, 6,5 kW, tří-fázový. In: *Fve-mp* [online]. FVE-MP s.r.o., [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.fve-mp.cz/eshop/p/hybridni-3f-menic-goodwe-gw6-5k-et-10031-166>
- [102] ZILVAR, Jiří. Svět potřebuje Chvaletice kvůli manganu do baterií. In: *TZB-Info* [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21281-svet-potrebuje-chvaletice-kvuli-manganu-do-baterii>
- [103] Baterie Risen/SYL HomeESS HV3700. In: *S-Power* [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/baterie-risen/>
- [104] Technický list - HV3700 HomeESS Bateriová sestava. In: *S-power* [online]. Risen Energy Co., Ltd [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/wp-content/uploads/risen-syl-hv3700-cz.pdf>

- [105] Schéma hybridního fotovoltaického systému GoodWe. In: *Solarniexperti* [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/wp-content/uploads/schema-zapojeni-fotovoltaicky-hybridni-system-goodwe-des.jpg>
- [106] DEKSOFT FVE. In: *Deksoft.eu* [online]. DEK a.s. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://deksoft.eu/programy/fve>
- [107] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM: TYPICAL METEOROLOGICAL YEAR. In: *Re.jrc.ec.europa.eu* [online]. The European Commission [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [108] Ceník Variant PRO 24 Jaro II.: Ceník elektrické energie E.ON. In: *E.ON Energie, a.s* [online]. České Budějovice: E.ON Energie, a.s, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://www.eon.cz/getmedia/ec7e24c1-c198-437d-b538-f9e9b213dfa9/Cenik-Variant-PRO-24-Jaro-II-distribucni-uzemi-EG-D_D.pdf?ext=.pdf
- [109] Ceník Variant PRO 24 Jaro II.: Ceník zemního plynu E.ON. In: *E.ON Energie, a.s* [online]. České Budějovice: E.ON Energie, a.s, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/getmedia/9d0b27a7-9aa4-4fd2-a6d3-2a8de8514c45/Cenik-Variant-PRO-24-Jaro-II-distribucni-uzemi-GasNet.pdf?ext=.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
c	Měrná tepelná kapacita	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
c_t	Teplotní podílový koeficient	[-]
COP	Topný faktor	[-]
COP_t	Topný faktor při dané venkovní teplotě	[-]
d	Tloušťka vrstvy materiálu	[m]
d_i	Vnitřní průměr potrubí	[m]
d_o	Počet dnů otopného období	[dny]
d_p	Počet dnů v daném měsíci	[-]
d_v	Minimální vnitřní průměr pojistného potrubí	[mm]
$E_{t\check{c},h}$	Energie dodaná TČ pro daný měsíc a dobu provozu	[MWh]
$E_{t\check{c},r}$	Spotřeba elektrické energie TČ pro potřeby vytápění	[MWh]
$E_{TV,r}$	Měsíční spotřeba el. energie TČ pro ohřev TV	$[\text{MWh}\cdot\text{měsíc}^{-1}]$
EER	Chladicí faktor	[-]
f	Celkový opravný součinitel	[-]
f_m	Opravný součinitel na hmotnostní průtok	[-]
f_n	Opravný součinitel na počet článků	[-]
f_o	Opravný součinitel na úpravu okolí	[-]
f_p	Opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru	[-]
f_R	Redukční součinitel	[-]
f_t	Opravný součinitel na teplotní rozdíl	[-]
f_x	Opravný součinitel na připojení tělesa	[-]
H_{\max}	Maximální dopravní výška	[m]

k	Hydraulická drsnost stěn potrubí	[m]
L	Délka daného úseku	[m]
L_{wA}	Hladina akustického výkonu	[dB(A)]
\dot{m}	Hmotnostní průtok	[kg·h ⁻¹]
n	Teplotní exponent	[-]
n_{50}	Intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	[h ⁻¹]
n_o	Součinitel zvětšení objemu	[-]
$P_{t\check{c},t}$	Příkon tepelného čerpadla pro venkovní teplotu	[kW]
p_d	Dolní provozní přetlak	[kPa]
p_h	Skutečný nejvyšší provozní přetlak	[kPa]
p_{hp}	Horní provozní přetlak	[kPa]
p_{ot}	Otevírací přetlak pojistného ventilu	[kPa]
Q_{fuel}	Celková dodaná energie do budovy	[kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]
Q_{max}	Maximální objemový průtok	[m ³ ·h ⁻¹]
Q_{nPE}	Primární energie z neobnovitelných zdrojů	[kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]
Q_p	Výkon zdroje	[kW]
Q_T	Tepelný výkon otopného tělesa	[W]
Q_{Tn}	Jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa	[W]
$Q_{TV,d}$	Denní potřeba tepla pro ohřev TV	[kWh·den ⁻¹]
$Q_{TV,m}$	Měsíční spotřeba pro ohřev TV	[MWh·měsíc ⁻¹]
$Q_{t\check{c}}$	Topný výkon TČ při dané venkovní teplotě	[kW]
R	Tepelný odpor	[m ² ·K·W ⁻¹]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
R_{se}	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	[m ² ·K·W ⁻¹]

R_{si}	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_t	Měrná tlaková ztráta	$[Pa]$
R_{tot}	Celkový tepelný odpor	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
S_o	Průřez sedla pojistného ventilu	$[mm^2]$
t_1	Teplota studené vody	$[^{\circ}C]$
t_2	Teplota ohřáté vody	$[^{\circ}C]$
t_i	Vnitřní výpočtová teplota	$[^{\circ}C]$
t_{provoz}	Doba provozu TČ za den	$[h]$
t_{w1}	Teplota vstupní vody	$[^{\circ}C]$
t_{w2}	Teplota výstupní vody	$[^{\circ}C]$
U_d	Součinitel prostupu tepla dveřmi	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_{em}	Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_k	Součinitel prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$U_{N,20,j}$	Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$U_{R,j}$	Referenční hodnota součinitele prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_w	Součinitel prostupu tepla celým oknem	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
V_{2p}	Celková potřeba teplé vody za den	$[m^3 \cdot den^{-1}]$
V_{cp}	Předběžný objem expanzní nádoby	$[l]$
V_e	Expanzní objem	$[l]$
V_o	Objem vody v soustavě	$[l]$
\dot{V}_{od}	Odváděný objemový průtok	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
\dot{V}_p	Přiváděný objemový průtok	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
w_i	Rychlost proudění v potrubí	$[m \cdot s^{-1}]$
z	Koeficient energetických ztrát systému	$[-]$

α_v	Výtokový součinitel	[-]
Δp_d	Tlaková ztráta k dorovnání	[Pa]
Δp_z	Celková tlaková ztráta	[Pa]
Δp_λ	Tlaková ztráta třením	[Pa]
Δp_ξ	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
Δt	Aritmetický teplotní rozdíl pro nové výpočetní podmínky	[°C]
Δt_{ln}	Logaritmický teplotní rozdíl pro nové výpočetní podmínky	[°C]
Δt_n	Aritmetický teplotní rozdíl v základním provozním stavu	[°C]
$\Delta t_{n,ln}$	Logaritmický teplotní rozdíl v základním provozním stavu	[°C]
Δt_s	Teplotní spád soustavy	[°C]
θ_e	Výpočtová venkovní teplota	[°C]
$\theta_{hp,e}$	Teplota pro definování otopného období	[°C]
$\theta_{m,e}$	Roční průměrná venkovní teplota během otopného období	[°C]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
λ_{ev}	Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
λ_o	Součinitel třecích ztrát - iterační	[-]
λ_t	Součinitel třecích ztrát	[-]
ν	Kinematická viskozita	[m ² ·s ⁻¹]
ξ	Součinitel místních ztrát	[-]
ρ	Hustota tekutiny	[kg·m ⁻³]
Φ_c	Celková tepelná ztráta	[W]

$\Phi_{c,t}$	Tepelná ztráta rodinného domu při dané venkovní teplotě	[W]
Φ_{HL}	Návrhový tepelný výkon	[W]
Φ_T	Návrhová tepelná ztráta prostupem	[W]
Φ_V	Návrhová tepelná ztráta větráním	[W]

ZKRATKY

DS	Distribuční síť
SDK	Sádrokarton
STC	Standart Test Conditions (Standartní testovací podmínky)
TČ	Tepelné čerpadlo
TV	Teplá voda
VZT	Vzduchotechnická jednotka
ZZT	Zpětné získávání tepla

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1	Chronologický přehled platnosti požadavků (upraveno z [8])	15
Obrázek 2.1	Porovnání hodnocené budovy s referenční budovou	16
Obrázek 3.1	Stávající stav rodinného domu	19
Obrázek 3.2	Půdorys 1.NP	20
Obrázek 3.3	Půdorys 2.NP	21
Obrázek 3.4	Plynový kotel Junkers ZWR 24-3 KE [15].....	22
Obrázek 3.5	Termostat Junkers TRP 31 [17].....	24
Obrázek 3.6	Průkaz energetické náročnosti – stav před rekonstrukcí	29
Obrázek 5.1	Sterling-Scofieldův diagram (upraveno z [41]).....	45
Obrázek 5.2	Decentralizovaná větrací jednotka SmartFan [44].....	47
Obrázek 5.3	Decentralizovaná větrací jednotka SEVi 160 [45].....	48
Obrázek 5.4	Větrací jednotka Zehnder ComfoAir Q350 ERV [48]	51
Obrázek 5.5	Křížový protiproudý entalpický výměník větrací jednotky [50]	52
Obrázek 5.6	Přehřívací registr pro větrací jednotku ComfoAir Q350 [53]	53
Obrázek 5.7	Napojení akustických tlumičů a montážní desky [54]	53
Obrázek 5.8	Větrací trubka ComfoTube 90 [55].....	54
Obrázek 5.9	Kryt vývodu vzduchu TVA-P 90 [56]	54
Obrázek 5.10	Odtahový talířový ventil ComfoValve Luna E125 [58].....	55
Obrázek 5.11	Přívodní talířový ventil ComfoValve Luna S125 [59].....	55
Obrázek 5.12	AirBlocker na talířovém ventilu ComfoValve Luna S125 [60].....	56
Obrázek 5.13	Sací a výfukové potrubí Zehnder ComfoPipe Compact 160 [61]...	56
Obrázek 5.14	2.NP rodinného domu - paprskové řešení větrání	57
Obrázek 5.15	Diagram přívodního talířového ventilu Luna S125 [64].....	59
Obrázek 5.16	Diagram odtahového talířového ventilu Luna E125 [58]	60
Obrázek 6.1	Tepelné čerpadlo monoblok SINCLAIR SMH-40IRB [70].....	67
Obrázek 6.2	Nepřímotopný ohříváč teplé vody SINCLAIR ST-300DE [72].....	68
Obrázek 6.3	Doporučení pro umístění tepelného čerpadla [73].....	69
Obrázek 6.4	Pomocný elektrický ohříváč pro monoblokové jednotky [77]	71
Obrázek 6.5	Nastavení termostatického ventilu pro otopná tělesa Korado [79]...	77
Obrázek 6.6	Nastavení počtu otáček - Armatura HM [85].....	78
Obrázek 6.7	Expanzní nádoba Reflex S 2/10 -2 I [87]	79
Obrázek 6.8	Oběhové čerpadlo WILO Yonos PARA [73]	80
Obrázek 6.9	Zjednodušené grafické znázornění soustavy (přizpůsobeno z [73])	81
Obrázek 6.10	Nástěnná fan coil jednotka Sinclair SF-250HM [90]	82
Obrázek 7.1	Fotovoltaický panel AEG 450 Wp [98].....	89
Obrázek 7.2	Hybridní třífázový střídač GoodWe GW 6,5K-ET [101].....	90
Obrázek 7.3	Bateriové uložení Risen/SYL HomeESS 14,8 kWh [103].....	92
Obrázek 7.4	Nabídka S-Power MIDI, umístění fotovoltaických panelů	93
Obrázek 7.5	Nabídka S-Power TOP, umístění fotovoltaických panelů	94
Obrázek 7.6	Schématické zapojení systému (přizpůsobeno z [105]).....	95
Obrázek 7.7	Průkaz energetické náročnosti budovy - stav po rekonstrukci	106

SEZNAM GRAFŮ

Graf 3.1	Bilance ztrát energie rodinného domu před rekonstrukcí	31
Graf 3.2	Roční průběh dodané energie pro vytápění a přípravu teplé vody	32
Graf 3.3	Spotřeba zemního plynu rodinného domu za poslední 4 roky.....	33
Graf 3.4	Roční spotřeba elektrické energie rodinného domu	34
Graf 5.1	Bilance ztrát energie rodinného domu po zateplení	46
Graf 6.1	Bod bivalence tepelného čerpadla	71
Graf 7.1	Rozdělení roční spotřeby elektrické energie rodinného domu.....	98
Graf 7.2	S-Power TOP - využitelnost el. energie z FVE	100
Graf 7.3	S-Power MIDI - využitelnost el. energie z FVE.....	102
Graf 8.1	Doba návratnosti rekonstrukce rodinného domu - porovnání variant ...	111

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1	Faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [11].....	17
Tabulka 2.2	Požadavky na splnění ukazatele energetické náročnosti [12].....	18
Tabulka 3.1	Místnosti 1.NP.....	20
Tabulka 3.2	Místnosti 2.NP.....	21
Tabulka 3.3	Základní technické parametry kotle Junkers ZWR 24-3 KE [15]	22
Tabulka 3.4	Otopná tělesa 1.NP.....	23
Tabulka 3.5	Otopná tělesa pro 2.NP.....	23
Tabulka 3.6	Parametry stěny vnější.....	25
Tabulka 3.7	Parametry stěny vnitřní	25
Tabulka 3.8	Parametry podlahy na zemině.....	25
Tabulka 3.9	Parametry stropu k nevytápěné půdě	26
Tabulka 3.10	Parametry střechy šikmé.....	26
Tabulka 3.11	Otvorové výplně parametry	27
Tabulka 3.12	Základní klimatické údaje	28
Tabulka 3.13	Tepelné ztráty vytápěných místností.....	28
Tabulka 3.14	Porovnání součinitele prostupu tepla	30
Tabulka 3.15	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy - porovnání	31
Tabulka 3.16	Roční náklady na provoz domu.....	34
Tabulka 4.1	Nová zelená úsporám - oblast A - výše podpory na zateplení [30] ..	35
Tabulka 4.2	Nová zelená úsporám - oblast A - požadované parametry [30].....	36
Tabulka 4.3	Technické parametry pro zateplení vnějších stěn	37
Tabulka 4.4	Srovnání hodnot součinitele prostupu tepla vnějších stěn	37
Tabulka 4.5	Náklady na zateplení vnějších stěn.....	38
Tabulka 4.6	Zateplení stěn vnějších – vyhodnocení opatření	38
Tabulka 4.7	Technické parametry pro zateplení	39
Tabulka 4.8	Srovnání součinitele prostupu tepla šikmé střechy a stropu	39
Tabulka 4.9	Náklady na zateplení střechy šikmé a stropu	40
Tabulka 4.10	První a druhé energeticky úsporné opatření – vyhodnocení	40
Tabulka 4.11	Specifické rozměry otvorových výplní - původní	41
Tabulka 4.12	Srovnání hodnot součinitele prostupu tepla otvorových výplní.....	41
Tabulka 4.13	Náklady na výměnu otvorových výplní	42
Tabulka 4.14	Výměna otvorových výplní – vyhodnocení opatření	42
Tabulka 4.15	Ukazatele energetické náročnosti budovy - porovnání.....	43
Tabulka 4.16	Náklady na provoz rodinného domu - porovnání.....	44
Tabulka 4.17	Ekonomické vyhodnocení provedených opatření.....	44
Tabulka 5.1	Nová zelená úsporám - oblast C.4 – výše podpory pro větrání [30].	46
Tabulka 5.2	Parametry větrací jednotky SEVi 160 [46].....	48
Tabulka 5.3	Množství přiváděného a odváděného vzduchu 1.NP	49
Tabulka 5.4	Množství přiváděného a odváděného vzduchu 2.NP	50
Tabulka 5.5	Technické parametry větrací jednotky ComfoAir Q350 ERV [52].....	52
Tabulka 5.6	Akustický útlum tlumiče v závislosti na frekvenci [54]	53
Tabulka 5.7	Tlakové ztráty přívodního potrubí větracího systému.....	58
Tabulka 5.8	Tlakové ztráty odvodního potrubí větracího systému	58
Tabulka 5.9	Parametry regulace přívodního potrubí větracího systému.....	59
Tabulka 5.10	Parametry regulace odvodního potrubí větracího systému	60
Tabulka 5.11	Ukazatele energetické náročnosti budovy – porovnání.....	61
Tabulka 5.12	Tepelné ztráty vytápěných místností rodinného domu	62
Tabulka 5.13	Náklady na provoz rodinného domu – porovnání.....	63
Tabulka 5.14	Ekonomické zhodnocení dílčích opatření v rámci rekonstrukce.....	64

Tabulka 6.1	Technické parametry tepelného čerpadla [70]	67
Tabulka 6.2	Technické parametry ohřivače teplé vody [71].....	68
Tabulka 6.3	Parametry tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě [73]	70
Tabulka 6.4	Posouzení vhodnosti výkonu otopných těles.....	74
Tabulka 6.5	Tlakové ztráty otopných těles v rodinném domě a jejich regulace ...	77
Tabulka 6.6	Technické parametry oběhového čerpadla WILO [73]	80
Tabulka 6.7	Technické specifikace fan coil jednotky Sinclair SMH-40IRB [90]....	82
Tabulka 6.8	Roční spotřeba elektrické energie dle specifického použití	85
Tabulka 6.9	Ukazatele energetické náročnosti budovy – porovnání.....	86
Tabulka 6.10	Náklady na provoz rodinného domu – porovnání.....	87
Tabulka 6.11	Ekonomické zhodnocení dílčích opatření v rámci rekonstrukce.....	88
Tabulka 7.1	Parametry fotovoltaických panelů AEG 450 Wp [99].....	90
Tabulka 7.2	Parametry třífázových střídačů GoodWe	91
Tabulka 7.3	Parametry bateriových uložení Risen/SYL [104]	92
Tabulka 7.4	Výše podpory pro podoblast C.3 [30]	96
Tabulka 7.5	Spotřeba roční elektrické energie v rodinném domě dle využití	97
Tabulka 7.6	Data z energetické simulace FVE - S-Power TOP	99
Tabulka 7.7	Data z energetické simulace FVE - S-Power MIDI.....	101
Tabulka 7.8	Porovnání výsledných hodnot dílčích nabídek	103
Tabulka 7.9	Ekonomické zhodnocení nabídek FVE	104
Tabulka 7.10	Ukazatele energetické náročnosti budovy – porovnání	105
Tabulka 7.11	Produkce CO ₂ za rok - porovnání	105
Tabulka 7.12	Úspory provozu rodinného domu	107
Tabulka 7.13	Ekonomické zhodnocení rekonstrukce rodinného domu	108
Tabulka 8.1	Porovnání cen mezi jednotlivými variantami energií.....	109
Tabulka 8.2	Porovnání změny nákladů na provoz rodinného domu	110
Tabulka 8.3	Porovnání dob návratnosti jednotlivých variant.....	111

SEZNAM PŘÍLOH

Seznam výkresové dokumentace

1. Výkres stavebního rodinného domu
2. Výkres vytápění rodinného domu
3. Výkres větrání rodinného domu

Ostatní přílohy

1. Průkaz energetické náročnosti – původní stav
2. Protokol výpočtu tepelných ztrát – původní stav
3. Protokol výpočtu tepelných ztrát – konečný stav po rekonstrukci
4. Protokol výpočtu – výpočet produkce fotovoltaické elektrárny
5. Průkaz energetické náročnosti – po rekonstrukci obálky budovy
6. Průkaz energetické náročnosti – po návrhu nuceného větrání
7. Průkaz energetické náročnosti – po návrhu nového zdroje tepla
8. Průkaz energetické náročnosti – konečný stav po rekonstrukci
9. Výpočty tlakových ztrát a regulace pro vytápění, větrání, energetická simulace FVE a ekonomické zhodnocení všech energeticky úsporných opatření