



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Novotný Jméno: Filip Osobní číslo: 424319

Zadávací katedra: 125 - Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Technické systémy v rodinném domě s téměř nulovou spotřebou energie

Název diplomové práce anglicky: Technical systems in the nearly zero energy family house

Pokyny pro vypracování:

Koncepční návrh technických systémů pro vzorový rodinný dům s téměř nulovou spotřebou energie. Student zpracuje diplomovou práci v rozsahu:

- identifikace prostředí terminologie a technických standardů v oblasti budov se sníženou spotřebou energie
- základní energetická bilance rodinného domu - potřeby, bilance, popis výchozího stavu, stavebně technické řešení,
- identifikace variant technických systémů,
- energeticko-ekonomické posouzení technických systémů s ohledem na návratnost systémů,
- návrh prostorového řešení systémů,
- celkové zhodnocení potenciálu technických systémů pro budou se sníženou spotřebou energie (nulový dům).

Seznam doporučené literatury:

Petráš a kol. - Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie

Vavříčka a kolektiv - Příprava teplé vody - nové přepracované vydání (2017)

Matuška, T. - Solární zařízení v příkladech

Tywoniak, J. - Nízkoenergetické domy 2

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 18.2.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

18.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technických zařízení budov



DIPLOMOVÁ PRÁCE
**TECHNICKÉ SYSTÉMY V RODINNÉM DOMĚ S TĚMĚŘ
NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE**

Bc. Filip Novotný

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Studijní program: Budovy a prostředí

Obor: Budovy a prostředí

2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za vstřícné vedení mé diplomové práce, ochotu a cenné rady. Rovněž bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu, trpělivost a motivaci.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 19.05.2019

.....

Abstract

This master's thesis deals with the technical systems in the nearly zero energy family house. The theoretical part defines the term „Nearly zero energy family house”, briefly describes its purpose and determines its criteria. The selected object and its initial state is described in the next part. In the practical part, various variants of technical systems are designed. Furthermore, the thesis deals with evaluation of the suitability of designed variants of technical systems in the nearly zero energy family house from the economic and energy point of view.

Keywords: Nearly zero energy house, zero energy house, heating, ventilation, technical systems in family house, balance of family house, photovoltaic power station

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem technických systémů domu s téměř nulovou spotřebou energie. Teoretická část práce definuje pojem „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“, stručně popisuje jeho význam a stanovuje jeho kritéria. Poté práce popisuje zvolený objekt a jeho výchozí stav. V praktické části práce jsou navrženy jednotlivé varianty technických systémů, které jsou poté hodnoceny z ekonomického a energetického hlediska.

Klíčová slova: Dům s téměř nulovou spotřebou energie, nulový dům, vytápění, větrání, technické systémy rodinného domu, bilance rodinného domu, fotovoltaická elektrárna

Obsah

1 Úvod	1
2 Definice budov s nízkou energetickou náročností	3
2.1 Energetické ukazatele budovy	3
2.1.1 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy	4
2.1.2 Energie dodaná do budovy	4
2.1.3 Neobnovitelná primární energie (nPE)	4
2.2 První zmínky o pasivním domě	6
2.3 Český pohled na pasivní budovy podle PHI	7
2.4 Pojem Nulový dům	9
2.4.1 Dům s téměř nulovou spotřebou energie	9
2.4.2 Nulové a plusové budovy	11
2.4.3 Jaké energie se započítávají do bilance hodnocení budovy	12
2.5 Kritéria stanovená pro tuto práci	13
3 Popis rodinného domu	15
3.1 Funkce a tvar budovy	16
3.1.1 Založení objektu	16
3.1.2 Konstruktivní systém	16
3.1.3 Klimatické podmínky	16
3.1.4 Výpočtové parametry	17
3.1.5 Výpočtový model v programu Design Builder	17
4 Výchozí stav budovy	19
4.1 Tepelné ztráty objektu	19

4.1.1	Tepelné ztráty prostupem obvodového pláště	19
4.1.2	Tepelná ztráta infiltrací a výměnou vzduchu	23
5	Základní energetická bilance rodinného domu	25
5.1	Roční bilance dodané energie pro vytápění	25
5.2	Roční bilance dodané energie pro ohřev teplé vody	27
5.3	Roční bilance dodané energie pro osvětlení	29
5.4	Roční bilance dodané energie pro zásuvkovou potřebu	
	elektriny	31
5.5	Roční bilance dodané energie pro celý rodinný dům	33
6	Vzduchotechnika	37
6.1	Koncepce řešení vzduchotechniky	37
6.2	Množství přiváděného a odváděného vzduchu	38
6.3	Odvětrávání kuchyně	39
6.4	Distribuční prvky	39
6.5	Ochrana proti hluku a vibracím	41
7	Elektrická energie	43
7.1	Využití elektrické energie v jednotlivých obdobích	43
7.2	Veřejná síť	43
7.3	Fotovoltaické panely	44
	7.3.1 Varianty práce s přebytky energie	45
7.4	Domovní elektrárna	46
	7.4.1 Fotovoltaické panely v domovní elektrárně	47
	7.4.2 Solární regulátor	48
	7.4.3 Baterie	48
	7.4.4 Měnič napětí	48
8	Varianty technických systémů v rodinném domě	51
8.1	Varianta 1 - varianta s nízkou počáteční investicí	52
	8.1.1 Popis systému	53
	8.1.2 Technická místnost	53

8.1.3	Otopné plochy	53
8.1.4	Elektrická energie	53
8.2	Varianta 2 - varianta s nízkou počáteční investicí a nízkou neobnovitelnou primární energií	54
8.2.1	Popis systému	54
8.2.2	Technická místnost	54
8.2.3	Otopné plochy, elektrická energie	55
8.3	Varianta 3 - varianta s vysokým podílem energie okolního prostředí	55
8.3.1	Popis systému	55
8.3.2	Technická místnost	56
8.3.3	Otopné plochy	57
8.3.4	Elektrická energie	57
8.4	Varianta 4 - varianta s přímým využitím elektřiny z distribuční sítě a výrobou elektřiny	57
8.4.1	Popis systému	57
8.4.2	Princip systému	58
8.4.3	Schéma zapojení elektrických topných rohoží	58
9	Návrh fotovoltaického systému pro zvolený rodinný dům	61
9.1	Varianta s elektrickými topnými rohožemi	65
9.1.1	Výkon fotovoltaického systému během léta	66
9.1.1.1	Množství vyrobené elektřiny v létě – pracovní den	67
9.1.1.2	Množství vyrobené elektřiny v létě – víkend	68
9.1.2	Výkon fotovoltaického systému během zimy	70
9.1.2.1	Množství vyrobené elektřiny v zimě – pracovní den	71
9.1.2.2	Množství vyrobené elektřiny v zimě – víkend	72
9.1.3	Celkové množství energie potřebné v budově	74
9.2	Varianta s tepelným čerpadlem	74
10	Vyhodnocení jednotlivých variant systémů	77
10.1	Ekonomické posouzení variant	77
10.1.1	Varianta 1 - varianta s nízkou počáteční investicí	78

10.1.1.1 Investiční náklady	78
10.1.1.2 Provozní náklady	79
10.1.2 Varianta 2 - varianta s nízkou počáteční investicí a nízkou neobnovitelnou primární energií	80
10.1.2.1 Investiční náklady	80
10.1.2.2 Provozní náklady	82
10.1.3 Varianta 3 - varianta s vysokým podílem energie okolního prostředí	82
10.1.3.1 Investiční náklady	82
10.1.3.2 Provozní náklady	84
10.1.4 Varianta 4 - varianta s přímým využitím elektřiny z distribuční sítě a výrobou elektřiny	84
10.1.4.1 Investiční náklady	85
10.1.4.2 Provozní náklady	85
10.1.5 Ekonomické porovnání jednotlivých variant	86
10.2 Hodnocení variant z hlediska energetické náročnosti budovy	88
10.2.1 Varianta 1 - varianta s nízkou počáteční investicí	89
10.2.2 Varianta 2 - varianta s nízkou počáteční investicí a nízkou neobnovi- telnou primární energií	90
10.2.3 Varianta 3 - varianta s vysokým podílem energie okolního prostředí	91
10.2.4 Varianta 4 - varianta s přímým využitím elektřiny z distribuční sítě a výrobou elektřiny	92
10.2.5 Vyhodnocení variant podle energetické náročnosti budovy	93
10.3 Průkaz energetické náročnosti budovy PENB	94
11 Závěr	99
Seznam zkratk	103
A Seznam použitých software programů	109
B Seznam příloh	111

Seznam obrázků

3.1 Vizualizace rodinného domu.	15
3.2 Model budovy z jihovýchodní strany.	18
3.3 Model budovy ze severozápadní strany.	18
5.1 Hodinová potřeba energie na vytápění – pracovní den.	26
5.2 Hodinová potřeba energie na vytápění – víkend.	27
5.3 Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v létě – pracovní den.	28
5.4 Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v létě – víkend.	28
5.5 Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v zimě – pracovní den.	29
5.6 Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v zimě – víkend.	29
5.7 Hodinová potřeba energie pro osvětlení v létě – pracovní den.	30
5.8 Hodinová potřeba energie pro osvětlení v létě – víkend.	30
5.9 Hodinová potřeba energie pro osvětlení v zimě – pracovní den.	31
5.10 Hodinová potřeba energie pro osvětlení v zimě – víkend.	31
5.11 Hodinová potřeba energie pro zásuvkovou potřebu – pracovní den.	32
5.12 Hodinová potřeba energie pro zásuvkovou potřebu – víkend.	33
5.13 Hodinová potřeba energie pro celý dům v létě – pracovní den.	34
5.14 Hodinová potřeba energie pro celý dům v létě – víkend.	34
5.15 Hodinová potřeba energie pro celý dům v zimě – pracovní den.	35
5.16 Hodinová potřeba energie pro celý dům v zimě – víkend.	35
6.1 Provětrání a rychlost vzduchu v místnosti – Ložnice 1.	40
7.1 Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny.	45
7.2 Schéma zapojení hybridního solárního systému.	47

8.1 Celková potřeba energie v rodinném domě v grafu.	52
8.2 Princip tepelného čerpadla vzduch-voda.	56
8.3 Princip zapojení elektrických topných rohoží.	59
9.1 Hodinová produkce elektrické energie v průběhu dne.	63
9.2 Hodinová produkce elektrické energie v průběhu dne.	65
9.3 Hodinová produkce FTV systému v porovnání s hodinovou potřebou elektrické energie rodinného domu v létě – pracovní den a víkend.	66
9.4 Hodinová produkce FTV systému v porovnání s hodinovou potřebou elektrické energie rodinného domu v zimě – pracovní den a víkend.	70
10.1 Celkové ekonomické porovnání technických systémů budovy.	88
10.2 Průkaz energetické náročnosti budovy (1).	95
10.3 Průkaz energetické náročnosti budovy (2).	96

Seznam tabulek

2.1 Konverzní faktor energonositelů.	5
2.2 Kritéria pasivního domu podle Mezinárodní asociace iPHA.	6
2.3 Technická normalizační informace pro rodinné domy TNI 73 0329 a pro bytové domy 73 0330.	8
2.4 Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí pro pasivní budovy podle ČSN 73 0540-2.	9
2.5 Členské státy EU a jejich definice nulového domu pro neobnovitelnou primární energii.	10
2.6 Redukční činitel požadované základní hodnoty podle vyhlášky č. 78/2013 Sb.	10
2.7 Pokrytí spotřeby energie z fotovoltaického systému při různém časovém kroku měření.	12
2.8 Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie	12
2.9 Kritéria pro „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“ stanovená pro tuto práci.	13
4.1 Požadovaná teplota místností.	20
4.2 Konstrukce obálky budovy a jejich součinitel prostupu tepla.	21
4.3 Tepelná ztráta domu prostupem.	22
4.4 Tepelné ztráty budovy.	23
5.1 Potřeba energie na vytápění – pracovní den/víkend.	26
5.2 Potřeba energie pro přípravu TV – léto/zima.	27
5.3 Potřeba energie pro osvětlení – léto/zima.	30
5.4 Energie pro zásuvkovou potřebu – pracovní den/víkend.	32

5.5 Celková potřeba energie pro domácnost.	33
6.1 Požadovaná hodnota intenzity větrání a navrhovaná výměna vzduchu pro jednotlivé místnosti.	39
8.1 Celková potřeba energie v rodinném domě.	51
9.1 Hodinová produkce elektrické energie v průběhu dne.	63
9.2 Průměrná denní a měsíční produkce elektrické energie v průběhu roku.	64
9.3 Množství elektrické energie využité z FTV systému a její přebytky v létě – pracovní den.	68
9.4 Množství elektrické energie využité z FTV systému a její přebytky v létě – víkend.	69
9.5 Množství elektrické energie využité z FTV systému a její přebytky v zimě – pracovní den.	72
9.6 Množství elektrické energie využité z FTV systému v zimě – víkend.	73
9.7 Celková potřeba elektrické energie odebrané z elektrické veřejné sítě pro variantu s topnými rohožemi.	74
9.8 Celková potřeba elektrické energie odebrané z elektrické veřejné sítě pro variantu s tepelným čerpadlem.	75
10.1 Varianta 1 – investiční náklady.	79
10.2 Varianta 1 – provozní náklady.	80
10.3 Varianta 2 – investiční náklady.	81
10.4 Varianta 2 – provozní náklady.	82
10.5 Varianta 3 – investiční náklady.	83
10.6 Varianta 3 – provozní náklady.	84
10.7 Varianta 4 – investiční náklady.	85
10.8 Varianta 4 – provozní náklady.	86
10.9 Celkové ekonomické porovnání technických systémů budovy.	87
10.10 Konverzní faktor vybraných energonositelů.	89
10.11 Varianta 1 – celková neobnovitelná primární energie.	89
10.12 Varianta 2 – celková neobnovitelná primární energie.	90
10.13 Varianta 3 – celková neobnovitelná primární energie.	91

10.14 Varianta 4 – celková neobnovitelná primární energie.	92
10.15 Celkové energetické vyhodnocení budovy.	93
10.16 Porovnání 3. varianty s referenční budovou.	97

Kapitola 1

Úvod

Postavit si dům je cílem mnoha obyvatel této země. A jelikož je stavba rodinného domu nemalá investice, je dobré se před samotnou stavbou zamyslet nad tím, jak by měl dům vypadat. Mezi nejčastější požadavky na rodinný dům patří, aby měli jeho obyvatelé požadovaný komfort, nemuseli se o jeho chod příliš starat a aby byly investiční a provozní náklady co nejnižší.

V mé diplomové práci k těmto požadavkům přidám ještě několik dalších bodů, o které samotný uživatel domu nemusí mít velký zájem, ale jsou velmi důležité pro přírodu kolem nás a také pro další generace.

Nebudu ve své práci navrhovat kompletně celý dům, ale do již kvalitně navrženého domu budu vytvářet různé varianty technických systémů, abych dosáhl maximálního kompromisu mezi výše uvedenými požadavky.

Cílem této práce je navrhnout „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“. Alespoň takto je popsán v české legislativě. Mojí prací bude zjistit, do jaké míry to jednotlivé varianty umožňují.

V první části práce se zaměřím především na vysvětlení pojmu „Nulový dům“, na historii tohoto pojmu, na jeho možné interpretace, na jednotlivá požadovaná kritéria a také na stanovení vlastních požadavků, které budu od výsledků očekávat. V další části práce popíši rodinný dům a jeho výchozí stav, do kterého budu zapracovávat mnou zvolené varianty technických systémů. Ještě před samotným návrhem variant bude nutné vypočítat bilance

rodinného domu, jeho tepelnou ztrátu a vysvětlit dílčí části systémů, se kterými budu později pracovat.

V praktické části této práce navrhnu čtyři různé varianty systémů, které by podle mého názoru měly splňovat požadovaná kritéria a udělám energeticko-ekonomické posouzení těchto systémů s ohledem na jejich návratnost.

V závěru této práce budu hodnotit, které z vybraných variant se nejvíce přiblížilo mým požadavkům pro „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“.

Kapitola 2

Definice budov s nízkou energetickou náročností

Už poměrně dlouhou dobu se můžeme setkat s pojmy pasivní domy, domy s téměř nulovou spotřebou energie, nulové domy nebo dokonce plusové domy. Všechny tyto názvy se vztahují k energetické náročnosti budovy. Energetickou náročností budovy se myslí především účinnost technických systémů, energetická kvalita obálky a typ primární energie, která je do budovy přivedena. Dosáhnout nízkoenergetické budovy není cílem pouze u obytných budov, ale i u budov veřejné sféry či průmyslových budov. Já budu ve své práci zabývat obytnou budovou, konkrétněji rodinným domem a jeho vhodným návrhem, aby splňoval kritéria „Nulového domu“.

V následujících kapitolách vysvětlím základní terminologii budov s nízkou spotřebou energie a s tím související způsob jejich hodnocení.

2.1 Energetické ukazatele budovy

Od roku 2013 platí nové hodnocení budov odvozené od novely evropské směrnice. [1] Toto hodnocení zahrnuje vytvoření štítku, který hodnotí tři základní energetické ukazatele budovy. [2]

- Průměrný součinitel prostupu tepla budovy $[W/(m^2 \cdot K)]$

- Dodaná energie [kWh/rok]
- Neobnovitelná primární energie [kWh/rok]

Tyto tři ukazatele tvoří podštitky, přičemž každý z nich musí být splněn, aby budova mohla být zkolaudována. Pro zjištění potřeby energie daného objektu se používají metody, které jsou v souladu s evropskými normami. Do tohoto součtu energií se nezapočítává uživatelská elektrická energie zajišťující chod spotřebičů. Okrajové podmínky výpočtu jsou stanoveny v ČSN 73 0331.1. [3]

V následujících kapitolách přiblížím význam jednotlivých podštitků.

2.1.1 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy

Průměrný součinitel prostupu tepla udává, kolik tepla projde přes hranici obálky budovy v závislosti na její ploše. Z toho vyplývá, že tato hodnota lze ovlivnit pouze kvalitou materiálu, který bude na obálku budovy použit a také její tloušťkou. [4]

Aby bylo možné stanovit energetickou kategorii pro tento součinitel, je nejdříve nutné vypočítat tuto hodnotu pro referenční budovu, s kterou pak lze součinitel porovnat.

2.1.2 Energie dodaná do budovy

Evropská norma EN 15603 umožňuje, aby si členské státy mohly vybrat, zda do energií dodaných do budovy budou započítávat i energii, která byla vyrobena z obnovitelných zdrojů místního prostředí nebo jestli se naopak bude od nakupované energie odečítat. Česká republika si dle mého názoru zvolila méně vhodnou variantu, která místní energii sčítá s dodanou energií ze sítě a vzniká tak dojem, že objekt vyžaduje velkou dodávku energie. V této variantě není na první pohled zřejmé, kolik si uživatel ve skutečnosti musí energie koupit a kolik si vyrobí sám. Z toho vyplývá mylná myšlenka, že jedinou možností jak docílit nižšího množství dodané energie, je navyšování odporu obálky konstrukce a samotný systém na výrobu vlastní energie není výhodný.

2.1.3 Neobnovitelná primární energie (nPE)

Energie z přírody se rozděluje na dva typy – obnovitelný zdroj energie (OZE), která se dokáže vytvořit v rozmezí délky lidského života (energie větru, sluneční záření, energie

vody, geotermální energie a energie z biomasy) a neobnovitelný zdroj energie (nOZE), která na svoji obnovu potřebuje několikanásobně delší dobu (ropa, uhlí zemní plyn, rašelina a jaderná energie). Délka obnovy zdrojů je hlavním důvodem, proč se u nových staveb dbá na to, aby se v maximální míře využívala zejména obnovitelná energie. [5]

Neobnovitelná primární energie vyjadřuje vliv energonositelů na životní prostředí a vyčerpávání zdrojů. Z toho důvodu byl zaveden konverzní faktor, který určuje podíl mezi potřebou neobnovitelné primární energie a potřebou energie dodané na hranici budovy. Každý energonositel má konverzní faktor jiný, a právě tímto faktorem se určuje, kolik celkové neobnovitelné primární energie je potřeba pro jednotlivé objekty. [5]

Energie prostředí jako například sluneční záření, energie větru nebo energie země, má konverzní faktor rovný nule. Při výrobě biomasy už je zapotřebí určité množství neobnovitelné energie, a proto má hodnotu konverzního faktoru větší než nula. Konverzní faktor elektřiny je v České republice roven 3,0, protože je do sítě dodávána převážně z uhelných a jaderných elektráren s nízkou účinností při výrobě. Většina elektrické energie je vyráběna z neobnovitelných zdrojů. To způsobuje, že budovy v našem prostředí, které by měly být vytápěny pomocí elektrické energie z veřejné sítě, téměř nemůžou splnit podmínky kolaudace (aby energetický štítek budovy měl hodnotu C a menší). [3]

Tabulka 2.1 ukazuje konverzní faktory jednotlivých energonositelů.

Palivo (energie)	Konverzní faktor F [kWh/kWh]
Zemní plyn, černé uhlí, hnědé uhlí	1,1
Propan-butan, LPG, topný olej	1,2
Elektřina	3,0
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina, teplo)	0,0
Elektřina – dodávka mimo budovu	-2,6
Teplo – dodávka mimo budovu	-1,0

Tabulka 2.1: Konverzní faktor energonositelů. [6]

2.2 První zmínky o pasivním domě

V historii pasivních domů je jako nejdůležitější osoba považován pan W. Feist, který zavedl institut Passivhaus Institut (PHI), který definuje pasivní budovu takto: „*Pasivní dům je budova, pro kterou může být tepelný komfort dosažen pouze dohřevem nebo dochlazením čerstvého vzduchu, který je potřeba pro zajištění dostatečné kvality vnitřního vzduchu – bez potřeby dodatečné recirkulace vzduchu.*“ Na základě toho byla zavedena kritéria na certifikaci pasivního domu podle Mezinárodní asociace rodinných domů iPHA, která jsou uvedena v tabulce 2.2 [7]

Sledovaný parametr	Hodnota
Měrná roční potřeba tepla na vytápění nebo Měrná tepelná ztráta	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ nebo $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Měrná neobnovitelná primární energie	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby, ověřeno měřením	$\leq 0,6 \text{ l/h}$
Tepelná pohoda, procento ročních hodin překročení teploty $25 \text{ }^\circ\text{C}$	$\leq 10 \%$

Tabulka 2.2: Kritéria pasivního domu podle Mezinárodní asociace iPHA. [7]

Tyto domy se pak hodnotí pomocí Návrhového nástroje pro pasivní domy PHPP. [8] Hlavní rozdíl mezi tímto hodnocením a evropskou normou je, že se při výpočtu neobnovitelné primární energie pomocí PHPP započítává uživatelská elektrická energie (spotřebiče). [7]

V roce 2015 přišel Passivhaus Institut s novou vizí na desítky let dopředu, kdy má být veškerá elektrická energie vytvářena z obnovitelných zdrojů (sluneční záření, energie větru, zemní energie, vodní energie a energie biomasy) a paliva budou na bázi syntetických plynů a biomasy. Protože i při výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů vzniká ztráta, byly zavedeny konverzní faktory pro výrobu elektřiny z fotovoltaického systému 1,0 a pro elektřinu ze syntetického plynu 1,75. [7]

2.3 Český pohled na pasivní budovy podle PHI

Česká republika má jisté výhrady ke konceptu pasivních domů podle PHI. Například při zajištění požadované teploty v domě pouze dohřevem vzduchu může přiváděná teplota vyšplhat až k vysokým teplotám, které mohou způsobovat diskomfort. Dále se také vyhrazuje proti kritériu měrné potřeby tepla na vytápění $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Aby bylo toto kritérium dodrženo, je potřeba stavět pouze budovy s jednoduchým tvarem a používat až nesmyslné tloušťky izolace. Další problémem je započítávání uživatelské energie (domácí spotřebiče) do energetických zisků budovy, přičemž nemůže být dopředu jasné, jaký typ spotřebiče bude uživatel používat za 10 let.

Způsob hodnocení budov podle PHI neodpovídá evropským normám, kterými se řídí Česká republika. Ta v roce 2009 a 2010 zavedla technickou normalizační informaci pro rodinné domy TNI 73 0329 [9] a pro bytové domy 73 0330 [10]. Kritéria stanovená těmito technickými normalizačními informacemi jsou uvedena v tabulce 2.3.

Sledovaný parametr	Požadavek pro rodinné domy dle TNI 73 0329	Požadavek pro bytové domy dle TNI 73 0330
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici	splnění požadavku na doporučené hodnoty podle ČSN 73 0540-2, pokud není výjimečně a zdůvodněně jinak	splnění požadavku na doporučené hodnoty podle ČSN 73 0540-2, pokud není výjimečně a zdůvodněně jinak
Průměrný součinitel prostupu tepla	$\leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\leq 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Přívod čerstvého vzduchu do všech pobytových místností	zajištěn	zajištěn
Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu	$\geq 75 \%$	$\geq 70 \%$
Neprůvzdušnost obálky budovy ve fázi přípravy stavby a kontrolním měřením po dokončení stavby	$\leq 0,6 \text{ l/h}$	$\leq 0,6 \text{ l/h}$

Sledovaný parametr	Požadavek pro rodinné domy dle TNI 73 0329	Požadavek pro bytové domy dle TNI 73 0330
Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti	$\leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$	$\leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$
Měrná potřeba tepla na vytápění	$\leq 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budovy (např. chlazení)	$\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$	$\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

Tabulka 2.3: Technická normalizační informace pro rodinné domy TNI 73 0329 a pro bytové domy 73 0330. [9] [10]

Tabulka 2.3 se odkazuje na normu ČSN 73 0540-2 [11], která mimo jiné definuje součinitele prostupu tepla u jednotlivých konstrukcí pro pasivní dům. V tabulce 2.4 jsou u vybraných konstrukcí tyto hodnoty vypsány.

Popis konstrukce	Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ [W/(m ² *K)]
Stěna vnější	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,22 až 0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	0,80 až 0,60

Tabulka 2.4: Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí pro pasivní budovy podle ČSN 73 0540-2. [11]

2.4 Pojem Nulový dům

V současné době se pojem „nulový dům“ velmi často používá ve stavebnictví i mimo něj, a přitom jen malé procento lidí ví, jaké jsou hlavní důvody zavedení tohoto pojmu. Podle vyhlášky je „nulový dům“ nazýván přesněji jako „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“.

2.4.1 Dům s téměř nulovou spotřebou energie

Již v roce 2010 evropská směrnice naznačila, jak by měly vypadat budovy po roce 2020. [1] Hlavní myšlenkou je využívání co největšího množství energie z místních obnovitelných zdrojů v kombinaci s kvalitním zateplením obvodového pláště a účinnými technickými systémy v budově. Jak již bylo řečeno, evropská směrnice pouze naznačila, jak by měl téměř nulový dům vypadat a členské státy si ho měly podle vlastního rozvoje definovat. V tabulce [2.5] jsou uvedeny některé členské státy EU a jejich definice téměř nulového domu. [12] [13]

Stát EU	Neobnovitelná primární energie nPE [kWh/(m ² *rok)]
Francie	40 až 65
Velká Británie	44
Česká republika	75 až 80 % nPE referenční budovy
Polsko	60 až 75
Německo	40 % referenční budovy
Belgie	45
Dánsko	20
Slovensko	32 až 54
Maďarsko	50 až 72
Irsko	45

Tabulka 2.5: Členské státy EU a jejich definice nulového domu pro neobnovitelnou primární energii. [12] [13]

Česká republika sice upravila zákon č. 318/2012 Sb. [14] o hospodaření s energiemi podle evropské definice téměř nulového domu, ale navazující vyhláška č. 78/2013 Sb. [2] byla definována tak, že v podstatě i obytná budova s dostatečným zateplením splňuje definice téměř nulového domu. To popírá hlavní myšlenky nulových domů, aby se snižovalo množství spotřebované celkové energie a energie z neobnovitelných zdrojů. Tabulka 2.6 ukazuje kritéria pro téměř nulovou budovu v ČR.

Energetický ukazatel	Redukční činitel požadované základní hodnoty
Průměrný součinitel prostupu tepla	0,70
Dodaná energie	1,00
Neobnovitelná primární energie (rodinné domy)	0,75
Neobnovitelná primární energie (bytové domy)	0,80

Tabulka 2.6: Redukční činitel požadované základní hodnoty podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. [2]

V České republice se u rodinného domu pohybuje neobnovitelná primární energie v rozmezí 100 až 150 kWh/(m²*rok). Přitom podle oceánské klimatické oblasti, jejíž součástí je i ČR by se nulový dům měl pohybovat v rozmezí 15 až 30 kWh/(m²*rok). Z toho vyplývá, že podle způsobu, jakým je nastavena vyhláška České republiky, by se dle mého názoru neměly navrhovat budovy s téměř nulovou spotřebou energie, protože by takto téměř nulové spotřeby nikdy nedosáhly. [15]

Z tohoto důvodu budu ve své práci uvažovat vlastní požadavky, které splňují kritéria České republiky pro dům s téměř nulovou spotřebou energie, ale jsou v určitých hodnotách přísnější. Požadavky, se kterými v této práci počítám, ukážu v kapitole 2.5.

2.4.2 Nulové a plusové budovy

V dnešní době je možné se setkat i s termínem plusová budova. Takové budovy lze dosáhnout, pokud budova v roční bilanci vyrobí více primární obnovitelné energie, než za daný rok spotřebuje primární neobnovitelné energie.

U roční bilance budov se na první pohled může zdát, že je budova soběstačná a dokonce má přebytky, které může prodávat do sítě. Tato myšlenka je zčásti pravdivá, ale pouze v určitém období v roce. Například při instalaci fotovoltaických panelů se během léta vyrobí přes den opravdu velké množství energie a budova může mít této energie přebytek a prodávat ji do sítě. Ale naopak v zimě, kdy není sluneční záření tak intenzivní, dny jsou kratší a je potřeba budovu vytápět, tak fotovoltaické panely nejsou schopny vyrobit dostatečné množství elektrické energie a je nutné elektrickou energii dodat z veřejné sítě.

Proto je při hodnocení budov velký rozdíl v intervalu, v jakém budovu hodnotíme. Ve výše zmíněné roční bilanci může budova vycházet plusově, ale při realizaci takové budovy uživatel přesto zjistí, že v průběhu noci nebo přes některé části zimního období musí elektrickou energii dodávat z veřejné sítě.

V tabulce 2.7 je porovnán rozdíl pokrytí spotřeby energie během roku při různém časovém kroku měření. Tento výsledek byl převzat z uměle vytvořeného modelu rodinného domu. [16]

Časový krok	5 min	15 min	60 min	den	měsíc	rok
Pokrytí [%]	18	19	21	71	78	100
Provozní náklady [Kč/rok]	7 788	7 828	7 523	2 730	2 119	0

Tabulka 2.7: Pokrytí spotřeby energie z fotovoltaického systému při různém časovém kroku měření.

Z důvodu větší přesnosti jsem si pro svou práci zvolil hodinovou bilanci hodnocení v průběhu jednoho roku.

2.4.3 Jaké energie se započítávají do bilance hodnocení budovy

V ČSN 73 0540-2 z roku 2011 [11] je obsažena informativní příloha, která uvádí dvě úrovně hodnocení. Úroveň A zahrnuje spotřebu neobnovitelné primární energie na vytápění, přípravu teplé vody, pomocnou energii pro provoz technických systémů a uživatelskou energii pro provoz elektrických spotřebičů a osvětlení. Úroveň B pak obsahuje pouze vytápění, přípravu teplé vody a pomocnou energii. Rozdíl požadavků na tyto dvě úrovně je vidět v tabulce 2.8.

Budova	Úroveň A [kWh/(m ² *rok)]	Úroveň B [kWh/(m ² *rok)]
Nulová	0	0
Blízká nulové	≤ 80	≤ 30

Tabulka 2.8: Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie [kWh/(m²*rok)] podle ČSN 73 0540-2.

Hodnotící schéma iniciativy německého spolkového ministerstva životního prostředí a stavebnictví Effizienzhaus Plus (EEH+) [16] zahrnuje i uživatelskou energii, a to paušální hodnotou 20 kWh/(m²*rok). Při hodnocení energeticky plusové budovy se sledují dva požadavky. Požaduje se záporná roční bilance neobnovitelné primární energie a záporná roční bilance celkové energie dodané do budovy. To znamená, že dům dodá do nadřazených sítí více energie v energonositelích (teplo, elektřina, paliva), než z nich dohromady odebere.

2.5 Kritéria stanovená pro tuto práci

V předchozích kapitolách jsem naznačil několik pohledů na hodnocení budovy s téměř nulovou spotřebou energie. V této práci budu uvažovat přísnější kritéria, než jaká jsou stanovena nyní pro Českou republiku. Hodnoty parametrů, se kterými budu dále počítat ve své práci zobrazuje tabulka 2.9. Dodaná energie do budovy zahrnuje veškerou spotřebu energie včetně uživatelské energie (osvětlení, spotřebiče). [17]

Sledovaný parametr	Hodnota
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici	splnění požadavku na hodnoty pro pasivní domy podle ČSN 73 0540-2, pokud není výjimečně a zdůvodněně jinak
Průměrný součinitel prostupu tepla	$\leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	$\leq 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody, technické systémy budovy, osvětlení a uživatelskou energii	$\leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby, ověřeno měřením	$\leq 0,6 \text{ l/h}$
Tepelná pohoda, procento ročních hodin překroční teploty $25 \text{ }^\circ\text{C}$	$\leq 10 \%$
Přívod čerstvého vzduchu do všech obyvatelových místností	zajištěn
Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu	$\geq 75 \%$

Tabulka 2.9: Kritéria pro „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“ stanovená pro tuto práci.

Kapitola 3

Popis rodinného domu

V této kapitole popíšu rodinný dům, který jsem si vybral pro svou práci.¹

Rodinný dům se nachází v nezastavěné oblasti v Dolním Bukovsku na pozemku o rozloze 2 100 m² s otevřeným prostranstvím na všechny světové strany. Komunikace k domu je přivedena ze severní části budovy. Vizualizace na obrázku 3.1 ukazuje přibližný stav, jak by měl dům vypadat po dokončení.



Obrázek 3.1: Vizualizace rodinného domu.

¹Projekt na výstavbu rodinného domu včetně vizualizací dodala pro potřeby této práce společnost HELUZ cihlářský průmysl v.o.s.

3.1 Funkce a tvar budovy

Jedná se o rodinný dům se třemi podlažími, který je projektován pro čtyřčlennou rodinu. V podzemním podlaží budovy se nachází posilovna, sauna s Whirlpool, sklad a technická místnost. V přízemí rodinného domu je obývací pokoj, kuchyně s jídelnou, šatna a sociální zázemí. Přes vstupní chodbu lze projít do nevytápěné garáže a dále pak do dílny. Všechna podlaží jsou propojena jednoramenným schodištěm. V druhém patře jsou dva pokoje, ložnice se šatnou a koupelna s WC. Celková zastavěná plocha je 182,6 m², v kterých je započítána i terasa na jižní straně domu.

3.1.1 Založení objektu

Rodinný dům je založen na základových pasech z prostého betonu C16/20 o rozdílných šířkách (400 mm a 500 mm) a minimální výšce 1 m, které jsou umístěny pod všemi nosnými stěnami. Základová betonová deska je z betonu C16/20 tloušťky 100 mm a je položena na zhutněném násypu tl. 200 mm. Podlaha je opatřena hydroizolací z asfaltových pásů Elastek 40 tl. 4 mm a tepelnou izolaci zajišťuje EPS tl. 100 mm.

3.1.2 Konstrukční systém

Objekt rodinného domu je založen na betonových pasech, zdi jsou z cihelných tepelně izolačních bloků. V každém podlaží je navržen monolitický železobetonový strop. Železobetonové stropní desky jsou uloženy na železobetonové průvlaky a zděné stěny. Nad hlavním objektem je sedlová střecha se sklonem 40°, nad proskleným vstupem a garáží je plochá střecha.

3.1.3 Klimatické podmínky

V zimních měsících se průměrné denní teploty pohybují v rozmezí od -4 °C do 3 °C, přičemž v nejmraznějších nocích mohou průměrné teploty klesat až k -15 °C. Naopak v letních měsících se průměrná denní maxima pohybují okolo 22 °C. V horkých dnech navíc průměrné teploty stoupají až k 30 °C. Nejvíce srážek je na území zaznamenáno zpravidla v letních měsících, kdy se úhrn srážek pohybuje kolem 75 mm.

3.1.4 Výpočtové parametry

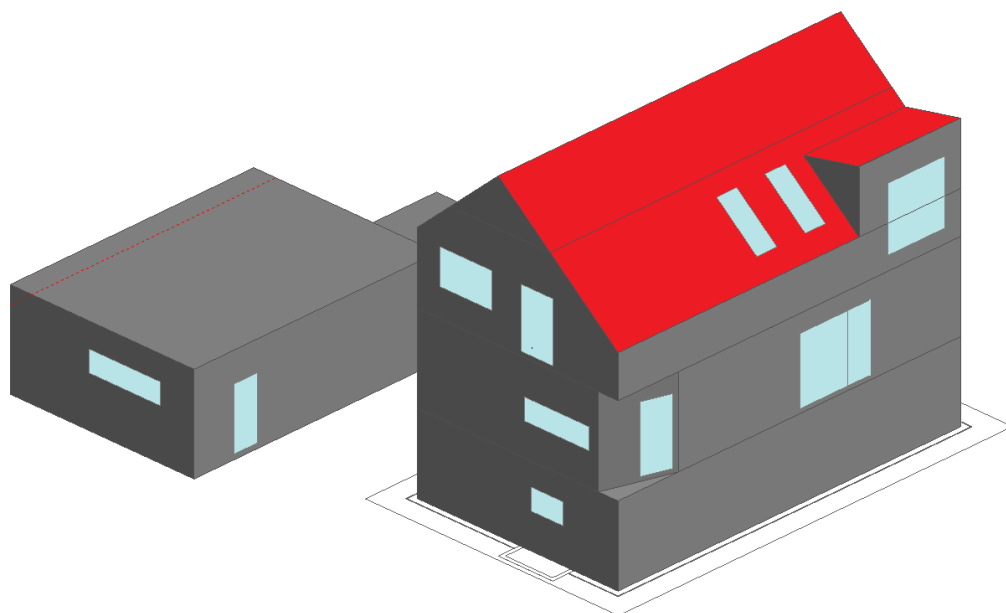
Pro práci ve výpočtových programech jsem si stanovil několik základních parametrů výpočtu především s ohledem na lokalitu, ve které se rodinný dům nachází: [18]

- Výpočtová venkovní teplota $T_e = -15 \text{ °C}$
- Výpočtová relativní vlhkost vnějšího vzduchu $\theta_e = 84\%$
- Výpočtový parciální tlak vodní páry $P_e = 139 \text{ Pa}$
- Průměrná venkovní teplota přes otopné období $T_o = 3,5 \text{ °C}$
- Délka otopného období 232 dní
- Vnější teplota, při které se zahajuje vytápění $T_v = 13 \text{ °C}$
- Nadmořská výška lokality je 446 m. n.m.

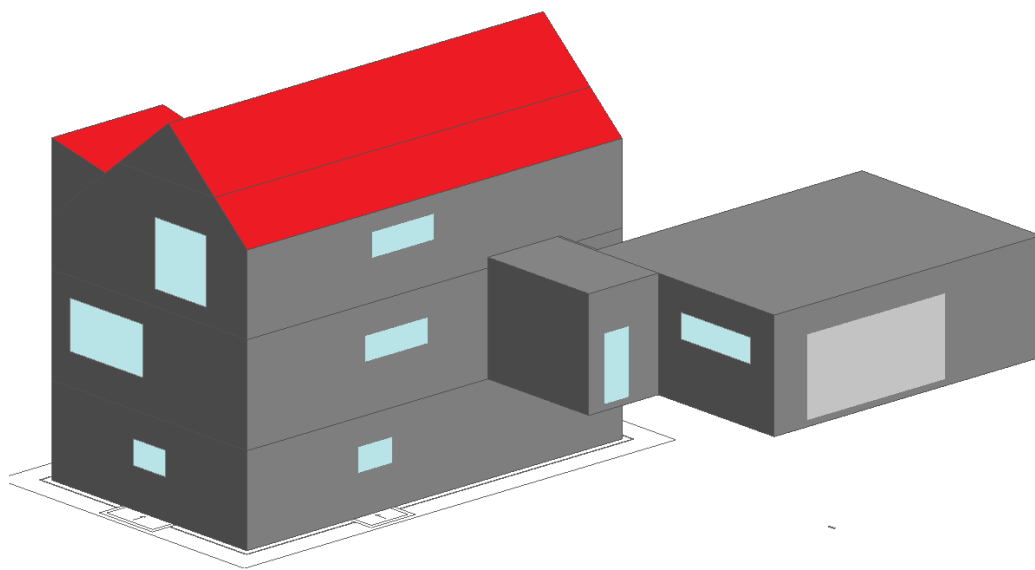
3.1.5 Výpočtový model v programu Design Builder

Výpočet tepelných ztrát budovy a její energetickou bilanci jsem provedl v programu Design Builder. Zde je nejprve nutné vytvořit model celého domu a zadat jednotlivé konstrukce. Dále musí být stanovena teplota, na kterou se jednotlivé místnosti budou vytápět a musí být určeno, jestli bude budova chlazená či nikoliv. V programu Design Builder jsem postupně určil typ osvětlení, počet osob obývajících budovu a další informace nutné pro co nejpřesnější výstup z programu.

Abych měl výsledky s čím porovnat, výpočet jsem provedl i v programu Protech – Tepelné ztráty, kde jsem navrhl konstrukce budovy a stanovil způsob větrání. Výstupem z tohoto programu byly tepelné ztráty prostupem a větráním pro jednotlivé místnosti. Tyto hodnoty jsem porovnal s hodnotami z Design Builderu. Rozdíly mezi hodnotami z obou programů byly zanedbatelné. Pro další práci jsem použil hodnoty z programu Design Builder, jelikož je tento program komplexnější a výsledky jsou dle mého názoru přesnější. Následující obrázky [3.2] a [3.3] zobrazují model budovy z Design Builderu z různých pohledů.



Obrázek 3.2: Model budovy z jihovýchodní strany (vytvořeno v programu Design Builder).



Obrázek 3.3: Model budovy ze severozápadní strany (vytvořeno v programu Design Builder).

Kapitola 4

Výchozí stav budovy

V této práci se zabývám především návrhem technických systémů v budově, celkovou potřebou dodané energie a potřebou neobnovitelné primární energie. V tomto případě byla budova již konstrukčně vyřešena a já jsem pouze z navržených materiálů a tloušťek konstrukcí spočítal potřebné údaje, které potřebuji pro mou práci. Jedna z nejdůležitějších informací pro další výpočty je stanovení tepelné ztráty objektu.

4.1 Tepelné ztráty objektu

Výpočet tepelných ztrát byl proveden dle ČSN EN 12 831 pro výpočet tepelného výkonu. [19] Jednotlivé tepelné ztráty jsou v tabulce 4.4

Teplo z budovy může uniknout více způsoby – jedním z nich je prostup tepla skrz konstrukci, která je v kontaktu s prostředím o nižší teplotě. Druhý způsob úniku tepla je infiltrací pláště a úmyslným větráním, kterým chceme dosáhnout výměny vzduchu, a tudíž většího komfortu ovzduší v místnostech.

4.1.1 Tepelné ztráty prostupem obvodového pláště

Pro výpočet tepelných ztrát je potřeba znát interiérovou teplotu v jednotlivých místnostech a teplotu exteriéru pro území, kde se budova nachází – Dolní Bukovsko. V tabulce 4.1 je soupis místností, jejich ploch a objemů a teplot t ($^{\circ}\text{C}$), kterých v nich chceme dosáhnout.

Č. místnosti	Popis místnosti	Podlahová plocha [m ²]	Objem místnosti [m ³]	Teplota [°C]
0.01	posilovna	19,6	46,8	20
0.02	sklad	12,0	28,6	14
0.03	tech. m. - tep. č.	11,0	26,4	15
0.04	sauna, whirlpool	20,9	50,0	24
0.05	sklad	2,5	6,0	14
0.06	chodba	16,2	38,7	15
1.01	schodiště	3,4	8,9	15
1.02	chodba	17,2	44,7	15
1.03	šatna	4,1	10,7	15
1.04	kuchyně + jídelna	23,7	61,6	20
1.05	obývací pokoj	23,9	62,1	20
1.06	WC	2,6	6,8	18
1.07	koupelna	3,4	8,8	24
1.08	vstup	9,7	26,2	15
1.09	dvojgaráž	42,9	115,8	-
1.10	dílna	13,7	37,0	-
2.01	schodiště	4,2	10,9	15
2.02	chodba	13,0	33,8	15
2.03	koupelna	6,4	16,6	24
2.04	ložnice 1	17,2	44,7	20
2.05	ložnice 2	17,4	45,2	20
2.06	ložnice 3 + šatna	20,0	52,0	20
	Celý dům	305,0	782,4	

Tabulka 4.1: Požadovaná teplota místností.

Dále je nutné pro každou z navržených konstrukcí podlahy, stěn, oken, dveří a střechy spočítat součinitel prostupu tepla U [W/(m²*K)]. Tento součinitel se počítá na základě tloušťek jednotlivých materiálů d (m) a jejich součinitele tepelné vodivosti λ (W/m*K)

a je nezbytný ke stanovení tepelných ztrát prostupem jednotlivých konstrukcí. V tabulce 4.2 je vypočítán tento součinitel prostupu tepla a je porovnán s hodnotami pro pasivní dům. Z tohoto porovnání lze usoudit, že dům z hlediska navržených obvodových konstrukcí patří do kategorie pasivních domů.

Konstrukce	Materiál	Tloušťka d [mm]	U [W/(m ² *K)]	U _{pas,20} [W/(m ² *K)]
Stěna obvodová	HELUZ Family 50 2in1	500	0,109	0,180
Stěna bok vikýře	HELUZ UNI 30 + šedý EPS 100 mm	400	0,187	0,180
Stěna suterénu	HELUZ STI 40 + XPS 100 mm	500	0,141	0,220
Podlaha k exte- riéru Strop	Heluz + šedý EPS 200 mm	460	0,151	0,150
Střecha šikmá	Nadkroevní PIR izolace	240	0,118	0,150
Střecha nad suterénem	Strop Heluz + XPS 200 mm	450	0,176	0,150
Podlaha suterénu	Podlahový šedý EPS 140 mm + kce podlahy	250	0,216	0,220
Okna	U _f = 0,85 W/m ² K; U _g = 0,5 W/m ² K; g = 0,5	-	0,700	0,850
HS portál	U _f = 1,33 W/m ² K; U _g = 0,5 W/m ² K; g = 0,5	-	0,770	0,950
Střešní okna	U _f = 1,76 W/m ² K; U _g = 0,7 W/m ² K; g = 0,5	-	1,200	0,950
Dveře vchodové a vrata	U _f = 1,1 W/m ² K; U _g = 0,5 W/m ² K; g = 0,5	-	0,820	0,950

Tabulka 4.2: Konstrukce obálky budovy a jejich součinitel prostupu tepla.

Po vypočítání všech potřebných údajů lze přistoupit k samotnému výpočtu tepelných ztrát prostupem pomocí programů Design Builder a Protech. Tyto ztráty jsou zobrazeny v následující tabulce [4.3](#).

Č. místnosti	Popis místnosti	Tepelná ztráta prostupem [W]
0.01	posilovna	403
0.02	sklad	-5
0.03	tech. m. - tep. č.	24
0.04	sauna, whirlpool	553
0.05	sklad	15
0.06	chodba	30
1.01 + 1.02	schodiště + chodba	-37
1.03	šatna	-57
1.04	kuchyně + jídelna	380
1.05	obývací pokoj	451
1.06	WC	-88
1.07	koupelna	204
1.08	vstup	624
1.09	dvojgaráž	-92
1.10	dílna	2
2.01 + 2.02	schodiště + chodba	58
2.03	koupelna	139
2.04	ložnice 1	239
2.05	ložnice 2	245
2.06	ložnice 3 + šatna	521
	Celý dům	3 609

Tabulka 4.3: Tepelná ztráta domu prostupem.

4.1.2 Tepelná ztráta infiltrací a výměnou vzduchu

V programech Design Builder a Protech jsem provedl výpočet, kde byla zohledněna rekuperace s 88 % účinností zpětného získání tepla. V tabulce 4.4 jsou vypsány ztráty větráním v jednotlivých místnostech. Tato tabulka zahrnuje v dalších sloupcích rovněž tepelnou ztrátu prostupem z tabulky 4.3 a celkovou tepelnou ztrátu budovy. 20

Č. místnosti	Popis místnosti	Tepelná ztráta výměnou vzduchu [W]	Tepelná ztráta prostupem [W]	Celková tepelná ztráta [W]
0.01	posilovna	56	403	459
0.02	sklad	29	-5	24
0.03	tech. m. - tep. č.	0	24	24
0.04	sauna, whirlpool	66	553	619
0.05	sklad	0	15	15
0.06	chodba	39	30	69
1.01 + 1.02	schodiště + chodba	82	-37	45
1.03	šatna	0	-57	0
1.04	kuchyně + jídelna	110	380	490
1.05	obývací pokoj	111	451	562
1.06	WC	0	-88	0
1.07	koupelna	0	204	204
1.08	vstup	145	624	769
1.09	dvojgaráž	0	-92	-92
1.10	dílna	0	2	2
2.01 + 2.02	schodiště + chodba	84	58	142
2.03	koupelna	18	139	157
2.04	ložnice 1	55	239	294
2.05	ložnice 2	83	245	328
2.06	ložnice 3 + šatna	96	521	617
	Celý dům	974	3609	4728

Tabulka 4.4: Tepelné ztráty budovy.

Kapitola 5

Základní energetická bilance rodinného domu

V této kapitole rozepíšu jednotlivé technické systémy rodinného domu a pomocí programu Design Builder a příslušných norem vypočítám jejich energetické bilance. Jelikož v kapitole [8](#) bude v jedné variantě použita fotovoltaika s akumulátorem, je nutné mít zmíněné bilance rozepsány podrobněji, protože bude záležet na ročním období a denní hodině, kdy bude energie odebírána.

5.1 Roční bilance dodané energie pro vytápění

Podle vyhlášky č. 194/2007 Sb. je stanoveno tzv. otopné období, které začíná 1. září a končí 31. května následujícího roku.

Na začátku tohoto období je zahájena dodávka tepelné energie v příslušné lokalitě, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu poklesne pod $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a to ve dvou dnech po sobě a v následujících dnech nelze očekávat zvýšení této teploty nad $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

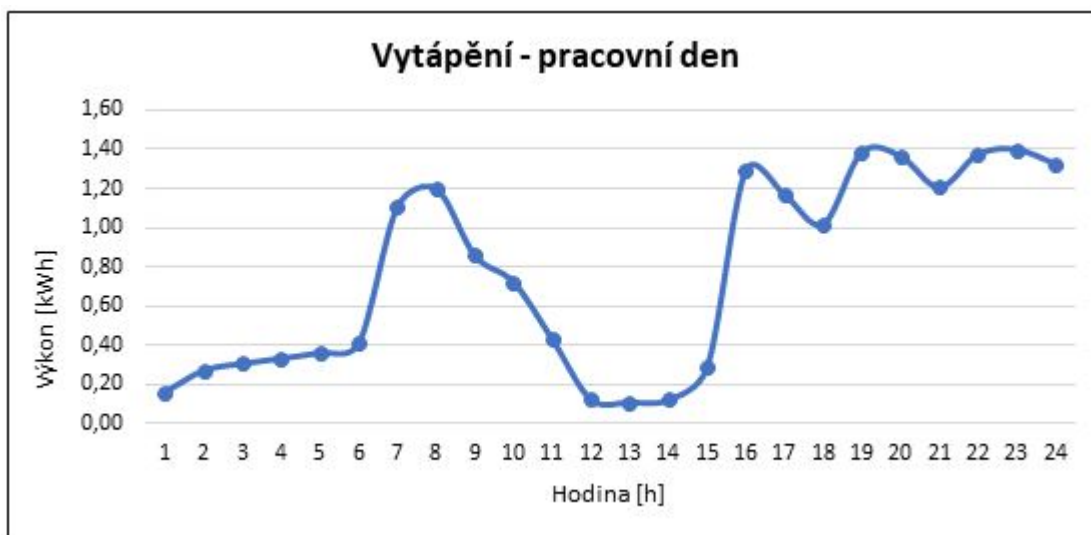
Ke konci dodávky tepelné energie dojde v případě, že průměrná denní teplota stoupne nad $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dvou po sobě jdoucích dnech a v následujících dnech nelze očekávat její pokles pod tuto teplotu.

V lokalitě výstavby rodinného domu v Dolním Bukovsku je průměrná délka otopného období 232 dnů. [\[19\]](#)

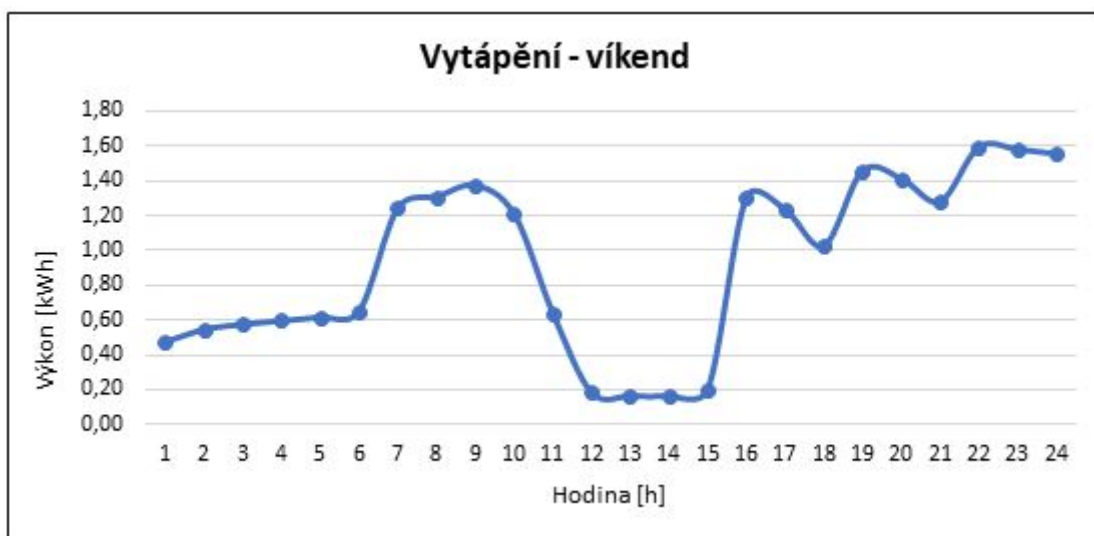
V příloze č. 1 je rozepsaný potřebný hodinový výkon pro vytápění. [21] Tabulka 5.1 ukazuje roční bilanci energie potřebné pro vytápění rodinného domu. Následující grafy na obrázcích 5.1 a 5.2 ukazují hodinovou potřebu energie v průběhu pracovního dne a víkendového dne. Z těchto grafů vyplývá, že nejvíce energie během celého týdne je potřeba ráno přibližně od 6:00 do 9:00 a pak večer od 16:00 do půlnoci, po které nastává útlum.

Vytápění – pracovní den			Vytápění – víkend		
Q_V - pracovní den	18,34	kWh/den	Q_V - víkend	22,42	kWh/den
Počet dní	166	dní	Počet dní	66	dní
Q_V - pracovní den	3 045	kWh/rok	Q_V - víkend	1 480	kWh/rok

Tabulka 5.1: Potřeba energie na vytápění – pracovní den/víkend.



Obrázek 5.1: Hodinová potřeba energie na vytápění – pracovní den.



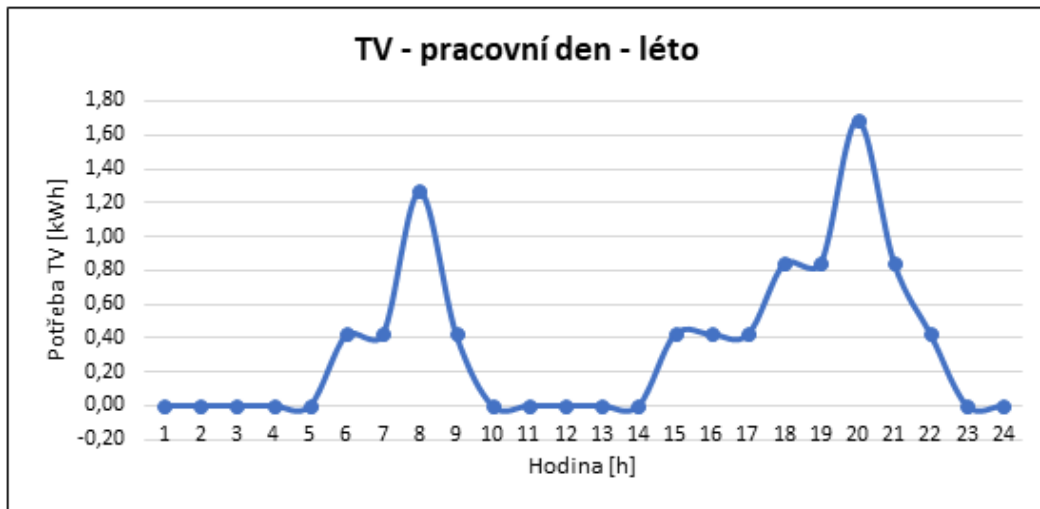
Obrázek 5.2: Hodinová potřeba energie na vytápění – víkend.

5.2 Roční bilance dodané energie pro ohřev teplé vody

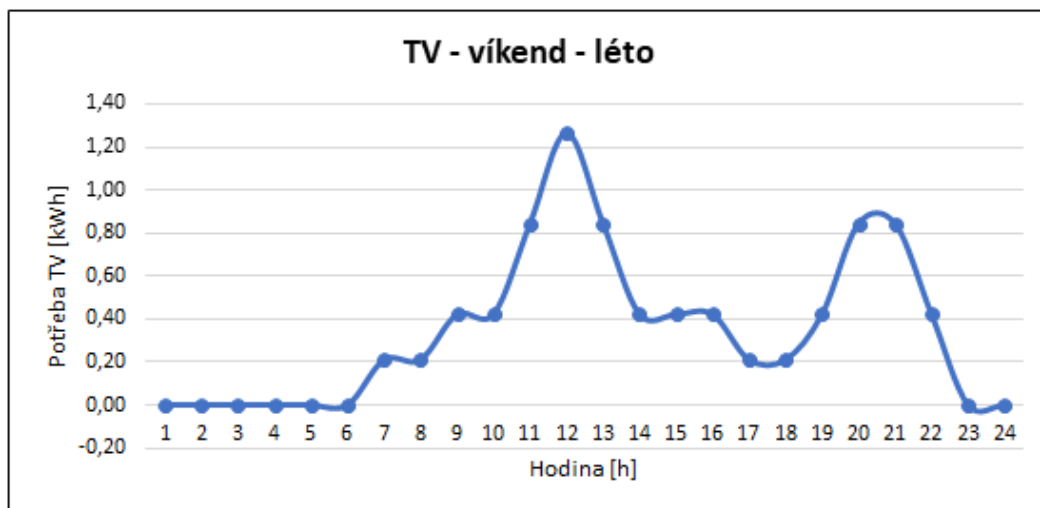
Na rozdíl od vytápění je ohřev teplé vody potřebný během celého roku a jeho potřeba se mění v průběhu týdne i v průběhu roku. Během pracovního týdne, kdy je většina lidí mimo dům, není přes den teplá voda téměř potřebná, a naopak o víkendu se v průběhu dne používá častěji. Změny potřeby teplé vody je možné zaznamenat i v průběhu ročních období, přičemž se v létě počítá se 70 % spotřebou teplé vody oproti zimě. [22] Tabulka 5.2 ukazuje potřebnou energii pro přípravu teplé vody v létě a zimě. Tyto rozdíly jsou zobrazeny v grafech 5.3, 5.4, 5.5 a 5.6. V příloze č. 2 je pak tabulka s jednotlivými hodnotami.

Léto			Zima		
Q_{2P} - den	8,44	kWh/den	Q_{2P} - den	12,06	kWh/den
Počet dní	133	dní	Počet dní	232	dní
Q_{2P} - zima	1 123	kWh/rok	Q_{2P} - léto	2 798	kWh/rok

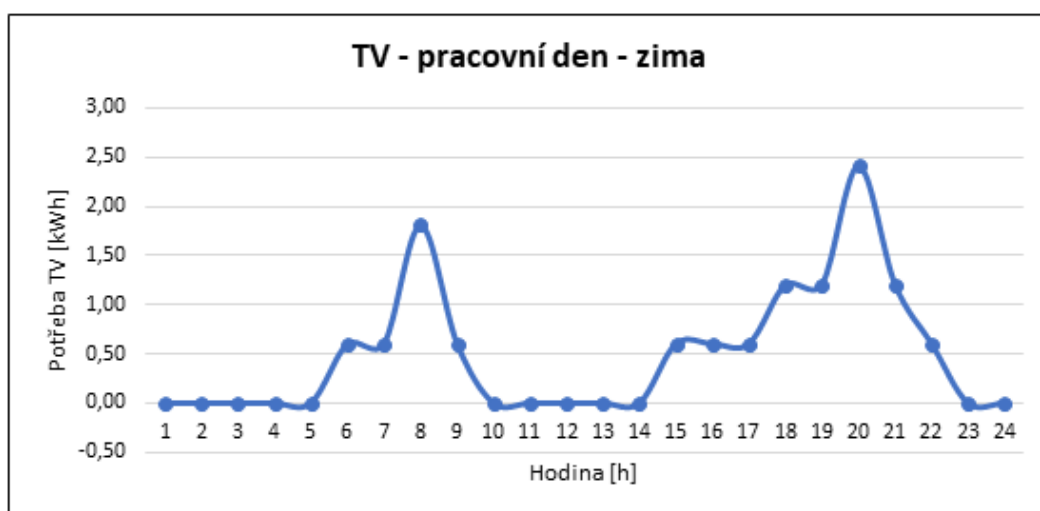
Tabulka 5.2: Potřeba energie pro přípravu TV – léto/zima.



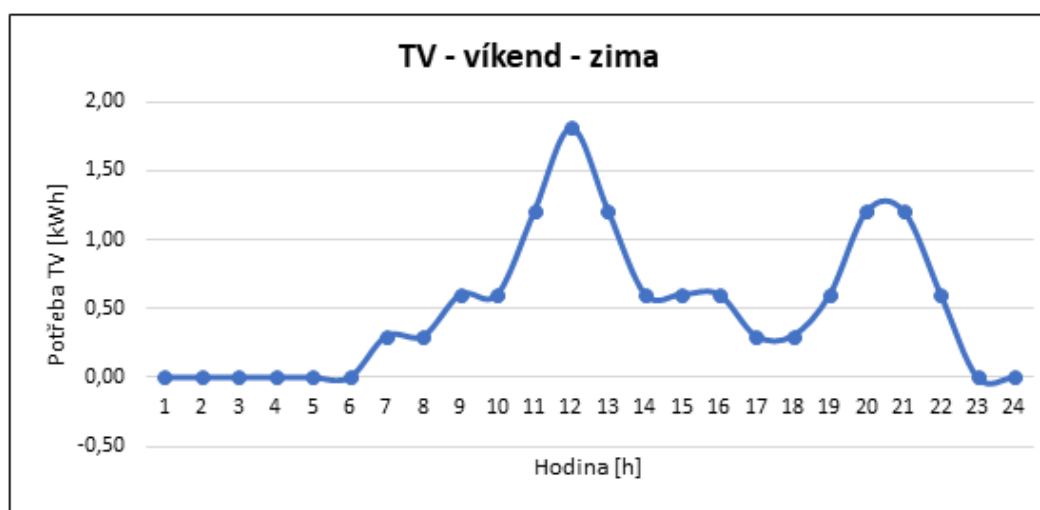
Obrázek 5.3: Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v létě – pracovní den.



Obrázek 5.4: Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v létě – víkend.



Obrázek 5.5: Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v zimě – pracovní den.



Obrázek 5.6: Hodinová potřeba energie pro přípravu TV v zimě – víkend.

5.3 Roční bilance dodané energie pro osvětlení

Pro výpočet potřebného výkonu pro osvětlení jsem použil program Design Builder a v jeho nastavení jsem zvolil LED žárovky pro celou budovu. Stejně jako u potřeby teplé vody se potřeba osvětlení mění během ročních období a stejně tak během týdne.

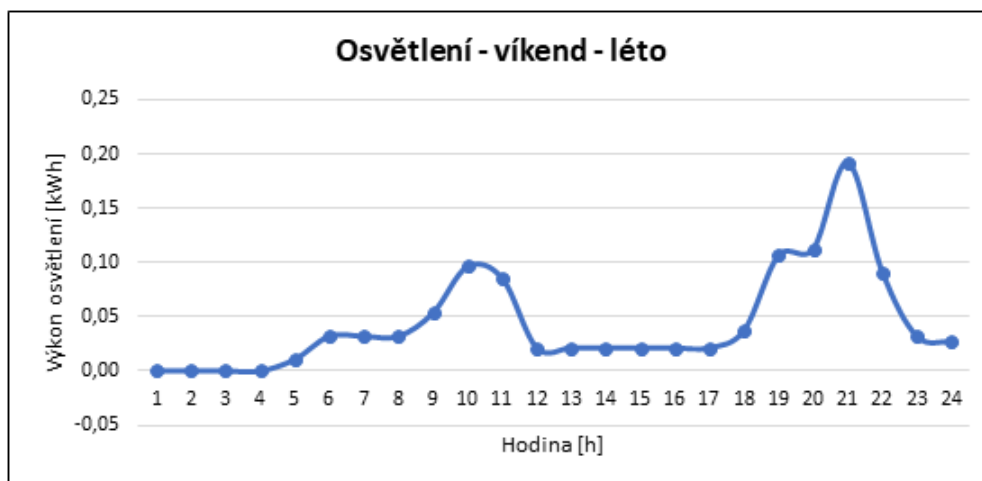
V tabulce 5.3 a grafech na obrázcích 5.7, 5.8, 5.9 a 5.10 jsou tyto rozdíly zobrazeny. V příloze č. 3 jsou pak podklady pro tyto grafy. 23

Osvětlení – léto			Osvětlení – zima		
Q_O - léto	158	kWh/rok	Q_O - zima	539	kWh/rok
Počet dní	133	dní	Počet dní	232	dní

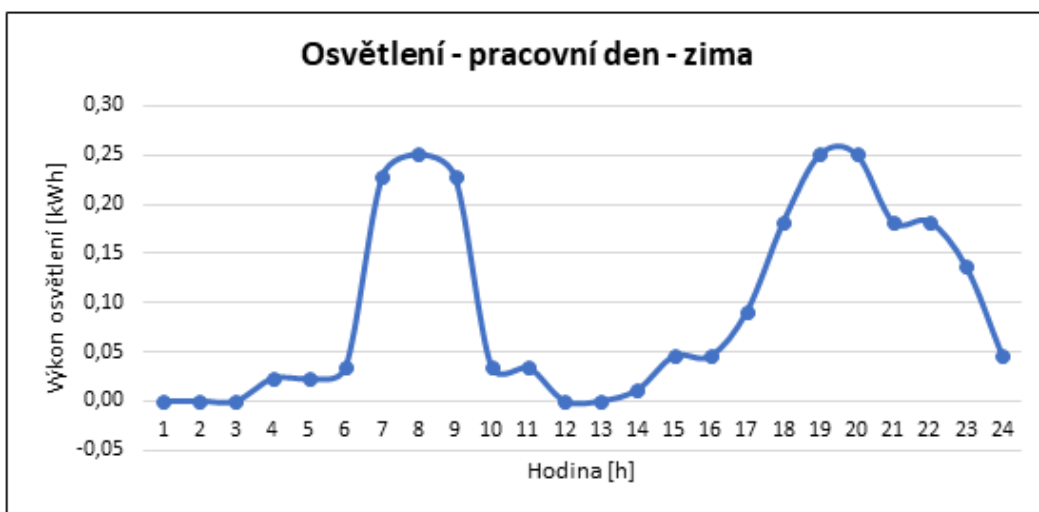
Tabulka 5.3: Potřeba energie pro osvětlení – léto/zima.



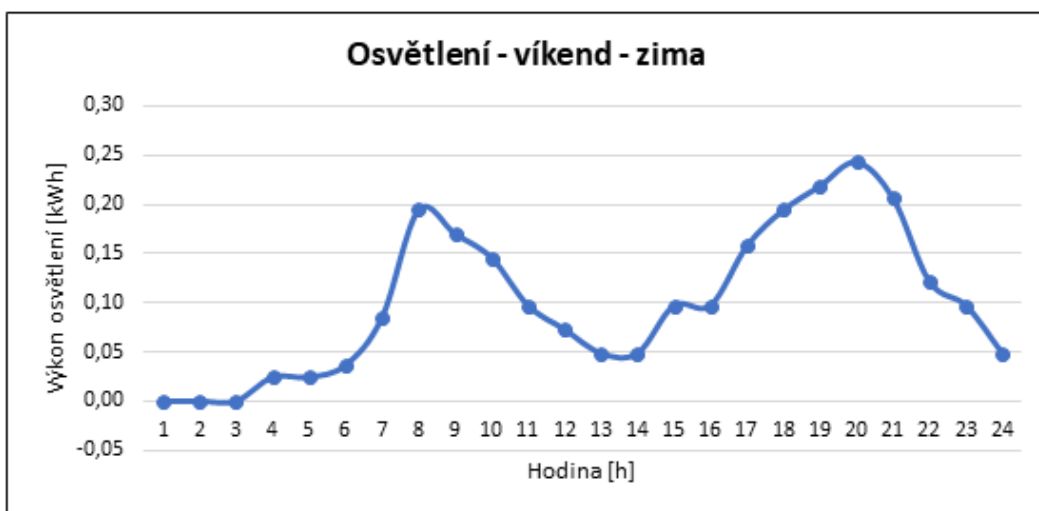
Obrázek 5.7: Hodinová potřeba energie pro osvětlení v létě – pracovní den.



Obrázek 5.8: Hodinová potřeba energie pro osvětlení v létě – víkend.



Obrázek 5.9: Hodinová potřeba energie pro osvětlení v zimě – pracovní den.



Obrázek 5.10: Hodinová potřeba energie pro osvětlení v zimě – víkend.

5.4 Roční bilance dodané energie pro zásuvkovou potřebu elektřiny

Zásuvková potřeba elektřiny se během ročních období výrazně nemění. Během týdne však ano a stejně jako u potřeby teplé vody závisí na tom, v kterou hodinu jsou v domě

přítomni lidé. Tabulka 5.4 znázorňuje potřebu energie pro zásuvkovou potřebu a rozdíl mezi pracovním dnem a víkendovým dnem¹. Na grafech na obrázcích 5.11 a 5.12 lze vidět, že v průběhu pracovních dní se zásuvková potřeba elektřiny zvedá až kolem 16:00, kdy se lidé vracejí do svých domovů. Naopak o víkendu je její potřeba více rozprostřena během celého dne. Tabulka s podklady k vytvoření grafu je v příloze č. 4.

Zásuvková potřeba el. energie – pracovní den			Zásuvková potřeba el. energie – víkend		
Q _Z - pracovní den	10,56	kWh/den	Q _Z - víkend	14,91	kWh/den
Počet dní	261	dní	Počet dní	104	dní
Q _Z - rok	2 756	kWh/rok	Q _Z - rok	1 551	kWh/rok

Tabulka 5.4: Energie pro zásuvkovou potřebu -
pracovní den/víkend.



Obrázek 5.11: Hodinová potřeba energie pro zásuvkovou potřebu – pracovní den.

¹Množství zásuvkové potřeby pro jednotlivé domácí spotřebiče dostupné z:
<https://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/spotreba-domacich-spotrebicu>



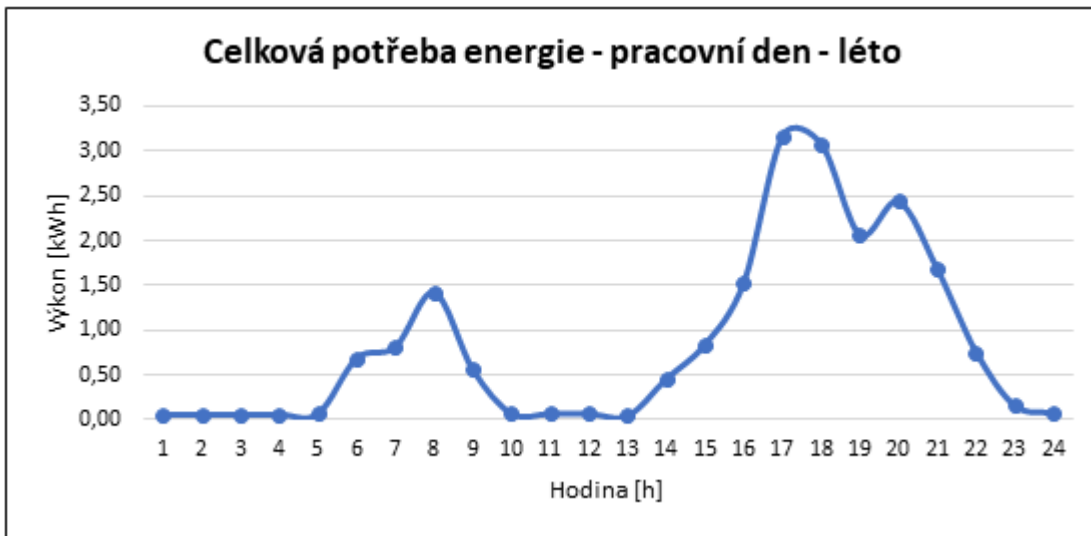
Obrázek 5.12: Hodinová potřeba energie pro zásuvkovou potřebu – víkend.

5.5 Roční bilance dodané energie pro celý rodinný dům

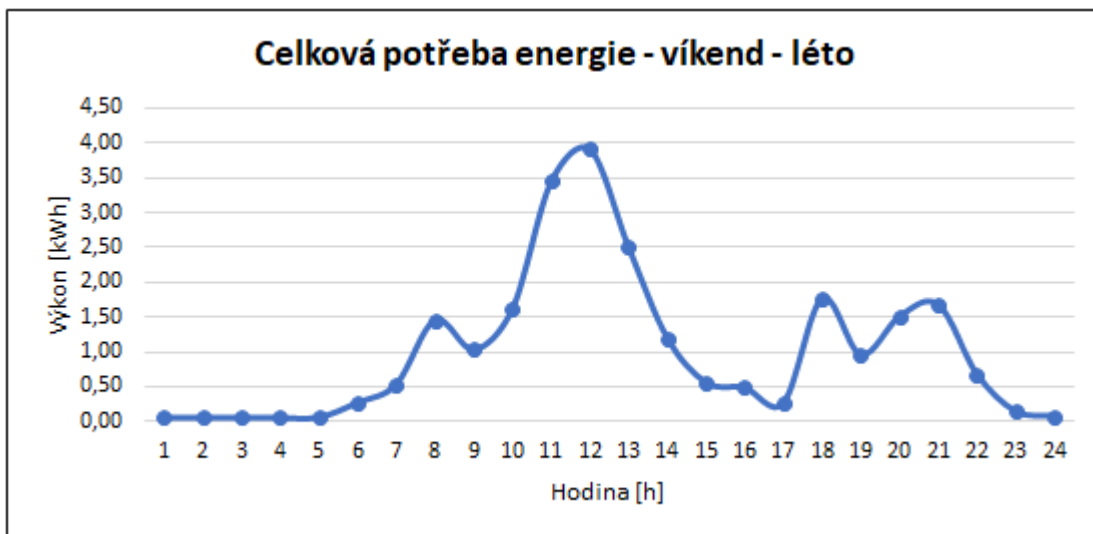
V následující tabulce 5.5 a grafech na obrázcích 5.13, 5.14, 5.15 a 5.16 jsou sečtena jednotlivá místa spotřeby v jednotlivých časových obdobích. Z těchto grafů lze vidět, kdy rodinný dům potřebuje nejvíce dodávat nebo produkovat energii, aby mohla domácnost správně fungovat. V příloze č. 5 jsou podrobně vypsána data těchto ztrát.

Celková potřeba energie pro domácnost			
Období	Potřeba elektrické energie za den [kWh/den]	Počet dní	Celková potřeba elektrické energie [kWh/rok]
Léto – pracovní den	20,23	95	1 922
Léto – víkend	24,42	38	928
Zima – pracovní den	43,24	166	7 178
Zima – víkend	51,82	66	3 420
Celkem	-	365	13 448

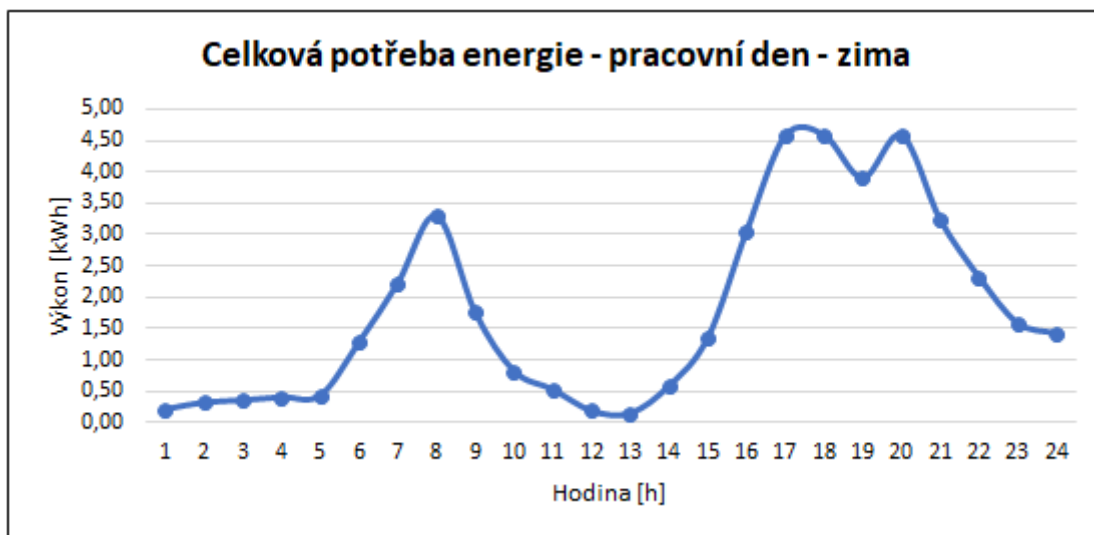
Tabulka 5.5: Celková potřeba energie pro domácnost.



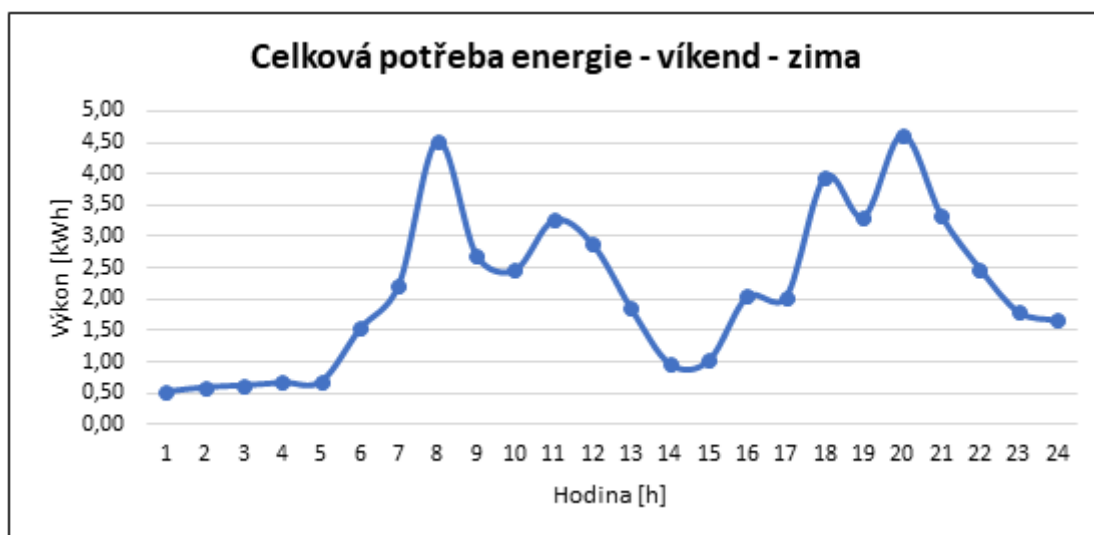
Obrázek 5.13: Hodinová potřeba energie pro celý dům v létě – pracovní den.



Obrázek 5.14: Hodinová potřeba energie pro celý dům v létě – víkend.



Obrázek 5.15: Hodinová potřeba energie pro celý dům v zimě – pracovní den.



Obrázek 5.16: Hodinová potřeba energie pro celý dům v zimě – víkend.

Kapitola 6

Vzduchotechnika

Pro splnění kritérií, které jsem stanovil v kapitole [2.5](#) jsem v rodinném domě navrhl vzduchotechnikou jednotku se zpětným získáním tepla vyšším než 75 %.

6.1 Koncepce řešení vzduchotechniky

Vzduchotechnické zařízení je navrženo tak, aby mikroklimatické podmínky v jednotlivých prostorách odpovídaly zákonům a vyhláškám platným pro dané prostory. Navržené vzduchotechnické zařízení řeší odvod znehodnoceného vzduchu z prostoru sociálního zázemí. Objekt je vybaven rekuperační jednotkou Atrea Duplex 500 Multi Eco. Větrání s rekuperací je řešeno jako rovnotlaké.

V obývacích místnostech jako jsou pokoje, obývací pokoje nebo kuchyně je vyveden přívod vzduchu a na chodbách a v sociálních místnostech je instalován odtah. V ostatních místnostech je částečné větrání zajištěno infiltrací obvodového pláště a netěsnostmi dveří (například mezerou pode dveřmi). [\[24\]](#)

Garáž a dílna jsou větrány přirozeně, a to křížovým způsobem – z obou stran vrat jsou nad podlahou umístěny otvory s větrací mřížkou, kudy je vzduch nasáván a na protější stěně pod stropem jsou zabudované stejně velké otvory, nimiž je vzduch odsáván pryč z budovy.

6.2 Množství přiváděného a odváděného vzduchu

Aby v rodinném domě bylo dosaženo komfortu a ušetřily se výdaje za vytápění, je zde navržené nucené větrání se zpětným získáním tepla. Pro stanovení množství vzduchu, které je potřeba vyměnit v budově, je nutné stanovit intenzitu větrání pro jednotlivé místnosti. Tato hodnota lze získat z ČSN EN 15665/Z1, kde jsou pro jednotlivé místnosti všechny potřebné údaje stanoveny. V tabulce [6.1](#) je ke každé místnosti uvedena požadovaná hodnota intenzity větrání a dopočítána navrhovaná výměna vzduchu. [20](#)

Číslo místnosti	Místnost	Objem místnosti [m ³]	Intenzita větrání [1/h]	Množství vzduchu [m ³ /h]	Větrání přívod [m ³ /h]	Větrání odvod [m ³ /h]	Typ větrání
0.01	posilovna	46,8	-	90,0	100,0	90,0	přívod + odvod
0.02	sklad	28,6	0,1	2,9	0,0	0,0	infiltrace
0.03	tech. m. - tep. č.	26,4	0,5	13,2	0,0	20,0	odvod
0.04	sauna, whirlpool	50,0	2	100,0	110,0	100,0	přívod + odvod
0.05	sklad	5,6	-	0,0	0,0	0,0	-
0.06	chodba	30,9	0,1	3,1	0,0	0,0	přesun
Celkem 1.PP		188,2			210,0	210,0	
1.01	schodiště	8,9	0,1	0,9	0,0	0,0	přesun
1.02	chodba	42,8	0,1	4,3	0,0	0,0	přesun
1.03	šatna	10,7	0,1	1,1	0,0	20,0	odvod
1.04	kuchyně + jídelna	60,0	1,0	60,0	120,0	30,0	přívod + odvod
1.05	obývací pokoj	62,2	0,5	31,1	70,0	0,0	přívod
1.06	WC	6,9	-	50,0	0,0	50,0	odvod
1.07	koupelna	8,8	-	90,0	0,0	90,0	odvod

1.08	vstup	25,2	-	0,0	0,0	0,0	-
1.09	dvojgaráž	111,5	0,5	55,8	0,0	0,0	přirozené
1.10	dílna	35,5	0,1	3,5	0,0	0,0	přirozené
1.11	terasa	-	-	0,0	0,0	0,0	-
Celkem 1.NP		372,5			190,0	190,0	
2.01	schodiště	10,4	0,1	1,0	0,0	-	přesun
2.02	chodba	32,7	0,1	3,3	0,0	-	přesun
2.03	koupelna	16,3	-	90,0	0,0	90,0	odvod
2.04	ložnice 1	44,9	0,5	22,4	35,0	-	přívod
2.05	ložnice 2	45,1	0,5	22,6	35,0	-	přívod
2.06	ložnice 3 + šatna	51,5	0,5	25,8	40,0	20,0	přívod + odvod
Celkem 2.NP		200,9			110,0	110,0	
Celkem celý dům		761,6			510,0	510,0	

Tabulka 6.1: Požadovaná hodnota intenzity větrání a navrhovaná výměna vzduchu pro jednotlivé místnosti.

Výměna vzduchu požadovaná pro celý rodinný dům je 510 m³/hod.

6.3 Odvětrávání kuchyně

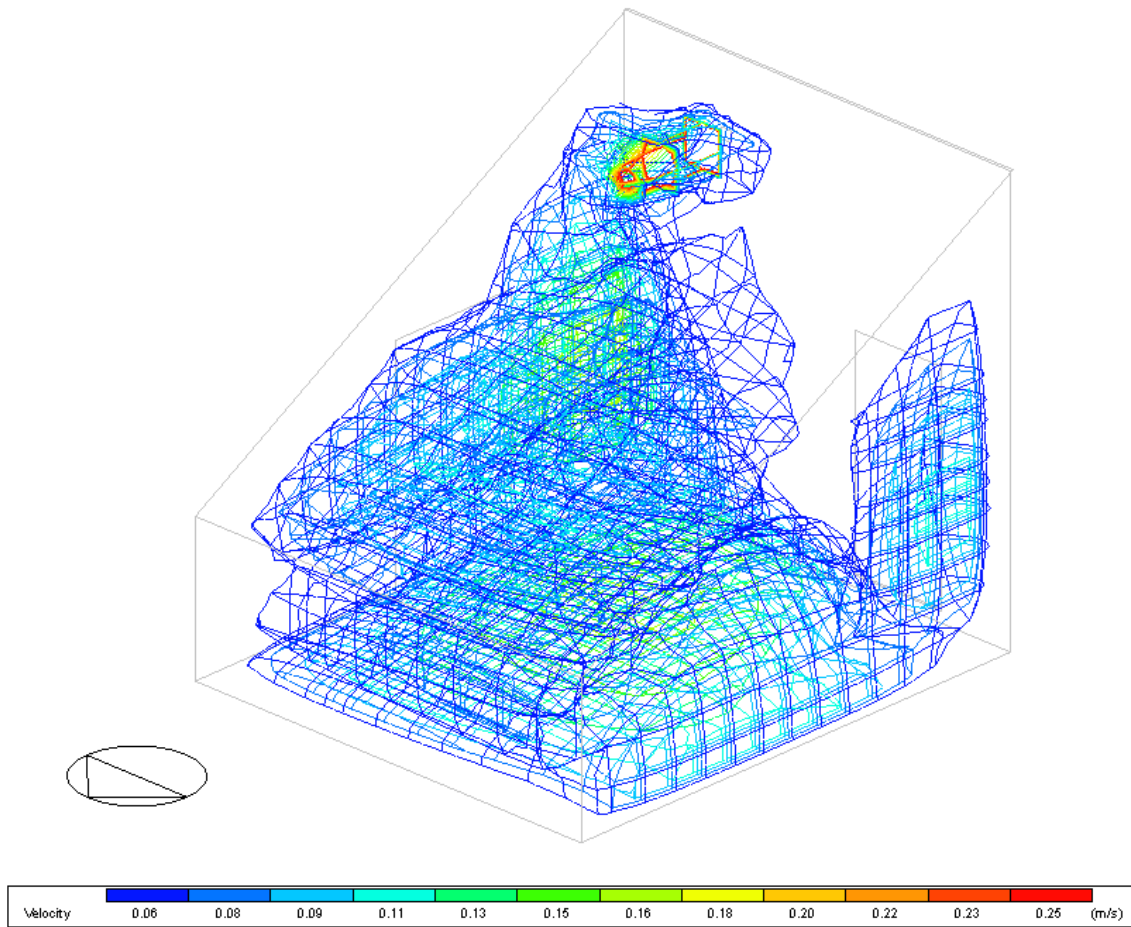
Nad kuchyňskou linkou bude osazena digestoř s ovládáním rychlosti odsávání a s osvětlením. Konkrétní navržený typ je recirkulační digestoř Gorenje WHC623E14X. Odsávaný vzduch je v jednotce opět vyčištěn a vrácen zpět do místnosti.

6.4 Distribuční prvky

Ve většině místností jsou jako distribuční prvky navrženy talířové ventily Valve KI od firmy Lindab. V případě, kdy v místnosti nedocházelo k dostatečnému provětrání tímto prvkem, byla navržena dýza od firmy Atrea. Pro ověření provětrání místnosti se zvolenou dýzou jsem v programu Design Builder vytvořil vybranou místnost s odhadovaným nejhorším

provětráním (ložnice 1), kde jsem nastavil její okrajové podmínky a spustil simulaci. Po vyhodnocení dat se vytvořila zpráva, která potvrzuje, že dochází k dostatečnému provětrání místnosti – viz příloha č. 6.

Na obrázku [6.1](#) je zobrazené provětrání dané místnosti (ložnice 1) a rychlost vzduchu v jejích jednotlivých částech.



Obrázek 6.1: Provětrání a rychlost vzduchu v místnosti – Ložnice 1.

6.5 Ochrana proti hluku a vibracím

Při realizaci stavby bude dbáno na ochranu proti šíření hluku a vibrací vzduchotechnickým zařízením. Potrubní rozvody budou na ventilátory napojeny pomocí tlumících manžet, potrubní rozvody budou zavěšeny pomocí závěsů s pryží. Prostupy potrubí stavebními konstrukcemi budou řádně utěsněny.

Kapitola 7

Elektrická energie

V dnešní době je na elektrickou energii v České republice připojena většina domácností a nikdo by si nedokázal představit život bez ní. V této kapitole popíšeme mimo jiné i alternativní zdroj elektrické energie, který je oproti energii odebírané z veřejné sítě mnohem šetrnější k přírodním obnovitelným zdrojům.

7.1 Využití elektrické energie v jednotlivých obdobích

Největší množství energie ze slunečního záření je v elektrárně vyrobeno v létě. Během tohoto období však není potřeba vytápět, a tak energie zůstává nevyužitá. Naopak v zimě, kdy by pomocí této energie mohla být vytápěna celá budova, je sluneční záření slabé a pouze v krátkém denním intervalu. Podobný paradox nastává i v denním hodnocení. Je všeobecně známo, že nejvíce energie je každý den využito v ranních hodinách, kdy se celá rodina připravuje do školy či práce a pak ve večerních hodinách, když se všichni vrací domů. A zde se vyskytuje stejný problém jako v ročním hodnocení, že energie je vyráběna v momentě, kdy ji nikdo plně nevyužije.

7.2 Veřejná síť

Převážná většina domácností čerpá elektrickou energii pouze z veřejné sítě. V České republice existuje velmi mnoho distribučních sítí, přičemž každá z nich má rozdílné ceny.

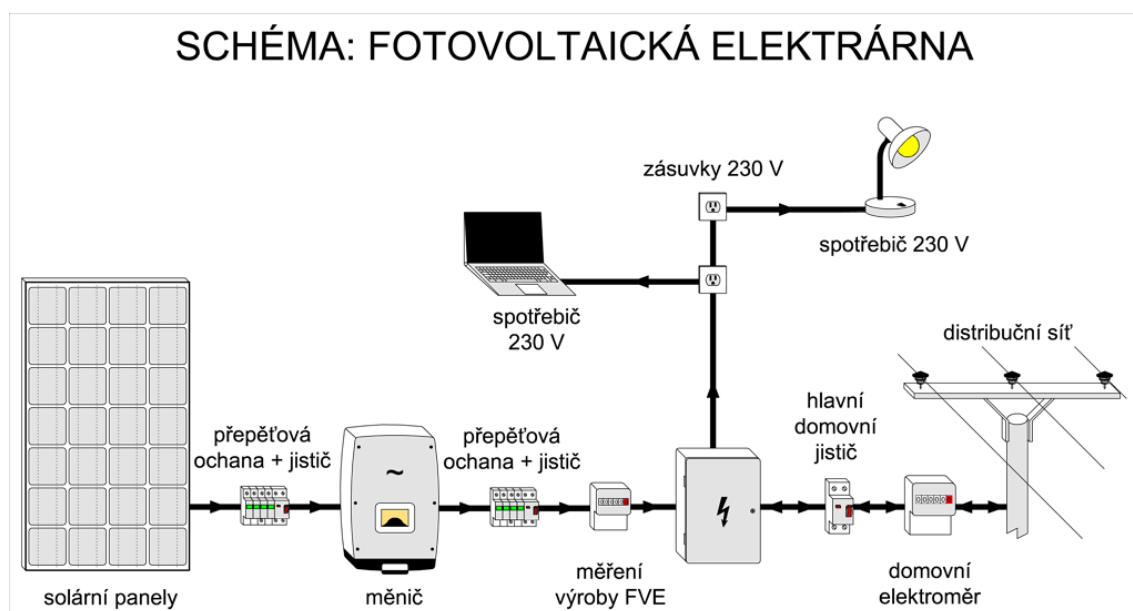
Nejznámějšími distributory jsou ČEZ, E.ON nebo Pražská Energetika. Všechny tyto sítě mají nastavené distribuční sazby pro jednotlivé typy domácností. Například pro domácnost, kde je elektrická energie odebírána pouze pro osvětlení a zásuvkovou spotřebu, se využívají tarify D01d a D02d. Oproti tomu například u domácnosti, kde je hlavním zdrojem vytápění a ohřevu vody elektrický spotřebič, je výhodné zvolit tarif D056d, který má díky většímu odběru elektřiny domácnosti výrazně levnější cenu za 1 kWh. U každého tarifu a obchodníka se také mění paušální měsíční poplatek. V této práci jsem pro výpočet cen u jednotlivých variant použil „Kalkulátor cen energií“^[1].

7.3 Fotovoltaické panely

V rámci dotací z EU se v České republice ve velké míře rozrostl zájem o investici do fotovoltaických panelů. Tato investice byla výhodná, protože odkup této elektrické energie byl smluvně zajištěný od společností E.ON nebo ČEZ s výhodnou částkou za 1 kWh. V současné době již ale taková smlouva zajistit nejde a větší elektrárny si tuto energii odkoupí pouze za zlomek původní ceny – přibližně 0,5 Kč/kWh. Proto je dobré se před nemalou investicí do fotovoltaických panelů dobře zamyslet nad tím, jestli se tento systém opravdu vyplatí a případně dopředu promyslet, jak by se tento systém nechal obohatit, aby se ve výsledku vyplatil.^[25]

Obrázek 7.1 ukazuje přehledné schéma zapojení fotovoltaické elektrárny.

¹Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-elektricke-energie-zadani-spotreby?kraj=c>



Obrázek 7.1: Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny. [26]

7.3.1 Varianty práce s přebytky energie

Existuje několik možností, kterými lze řešit problémy uvedené v minulých kapitolách. První z nich je už zmíněný systém prodávání energie do veřejné sítě v době přebytku a následné zpětné odkoupení energie v době nedostatku. Elektrárny energii odkoupí přibližně za 0,5 Kč/kWh a zpět ji do domácnosti prodají téměř za desetinásobek této ceny. Proto není podle mého názoru toto řešení příliš výhodné.

Dalším řešením je návrh domovní baterie, která by se nabíjela v čase, kdy je energie nadbytek a v době nedostatku by byla k dispozici k využití. Průměrná spotřeba elektrické energie rodinného domu za den je přibližně v rozmezí 7 až 15 kWh. Akumulátory, které mají kapacitu 10 kWh už jsou v této době běžně k dostání. Navíc je možné zapojení více akumulátorů vedle sebe. Díky těmto domovním bateriím je tedy možné, v případě dostatečných slunečních zisků a odpovídající plochy fotovoltaiky, zajistit přísun elektrické energie po celý den. Podle průzkumů a měření je tak možné dosáhnout toho, že od dubna do října není téměř potřeba odebírat elektrickou energii ze sítě. Další velká výhoda je, že baterie představují záložní zdroj energie v případě výpadku sítě a umožní uživateli alespoň částečný provoz domácnosti. [27]

Baterie, která by zvládla střídat energii celé léto a poté v období zimy ji využívat pro vytápění a další systémy, zatím neexistuje. Do budoucna se ale tato varianta podle mého názoru zdá být reálná.

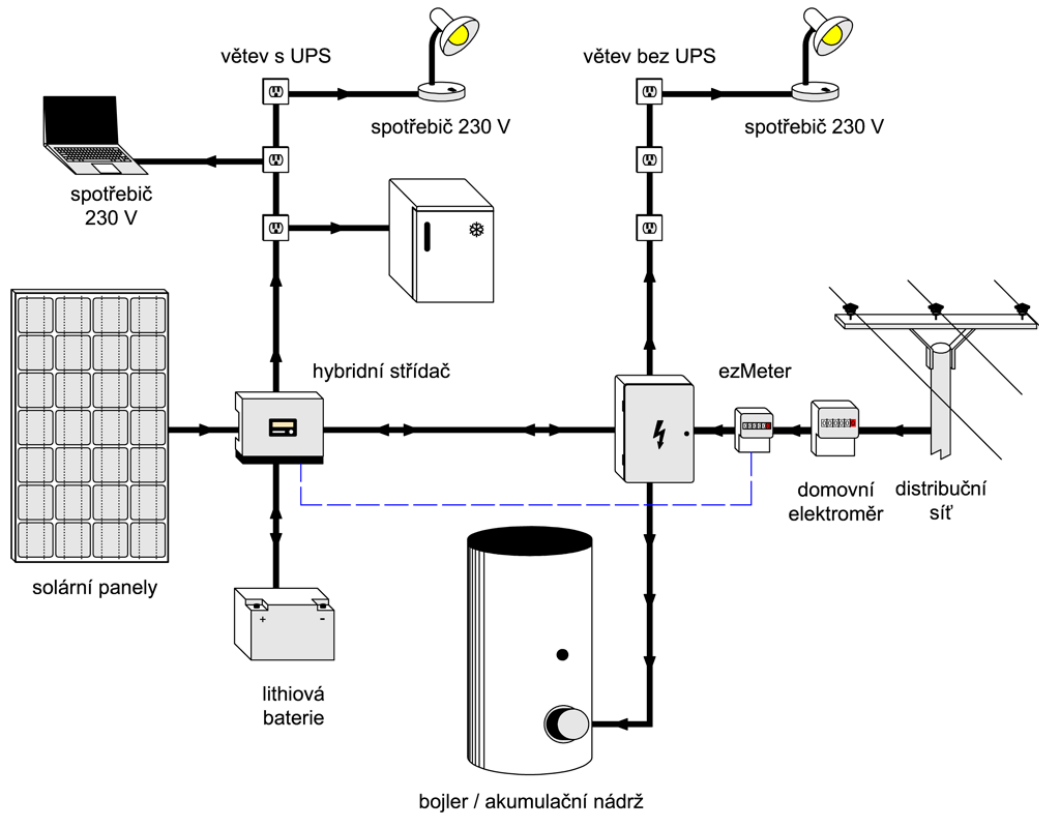
Řešení domu s akumulátorem se po stránce využití obnovitelných zdrojů zdá být velmi nápomocná, nahradí totiž velkou část roční elektrické energie. Především z tohoto důvodu zařazují domovní elektrárnu do variant řešení zvoleného rodinného domu.

7.4 Domovní elektrárna

Aby fungoval výše popsáný způsob využití energie ze slunce, je nutné vybudovat celý systém, který sluneční energii dokáže zpracovat, upravit a uložit v podobě elektrické energie, která lze využít v domácnostech. V následujících kapitolách proto budou vysvětleny jednotlivé komponenty.

Schéma zapojení hybridního solárního systému pro domovní elektrárnu znázorňuje obrázek [7.2](#). Pro správné fungování systému je vždy nutné správně vybírat jednotlivé komponenty, aby byly kompatibilní se zbytkem soustavy.

SCHÉMA: HYBRIDNÍ FV SYSTÉM GOODWE



Obrázek 7.2: Schéma zapojení hybridního solárního systému. [28]

7.4.1 Fotovoltaické panely v domovní elektrárně

Prvním prvkem domovní elektrárny jsou přímo fotovoltaické panely, které vyrábí elektřinu v podobě stejnosměrného proudu. Nejčastěji se používají polykrystalické panely s účinností přibližně 15–20 %. Jinou možností je použití amorfních panelů, které mají ovšem pouze poloviční účinnost. Jejich výkon se udává v jednotce Wp (watt peak), která vyjadřuje kolik wattů panely vyrobí, jestliže na ně bude kolmo dopadat sluneční záření o výkonu 1000 W/m². Například jižně orientovaný polykrystalický panel vyrobí v podmínkách České republiky z každého Wp přibližně 1 kWh. Dvacet 240 Wp panelů by tedy za rok bylo schopna vyprodukovat zhruba 4 800 kWh. Takové množství panelů zabere na střeše místo o ploše 30 m².

[29]

7.4.2 Solární regulátor

Stejnoseměrný proud vyrobený pomocí panelů je nutné správně upravit pro zvolený typ baterie.

Existují dva základní typy regulátorů. Prvním z nich je typ s označením PWM (pulse width modulation = pulsně-šířková modulace), který je jednodušší a levnější. Tento regulátor pracuje se stejným proudem, který vychází z panelů a pouze snižuje napětí podle aktuálního napětí v baterii. Tento způsob generuje velké ztráty a účinnost se pohybuje pouze okolo 70 %.

Druhý typ regulátoru má označení MPPT (maximum power point tracking = maximální výkonový bod panelů). To znamená, že regulátor snižuje napětí z panelů podle napětí v bateriích, ale zároveň zvyšuje proud, díky čemuž systém dosahuje až 99 % účinnosti. [30]

7.4.3 Baterie

Při návrhu baterie je nutné předem vědět, jak velkou část elektrické spotřeby bude potřeba pokrýt, aby se zvolila baterie s vhodnou kapacitou. Kapacita spolu s napětím udává, kolik energie lze uložit do baterie.

Nejčastěji se využívají baterie 48 V, které je správné zvolit v momentě, kdy by se z baterií odebíralo více než 2 kW. Dále existují také baterie s napětím např. 24 V nebo 12 V. Při nižším napětí baterií je potřeba použít širší kabely. Na kapacitě baterie závisí maximální nabíjecí/vybíjecí proud, a proto je před koupí akumulátoru nutné stanovit, jaký maximální proud může být dodán z regulátoru a jaký maximální proud si může odebírat měnič.

Dalším velmi důležitým parametrem baterie je její cykličnost, která udává, kolikrát lze danou baterii vybit, než její původní kapacita klesne na výrobcem stanovenou procentuální hodnotu. Materiál, z kterého je baterie vyrobena, ovlivňuje nároky na její údržbu. [30]

7.4.4 Měnič napětí

Poslední částí domovní elektrárny je měnič napětí, který transformuje stejnosměrné napětí z baterií na střídavé napětí 230 V v domovní síti. Podle navrženého nominálního napětí baterie se volí napětí měniče – 12 V, 24 V nebo 48 V. Stejně tak záleží na maximálním požadovaném výkonu měniče, který začíná v řádu stovek W až do několika kW. Kromě výroby

střídavého proudu pro domovní síť dokáže měnič napětí také v případě nedostatku elektřiny ze slunce plynule přejít na provoz z rozvodné sítě. Domácí spotřebiče mají často problém s trapézovým nebo modifikovaným sinusem. Proto je nutné vybírat měnič s čistým sinusovým výstupem. [30]

Kapitola 8

Varianty technických systémů v rodinném domě

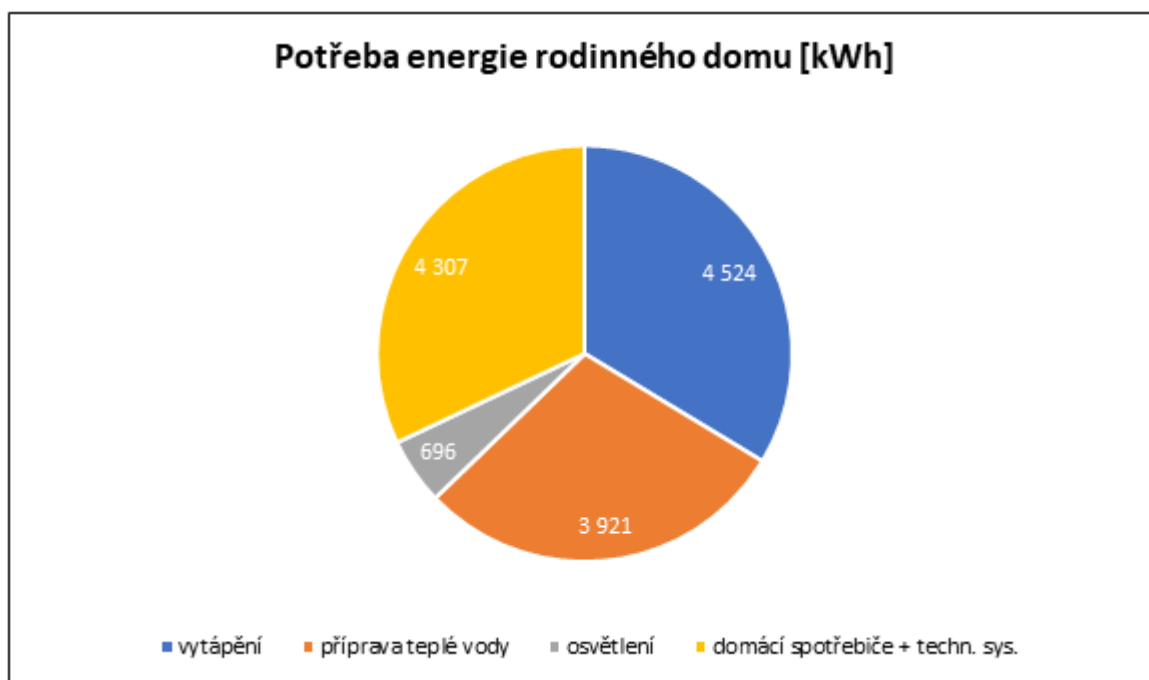
Jednotlivé varianty technických systémů budovy, ze kterých v kapitole 10 vyberu nejlepší variantu, jsem volil podle toho, co se v současné době v domácnostech nejvíce používá. Kombinaci některých variant s fotovoltaickým systémem a akumulátorem jsem zvolil především proto, abych ukázal její výhody i nevýhody, jelikož tento systém se zatím příliš nevyskytuje.

V každé variantě technického systému bude vzduchotechnická jednotka s rekuperací. Ostatní systémy se budou měnit a budu zjišťovat, který z nich se v dané budově vyplatí nejvíce z hledisek stanovených v kapitole 2.5.

Tabulka 8.1 ukazuje oblasti, ve kterých dochází ke spotřebě energie a její celkovou potřebu během jednoho roku. Jednotlivé potřeby energií jsou přehledně znázorněny v grafu na obrázku 8.1.

Činnost	Potřeba energie	
Vytápění	4 524	kWh/rok
Příprava teplé vody	3 921	kWh/rok
Osvětlení	696	kWh/rok
Domácí spotřebiče + techn. sys.	4 307	kWh/rok
Potřeba celkem	13 448	kWh/rok

Tabulka 8.1: Celková potřeba energie v rodinném domě.



Obrázek 8.1: Celková potřeba energie v rodinném domě v grafu.

8.1 Varianta 1 - varianta s nízkou počáteční investicí

První porovnávanou variantou je systém s následujícími technickými komponentami:

- Zdroj vytápění: kotel na zemní plyn
- Vytápění prostoru: otopná tělesa
- Větrání: vzduchotechnická jednotka s rekuperací
- Získání elektrické energie: veřejná síť

8.1.1 Popis systému

Vytápění objektu pomocí kondenzačního plynového kotle má, stejně jako ostatní varianty, řadu výhod i nevýhod. Mezi výhody se řadí velmi nízké investiční náklady a bezobslužnost celého systému. Další výhodou kondenzačního kotle je jeho vysoká účinnost, která se pohybuje v rozmezí 105–110 %. To je způsobeno tím, že oproti normálnímu plynovému kotli využívá vzniklou vodu ze spalin, kterou přeměňuje na páru a ta dále produkuje teplo. Naopak mezi nevýhody určitě patří potřeba zřízení plynové přípojky a poměrně vysoké náklady na údržbu a revize systému. Dále je také nutné zajistit odkouření kotle a neustálý přívod vzduchu. [31]

8.1.2 Technická místnost

V této variantě je kotelna sestavena z kondenzačního plynového kotle (VIADRUS K4G3 H (5-24 kW)), který je přímo připojen k ohříváči teplé vody s objemem 100 litrů (Viadrus OV-H100 (29 kW)) a k rozdělovači pro otopné okruhy a pro vzduchotechniku. Na zpátečním vedení od rozdělovače je umístěna expanzní nádoba o objemu 12 litrů (Reflex expanzní nádoba NG 12/6). Topná voda s teplotním spádem 55/45 je poháněna čerpadly (Grundfos ALPHA4), která jsou umístěna za rozdělovači na přívodním potrubí. Celý systém je řízen regulací od firmy HoneyWell.

Schéma zapojení celého systému je zobrazeno v příloze č. 7.

8.1.3 Otopné plochy

Jako základní vytápění objektu jsou navržena otopná tělesa se spodním přívodem a odvodem Radik KV od firmy Korado. V koupelnách je tento systém doplněný o žebříková trubková otopná tělesa Koralux Linear a v proskleném vstupu o konvektory Koraflex.

8.1.4 Elektrická energie

Veškeré spotřebiče, osvětlení a provoz technických zařízení bude napájen z veřejného rozvodu elektrické energie.

8.2 Varianta 2 - varianta s nízkou počáteční investicí a nízkou neobnovitelnou primární energií

Druhou porovnávanou variantou je systém s následujícími technickými komponentami:

- Vytápění: kotel na pelety
- Vytápění prostoru: otopná tělesa
- Větrání: vzduchotechnická jednotka s rekuperací
- Získání elektrické energie: veřejná síť

8.2.1 Popis systému

Vytápění domácnosti pomocí kotle na pelety má spoustu výhod. Jedna z důležitých vlastností je, že tento způsob vytápění je velmi šetrný k přírodě, jelikož konverzní faktor pelet je pouze 0,2. Pelety jsou velmi ekologické, protože se vyrábí z odpadních zbytků dřeva stlačením dřevního prachu či pilin. Obsahují minimální podíl vody a popele a díky tomu hoří velmi dlouho a nevzniká téměř žádný kouř. Tvar pelet je válcovitý s délkou do 50 mm a průměrem v rozmezí 6 až 25 mm. Světlé pelety neobsahují takové množství příměsí a popela, a proto jsou kvalitnější. Výhřevnost pelet se pohybuje až kolem 18 MJ/kg. Při použití kotle na pelety je nutné počítat s prostorem pro skladování pelet. Když je tento prostor dostatečně velký, může vystačit na celou topnou sezónu. Tento systém je téměř stejně bezobslužný jako například plynové kotle, ale je třeba zajišťovat pravidelnou dopravu pelet do skladu poblíž kotle. Cena tuny pelet se pohybuje v rozmezí 4 500 až 6 500 Kč. [32]

8.2.2 Technická místnost

V této variantě je využit kotel na pelety ATMOS D14P, který má účinnost 93 % a má velmi nízkou spotřebu paliva. Na rozdíl od varianty s plynovým kotlem je zde v technické místnosti zapotřebí i akumulací nádrž, která zajišťuje, aby topná voda dosahovala neustále stejné teploty. V kotli na pelety dochází k hoření, a tudíž topná voda dosahuje vysokých hodnot.

Pokud by nebyla k soustavě připojena akumulční nádrž, docházelo by k častému spínání kotle a snížila by se tak jeho životnost. Pro tuto sestavu jsem navrhl akumulční nádrž Dražice – NAD 500 V1, která má objem 500 l. Tato nádrž je přímo připojená ke kotli a z ní vede topná voda dále do rozdělovače a z něj do jednotlivých větví. Na zpátečním potrubí z akumulční nádrže je napojena expanzní nádoba. Celý systém je řízen regulací Regulace ATMOS ACD01 S0074.

Schéma zapojení celého systému je zobrazeno v příloze č. 7.

8.2.3 Otopné plochy, elektrická energie

Otopné plochy včetně armatur a regulací jsou stejné jako ve variantě s plynovým kotlem. Zisk elektrické energie je taktéž jako u varianty 1 odebírán z veřejné sítě.

8.3 Varianta 3 - varianta s vysokým podílem energie okolního prostředí

Třetí porovnávanou variantou je systém s následujícími technickými komponentami:

- Vytápění: tepelné čerpadlo vzduch-voda
- Vytápění prostoru: podlahové vytápění
- Větrání: vzduchotechnická jednotka s rekuperací
- Získání elektrické energie: Veřejná síť + fotovoltaické panely

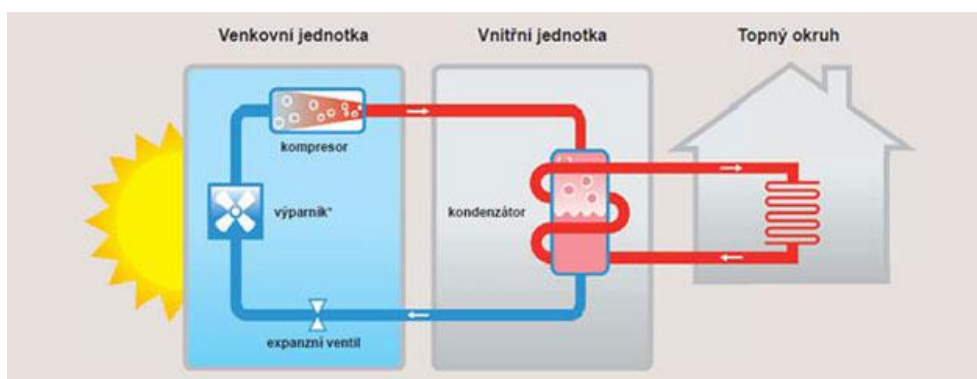
8.3.1 Popis systému

V dnešní době je tepelné čerpadlo u novostaveb asi nejpreferovanější způsob vytápění. Ať už jde o jakékoliv tepelné čerpadlo, každé z nich je šetrné k přírodě i k financím provozovatele. V tomto rodinném domě je navrženo tepelné čerpadlo vzduch-voda. Jedním z hlavních důvodů je to, že investiční náklady jsou oproti čerpadlu země-voda o dost nižší. U každého tepelného čerpadla je jedním z nejdůležitějších parametrů jeho topný faktor COP, který představuje poměr mezi energií, v podobě tepla, vytvořenou čerpadlem ku energii, která je

potřeba čerpadlu dodat, aby se zajistil jeho plnohodnotný provoz. Faktor COP je výrobcem udáván při určité teplotě venkovního vzduchu a při určitém teplotním spádu otopné soustavy. Pokud je tepelné čerpadlo využíváno i pro ohřev vody, je samozřejmě nutné, aby otopná voda dosahovala větších teplot a tím se topný faktor snižuje. Při započítání COP udávaného od výrobce tepelného čerpadla, vzeti v úvahu teplotního spádu soustavy 45/35 a teplotu natápěné vody na 55 °C, vychází topný faktor tepelného čerpadla 3,34. Tepelné čerpadlo se nejčastěji používá v kombinaci s podlahovým vytápěním, jelikož při tomto způsobu vytápění není potřebná tak vysoká teplota topné vody. Nevýhodou tohoto systému je, že venkovní jednotka je poměrně hlučná a je důležité při projektování dávat pozor na to, kam se usazuje. Vytápění domů pomocí tepelných čerpadel je dnes velmi časté a je šetrné k životnímu prostředí. Dále je to také bezobslužný způsob vytápění, který vyžaduje pouze občasnou údržbu. [33]

8.3.2 Technická místnost

Tepelné čerpadlo VIEMANN VITOCAL 200-A má vnitřní a vnější jednotku, přičemž venkovní jednotka obsahuje výparník, kompresor a expanzní ventil, zatímco jednotka vnitřní obsahuje kondenzátor. Obrázek 8.2 znázorňuje princip, jak tepelné čerpadlo vzduch-voda funguje.



Obrázek 8.2: Princip tepelného čerpadla vzduch-voda. [34]

Z vnitřní jednotky je otopná voda vedena do rozdělovače, kde se dělí do jednotlivých větví otopného systému. Ohřev teplé vody zajišťuje ohřívač vody Viadrus OV-H100, který je rovněž napojený na rozdělovač. Na zpátečním potrubí od sběrače je pak osazena expanzní

nádoba Reflex NG 12/6 - 12l, 6 bar, která zajišťuje stálý tlak celé soustavy. Celý systém je regulovaný pomocí regulace Vitotronic 200.

Schéma zapojení celého systému je zobrazeno v příloze č. 7.

8.3.3 Otopné plochy

Jako základní vytápění objektu je navrženo podlahové teplovodní vytápění od značky REHAU doplněné v koupelnách o žebříkové otopné plochy značky Korado, konkrétně typ Koralux linear Clasic. Ve vstupu do rodinného domu je tento systém doplněn o konvektory značky Korado Koraflex Fk.

8.3.4 Elektrická energie

Zdrojem tepelného čerpadla je elektřina, a proto u tohoto způsobu vytápění dochází k poměrně vysokému odběru. Z tohoto důvodu jsem v této variantě navrhl fotovoltaickou elektrárnu, která by měla částečně nahradit přívod energie z veřejné sítě.

8.4 Varianta 4 - varianta s přímým využitím elektřiny z distribuční sítě a výrobou elektřiny

Poslední porovnávanou variantou je systém s následujícími technickými komponentami:

- Vytápění: elektrické topné rohože
- Vytápění prostoru: podlahové vytápění
- Větrání: vzduchotechnická jednotka s rekuperací
- Získání elektrické energie: Veřejná síť + fotovoltaické panely s akumulátorem

8.4.1 Popis systému

Vytápění domácnosti pomocí elektrických topných rohoží není v dnešní době moc populární. Je to systém, který je přímo napájený elektřinou, a tudíž celková hodnota neobnovitelné

energie je tak vysoká, že kdyby se k tomuto systému nepřidal žádný podpůrný systém, jako je například fotovoltaika, rozhodně by tímto kritériem na hodnotu neobnovitelné energie neprošel.

Naopak obrovskou výhodou topných rohoží je jejich pořizovací cena, jednoduchost montáže a nepotřebnost jakéhokoliv technického zázemí. U tohoto systému je nejdražší a nejdůležitější regulace, která se cenově pohybuje na úrovni samotných otopných ploch. Instalace těchto rohoží může probíhat několika způsoby. Například u dlažby se instaluje do lepidla pod samotnou nášlapnou vrstvu. V případě plovoucích podlah se pak usazuje do samonivelační šěrky. Aby nedocházelo ke zbytečnému vytápění stropních konstrukcí, může být pod tyto rohože položen extrudovaný polystyren o slabé tloušťce, který zefektivní vytápění místnosti.

Jak již bylo řečeno, tato varianta je sama o sobě velmi nešetrná k přírodě. Proto jsem k tomuto systému navrhl fotovoltaickou elektrárnu s akumulátorem. Tímto způsobem by se mělo docílit částečného snížení odběru energií z veřejné sítě. [35]

8.4.2 Princip systému

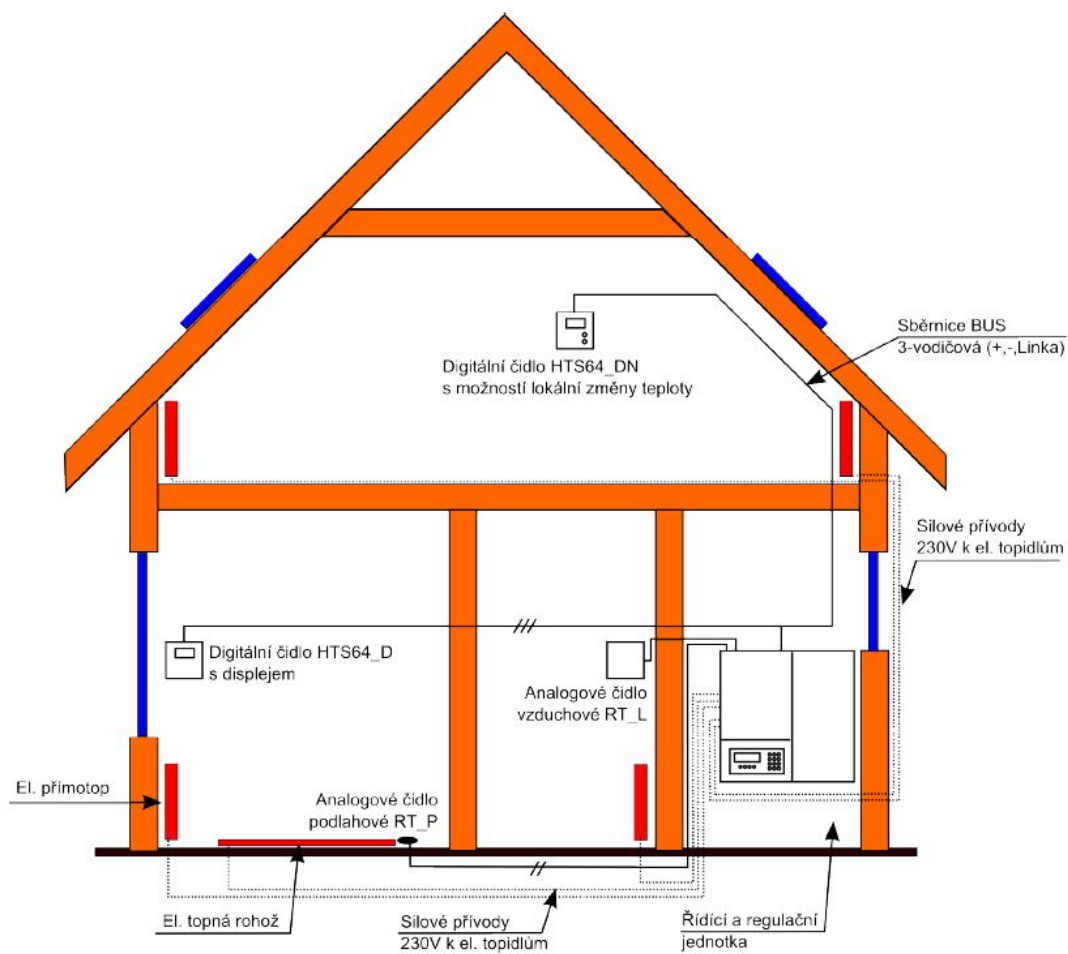
Aby vytápění správně fungovalo, je nutné nastavit především správnou regulaci. Ta lze nastavit v řídicí jednotce umístěné v hlavním regulátoru. V řídicí jednotce lze pro každou místnost nastavit několik režimů vytápění, které se budou během dne měnit. Například v dětském pokoji bude o víkendu nastaveno, že od 6:00 do 21:00 bude teplota 22 °C a od 21:00 do 6:00 teplota 19 °C. V jednotlivých místnostech jsou kromě tepelných rohoží instalována i digitální čidla teploty, která teplotu měří a zobrazují na displeji. Některá digitální čidla umožňují i korekci teploty, která trvá do té doby, dokud centrální řídicí jednotka nepřepne na následný nastavený program. Celý tento systém je řízen pomocí venkovního čidla, které je umístěno na severní straně fasády domu. [36]

Návrh elektrických topných rohoží pro jednotlivé místnosti je uveden v příloze č. 8.

8.4.3 Schéma zapojení elektrických topných rohoží

Na obrázku [8.3] je přehledně zobrazený princip fungování tohoto systému.

8.4. VARIANTA 4 - VARIANTA S PŘÍMÝM VYUŽITÍM ELEKTŘINY
Z DISTRIBUČNÍ SÍTĚ A VÝROBOU ELEKTŘINY



Obrázek 8.3: Princip zapojení elektrických topných rohoží. [37]

Kapitola 9

Návrh fotovoltaického systému pro zvolený rodinný dům

V následujících kapitolách [9.1.1](#) a [9.1.2](#) spočítám hodinovou bilanci energií budovy pro čtyři stavy – letní pracovní den, letní víkendový den, zimní pracovní den a zimní víkendový den. Pro přesnější práci s fotovoltaickou elektrárnou by bylo lepší znát bilanci energií ještě zvláště pro každý měsíc v roce. Z časových důvodů však ve své práci pracuji pouze s těmito čtyřmi stavy.

Investice do fotovoltaické elektrárny je poměrně vysoká a neplatí zde pravidlo, že kolikrát víc panelů bude na střeše, tolikrát víc se ušetří energie. Například při situaci, kdy je léto a na solární panely působí velká intenzita slunečního záření, pro chod domácnosti stačí pouze pár panelů a veškerá potřeba domácnosti je pokrytá. Kdyby jich bylo více, jejich energii lze prodávat do veřejné sítě, ale jak jsem již zmínil, tento prodej není výhodný. Naopak při situaci, kdy je zima a intenzita slunečního záření není tak silná, tak i při vysokém počtu solárních panelů není vyráběno tolik elektrické energie, aby se finančně vyplatilo chtít pokrýt celou denní potřebu.

S ohledem na bilanci tohoto rodinného domu jsem se rozhodl zvolit 12 solárních panelů s výkonem 3,42 kWp, což je v přepočtu přibližně 3,2 kWh/rok.

KAPITOLA 9. NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO ZVOLENÝ RODINNÝ DŮM

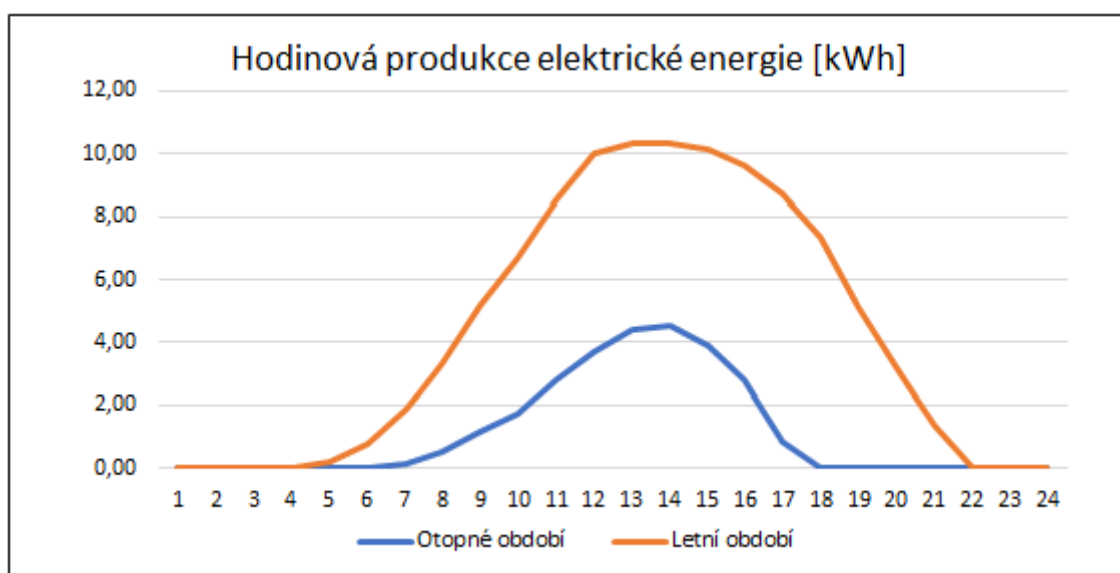
V tabulce 9.1 je na základě hodinové intenzity slunečního záření spočítáno, jakou hodinovou produkci elektrické energie je schopná navržená elektrárna vyrobit. Tento výpočet je proveden pro dva stavy – pro otopné období, kde byla hodinová intenzita vypočítána z průměrů v jednotlivých měsících a pro letní období, kde byla spočítána z průměru v měsících letních.

Otopné období - 232 dnů			Letní období - 133 dnů		
Hodina	Hodinová intenzita slunečního záření [kWh/m ²]	Hodinová produkce elektrické energie [kWh]	Hodina	Hodinová intenzita slunečního záření [kWh/m ²]	Hodinová produkce elektrické energie [kWh]
1	0,00	0,00	1	0,00	0,00
2	0,00	0,00	2	0,00	0,00
3	0,00	0,00	3	0,00	0,00
4	0,00	0,00	4	0,00	0,00
5	0,00	0,00	5	0,32	0,19
6	0,00	0,00	6	1,31	0,76
7	0,28	0,16	7	3,21	1,87
8	0,95	0,55	8	5,70	3,31
9	2,05	1,19	9	8,88	5,16
10	3,03	1,76	10	11,55	6,72
11	4,86	2,83	11	14,69	8,54
12	6,44	3,74	12	17,23	10,02
13	7,59	4,41	13	17,73	10,31
14	7,84	4,56	14	17,81	10,35
15	6,69	3,89	15	17,48	10,16
16	4,81	2,80	16	16,52	9,60
17	1,51	0,88	17	15,01	8,73
18	0,00	0,00	18	12,57	7,31
19	0,00	0,00	19	8,84	5,14
20	0,00	0,00	20	5,46	3,17

Hodina	Hodinová intenzita slunečního záření [kWh/m ²]	Hodinová produkce elektrické energie [kWh]	Hodina	Hodinová intenzita slunečního záření [kWh/m ²]	Hodinová produkce elektrické energie [kWh]
21	0,00	0,00	21	2,32	1,35
22	0,00	0,00	22	0,00	0,00
23	0,00	0,00	23	0,00	0,00
24	0,00	0,00	24	0,00	0,00
Celkem	46,05	26,77	Celkem	176,63	102,69

Tabulka 9.1: Hodinová produkce elektrické energie v průběhu dne.

Z hodinového grafu produkce elektrické energie (viz obrázek 9.1) je patrný rozdíl mezi letním a zimním stavem, kdy se mění jak doba výroby energie, tak i jeho množství v jednotlivých hodinách.



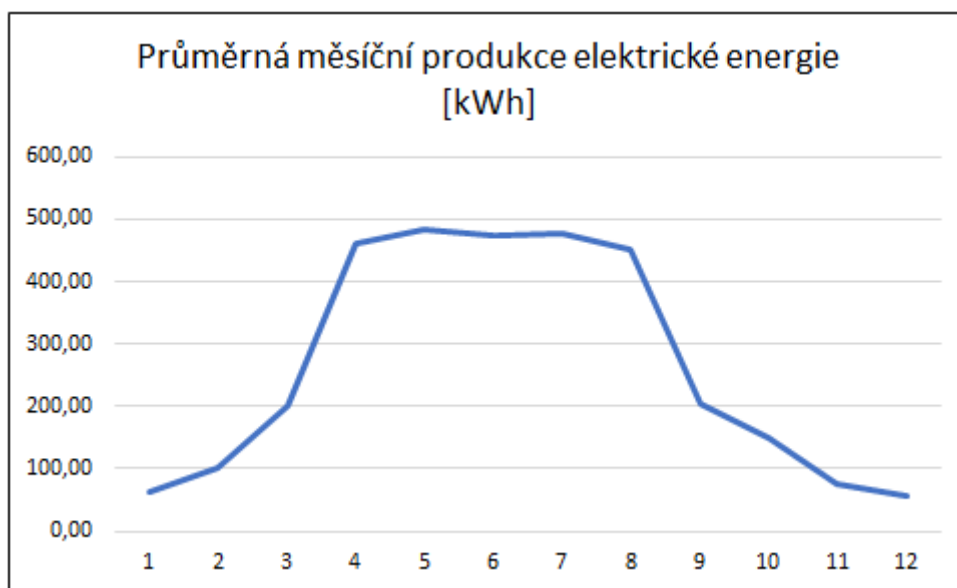
Obrázek 9.1: Hodinová produkce elektrické energie v průběhu dne.

KAPITOLA 9. NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO ZVOLENÝ RODINNÝ DŮM

Tabulka 9.2 a graf na obrázku 9.2 ukazují, jak se mění průměrná měsíční produkce elektrické energie během roku. Z této tabulky je nejvíce patrné, že například v lednu, kdy je potřeba dodávat do domu největší množství energie, dokáže solární systém vyrobit pouze 63,24 kWh elektrické energie.

Měsíc	Počet dní v měsíci	Průměrná denní intenzita slunečního záření [kWh/m ²]	Průměrná denní produkce elektrické energie [kWh]	Průměrná měsíční produkce elektrické energie [kWh]	
1	leden	31	1,07	2,04	63,24
2	únor	28	1,94	3,67	102,76
3	březen	31	3,54	6,48	200,88
4	duben	30	5,01	15,42	462,60
5	květen	31	5,22	15,65	485,15
6	červen	30	5,35	15,77	473,10
7	červenec	31	5,30	15,42	478,02
8	srpen	31	4,97	14,61	452,91
9	září	30	3,89	6,79	203,70
10	říjen	31	2,66	4,81	149,11
11	listopad	30	1,35	2,52	75,60
12	prosinec	31	0,95	1,80	55,80

Tabulka 9.2: Průměrná denní a měsíční produkce elektrické energie v průběhu roku.



Obrázek 9.2: Hodinová produkce elektrické energie v průběhu dne.

Ve dvou variantách technických systémů budovy se vyskytuje návrh fotovoltaiky – jedná se o variantu s tepelným čerpadlem a o variantu s elektrickými tepelnými rohožemi. U těchto dvou variant je hlavním energonositelem právě elektřina, a proto se vybízí ji k těmto systémům navrhnout.

U každé z těchto dvou variant bude fotovoltaický systém navržen trochu odlišně, aby byly vidět výhody a nevýhody jednotlivých návrhů. U varianty s tepelným čerpadlem bude navržena fotovoltaická elektrárna bez akumulátoru a u varianty s elektrickými topnými rohožemi bude pro větší využití sluneční energie využívána i baterie.

9.1 Varianta s elektrickými topnými rohožemi

Instalace topných rohoží jako hlavní zdroj vytápění s sebou přináší spoustu výhod i nevýhod. Výhoda samotného systému je, že pro svůj provoz nepotřebuje žádnou technickou místnost a montáž rohoží je poměrně jednoduchá záležitost. Nevýhodou je, že celý dům je závislý na dodávce elektřiny z veřejné sítě a faktor primární neobnovitelné energie elektřiny je velmi vysoký (3,0) a budova tak téměř s jistotou nesplňuje požadavek na maximální hodnotu primární neobnovitelné energie.

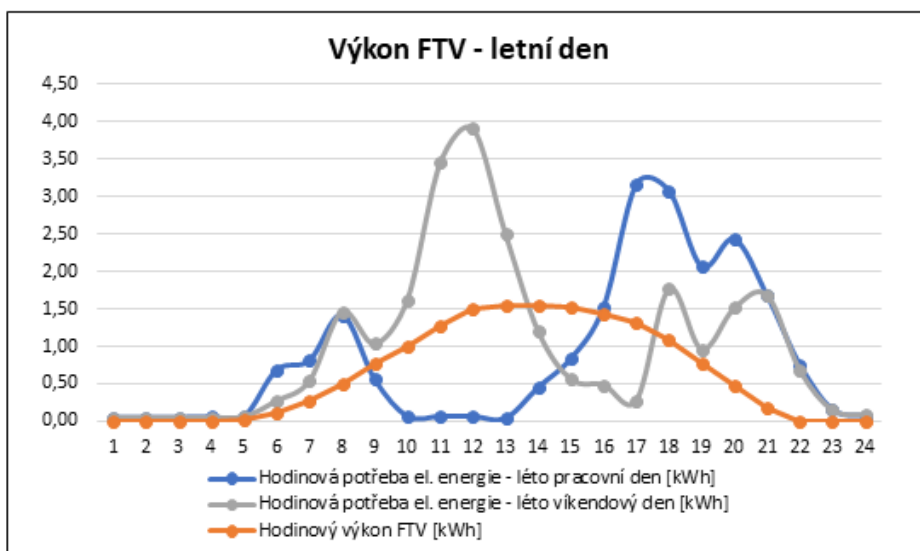
Z tohoto důvodu je právě v této variantě navržená fotovoltaická elektrárna s baterií o kapacitě 6,8 kWh. Energie, kterou budova dostane z elektrárny má faktor neobnovitelné energie 0,0 a tak výrazně sníží tuto celkovou hodnotu. Také při výpadku elektřiny je šance, že bude baterie nabitá a umožní alespoň nouzový provoz budovy.

Z energetických bilancí, které jsem uvedl v kapitole 5, jsem použil celkovou hodinovou potřebu elektrické energie pro domácnost, kterou se z části snaží pokrýt výkon fotovoltaiky. V tabulkách v následujících kapitolách jsou uvedeny jednotlivé bilanční stavy v průběhu roku.

9.1.1 Výkon fotovoltaického systému během léta

Graf na obrázku 9.3 znázorňuje dva letní stavy – pracovní a víkendový den a jejich hodinovou potřebu energie. Do proti je pak postaven výkon FTV, který ukazuje, jakou měrou je během dne schopný nahradit přísun elektrické energie z veřejné sítě.

Z tohoto grafu vyplývá, že přibližně od 9:00 do 16:00 v pracovním dni vyrábí fotovoltaická elektrárna nadbytečné množství energie, které lze ukládat do baterie a využít v momentě, kdy výkon fotovoltaiky není dostačující.



Obrázek 9.3: Hodinová produkce FTV systému v porovnání s hodinovou potřebou elektrické energie rodinného domu v létě – pracovní den a víkend.

9.1.1.1 Množství vyrobené elektřiny v létě – pracovní den

Během pracovního dne v létě dochází k největším rozdílům mezi vyrobenou elektřinou a její potřebou. Z tabulky 9.3 vyplývá, že téměř stejné množství energie, které se přímo během dne z fotovoltaické elektrárny spotřebuje, se i uloží do akumulátoru pro pozdější odběr, kdy se zvýší odběr elektřiny a sníží intenzita slunečního záření.

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
1	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
2	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
3	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
4	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06
5	0,06	0,03	0,00	0,03	0,04
6	0,69	0,11	0,00	0,11	0,57
7	0,81	0,28	0,00	0,28	0,53
8	1,42	0,50	0,00	0,50	0,92
9	0,56	0,77	0,22	0,56	0,00
10	0,07	1,01	0,94	0,07	0,00
11	0,07	1,28	1,22	0,07	0,00
12	0,07	1,50	1,44	0,07	0,00
13	0,04	1,55	1,50	0,04	0,00
14	0,46	1,55	1,10	0,46	0,00
15	0,84	1,52	0,68	0,84	0,00
16	1,53	1,44	0,00	1,44	0,09
17	3,17	1,31	0,00	1,31	1,86
18	3,08	1,10	0,00	1,10	1,98
19	2,07	0,77	0,00	0,77	1,30
20	2,44	0,48	0,00	0,48	1,96

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
21	1,68	0,17	0,00	0,17	1,51
22	0,76	0,00	0,00	0,00	0,76
23	0,16	0,00	0,00	0,00	0,16
24	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07
Celkem	20,23	15,37	7,10	8,27	11,96
Celkem během 95 dnů [kWh]					
Celkem	1 922,2	1 460,3	674,4	786,0	1 136,2

Tabulka 9.3: Množství elektrické energie využité z FTV systému a její přebytky v létě – pracovní den.

9.1.1.2 Množství vyrobené elektřiny v létě – víkend

Během víkendových letních dní nejsou tak vysoké přebytky energie, jelikož jsou v domě většinou lidé, a i přes den je odběr elektřiny velký. Tabulka 9.4 ukazuje hodinovou potřebu elektrické energie využité z FTV systému a její přebytky v létě o víkendovém dni.

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
1	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
2	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
3	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
4	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
5	0,06	0,03	0,00	0,03	0,03

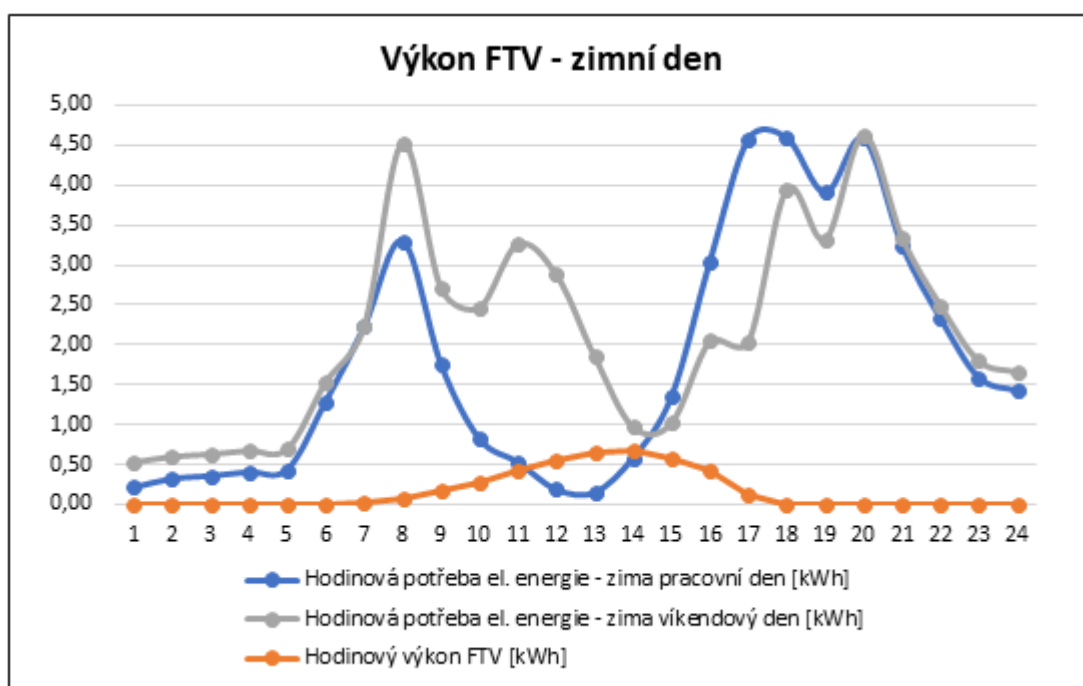
9.1. VARIANTA S ELEKTRICKÝMI TOPNÝMI ROHOŽEMI

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
6	0,27	0,11	0,00	0,11	0,16
7	0,54	0,28	0,00	0,28	0,26
8	1,46	0,50	0,00	0,50	0,96
9	1,03	0,77	0,00	0,77	0,26
10	1,63	1,01	0,00	1,01	0,62
11	3,45	1,28	0,00	1,28	2,17
12	3,91	1,50	0,00	1,50	2,41
13	2,50	1,55	0,00	1,55	0,96
14	1,20	1,55	0,35	1,20	0,00
15	0,56	1,52	0,96	0,56	0,00
16	0,49	1,44	0,96	0,49	0,00
17	0,27	1,31	1,03	0,27	0,00
18	1,77	1,10	0,00	1,10	0,67
19	0,96	0,77	0,00	0,77	0,19
20	1,51	0,48	0,00	0,48	1,04
21	1,68	0,17	0,00	0,17	1,51
22	0,68	0,00	0,00	0,00	0,68
23	0,15	0,00	0,00	0,00	0,15
24	0,08	0,00	0,00	0,00	0,08
Celkem	24,42	15,37	3,31	12,06	12,36
Celkem během 38 dnů [kWh]					
Celkem	928,1	584,1	125,7	458,5	469,6

Tabulka 9.4: Množství elektrické energie využité z FTV systému a její přebytky v létě – víkend.

9.1.2 Výkon fotovoltaického systému během zimy

Stejně jako u letního dne porovnávám i pro zimní den potřeby energie pro rodinný dům s výrobou fotovoltaiky. V tomto případě je mezi potřebou a pokrytím FTV obrovský rozdíl, který je způsoben již zmíněnou nízkou intenzitou slunečního záření a vysokou potřebou energie na vytápění. Z následujících tabulek a grafů (viz obrázek 9.4) je patrné, že během celého dne téměř nedochází k přebytkům vyrobené energie z fotovoltaiky.



Obrázek 9.4: Hodinová produkce FTV systému v porovnání s hodinovou potřebou elektrické energie rodinného domu v zimě – pracovní den a víkend.

9.1.2.1 Množství vyrobené elektřiny v zimě – pracovní den

Z tabulky 9.5 vyplývá, že výkon FTV systému přes den jen asi během tří hodin přesáhne potřebu domácnosti, a tudíž se do akumulátoru téměř žádná energie neukládá.

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
1	0,21	0,00	0,00	0,00	0,21
2	0,32	0,00	0,00	0,00	0,32
3	0,36	0,00	0,00	0,00	0,36
4	0,41	0,00	0,00	0,00	0,41
5	0,44	0,00	0,00	0,00	0,44
6	1,29	0,00	0,00	0,00	1,29
7	2,23	0,02	0,00	0,02	2,21
8	3,30	0,08	0,00	0,08	3,22
9	1,75	0,18	0,00	0,18	1,58
10	0,82	0,26	0,00	0,26	0,56
11	0,53	0,42	0,00	0,42	0,11
12	0,19	0,56	0,37	0,19	0,00
13	0,15	0,66	0,51	0,15	0,00
14	0,59	0,68	0,10	0,59	0,00
15	1,35	0,58	0,00	0,58	0,77
16	3,05	0,42	0,00	0,42	2,63
17	4,58	0,13	0,00	0,13	4,45
18	4,59	0,00	0,00	0,00	4,59
19	3,91	0,00	0,00	0,00	3,91
20	4,59	0,00	0,00	0,00	4,59
21	3,24	0,00	0,00	0,00	3,24
22	2,33	0,00	0,00	0,00	2,33

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
23	1,59	0,00	0,00	0,00	1,59
24	1,42	0,00	0,00	0,00	1,42
Celkem	43,24	4,02	0,98	3,04	40,21
Celkem během 166 dnů [kWh]					
Celkem	7 178,4	666,7	162,7	504,0	6 674,4

Tabulka 9.5: Množství elektrické energie využité z FTV systému a její přebytky v zimě – pracovní den.

9.1.2.2 Množství vyrobené elektřiny v zimě – víkend

V tabulce 9.6 je vidět, že o víkendech v zimním období je baterie u fotovoltaické elektrárny zbytečná, jelikož její výroba nepřesahuje potřebu domácnosti.

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
1	0,53	0,00	0,00	0,00	0,53
2	0,60	0,00	0,00	0,00	0,60
3	0,63	0,00	0,00	0,00	0,63
4	0,67	0,00	0,00	0,00	0,67
5	0,69	0,00	0,00	0,00	0,69
6	1,53	0,00	0,00	0,00	1,53
7	2,23	0,02	0,00	0,02	2,20
8	4,53	0,08	0,00	0,08	4,45

9.1. VARIANTA S ELEKTRICKÝMI TOPNÝMI ROHOŽEMI

Hodina	Hodinová potřeba el. energie pro domácnost [kWh]	Výkon FTV [kWh]	Přebytky z FTV [kWh]	Spotřeba z FTV [kWh]	Spotřeba z veřejné sítě [kWh]
9	2,71	0,18	0,00	0,18	2,53
10	2,46	0,26	0,00	0,26	2,20
11	3,26	0,42	0,00	0,42	2,84
12	2,88	0,56	0,00	0,56	2,32
13	1,85	0,66	0,00	0,66	1,19
14	0,97	0,68	0,00	0,68	0,29
15	1,02	0,58	0,00	0,58	0,44
16	2,05	0,42	0,00	0,42	1,63
17	2,04	0,13	0,00	0,13	1,91
18	3,95	0,00	0,00	0,00	3,95
19	3,32	0,00	0,00	0,00	3,32
20	4,63	0,00	0,00	0,00	4,63
21	3,34	0,00	0,00	0,00	3,34
22	2,49	0,00	0,00	0,00	2,49
23	1,80	0,00	0,00	0,00	1,80
24	1,66	0,00	0,00	0,00	1,66
Celkem	51,82	4,02	0,00	4,02	47,80
Celkem během 66 dnů [kWh]					
Celkem	3 420,1	265,1	0,0	265,1	3 155,0

Tabulka 9.6: Množství elektrické energie využité z FTV systému v zimě – víkend.

9.1.3 Celkové množství energie potřebné v budově

Součet všech dní v jednotlivých ročních obdobích je zobrazen v tabulce 9.7, kde je po započtení výkonu FTV a možnosti ukládání přebytečné energie do baterie vypočítána celková potřebná energie pro budovu. Ta je následně sečtena do roční bilance, kde vychází, že fotovoltaika ročně ušetří přibližně 2 973 kWh a sníží se tak potřeba na 10,475 kWh/rok.

Elektrické topné rohože s hybridním solárním systémem			
Období	Potřeba elektrické energie za den [kWh/den]	Počet dní	Celková potřeba elektrické energie [kWh/rok]
Léto – pracovní den	4,86	95	462
Léto – víkend	9,05	38	344
Zima – pracovní den	39,23	166	6 512
Zima – víkend	47,80	66	3 155
Celkem	-	365	10 473

Tabulka 9.7: Celková potřeba elektrické energie odebrané z elektrické veřejné sítě pro variantu s topnými rohožemi.

9.2 Varianta s tepelným čerpadlem

U této varianty se díky čerpadlu s vysokým faktorem COP (3,34) budova dostává na velmi nízkou potřebu energie. Z původních 13 448 kWh/rok klesla díky tepelnému čerpadlu potřeba energie na 7 562 kWh/rok. Jelikož u elektrických topných rohoží je potřeba elektrické energie podstatně větší, zvolil jsem pro tuto variantu instalaci pouze fotovoltaických panelů bez akumulátoru.

V příloze č. 9 jsou uvedeny jednotlivé roční bilance s uvážením fotovoltaického systému.

Tabulka 9.8 ukazuje celkovou potřebu elektrické energie odebrané z elektrické veřejné sítě pro variantu s tepelným čerpadlem.

Tepelné čerpadlo s fotovoltaickou elektrárnou			
Období	Potřeba elektrické energie za den [kWh/den]	Počet dní	Celková potřeba elektrické energie [kWh/rok]
Léto – pracovní den	6,87	95	653
Léto – víkend	7,64	38	290
Zima – pracovní den	19,46	166	3 230
Zima – víkend	23,90	66	1 577
Celkem	-	365	5 750

Tabulka 9.8: Celková potřeba elektrické energie odebrané z elektrické veřejné sítě pro variantu s tepelným čerpadlem.

Fotovoltaickým systémem se u této varianty sníží potřeba dodané energie z veřejné sítě ze 7 562 kWh na 5 750 kWh/rok a ušetří se tím 1 812 kWh ročně.

Oproti elektrickým topným rohožím, kde byl k fotovoltaické elektrárně přidán akumulátor se ušetřilo o 1 163 kWh/rok méně. Tento pokles ale může být částečně způsoben i tím, že u varianty s tepelným čerpadlem byla celková potřeba energie nižší než u topných rohoží. S cenou elektřiny 3,15 Kč/kWh pak celkový roční rozdíl vychází 3 660 Kč.

Kapitola 10

Vyhodnocení jednotlivých variant systémů

V kapitole [2.1](#) jsem uvedl kritéria, podle kterých jsou budovy hodnocené. V následujícím vyhodnocení se na jednotlivé varianty zaměřím jak z hlediska investora, kterého zajímají především finance a minimální provozní náročnost, tak i z hlediska přírodních neobnovitelných zdrojů, u kterých je legislativou nastavená hranice, která u novostavby nesmí být překročena.

Jelikož cílem této práce je navrhnout dům s téměř nulovou spotřebou energie, budu především přihlížet k variantám, které mají nízkou hodnotu dodané energie do domu a které využívají energii především z obnovitelných zdrojů.

10.1 Ekonomické posouzení variant

Ekonomické hodnocení jednotlivých variant většinou zajímá především investory, a proto je nedílnou součástí této práce. Doba, po kterou jsou tyto systémy hodnoceny, je 15 let.

Každá varianta má své investiční a provozní náklady, které se snaží zachytit veškeré náklady spojené s danou variantou. Některé hodnoty jsou získány z projektů, které jsou typově podobné a neměly by se od tohoto projektu výrazně lišit – například inženýring nebo některé druhy práce. [38](#)

10.1.1 Varianta 1 - varianta s nízkou počáteční investicí

U kondenzačních plynových kotlů je všeobecně známo, že investiční náklady jsou oproti ostatním zdrojům tepla velmi nízké, a naopak provozní náklady jsou velmi vysoké.

10.1.1.1 Investiční náklady

Při pořizování kondenzačních kotlů na zemní plyn je velmi důležité si dopředu uvědomit všechny investice, které mohou s jeho pořízením souviset. Jedním z hlavních kritérií je především to, jestli je na hranici pozemku doveden veřejný rozvod plynu. V opačném případě bych tuto variantu hned vyloučil. Jestliže je tedy plyn přiveden na hranici pozemku, stejně vzniká nutnost udělat plynovou přípojku k samotné budově. Další investicí spojenou s plynovým kotlem je nutnost zajistit odkouření kotle a přívod vzduchu. Tato investice také není zanedbatelná.

Další počáteční investice jsou uvedené v tabulce [10.1](#), kde je také uvedena jejich cena bez DPH a s DPH.

Popis	Typ	Cena bez DPH	Cena s DPH
Inženýring	Projektová dokumentace + dozor	10 000 Kč	12 100 Kč
Práce	Montáž otopné soustavy	45 000 Kč	54 450 Kč
Zdroj tepla	Kondenzační plynový kotel VIA-DRUS K4G3 H (5–24 kW)	27 789 Kč	33 625 Kč
Odkouření + přívod vzduchu	VIADRUS typ STARR	28 455 Kč	34 431 Kč
Ohřívač vody	Viadrus OV-H100 (29 kW)	7 735 Kč	9 359 Kč
Expanzní nádoba	Reflex expanzní nádoba NG 12/6 - 12l, 6 bar	832 Kč	1 007 Kč
Oběhová čerpadla	Oběhové čerpadlo Grundfos AL-PHA2	18 340 Kč	22 191 Kč
Otopná tělesa	Korado	50 854 Kč	61 533 Kč

Popis	Typ	Cena bez DPH	Cena s DPH
Termoregulační hlavice	Honeywell Thera 4	4 186 Kč	5 065 Kč
Měděné potrubí	cca 175 m	17 150 Kč	20 752 Kč
Regulace	Honeywell s4962v3224	14 600 Kč	17 666 Kč
Příslušenství	Manometry, teploměry, kohouty, ventily, ...	18 000 Kč	21 780 Kč
Plynová přípojka	Náklady na výkop, montáž a mate- riál přípojky v délce 2 m	17 686 Kč	21 400 Kč
Plynová přípojka	Náklady na každý další započatý 1 m přípojky je 1368 Kč -> 10 m * 1 368 Kč	13 680 Kč	16 553 Kč
Celkem		274 307 Kč	331 911 Kč

Tabulka 10.1: Varianta 1 – investiční náklady.

10.1.1.2 Provozní náklady

Velmi vysokou složku provozních nákladů jsou pravidelné revize - ať už jde o revizi plynového spotřebiče nebo kontrolu spalinových cest. Pro odběr elektrické energie z veřejné sítě lze zvolit pouze tarif D02d, jelikož je dům vytápěn plynem a teplá voda se rovněž ohřívá díky plynovému kotli. Z tohoto důvodu je pro 1 kWh cena 4,5 Kč, což je poměrně vysoká cena. Další provozní náklady jsou uvedené v tabulce [10.2](#).¹

¹Ceny zemního plynu dostupné z: Stručný přehled cen za distribuci a dodávku zemního plynu pro domácnosti. Platnost od 1.1.2019, E.ON

Popis	Množství	Jednotka
Množství spotřebovaného plynu za rok	800,5	m ³
Cena zemního plynu	14,73	Kč/m ³
Cena za zemní plyn na 1 rok (účinnost 105 %)	11 791	Kč/rok
Paušální cena za odběr plynu	3 862	Kč/rok
Průměrná cena za revize během 1 roku	4 178	Kč/rok
Množství spotřebované elektřiny za rok na osvětlení a zásuvkovou spotřebu	5 003	kWh
Množství spotřebované elektřiny za 1 rok na technické zařízení	235	kWh
Celková spotřeba elektřiny RD za 1 rok	5 238	kWh
Cena elektřiny v daném kraji se sazbou D02d	4,5	Kč/kWh
Cena za spotřebovanou elektřinu	23 781	Kč/rok
Paušální cena za odběr elektřiny	2 541	Kč/rok
Celkem	46 153	Kč/rok

Tabulka 10.2: Varianta 1 – provozní náklady.

10.1.2 Varianta 2 - varianta s nízkou počáteční investicí a nízkou neobnovitelnou primární energií

Kotel na pelety je dle mého názoru výhodná investice, protože investiční i provozní náklady jsou přijatelné a údržba není příliš složitá.

10.1.2.1 Investiční náklady

Všechny investiční náklady jsou vypsány v tabulce [10.3](#). Investice do samotného kotle na pelety není tak vysoká jako u kondenzačního plynového kotle. Přesto se investiční náklady proti první variantě pohybují o něco výše. Hlavním důvodem je nutnost komína, který bude odvádět spaliny. Jak již bylo zmíněno v kapitole [8.2](#), je zde zapotřebí akumulární nádrž, která bude udržovat požadovanou teplotu vody, než ji bude posílat dále do otopného systému. Navíc je k ohřívání vody přidána elektrická topná tyč, která bude ohřívat teplou vodu během léta.

Popis	Typ	Cena bez DPH	Cena s DPH
Inženýring	Projektová dokumentace + dozor	10 000 Kč	12 100 Kč
Práce	Montáž otopné soustavy	45 000 Kč	54 450 Kč
Zdroj tepla	Kotel na pelety – ATMOS D14P	29 621 Kč	35 841 Kč
Komín + práce	HELUZ jedno průduchový	44 859 Kč	54 279 Kč
Ohřívač vody	Viadrus OV-H100 (29 kW)	7 735 Kč	9 359 Kč
Akumulační nádrž	Dražice – NAD 500 V1	7 300 Kč	8 833 Kč
Elektrická topná tyč	Viadrus Dražice 2200 W	1 200 Kč	1 452 Kč
Expanzní nádoba	Reflex expanzní nádoba NG 12/6 - 12l, 6 bar	832 Kč	1 007 Kč
Oběhová čerpadla	Oběhové čerpadlo Grundfos AL-PHA2	18 340 Kč	22 191 Kč
Otopná tělesa	Korado	50 854 Kč	61 533 Kč
Termoregulační hlavice	Honeywell Thera 4	4 186 Kč	5 065 Kč
Měděné potrubí	cca 175 m	17 150 Kč	20 752 Kč
Regulace	Regulace ATMOS ACD01 S0074	13 390 Kč	16 202 Kč
Příslušenství	Manometry, teploměry, kohouty, ventily, ...	18 000 Kč	21 780 Kč
Celkem		319 321 Kč	386 378 Kč

Tabulka 10.3: Varianta 2 – investiční náklady.

10.1.2.2 Provozní náklady

Provozní náklady jsou velmi podobné jako u varianty s plynovým kotlem. Hlavní rozdíl tvoří podstatně nižší cena za revize. Celkové provozní náklady jsou shrnuty v tabulce 10.4

Popis	Množství	Jednotka
Množství peletek za rok	1 987	kg
Cena pelet	7,25	Kč/kg
Cena za pelety (účinnost 90 %)	12 965	Kč/rok
Průměrná cena za revize během 1 roku	1 779	Kč/rok
Množství spotřebované elektřiny za rok na osvětlení a zásuvkovou spotřebu	5 003	kWh
Množství spotřebované elektřiny za 1 rok na technické zařízení	235	kWh
Celková spotřeba elektřiny RD za 1 rok	5 238	kWh
Cena elektřiny v daném kraji se sazbou D02d	4,5	Kč/kWh
Cena za spotřebovanou elektřinu	23 781	Kč/rok
Paušální cena za odběr elektřiny	2 541	Kč/rok
Celkem	41 065	Kč/rok

Tabulka 10.4: Varianta 2 – provozní náklady.

10.1.3 Varianta 3 - varianta s vysokým podílem energie okolního prostředí

Tepelné čerpadlo vzduch – voda je velmi rozšířené a do rodinných domů velmi často navrhované. Oproti oběma předchozím variantám jsou zde vyšší investiční náklady, které jsou také způsobeny navrženou fotovoltaickou elektrárnou.

10.1.3.1 Investiční náklady

Jak již bylo řečeno, investiční náklady (viz tabulka 10.5) jsou u tepelného čerpadla o poznání vyšší než u plynového kotle a kotle na peletky. U této varianty tvoří hlavní investiční položku především samotné tepelné čerpadlo a fotovoltaická elektrárna.

Popis	Typ	Cena bez DPH	Cena s DPH
Inženýring	Projektová dokumentace + dozor	10 000 Kč	12 100 Kč
Práce	Montáž otopné soustavy	62 000 Kč	75 020 Kč
Zdroj tepla	VIESMANN VITOCAL 200-S	168 443 Kč	203 816 Kč
Ohřívač vody	Viadrus OV-H100 (29 kW)	7 735 Kč	9 359 Kč
Expanzní nádoba	Reflex expanzní nádoba NG 12/6 - 12l, 6 bar	832 Kč	1 007 Kč
Oběhová čerpadla	Oběhové čerpadlo Grundfos AL- PHA2	22 925 Kč	27 739 Kč
Podlahové vytápění	Potrubí REAHU	71 250 Kč	86 213 Kč
Měděné potrubí	cca 100 m	980 Kč	1 186 Kč
Regulace	Regulace Vitotronic 200	14 600 Kč	17 666 Kč
Příslušenství	Manometry, teploměry, kohouty, ventily, ...	14 000 Kč	16 940 Kč
Fotovoltaika + montáž	Solární systém 3300Wp/24V	112 000 Kč	135 520 Kč
Celkem		484 765 Kč	586 566 Kč

Tabulka 10.5: Varianta 3 – investiční náklady.

10.1.3.2 Provozní náklady

Tepelné čerpadlo má vysoký faktor COP (3,34), tudíž potřeba elektrické energie klesne o téměř 6 MWh. Následně fotovoltaická elektrárna díky intenzitě slunečního záření dokáže během roku vyrobit necelé 2 MWh elektrické energie, které také výrazně sníží potřebu energie z veřejné sítě. Celková suma provozních nákladů je uvedena v tabulce 10.6.

Popis	Množství	Jednotka
Potřeba energie pro vytápění a TV	8 445,0	kWh
COP daného čerpadla	3,3	-
Množství spotřebované elektřiny za rok na vytápění a výrobu TV	2 528,4	kWh
Revize TČ	847,0	Kč/rok
Množství spotřebované elektřiny za rok na osvětlení a zásuvkovou spotřebu	5 003,0	kWh
Množství získané energie z okolního prostředí (fotovoltaika)	1 779,4	kWh
Celková spotřeba elektřiny RD za 1 rok	5 752,0	kWh
Cena elektřiny v daném kraji se sazbou D56d	3,15	Kč/kWh
Cena za elektřinu na 1 rok	18 119	Kč/rok
Paušální cena za odběr elektřiny	5 640	Kč/rok
Celkem	24 606	Kč/rok

Tabulka 10.6: Varianta 3 – provozní náklady.

10.1.4 Varianta 4 - varianta s přímým využitím elektřiny z distribuční sítě a výrobou elektřiny

Stejně jako u varianty s tepelným čerpadlem i v této variantě je navržena fotovoltaická elektrárna a zde je navíc poměrně velká investice do akumulátoru.

10.1.4.1 Investiční náklady

Jak již bylo řečeno v kapitole 8.4, investiční náklady do otopného systému s elektrickými topnými rohožemi nejsou příliš vysoké (viz tabulka 10.7). Největší investice spočívá v navržení fotovoltaické elektrárny s akumulátorem o kapacitě 6,8 MWh. V této jediné variantě se vyskytuje elektrický ohřívač vody, jelikož tu neprobíhá žádná teplovodní soustava.

Popis	Typ	Cena bez DPH	Cena s DPH
Inženýring	Projektová dokumentace + dozor	10 000 Kč	12 100 Kč
Práce	Montáž otopné soustavy	25 000 Kč	30 250 Kč
Řídící jednotka	BMR HC 64 - řídicí jednotka	5 990 Kč	7 248 Kč
Digitální čidlo teploty	BMR HTS 64-DN (displej, korekce ±)	7 194 Kč	8 705 Kč
Digitální čidlo teploty	BMR HTS 64-D (displej)	5 994 Kč	7 253 Kč
Venkovní čidlo teploty	BMR WTR01 (modul ext teploty) + BMR OK_NET	1 067 Kč	1 291 Kč
Centrální regulátor	BMR RT 32	24 160 Kč	29 234 Kč
Rám pro regulátor	Rám RTR 32 (pro 17-32)	3 070 Kč	3 715 Kč
Elektrické rohože	Fénix - rohože LDTS	31 475 Kč	38 085 Kč
Elektrický ohřívač vody	Dražice OKCE 125 2/6kW	7 636 Kč	9 240 Kč
Fotovoltaika + akumulátor	Hybridní solární systém EasySolar 5000VA - 3,42 kWp	245 041 Kč	296 500 Kč
Celkem		366 627 Kč	443 619 Kč

Tabulka 10.7: Varianta 4 – investiční náklady.

10.1.4.2 Provozní náklady

Hybridní solární systém je schopný během roku ušetřit téměř 3 MWh elektrické energie z veřejné sítě. Zůstává tu ale stále přibližně 10,5 MWh/rok, které je potřeba z veřejné sítě

dodat. Z toho důvodu vycházejí provozní náklady (viz tabulka 10.8) i přes nízkou cenu za kWh elektřiny ve výsledku poměrně vysoké.

Popis	Množství	Jednotka
Množství spotřebované elektřiny za rok na vytápění a výrobu TV	8 445,0	kWh
Množství spotřebované elektřiny za rok na osvětlení a zásuvkovou spotřebu	5 003,0	kWh
Množství získané energie z okolního prostředí (fotovoltaika)	2 973,0	kWh
Celková spotřeba elektřiny RD za 1 rok	10 475,0	kWh
Cena elektřiny v daném kraji se sazbou D45d	2,76	Kč/kWh
Cena za elektřinu na 1 rok	28 911	Kč/rok
Paušální cena za odběr elektřiny	5 640	Kč/rok
Celkem	34 551	Kč/rok

Tabulka 10.8: Varianta 4 – provozní náklady.

10.1.5 Ekonomické porovnání jednotlivých variant

Ekonomické hodnocení jsem počítal na dobu 15 let. V případě, kdy záruka jednotlivých komponent systémů nedosahovala požadovaných 15 let, poměrově jsem tuto investici zvýšil. Na základě takto provedených výpočtů vychází finančně nejlépe varianta s tepelným čerpadlem. Ovšem rozdíly mezi jednotlivými variantami jsou velmi nízké - rozdíl mezi ekonomicky nejhorší a nejlepší variantou činí po 15 letech provozu pouze 68 550 Kč (viz tabulka 10.9).

Investiční náklady jednotlivých variant se od sebe výrazně liší, přičemž investice u plynového kotle činí 331 911 Kč, zatímco výše pořizovacích nákladů u tepelného čerpadla vychází na 586 566 Kč. To je rozdíl přes 250 tisíc Kč a takovýto rozdíl může u spousty investorů rozhodnout o volbě jejich systému.

Je však také velmi důležité brát v úvahu provozní náklady, které u této dvojice vychází zase ku prospěchu tepelného čerpadla, kdy se během jednoho roku ušetří 21 547 Kč. U ostatních variant nejsou tak markantní rozdíly u investičních a provozních nákladů.

U varianty s elektrickými topnými rohožemi je navržený hybridní solární systém, který zvyšuje investiční náklady více o dvojnásobek a ročně ušetří pouze 8 200 Kč. Po 15 letech tedy tento hybridní solární systém vychází se ztrátou přes 173 tisíc Kč. Investice do tohoto systému je tedy jednoznačně nevýhodná, ale je zároveň nutná, aby byly splněné energetické bilance tohoto rodinného domu.

Stejně jako u elektrických topných rohoží, investice do fotovoltaické elektrárny u varianty s tepelným čerpadlem vychází také ztrátová (po 15 letech je ztráta stále přes 51 tisíc Kč). V této variantě ale není rozdíl tak markantní, jelikož nebyla navržená baterie, která se sebou přináší vysoké investice.

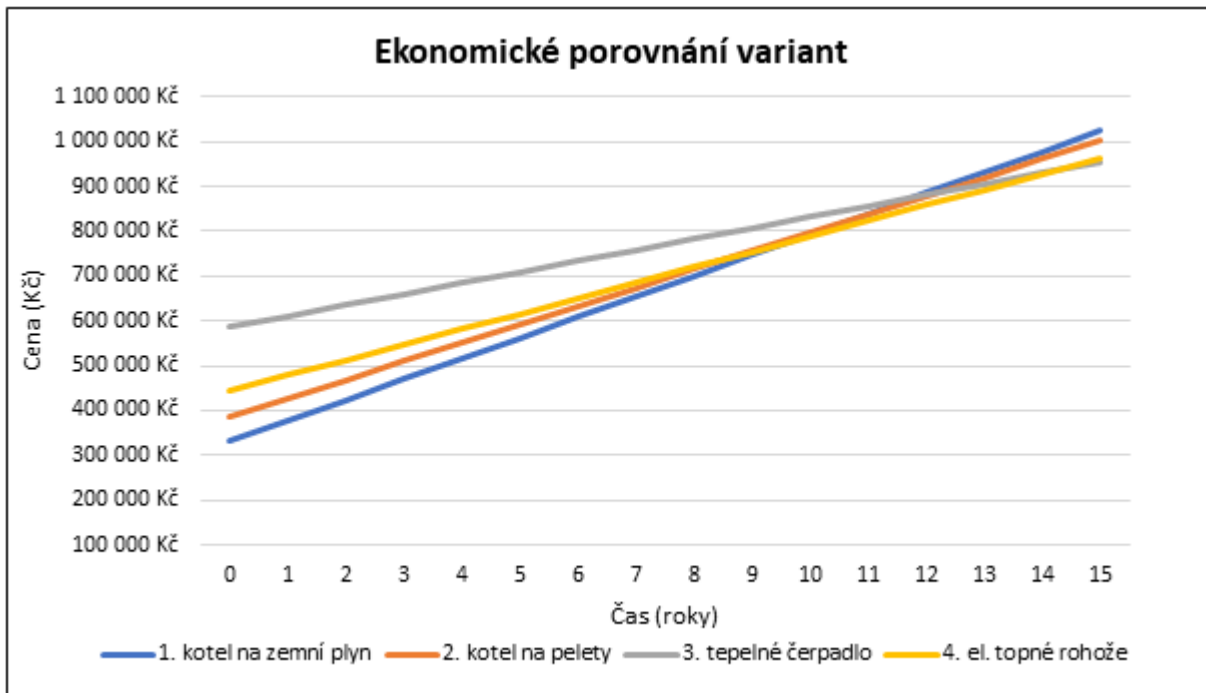
Z toho vyplývá, že u obou těchto variant by se projevila návratnost systému až po 30. roce od uvedení do provozu.

Spotřeba financí	Varianta 1 Kotel na zemní plyn	Varianta 2 Kotel na pelety	Varianta 3 Tepelné čerpadlo vzduch – voda	Varianta 4 Elektrické topné rohože
Investiční náklady	331 911 Kč	386 378 Kč	586 566 Kč	443 619 Kč
Výše provozních nákladů na 1 rok	46 153 Kč	41 065 Kč	24 606 Kč	34 551 Kč
Cena za 15 let provozu	1 024 205 Kč	1 002 359 Kč	955 655 Kč	961 884 Kč

Tabulka 10.9: Celkové ekonomické porovnání technických systémů budovy.

Navzdory rozdílným počátečním investicím je celková cena za 15 let provozu pro všechny varianty skoro srovnatelná. Tepelné čerpadlo s fotovoltaickou elektrárnou je nejlevnější variantou s cenou 955 655 Kč (za 15 let provozu) a je přibližně o 6 tisíc Kč levnější než elektrické topné rohože. Varianta s kotlem na peletky je o 40 tisíc Kč dražší než elektrické topné rohože a plynový kondenzační kotel je ještě o 20 tisíc Kč dražší než varianta s kotlem na peletky.

V grafu na obrázku 10.1 je nejlépe vidět, jak jsou rozdíly počáteční investice do jednotlivých systémů postupně vyrovnávány výší provozních nákladů.



Obrázek 10.1: Celkové ekonomické porovnání technických systémů budovy.

10.2 Hodnocení variant z hlediska energetické náročnosti budovy

Na základě tohoto hodnocení se v dnešní době dělají energetické průkazy náročnosti budov, které popisují, jak je budova šetrná k přírodním zdrojům. V kapitole 2.1.3 je uvedena tabulka s jednotlivými energonositeli a jejich faktory celkové primární energie a neobnovitelné primární energie. Tabulka 10.10 uvádí konverzní faktory k jednotlivým energonositelům, které jsou použity v této práci.

Energonositel	Faktor celkové primární energie [-]	Faktor neobnovitelné primární energie [-]
Zemní plyn	1,1	1,1
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Elektřina	3,2	3,0
Energie okolního prostředí (elektřina, teplo)	1,0	0,0

Tabulka 10.10: Konverzní faktor vybraných energonositelů.

10.2.1 Varianta 1 - varianta s nízkou počáteční investicí

Zemní plyn se řadí mezi neobnovitelné zdroje. Faktor neobnovitelné primární energie zemního plynu má hodnotu 1,1. Tato hodnota je v porovnání s hodnotou 3,0 pro elektřinu odebranou ze sítě poměrně nízká. Proto lze říci, že varianta se zemním plynem jako hlavním zdrojem pro vytápění a ohřev TV je k přírodním zdrojům ohleduplná.

Tabulka 10.11 ukazuje hodnotu celkové neobnovitelné primární energie pro tuto variantu.

Energonositel	Dílčí dodaná energie [kWh/rok]	Faktor celkové primární energie [-]	Celková primární energie [kWh/rok]	Faktor neobnovitelné primární energie [-]	Celková neobnovitelná primární energie [kWh/rok]
Zemní plyn	8 445	1,1	9 290	1,1	9 290
Elektřina	5 003	3,2	16 010	3,0	15 009
Celkem	13 448	-	25 299	-	24 299

Tabulka 10.11: Varianta 1 – celková neobnovitelná primární energie.

10.2.2 Varianta 2 - varianta s nízkou počáteční investicí a nízkou neobnovitelnou primární energií

Dřevěné peletky jsou v podstatě odpadní biomasa, což znamená, že patří do obnovitelných zdrojů energie. Také proto je jejich faktor neobnovitelné primární energie pouze 0,2. Tento faktor naznačuje, že tento způsob vytápění je velmi šetrný k přírodním zdrojům.

Tabulka 10.12 ukazuje hodnotu celkové neobnovitelné primární energie pro tuto variantu.

Energonositel	Dílčí dodaná energie [kWh/rok]	Faktor celkové primární energie [-]	Celková primární energie [kWh/rok]	Faktor neobnovitelné primární energie [-]	Celková neobnovitelná primární energie [kWh/rok]
Dřevěné peletky	8 445	1,2	10 134	0,2	1 689
Elektrína	5 003	3,2	16 010	3,0	15 009
Celkem	13 448	-	26 144	-	16 698

Tabulka 10.12: Varianta 2 – celková neobnovitelná primární energie.

10.2.3 Varianta 3 - varianta s vysokým podílem energie okolního prostředí

Tato varianta je celkovou hodnotou neobnovitelné primární energie (viz tabulka 10.13) velmi podobná jako při využití dřevěných peletek, ale v tomto případě bylo této hodnoty dosaženo především energií z okolního prostředí. Největší část je zajištěna pomocí tepelného čerpadla, které díky vysokému topnému faktoru dokáže více než ztrojnásobit energii, kterou využije pro svůj provoz. Další přísun energie z okolního prostředí zajišťuje fotovoltaika umístěná na střeše budovy.

Energonositel	Dílčí dodaná energie [kWh/rok]	Faktor celkové primární energie [-]	Celková primární energie [kWh/rok]	Faktor neobnovitelné primární energie [-]	Celková neobnovitelná primární energie [kWh/rok]
Elektřina	5 753	3,2	18 410	3,0	17 259
Energie okolního prostředí (teplo)	5 916	1,0	5 916	0,0	0
Energie okolního prostředí (elektřina)	1 779	1,0	1 779	0,0	0
Celkem	13 448	-	26 105	-	17 259

Tabulka 10.13: Varianta 3 – celková neobnovitelná primární energie.

10.2.4 Varianta 4 - varianta s přímým využitím elektřiny z distribuční sítě a výrobou elektřiny

V případě nepřipojení fotovoltaické elektrárny k této variantě, byl by zdroj energie pro celou budovu pouze odběr z veřejné elektrické sítě. To by znamenalo, že by se celková neobnovitelná energie vyšplhala přes hodnotu 40 000 kWh/rok a budova by neměla šanci být zkolaudována.

Hodnotu celkové neobnovitelné primární energie pro tuto variantu s připojením fotovoltaické elektrárny ukazuje tabulka 10.14.

Energonositel	Dílčí dodaná energie [kWh/rok]	Faktor celkové primární energie [-]	Celková primární energie [kWh/rok]	Faktor neobnovitelné primární energie [-]	Celková neobnovitelná primární energie [kWh/rok]
Elektřina	10 475	3,2	33 520	3,0	31 425
Energie okolního prostředí (elektřina)	2 973	1,0	2 973	0,0	0
Celkem	13 448	-	36 493	-	31 425

Tabulka 10.14: Varianta 4 – celková neobnovitelná primární energie.

10.2.5 Vyhodnocení variant podle energetické náročnosti budovy

Tabulka 10.15 shrnuje veškeré požadavky na budovu, které jsem si v této práci stanovil a porovnává je s hodnotami jednotlivých variant.

Varianty technického systému budovy	Celková neobnovitelná primární energie [kWh/rok]	Celková neobnovitelná primární energie [kWh/(m ² *rok)]	Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² *rok)]	Průměrný součinitel prostupu tepla [W/(m ² *K)]	Účinnost zpětného získávání tepla [%]
Požadavek	-	< 70,00	< 20,00	< 0,22	> 75
1. plynový kotel	24 299	97,82	18,21	0,20	88
2. kotel na peletky	16 698	67,22	18,21	0,20	88
3. tepelné čerpadlo	17 259	69,48	18,21	0,20	88
4. topné rohože	31 425	126,51	18,21	0,20	88

Tabulka 10.15: Celkové energetické vyhodnocení budovy.

Vzduchotechnika byla navržena pro všechny varianty shodně (s 88 % účinností zpětného získání tepla).

Jelikož jsem na konstrukčním systému budovy nic neměnil a vycházel jsem z navrženého konstrukčního systému budovy, vyšel mi průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy pro všechny varianty shodně 0,20 W/(m²*K). Pro návrh „Nulového domu“ je tato hodnota naprosto dostačující a vyhovuje podmínkám stanovené pro pasivní domy.

Měrná potřeba tepla na vytápění je rovněž pro všechny varianty shodná a rovněž dosahuje hodnot, které jsou pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

Posledním hodnoceným faktorem je celková neobnovitelná primární energie, která je

vztažená k 1 m² podlahové plochy. U tohoto kritéria se jednotlivé varianty výrazně liší. Toto kritérium je jedno z klíčových kritérií pro hodnocení budovy v mé práci.

Varianta s nejnižší hodnotou celkové neobnovitelné primární energie (pouze 67,22 kWh/(m²*rok)) je kotel na peletky. Elektrickou energii z veřejné sítě používá tato varianta pouze pro spotřebiče a osvětlení a na zbylý provoz domácnosti se využívají právě peletky, které jsou obnovitelný zdroj, a tudíž mají velmi nízký faktor neobnovitelné primární energie.

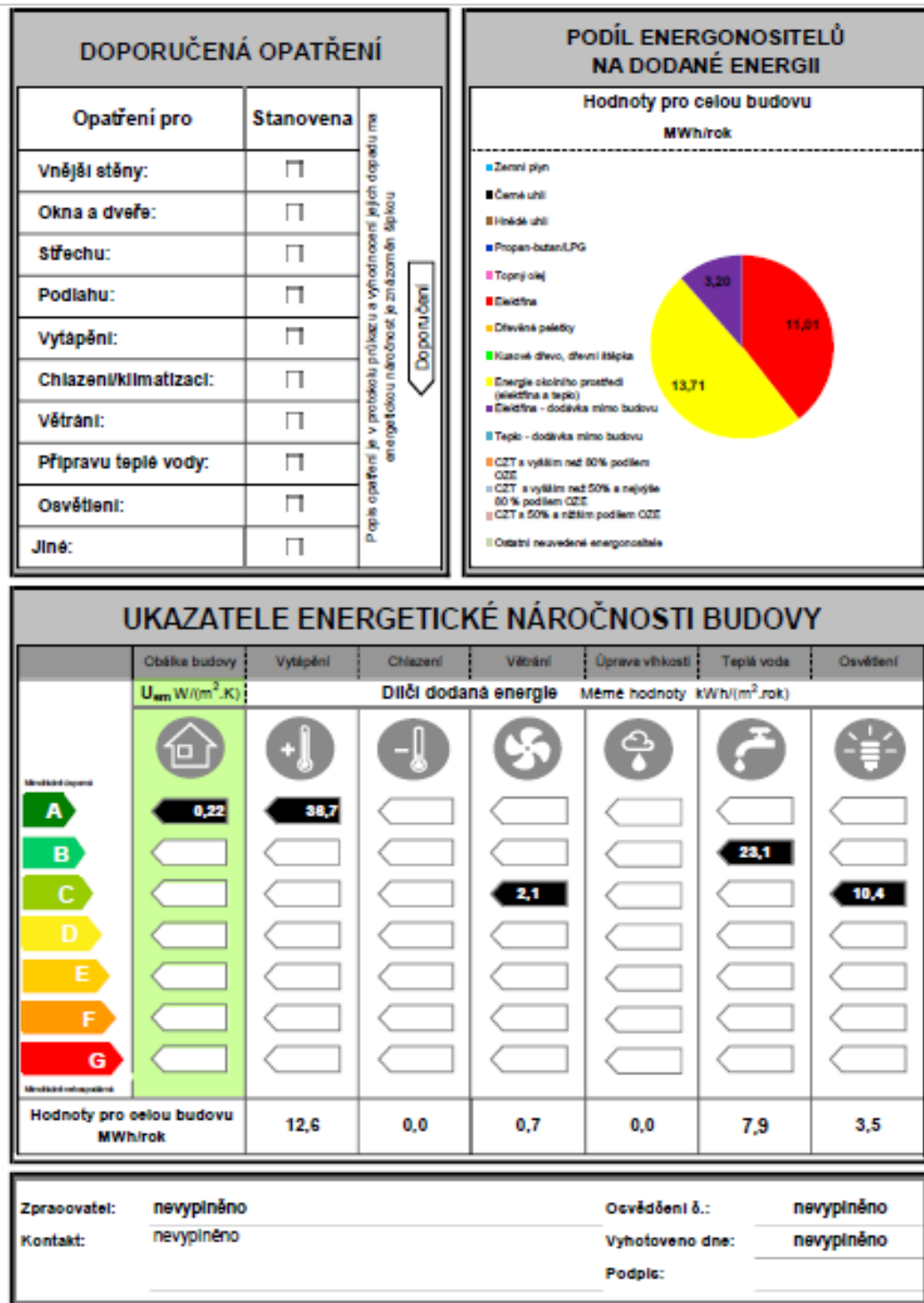
Druhý nejlepší technický systém pro tuto domácnost z hlediska neobnovitelné primární energie je tepelné čerpadlo s fotovoltaickou elektrárnou, které se s hodnotou 69,48 kWh/(m²*rok) také dostalo pod mnou stanovenou hranici pro tento rodinný dům. Při použití tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou je využívána z velké části energie prostředí.

Kondenzační plynový kotel má tyto hodnoty celkové neobnovitelné primární energie už o poznání horší (97,82 kWh/(m²*rok)). To je způsobeno především tím, že oproti kotli na peletky je zemní plyn neobnovitelný zdroj, a proto má téměř 6x vyšší faktor neobnovitelné primární energie.

Nejhorší variantou, která má téměř dvojnásobnou potřebu neobnovitelné primární energie oproti kotli na peletky a tepelnému čerpadlu, jsou elektrické topné rohože s hybridním solárním systémem. Díky tomuto solárnímu systému lze alespoň dosáhnout, aby budova byla zkolaudována, ale rozhodně dostatečně nepokrývají potřebu energie z veřejné elektrické sítě.

10.3 Průkaz energetické náročnosti budovy PENB

Pro nejvhodnější variantu pro tento dům jsem vytvořil energetický průkaz náročnosti budovy v programu NKN II. Na obrázcích [10.2](#) a [10.3](#) jsou vypočítané výsledky zvoleného rodinného domu a je zde provedeno zatřídění do jednotlivých kategorií podle kritérií české legislativy.



Obrázek 10.3: Průkaz energetické náročnosti budovy (2).

Výsledky jsou velmi podobné s výpočty provedenými v této kapitole a takto navržený dům se jako celek řadí do kategorie A.

Tento výpočet v programu NKN II jsem provedl hlavně z toho důvodu, abych získal požadované referenční hodnoty pro tento dům. Následující tabulka 10.16 ukazuje porovnání domu s navrženým tepelným čerpadlem a fotovoltaickou elektrárnou s jeho referenční budovou podle české legislativy.

Sledovaný parametr	3. varianta technického systému	Referenční budova
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy [W/(m ² *K)]	0,22	0,34
Dodaná energie [kWh/rok]	24 723	47 871
Neobnovitelná primární energie [kWh/(m ² *rok)]	68,4	138

Tabulka 10.16: Porovnání 3. varianty s referenční budovou.

Z tabulky vyplývá, že navržená budova je v každém kritériu výrazně lepší než referenční budova a proto je zařazena do kategorie A.

Kapitola 11

Závěr

Na začátku této práce jsem představil pojem „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“ a podle legislativy tento dům definoval. Dalším cílem bylo přesně popsat výchozí stav budovy a vytvořit základní energetickou bilanci tohoto rodinného domu.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout jednotlivé varianty technického systému a vytvořit jejich energeticko-ekonomické porovnání s ohledem na jejich návratnost a poté jeho následné posouzení.

Při definování pojmu „Dům s téměř nulovou spotřebou energie“ jsem zjistil, že v legislativě České republiky je tento pojem sice definován, ale požadavky na tento dům jsou minimální. Stačí, když má budova dobře zpracovanou obálku a téměř při každém technickém systému budova splní požadavky. Z tohoto důvodu jsem si pro tuto práci stanovil mé vlastní požadavky, které ve všem splňují českou legislativu, ale jsou v určitých směrech náročnější.

V další části práce jsem vypočítal tepelné ztráty objektu, abych později mohl stanovit základní energetické bilance budovy. Jelikož jsem věděl, že jedna z variant bude určitě obsahovat fotovoltaickou elektrárnu, bylo nutné vypočítané roční bilance rozdělit do menších časových období. Protože čím delší časový úsek, tím jsou u fotovoltaické elektrárny vypočítané hodnoty méně přesné. Z toho důvodu jsem zvolil hodinové intervaly pro čtyři typické dny během roku – letní pracovní den, letní víkendový den, zimní pracovní den a zimní víkendový den.

Po přípravě podkladů bylo před samotnými návrhy variant také nutné popsat systémy, které se pro všechny varianty shodují. To se týkalo především navržení vzduchotechniky

se zpětným získáním tepla, jejíž instalace je podmínka pro splnění požadavků zvoleného domu. Poté jsem vysvětlil princip fungování fotovoltaické elektrárny bez akumulátoru i s akumulátorem, jelikož obě tyto varianty jsou v mé práci použity.

Pro naplnění cíle praktické části jsem navrhl čtyři varianty technických systémů – kondenzační kotel na zemní plyn, kotel na peletky, tepelné čerpadlo vzduch-voda s fotovoltaickou elektrárnou a elektrické topné rohože s hybridním solárním systémem. Pro tyto varianty jsem provedl nejprve ekonomické hodnocení, přičemž jsem vždy spočítal investiční a provozní náklady a porovnával jsem jednotlivé varianty mezi sebou. Následně jsem tyto varianty posuzoval z energetického pohledu, kde jsem se zaměřil především na celkovou neobnovitelnou primární energii a porovnával ji s podmínkami, které jsem si v úvodní kapitole stanovil.

Ekonomické výsledky byly překvapivé, jelikož všechny čtyři varianty vycházely po 15 letech v provozu velice podobně. Varianta s tepelným čerpadlem a s fotovoltaickou elektrárnou se o pár tisíc Kč dostalo na první místo před tepelné rohože s hybridním solárním systémem. Následovala varianta s kotlem na peletky a nejhůře se po finanční stránce umístil kondenzační kotel na zemní plyn.

Také jsem zjistil, že investice do fotovoltaických panelů je i po 15 letech provozu stále nevýhodná, a v případě přidání baterie pro ukládání energie se celý systém stává ještě méně výhodným. Hlavní důvod, proč jsou obě tyto varianty nevýhodné, je pravděpodobně ten, že jsem v této práci nepočítal se žádnými dotacemi. Dotace jsou v případě pořízení fotovoltaického systému tak vysoké, že by daný rozdíl s velkou pravděpodobností nahradily. Může to být také způsobeno tím, že v dnešní době není fotovoltaický systém s akumulátorem tak rozšířený, a proto je počáteční investice tak vysoká.

Energetické hodnocení variant dopadlo nejlépe pro varianty s kotlem na peletky a s tepelným čerpadlem, které se obě dostaly pod stanovenou hranici celkové neobnovitelné primární energie.

Ačkoliv se návrh varianty s elektrickými topnými rohožemi a hybridním solárním systémem na začátku zdál jako vhodná varianta, při navrhování fotovoltaického systému jsem zjistil, že výroba elektřiny z energie okolního prostředí není zdaleka tak vysoká, aby pokryla potřebu domácnosti. A při pokusu o zvýšení výkonu solárního systému se ukázalo, že poměr zvyšování počtu fotovoltaických panelů není vůbec v poměru s výkonem soustavy.

To je způsobeno hlavně tím, že v zimě, kdy dochází k největšímu odběru energie, je i přes den velmi malá intenzita slunečního záření.

U fotovoltaického systému je velmi důležité, v jakém intervalu je výpočet proveden. Výsledná hodnota se výrazně změní podle toho, jestli je interval 1 sekunda nebo 1 rok. V této práci jsem počítal s intervalem 1 hodina, ale jen pro čtyři typické dny v roce. Kdybych v práci počítal ještě s menším intervalem a k tomu pro každý den v roce, výsledky by se mohly výrazně lišit a byly by určitě přesnější.

Požadavky, které jsem si na rodinný dům stanovil, splnily pouze dvě varianty – kotel na peletky a tepelné čerpadlo vzduch – voda s fotovoltaickým systémem. Kdybych měl stanovit nejlepší variantu, rozhodl bych se pro tepelné čerpadlo, jelikož provozní náklady tohoto systému jsou nižší a při hodnocení v delším časovém intervalu by tato varianta byla určitě ekonomicky výhodnější. Na tepelné čerpadlo i na fotovoltaický systém je také možné získat již zmíněné dotace, které by náklady na tento systém také podstatně snížily. Navíc je tento systém úplně bezobslužný, což také hraje významnou roli při rozhodování.

Toto téma se neustále vyvíjí a objevují se další metody, jak zlevnit chod domácnosti a používat při tom obnovitelnou energii. Tato budova s navrženým tepelným čerpadlem lze vylepšit například tím, že přebytky energie z fotovoltaického systému by se využily pro větší komfort domácnosti tím, že by se do obytných místností nainstalovaly multisplitové jednotky, které by místnosti během horkých dní chladily.

Jelikož technologie jdou vpřed čím dál tím rychleji, bude snaha o vytvoření reálné nulové budovy aktuálním tématem i v průběhu dalších let. To, co se zdá v dnešní době jako úsměvné až nerealizovatelné, může být v horizontu desítek let běžnou součástí našich životů. Dá se předpokládat, že v budoucnu se budeme s nulovými, možná dokonce i plusovými budovami setkávat čím dál častěji. Už to totiž není jen vize budoucnosti, ale realita, která ovlivní naše životy.

Seznam zkratek

nPE	Neobnovitelná primární energie
OZE	Obnovitelný zdroj energie
nOZE	Neobnovitelný zdroj energie
PHI	Passivhaus Institut
iPHA	Mezinárodní asociace rodinných domů
PHPP	Návrhový nástroj pro pasivní domy
EEH+	Německé spolkové ministerstvo životního prostředí a stavebnictví Effizienzhaus Plus
EPS	Pěnový expandovaný polystyren
RD	Rodinný dům
TV	Teplá voda
PWM	Pulse width modulation, pulsně-šířková modulace
MPPT	Maximum power point tracking, maximální výkonový bod panelů
COP	Coefficient of performance, účinnost jednotky tepelného čerpadla
FTV	Fotovoltaika
U	Součinitel prostupu tepla
Q	Množství elektrické energie
PENB	Průkaz energetické náročnosti budov

Literatura

- [1] Směrnice 2010/31/ES o energetické náročnosti budov. Brusel, 2010.
- [2] Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. MPO, 2013.
- [3] ČSN 73 0331-1. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data* Praha: ÚNMZ, 2018.
- [4] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. MPO, 2000.
- [5] NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA. Neobnovitelná primární energie. In: *TZB-info* [online]. 2017. [cit. 08. 04. 2019]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [6] *Uživatelská příručka GEMIS 4.6* [online]. AF-CITYPLAN s.r.o. 2011. [cit. 25. 04. 2019]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/manual-gemis-2011.pdf>
- [7] *Passive House certification criteria* [online]. International Passive House Association. [cit. 25. 04. 2019]. Dostupné z: <https://www.passivehouse-international.org>
- [8] PHPP2007. Passivhausprojektierungspaket. Passivhaus Institut Darmstadt, 2007.
- [9] TNI 73 0329. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [10] TNI 73 0330. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [11] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2011.

- [12] GROEZINGER, Jan a kol. Overview of Member States information on NZEBs. In: *Ecofys* [online]. 2014. [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Updated%20progress%20report%20NZEB.pdf>
- [13] D'AGOSTINO, Delia a kol. Synthesis Report on the National Plans for Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) – Progress of Member States towards NZEBs. [online]. European Union, 2016. [cit. 02. 05. 2019]. ISBN 978-92-79-57343-9. Dostupné z: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC97408/reqno_jrc_new-line_97408_online%20nzeb%20report%281%29.pdf
- [14] Zákon 318/2012 Sb., o hospodaření energií. MPO, 2012.
- [15] Doporučení Komise (EU) 2016/1318 ze dne 29. července 2016 o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie a osvědčených postupů k zajištění, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie. Brusel, 2016.
- [16] NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA. Problematika energeticky nulových budov – 1. část: Hodnocení a výpočet. In: *TZB-info* [online]. 2018. [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/18169-problematika-energeticky-nulovych-budov-1-cast-hodnoceni-a-vypocet>
- [17] Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. MPO, 2013.
- [18] *Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit* [online]. TZB-info. 2019. [cit. 18. 05. 2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [19] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [20] ČSN EN 15665. *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [21] ČSN EN ISO 52016-1. *Energetická náročnost budov - Energie potřebná pro vytápění a*

- chlazení vnitřních prostor a citelné a latentní tepelné zatížení - Část 1: Postupy výpočtu.*
Praha: ÚNMZ, 2018.
- [22] ČSN EN 15316-3. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy, Část 3-2: Soustavy teplé vody, rozvody a Část 3-3: Soustavy teplé vody, příprava.* Praha: ÚNMZ, 2018.
- [23] ČSN EN 15193-1. *Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení - Část 1: Specifikace, modul M9.* Praha: ÚNMZ, 2017.
- [24] ČSN EN 16798-7. *Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 7: Výpočtové metody pro stanovení průtoků vzduchu v budovách, včetně infiltrace (Moduly M5-5).* Praha: ÚNMZ, 2017.
- [25] PEACOCK, Finn. Kdy se vyplatí pořídit si hybridní fotovoltaický systém? In: *TZB-info* [online]. 2017. [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/15618-kdy-se-vyplati-poridit-si-hybridni-fotovoltaicky-system>
- [26] *Jak funguje střešní fotovoltaická elektrárna?* [online]. Solární experti. 2018. [cit. 18. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>
- [27] URBAN, Miroslav a Karel KABELE. Vliv legislativních požadavků kladených na energetickou náročnost budov vzhledem k využití alternativních zdrojů energie. In: Sborník konference Alternativní zdroje energie 2014. str. 213-219,2014.
- [28] *Hybridní solární elektrárna 3,58 kWp s baterií* [online]. Solární experti. 2018. [cit. 18. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/solarni-systemy/fotovoltaika/hybridni-solarni-elektrarna-s-bateriemi-li-ion-354-kwp-na-klic/>
- [29] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. In: *OENERGETICE.cz* [online]. 2016. [cit. 15. 04. 2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [30] GOTREK, S. D. Solární panely, regulátory a baterie – jak se v tom vyznat? In: *Nomadem.cz* [online]. 2018. [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://nomadem.cz/solarni-panely-a-regulatory>

- [31] FUCÍK, Zdeněk. Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů. In: *TZB-info* [online]. 2004. [cit. 02. 05. 2019]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [32] OPOP, spol.s.r.o. Automatické kotle na pelety. In: *TZB-info* [online]. 2011. [cit. 05. 04. 2019]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/7490-automaticke-kotle-na-pelety>
- [33] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (I). In: *TZB-info* [online]. 2002. [cit. 05. 04. 2019]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/953-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-i>
- [34] *Tepelná čerpadla vzduch-voda* [online]. Klima Rapid. 2019. [cit. 18. 05. 2019]. Dostupné z: <http://www.klimarapid.cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [35] *Jak na topné rohože* [online]. ELEKTRICKÉ PODLAHOVÉ TOPENÍ. 2019. [cit. 01. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.podlahove-topeni.eu/jak-na-to-a1/jak-na-topne-rohoze-a17/>
- [36] ČSN EN 15316-4. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy - Část 4-1: Zdroje tepla pro vytápění, kotle, Část 4-2: Výroba tepla na vytápění, tepelná čerpadla, Část 4-4: Výroba tepla na vytápění, kombinovaná výroba elektřiny a tepla integrovaná do budovy, Část 4-5: Výroba tepla na vytápění, účinnosti a vlastnosti dálkového vytápění a soustav o velkém objemu, Část 4-6: Výroba tepla na vytápění, fotovoltaické systémy, Část 4-7: Zdroj tepla na spalování biomasy, Část 4-8: Otopné soustavy, teplotovzdušné vytápění a stropní sálavé vytápění.* Praha: ÚNMZ.
- [37] Návrh a instalace regulačních systémů RT64 pro vytápění (IRC). BMR s.r.o, 2018.
- [38] ČSN EN 15459-1. *Energetická náročnost budov - Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách - Část 1: Výpočtové postupy, Modul M1-14.* Praha: ÚNMZ, 2018.

Příloha A

Seznam použitých software programů

Software programy použité v této diplomové práci:

- Protech – Tepelné ztráty
- Protech – Podlahy
- Protech – DIMOS, GDS a GDSP
- Design Builder
- Atrea Duples 8.90
- AutoCad 2018
- Microsoft Office
- NKN II

Příloha B

Seznam příloh

Seznam příloh k této diplomové práci:

- Příloha č. 1 – bilance výkonu vytápění
- Příloha č. 2 – bilance výkonu na přípravu TV
- Příloha č. 3 – bilance výkonu osvětlení
- Příloha č. 4 – bilance zásuvkové spotřeby energie
- Příloha č. 5 – hodinová bilance v jednotlivých obdobích roku
- Příloha č. 6 – provětrání místnosti – ložnice 1
- Příloha č. 7 – schéma technické místnosti
- Příloha č. 8 – varianta 4 – otopné plochy
- Příloha č. 9 – bilance + tepelné čerpadlo + fotovoltaický systém