

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh energeticky soběstačného pasivního rodinného domu z hlediska
zdroje tepla, elektrické energie a větrání**

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh pasivního rodinného domu odpovídajícího standardům pro navrhování staveb v ČR, na zvolení vhodného zdroje tepla a zdroje elektrické energie a porovnání s ostatními dostupnými zdroji, zhodnocení ekonomiky rodinného domu z pohledu investice a provozu.

Klíčová slova

Pasivní rodinný dům, fotovoltaický článek, kogenerační jednotka, tepelné čerpadlo, rekuperace, tepelná energie, elektrická energie.

Abstract

The master thesis is focused on the design of a passive family house corresponding to the standards for the design of buildings in the Czech Republic, the design of the selected heat source and the source of electrical energy and the comparison with other available resources, the evaluation of the economy of the house from the perspective of investment and operation.

Keywords

Passive family house, photovoltaic cell, cogeneration unit, heat pump, recuperation, heat energy, electrical energy.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, které je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 15.6.2020

Bc. Martin Eisenhammer

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu prof. ing. Janu Škorpilovi CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce a panu Ing. Josefu Ledvinovi za poskytnutí informačních materiálů.

Obsah

OBSAH.....	7
SEZNAM ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	10
1 VÝBĚR NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU.....	11
1.1 NULOVÝ DŮM.....	11
1.2 PLUSOVÝ DŮM.....	12
1.3 PASIVNÍ DŮM.....	12
1.3.1 <i>Kritéria pasivního domu.....</i>	<i>13</i>
1.4 PASIVNÍ RD SIESTA PLUS.....	13
1.4.1 <i>Parametry domu.....</i>	<i>16</i>
2 NÁVRH ZDROJE TEPLA.....	17
2.1 ZDROJE TEPELNÉ ENERGIE	17
2.1.1 <i>Tepelné čerpadlo.....</i>	<i>17</i>
2.1.2 <i>Elektrokotel.....</i>	<i>18</i>
2.1.3 <i>Rekuperace</i>	<i>18</i>
2.1.4 <i>Přímotopy.....</i>	<i>19</i>
2.2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT RD	20
2.3 VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ POTŘEBY ENERGIE NA VYTÁPENÍ A OHŘEV TUV	20
2.3.1 <i>Výpočet roční energie pro vytápění.....</i>	<i>21</i>
2.3.2 <i>Výpočet roční energie pro ohřev TUV.....</i>	<i>22</i>
2.3.2 <i>Celková roční spotřeba tepelné energie</i>	<i>24</i>
2.4 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA	24
2.4.1 <i>Tepelné čerpadlo Silent S120 - DC.....</i>	<i>24</i>
2.4.1.1 <i>Požadavky před instalací.....</i>	<i>25</i>
2.4.1.2 <i>Možnosti zapojení.....</i>	<i>27</i>
2.4.1.3 <i>Zásobník TUV.....</i>	<i>28</i>
2.4.1.4 <i>Výpočet roční doby provozu.....</i>	<i>29</i>
2.4.1.5 <i>Roční spotřeba elektrické energie</i>	<i>29</i>
2.5 NÁVRH VĚTRÁNÍ POMOCÍ REKUPERAČNÍ JEDNOTKY	30
2.5.1 <i>Vlastnosti rekuperační jednotky.....</i>	<i>31</i>
3 NÁVRH ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE	32
3.1 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	32
3.1.1 <i>Fotovoltaické panely</i>	<i>32</i>
3.1.2 <i>Kogenerační jednotka.....</i>	<i>33</i>
3.1.3 <i>Větrná turbína Off-grid</i>	<i>33</i>
3.2 AKUMULACE ENERGIE	34
3.3 INSTALOVANÝ VÝKON	35
3.3.1 <i>Soudobý příkon</i>	<i>35</i>
3.3.2 <i>Průměrná roční spotřeba elektrické energie.....</i>	<i>36</i>
3.4 NÁVRH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	37
3.4.1 <i>Složení fotovoltaického systému</i>	<i>37</i>
3.4.2 <i>Možnosti připojení k síti</i>	<i>38</i>
3.4.3 <i>Stanovení globálního ozáření ideálně orientované plochy</i>	<i>39</i>
3.4.4 <i>Návrh fotovoltaického systému</i>	<i>41</i>
3.4.4.1 <i>Roční energetický zisk z FVE</i>	<i>42</i>

3.4.5	Návrh akumulace elektrické energie	43
3.5	NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	44
3.5.1	Kogenerační jednotka Dachs 5,5	44
3.5.2	Zásobník TUV	45
3.5.3	Výpočet roční doby provozu.....	46
3.5.4	Roční vyrobená elektrická energie	46
3.5.5	Roční spotřeba energie	46
3.5.6	Roční spotřeba paliva.....	47
4	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	47
4.1	DOTACE	47
4.1.1	Nová zelená úsporám	47
4.1.2	Zelený bonus	49
4.2	REKUPERAČNÍ JEDNOTKA	50
4.3	DOMÁCÍ BATERIE	50
4.4	KOGENERAČNÍ JEDNOTKA.....	51
4.4.1	Investice.....	51
4.4.2	Provoz	52
4.4.3	Návratnost	52
4.5	FVE A TEPelnÉ ČERPADO	53
4.5.1	Investice.....	53
4.5.2	Provoz	54
4.5.3	Návratnost	55
4.6	ODBĚR EL. ENERGIE Z DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	56
	ZÁVĚR.....	57
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	60
	PŘÍLOHA	61

Seznam zkratk

KGJ – kogenerační jednotka
FVE – fotovoltaická elektrárna
TČ – tepelné čerpadlo
KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla
VtE – větrná elektrárna
NZEB – nízkoenergetická budova
RD – rodinný dům
AC – střídavý proud
DC – stejnosměrný proud
HDO – hromadné dálkové ovládání
EU – evropská unie
ČSN – česká technická norma
TUV – teplá užitková voda

MPa – megapascall
W – watt
Wh – watthodina
kW – kilowatt
kWh – kilowatthodina
MW – megawatt
MWh – megawatthodina
Wp – wattpeak
K – stupně Kelvin

Úvod

V současné době jsou hlavním tématem v energetice a ekologii obnovitelné zdroje energie. Jelikož na Zemi stále ubývá více zásob neobnovitelných zdrojů energie, jako je uhlí, ropa a zemní plyn. Zatím je většina stávajících budov připojena k městským rozvodným sítím elektrické energie, jsou vytápěny pomocí ústředního topení a TUV je přiváděna kanalizačním vedením.

V posledních pár letech se přistupuje ke stavění nízkoenergetických rodinných domů, které využívají obnovitelné zdroje energie. Elektrická energie se získává převážně pomocí solárních panelů. Je možné ji získat i pomocí kogenerační jednotky nebo větrné turbíny, ale tato možnost se zatím využívá velmi zřídka. Pro vytápění objektu se využívá nejčastěji tepelné čerpadlo, které získává potřebnou energii z půdy, vody nebo ze vzduchu. Jako další alternativy jsou kogenerační jednotka, elektrokotel nebo přímotop. Záleží na kombinaci zdrojů, potřebném množství celkové energie a poloze domu. Jako možný další zdroj lze využít vodu, ale ta je těžce dostupná, pokud dům nestojí poblíž potoka či řeky. U nízkoenergetických domů se využívá nucené větrání, nejčastěji rekuperační jednotka. Celá budova se navrhuje tak, aby byla dokonale utěsněna a měla co nejmenší energetické ztráty. Umístění budovy a sklon a natočení střechy je také velmi důležité.

V diplomové práci se zaměřím na návrh zdroje elektrické energie, tepelné energie a větrání pro pasivní dům. Zhodnotím provoz a náklady domu a porovnam s ostatními zdroji energie.

1 Výběr nízkoenergetického rodinného domu

Nízkoenergetické domy jsou charakterizovány nízkou potřebou tepla na vytápění. Té je dosahováno optimalizací stavby obálky budovy. Za nízkoenergetické domy se považují ty, které spotřebují výrazně nižší teplo na vytápění, než je aktuální požadavek národních předpisů. Tímto způsobem „volné definice“ se ustálila obvyklá hodnota měrné potřeby tepla na vytápění do $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. V devadesátých letech dvacátého století se udávalo kritérium $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. [1]

1.1 Nulový dům

Téměř nulová budova NZEB je budova, která má kvalitativně přísnější požadavky na obálku budovy, dobře regulovatelné vytápění, větrání i osvětlení, technické systémy pokrývající potřebu energie s vysokou účinností a budova bude zásobována částečně z obnovitelných zdrojů energie, případně energii produkuje (elektrina, teplo). [2]

Požadavek na výstavbu NZEB vychází ze směrnice Evropského parlamentu. Ta vyžaduje, aby projekty novostaveb od 1. ledna 2020 byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie. [2]

Základním dokumentem pro budovy s téměř nulovou spotřebou je směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. Na národní úrovni České republiky byla transpozice některých požadavků evropské směrnice, týkajících se kontroly a hodnocení energetické náročnosti budov, provedena prostřednictvím novely zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, a technicky tyto požadavky upřesňuje prováděcí vyhláška č. 78/2013 Sb., ve znění vyhlášky č. 230/2015 Sb. V roce 2018 byla směrnice 2010/31/EU novelizována směrnicí 2018/844/EU. [2]

1.2 Plusový dům

Energeticky plusový dům má velmi nízkou energetickou náročnost. Podobně jako u pasivních domů je důležité jeho vhodné umístění na pozemku, správná orientace ke světovým stranám, kompaktní tvar, dostatečná vrstva tepelné izolace, těsnost obvodového pláště, důkladné řešení konstrukčních detailů, okna a dveře s vynikajícími tepelně izolačními vlastnostmi nebo řízené větrání se zpětným získáváním tepla takzvanou rekuperací. Oproti pasivnímu domu je energeticky plusový dům navíc vybaven vlastními energetickými zdroji, které vyrábějí víc energie, než dům na svůj provoz potřebuje. Energie v tomto typu domu vyrábějí obnovitelné zdroje. Maximálně je využívána sluneční energie. Na střeše proto bývají umístěny fotovoltaické panely na výrobu elektřiny. [3]

1.3 Pasivní dům

Pasivní dům se vyznačuje velmi nízkou energetickou náročností a kvalitním vnitřním prostředím. Nízké energetické náročnosti se dosahuje dobře izolovanou obálkou budovy. Je tedy velice dobře zateplen a má kvalitní okna, obvykle zasklená trojskly. Součinitel prostupu tepla konstrukcí by měl odpovídat hodnotám doporučeným pro pasivní domy dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. V obálce budovy jsou minimalizovány tzv. tepelné mosty, a i ty jsou vyřešeny tak, aby jimi nedocházelo k větším tepelným ztrátám. Také optimalizací budovy z hlediska umístění na pozemku, orientace prosklených ploch na jih a tvaru budovy tak, aby ochlazovaná obálka byla vůči vytápěnému objemu co nejmenší. [4]

Pasivní dům má nízké nároky na výkon otopné soustavy. Díky dobré izolaci obálky a orientaci vůči světovým stranám v zimě využívá pasivních solárních zisků, které ještě nároky na otopnou soustavu snižují. Pro pasivní domy se využívají zdroje tepla s nízkým výkonem, obvykle tepelná čerpadla v kombinaci se solárními systémy a fotovoltaikou, ale také elektrické vytápění. Tyto zdroje se mohou doplnit např. krbem. Pasivní domy se vyznačují kvalitním vnitřním prostředím zajištěným zejména nuceným větráním, které zajišťuje trvalý přísun čerstvého vzduchu. Pro minimalizaci tepelných ztrát se větrací systém opatřuje rekuperační jednotkou pro zpětné získávání tepla. Odváděný vzduchu předává ve výměníku jednotky teplo vzduchu přiváděnému. [4]

1.3.1 Kritéria pasivního domu

Kritéria daná pro klimatické podmínky v České republice jsou v normě ČSN 730540-2:

- měrná spotřeba tepla na vytápění $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
- maximální topný výkon $10 \text{ W}/\text{m}^2$
- celková roční spotřeba primární energie (na topení, ohřev TUV, větrání a elektrické spotřebiče) nesmí přesáhnout $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$;
- součinitel prostupu tepla u všech plných obvodových konstrukcí s $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- okna s hodnotou $U \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a se sklem o součiniteli propustnosti celkové energie slunečního záření $g \geq 50 \%$;
- celková neprůvzdušnost nesmí přesáhnout 0,6 násobek výměny vzduchu za hodinu;
- se součinitelem vzduchové neprůvzdušnosti $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$;
- vzduchotechnická jednotka s rekuperací s účinností vyšší než 75 %

1.4 Pasivní RD Siesta plus

Pro svoji diplomovou práci jsem si vybral dům z G SERVIS CZ, s.r.o. Jedná se pouze o projekt domu. Jednopatrový dům GS SIESTA je navržen v pasivním Multi-Komfortním standardu a splňuje požadavky pro pasivní dům s měrnou spotřebou tepla do $15 \text{ kWh}/\text{m}^2$ za rok. Je určen pro tří až pěti člennou rodinu. Dům disponuje v přízemí předsíní, chodbou, kuchyní spojenou s obývacím pokojem, koupelnou s WC, pokojem a garáží. V horním patře je koupelna s WC, dva dětské pokoje a ložnice.



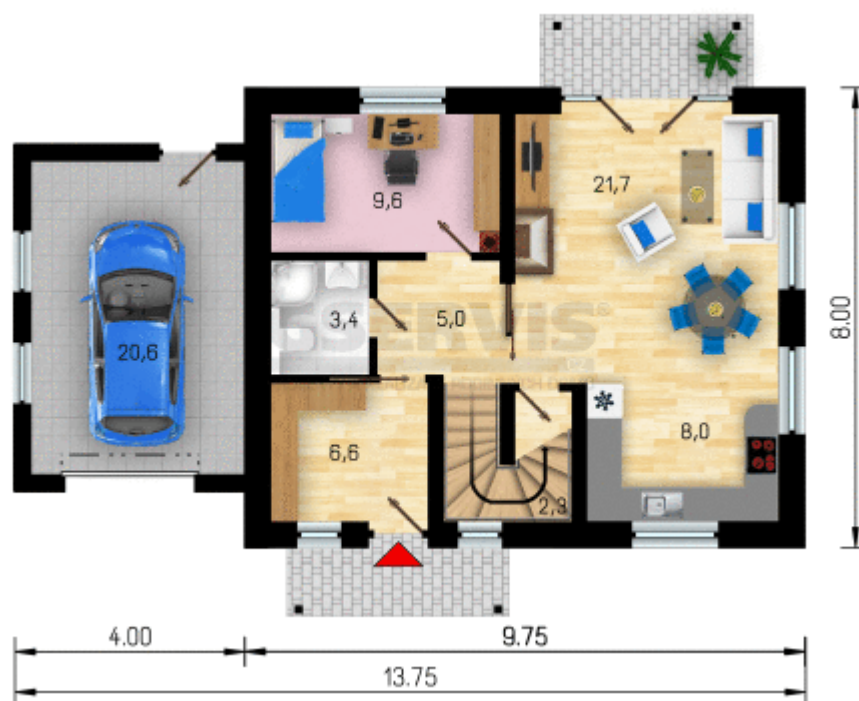
Obrázek č.1: Rodinný dům Siesta plus – vchod (zdroj - [5])



Obrázek č.2: Rodinný dům Siesta plus – terasa (zdroj - [5])



Obrázek č.3: Rodinný dům GS SIESTA – ptačí pohled (zdroj - [5])



Obrázek č.4: Rodinný dům Siesta plus – půdorys přízemí (zdroj - [5])



Obrázek č.5: Rodinný dům Siesta plus – půdorys 1. patra (zdroj - [5])

1.4.1 Parametry domu

Dispozice: jednopatrový 5+1,

užitná plocha: 147,9 m²,

plocha přízemí: 86,1 m²,

plocha patra: 61,8 m²,

zastavěná plocha: 111,3 m²,

obestavěný prostor: 630 m²,

výška hřebene střechy: 7,18 m,

sklon střechy: 38 °,

orientace hlavního vstupu: sever,

cena stavby na klíč: 3 431 215,20 Kč,

cena stavby svépomocí: 1 909 692,29 Kč. [5]

2 Návrh zdroje tepla

2.1 Zdroje tepelné energie

Mezi zdroje tepelné energie využívané v nízkoenergetických rodinných domech patří tepelné čerpadlo, elektrokotel, rekuperace a přímotopy. Dále se také využívá kombinovaná výroba tepla a elektrické energie KVET.

2.1.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je založeno na principu chladicího okruhu. Jeho základními částmi jsou expanzní ventil, výparník, kompresor a kondenzátor. V kompresoru stlačená a v kondenzátoru ochlazená pracovní látka (chladiivo) v kapalném stavu se po průchodu expanzním ventilem do prostředí s nižším tlakem ve výparníku odpařuje při relativně nízké teplotě. Přitom přes stěnu výparníku odebírá tepelnou energii okolnímu prostředí, například cirkulující vodě ze studny nebo přes vrt v zemi, proudícímu venkovnímu vzduchu aj. Odpařením vzniklé páry chladiva s nízkým tlakem jsou nasávány do kompresoru, ve kterém jsou stlačeny na vysoký tlak a při tom stoupne jejich teplota. V tomto stavu je chladivo přiváděno do kondenzátoru, kde je mu tepelná energie přes stěnu kondenzátoru odnímána například proudící otopnou vodou nebo vzduchem, které potřebujeme ohřát. Tím klesá teplota chladiva, to kondenzuje, mění se z páry na kapalinu. Zkapalněné chladivo stále pod vysokým tlakem pak putuje do expanzního ventilu a celý popsany děj se opakuje.

Výhody tepelného čerpadla jsou levný provoz, snadná instalace, obsluha a údržba zařízení a dotace. Nevýhody jsou vysoká vstupní investice, cena za údržbu a cena za výkopové práce pro tepelné čerpadlo typu země – voda. [6]

2.1.2 Elektrokotel

Elektrokotel je vhodným primárním zdrojem tepla pro domy a byty s nízkou tepelnou ztrátou. Při vytápění elektřinou lze využít sníženou tarifní sazbu nejen na provoz elektrokotle, ale i na všechny spotřebiče v domácnosti, a tím ještě více ušetřit. V případě nízkoenergetických a pasivních domů je také nespornou výhodou elektrokotle možnost plynulé regulace v celém rozsahu výkonu kotle, který tak lze nadimenzovat přesně podle potřeb objektu. [7]

Elektrokotel je elektrický spotřebič. Proud přímo neohřívá vytápěné prostory jako normální elektrické topení. V systému teplovodního vytápění s trubkami, radiátory a čerpadlem je místo kotle s hořákem zařízení s elektrickými topnými patronami. Kolem nich proudí voda, teplotnosné médium, a ohřívá se. Čerpadlo následně rozhání trubkami horkou vodu do radiátorů v jednotlivých místnostech nebo do topení v podlaze. [7]

Výhody jsou plynulá regulace výkonu, nízké investiční náklady, vysoká účinnost a žádné zplodiny. Nevýhoda je vysoká cena za vytápění u špatně zateplených domů. [7]

2.1.3 Rekuperace

Rekuperace je zpětné získávání tepla. Přiváděný venkovní čerstvý vzduch prochází přes rekuperační výměník uvnitř vzduchotechnické jednotky, do kterého z druhé strany vstupuje teplý odpadní vzduch z objektu. Obě vzduchové kapsy jsou od sebe dokonale odděleny soustavou kanálků, aby nedocházelo ke zpětnému průniku pachů z odváděného do přírodního vzduchu. Přes stěny kanálů teplo z odpadního vzduchu přechází do přírodního, který je tak predehříván. Rekuperační výměníky dosahují vysokých účinností předání tepla, běžně kolem 90 %. Reálná účinnost rekuperace se pohybuje u běžně dostupných vzduchotechnických zařízení od 30 do 90 %, přičemž účinnost nad 60 % se považuje za dobrou, nad 80 % za špičkovou. [8]

System větrání s rekuperací tepla slouží k zajištění optimální výměny vzduchu v objektu a zároveň minimalizaci tepelných ztrát při větrání. Tepelné ztráty větráním u běžných rodinných domů, kde je větrání zajištěno systémem mikroventilace nebo okenních šterbin, tvoří až 40 % celkové ztráty objektu. [8]

Moderní nízkoenergetické a pasivní rodinné domy s kvalitním zatěsněním se proto již prakticky bez systému nuceného větrání s rekuperací tepla neobejdou. Stále větší nároky na těsnost obvodového pláště budovy i ostatních konstrukčních prvků vedou k faktu, že v objektu není zajištěna dostatečná výměna vzduchu a hrozí problémy s vlhkostí, s koncentrací CO₂, se vznikem plísní a s množением mikroorganismů jako jsou např. roztoči, což mnohdy může vést i ke zdravotním problémům. Tyto problémy po instalaci ventilačního systému odpadají. Objekt je větrán automaticky, i v době, kdy není obýván, avšak s nižší intenzitou výměny vzduchu. [8]

Je třeba si však uvědomit, že se nejedná o vytápění, ale pouze o zajištění nutné výměny vzduchu s minimální ztrátou tepla. Je tedy třeba v objektu uvažovat s nezávislou otopnou soustavou i zdrojem tepla. [8]

Výhody jsou vysoká kvalita vzduchu bez zápachu a nečistot, snížení tepelné ztráty, redukce vlhkosti vzduchu. Nevýhody jsou vysoké investiční náklady a pravidelná údržba. [8]

2.1.4 Přímotopy

Přímotopné zdroje jsou založeny na principu současné výroby tepla a jeho předávání teplotnosné látky, reagují tak bezprostředně na potřebu dodávky energie k zajištění teploty vnitřního vzduchu. Tyto zdroje mohou být umístěny přímo ve vytápěné místnosti (sálavé panely, infrazářiče, přímotopné konvektory a radiátory a topné podlahové folie), nebo v rámci rozvodu otopné soustavy (elektrokotel s ohřevem topné vody, nebo přímotopný ohříváč vzduchu). Pro přímotopy existují speciální dvoutarifové sazby cen elektřiny D35d a D45d. [9]

Elektrické podlahové vytápění je ideálním řešením vytápění pro nízkoenergetické domy, kdy využíváme možnost navrhnout řešení přesně odpovídající nízké tepelné ztrátě a využíváme efektu kvalitní regulace. Výhodou je dlouhá životnost, kdy se u kabelů počítá s životností ekvivalentní elektroinstalaci v objektu. Elektrické podlahové vytápění může být využíváno i jako doplňková otopná plocha pro zvýšení komfortu. [9]

Infrazářiče využívají vlastností infračerveného záření, kdy sálavé teplo směřující na přítomné osoby zajišťuje dostatečný teplotní komfort i při nižší teplotě okolního vzduchu. Infrazářiče se v nízkoenergetických domech nevyužívají. [9]

Nástěnné přímotopné sálavé panely plní nejen funkci topného tělesa, ale s ohledem na své materiálové řešení (tvrzené sklo nebo ušlechtilá kamenná deska) přispívají i k estetické kvalitě interiéru. Lze zvolit i velkoplošné stropní (stěnové) vytápění interiéru ve formě topné folie v kombinaci např. se sádkartonem. [9]

2.2 Výpočet tepelných ztrát RD

Pro výpočet tepelných ztrát rodinného domu Siesta Plus jsem použil on-line kalkulačku Zelená úsporám. [10] Tepelné ztráty budovy jsem počítal obálkovou metodou pro lokalitu město Plzeň.

U projektu rodinného domu Siesta Plus jsou uvedeny jen některé parametry, jako jsou délky stěn a výška k hřebenu střechy. Ostatní hodnoty jsem vzal z norem (součinitele prostupu zdí, oken a dveří a jejich rozměry). Výpočet jsem provedl s rekuperací vzduchu. Všechny použité hodnoty jsou v příloze č.1.

Měrná tepelná ztráta domu vyšla $3,5 \text{ W/m}^3$. Celkové tepelné ztráty mi vyšly $2,618 \text{ kW}$.

2.3 Výpočet celkového roční potřeby energie na vytápění a ohřev TUV

Výpočet provedu pro lokalitu město Plzeň pro čtyř člennou rodinu. [11]

Střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období t_{em} . Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot měřených ve stínu s vyloučením sálání okolních stěn v 7:00, 14:00 a ve 21:00 hodin, přičemž teplota naměřená ve 21:00 hodin se počítá dvakrát.

$$t_{em} = \frac{t_{e,7} + t_{e,14} + 2 \cdot t_{e,21}}{4}$$

Dle ČSN 38 3350 Zásobování teplem a ČSN 06 0210 pro výpočet tepelných ztrát budov jsou hodnoty $t_{em} = 12^\circ\text{C}$, 13°C a 15°C .

Výpočet budu provádět pro hodnotu $t_{em} = 13^\circ\text{C}$.

Tab. 2.1 „Hodnoty pro Plzeň“

Nadmořská výška města Plzně	311 (m.n.m.)
Venkovní výpočtová teplota	-12 (°C)
Délka topného období	242 (dny)
Průměrná teplota během otopného období	3,6 (°C)

2.3.1 Výpočet roční energie pro vytápění

Tab. 2.2 „Hodnoty pro výpočet energie pro vytápění“

Tepelná ztráta objektu	2,618 (kW)
Průměrná vnitřní výpočtová teplota	19 (°C)
Nesoučasnost tep. ztráty infiltrací a tep. ztráty prostupem	0,85
Snížení teploty v místnosti během dne/noci	0,90
Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	1
Účinnost obsluhy	1
Účinnost rozvodu vytápění	0,98
Délka topného období	242 (dny)
Průměrná teplota během otopného období	3,6 (°C)
Venkovní výpočtová teplota	-12 (°C)

Vytápěcí denostupně:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 242 \cdot (19 - 3,6) = 3726,8 \Rightarrow 3727 (K \cdot dny)$$

D(K·dny) – Denostupně vytápění,

d(dny) – Délka topného období,

t_{is}(°C) – Průměrná vnitřní výpočtová teplota,

t_{es}(°C) – Průměrná teplota během otopného období.

Opravný součinitel:

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,85 \cdot 0,90 \cdot 1 = 0,765 (-)$$

$\varepsilon(-)$ – Opravný součinitel,

$e_i(-)$ – Nesoučasnost tep. ztráty infiltrací a tep. ztráty prostupem,

$e_t(-)$ – Snížení teploty v místnosti během dne/noci,

$e_d(-)$ – Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu.

Celková energie pro vytápění:

$$Q_{VYT} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} = \frac{0,765}{1 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 2,618 \cdot 3727}{(19 - (-12))} = 5,9 \text{ (MWh/rok)}$$

Q_{VYT} (MWh/rok) – Celková energie pro vytápění,

Q_c (kW) – Deno Tepelná ztráta objektu,

D (K·dny) – Deno stupně vytápění,

$\varepsilon(-)$ – Opravný součinitel,

$\eta_o(-)$ – Účinnost obsluhy,

$\eta_r(-)$ – Účinnost rozvodu vytápění,

t_{is} (°C) – Průměrná vnitřní výpočtová teplota,

t_e (°C) – Venkovní výpočtová teplota.

2.3.2 Výpočet roční energie pro ohřev TUV

Tab. 2.3 „Hodnoty pro výpočet energie pro ohřev TUV“

Teplota studené vody	10 (°C)
Teplota ohřáté vody	55 (°C)
Celková potřeba teplé vody za jeden den pro 4 osoby	0,360 (m ³ /den)
Koeficient energetických ztrát systému	0,5
Měrná hmotnost vody	1000 (kg/m ³)
Měrná tepelná kapacita vody	4186 (J/kg·K)
Teplota studené vody v létě	15 (°C)
Teplota studené vody v zimě	5 (°C)
Počet dní v roce	365 (dny)
Délka topného období	242 (dny)

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody:

$$Q_{TUVd} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} =$$

$$= (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,360 \cdot (55 - 10)}{3600} = 28,3 \text{ (kWh)}$$

Q_{TUVd} (kWh) – Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody,

z (-) – Koeficient energetických ztrát systému,

ρ (kg/m³) – Měrná hmotnost vody,

c (J/kg·K) – Měrná tepelná kapacita vody,

V_{2p} (m³/den) – Celková potřeba teplé vody za jeden den pro 4 osoby,

t_2 (°C) – Teplota ohřáté vody,

t_1 (°C) – Teplota studené vody.

Celková energie pro ohřev TUV:

$$Q_{TUVr} = Q_{TUVd} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUVd} \cdot \frac{(t_2 - t_{svl})}{(t_2 - t_{svz})} \cdot (N - d) =$$

$$= 28,3 \cdot 242 + 0,8 \cdot 28,3 \cdot \frac{(55 - 15)}{(55 - 5)} \cdot (365 - 242) = 9,1 \text{ (MWh/rok)}$$

Q_{TUVr} (MWh/rok) – Celková energie pro ohřev teplé vody,

Q_{TUVd} (kWh) – Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody,

d (dny) – Délka topného období,

t_2 (°C) – Teplota ohřáté vody,

t_{svl} (°C) – Teplota studené vody v létě,

t_{svz} (°C) – Teplota studené vody v zimě,

N (dny) – Počet dní v roce.

2.3.3 Celková roční spotřeba tepelné energie

$$Q_R = Q_{TUVr} + Q_{VYT} = 9,1 + 5,9 = 15 \text{ (MWh/rok)}$$

Q_R (MWh/rok) – Celková roční spotřeba tepelné energie,

Q_{TUVr} (MWh/rok) – Celková energie pro ohřev teplé vody,

Q_{VYT} (MWh/rok) – Celková energie pro vytápění.

2.4 Návrh tepelného čerpadla

2.4.1 Tepelné čerpadlo Silent S120 - DC

Tepelné čerpadlo jsem zvolil Silent S120 – DC typu vzduch – voda. [12]

Je vhodné pro objekty do tepelné ztráty až 12 kW. TČ lze připojit na stávající nebo nový topný systém přímo bez akumulární nádoby, integrované oběhové čerpadlo se stará o dostatečný přísun topné vody.



Obrázek č.6: TČ Silent S120 – DC (zdroj - [12])

Tab. 2.4 „Technické parametry venkovní jednotky“

<i>Rozměry š/v/h</i>	<i>830 / 1230 / 310 (mm)</i>
<i>Výkon</i>	<i>12,94 (kW)</i>
<i>Příkon</i>	<i>3,17 (kW)</i>
<i>COP</i>	<i>4,08</i>
<i>Kompresor značka/typ</i>	<i>Scroll/Hitachi</i>
<i>Provozní teplota okolního vzduchu</i>	<i>-20/+43 (°C)</i>
<i>Hlučnost</i>	<i>56 (dBA)</i>
<i>Hmotnost</i>	<i>90 (kg)</i>
<i>Chladivo R-410A/kg</i>	<i>R-410A/2,5 (kg)</i>
<i>Napájení</i>	<i>230 (V) / 50 (Hz) / 1f</i>

Tab. 2.5 „Technické parametry vnitřní jednotky“

<i>Rozměry š/v/h</i>	<i>450 / 550 / 255 (mm)</i>
<i>Výstupní teplota vody pro topení</i>	<i>20 - 60 (°C)</i>
<i>Výstupní teplota vody pro TUV</i>	<i>20 - 60 (°C)</i>
<i>Třícestní ventil</i>	<i>Ano</i>
<i>Tepelný výměník</i>	<i>Nerezová ocel</i>
<i>Oběhové čerpadlo</i>	<i>Ano</i>
<i>Opláštění</i>	<i>Lakovaná pozinkovaná ocel</i>
<i>Hmotnost</i>	<i>27 (kg)</i>
<i>Funkce</i>	<i>Pouze topení</i>
<i>Napájení</i>	<i>230 (V) / 50 (Hz) / 1f</i>

2.4.1.1 Požadavky před instalací

Přívody do skříně regulace umístěné v technické místnosti a přívod elektřiny pro napájení TČ a signálu regulace TČ z technické místnosti do místa uložení venkovní jednotky TČ - hlavní přívod elektřiny, přívod signálu HDO, přívod nuly a fáze (musí být vyvedeno před proudovým chráničem), přívod signálu od prostorového termostatu, přívod signálu od venkovního teplotního čidla (toto pouze v případě požadavku na ekvitermní regulaci otopné soustavy, čidlo musí být umístěno na severní straně objektu ve výšce cca 2 m nad terénem). [12]

Předepsané vodiče:

Přívod napájení z domovního rozvaděče – CYKY5Cx4,
přívod HDO z domovního rozvaděče – CYKY3Cx1,5,
propojení přívodu vnitřní/venkovní jednotka třífázové do 20kW včetně – CYKY5Cx2,5,
propojení přívodu vnitřní/venkovní jednotka jednofázové – CYKY3Cx4,
propojení komunikace vnitřní/venkovní jednotka – CYSY3Cx1,
propojení prostorového termostatu a termostatu bojleru s tepelným čerpadlem – CYSY3Cx1,
propojení trojcestných ventilů s tepelným čerpadlem – CYSY3Cx1,
propojení s ekvitermním čidlem – CYSY3Cx1. [12]

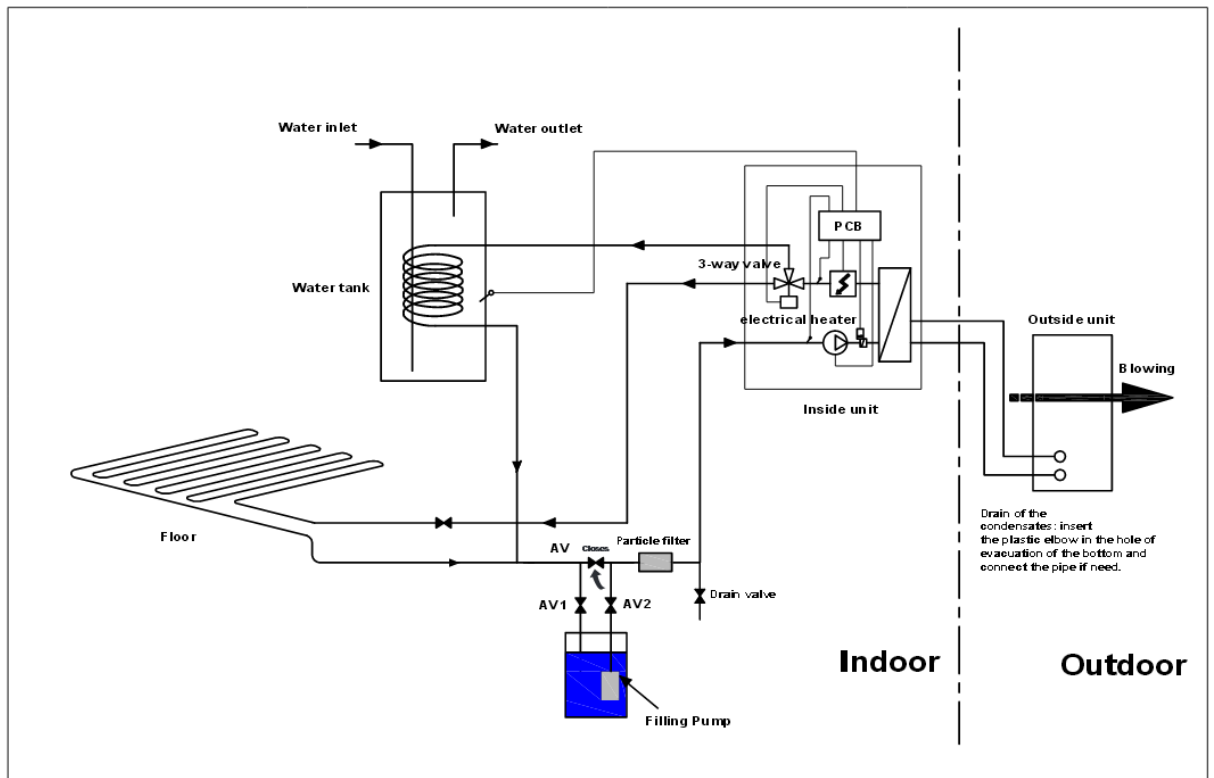
Základna pro TČ:

Dle typu TČ (výkonu a tedy velikosti jednotky) musí být pro umístění TČ vybudována základna. Tato základna může být tvořena buď nástěnnou kotvicí konzolí, nebo betonovým základem o příslušných rozměrech. Tato základna musí být osazena nejlépe 70 cm nad terénem. Pro venkovní a vnitřní jednotku je žádoucí, aby byly vzájemně co nejbližší, ideálně pouze přes stěnu. Venkovní jednotku nejlépe orientujeme na jižní stranu domu. Venkovní jednotka nesmí být v uzavřeném prostoru. Musí být venku minimálně 15 cm od zdi zadní a boční částí. V cestě výfuku přední části venkovní jednotky nesmí být žádná překážka minimálně 3 metry. Pro náležitý servis je nejlepší, aby nebyla zasazena do výklenku nebo pod římsu. Pro propojení vnitřní a venkovní jednotky je nutné vytvořit prostup pro technologické propojení (chladiivo a elektrická energie). Tento postup musí být o minimálním průměru 80 cm. [12]

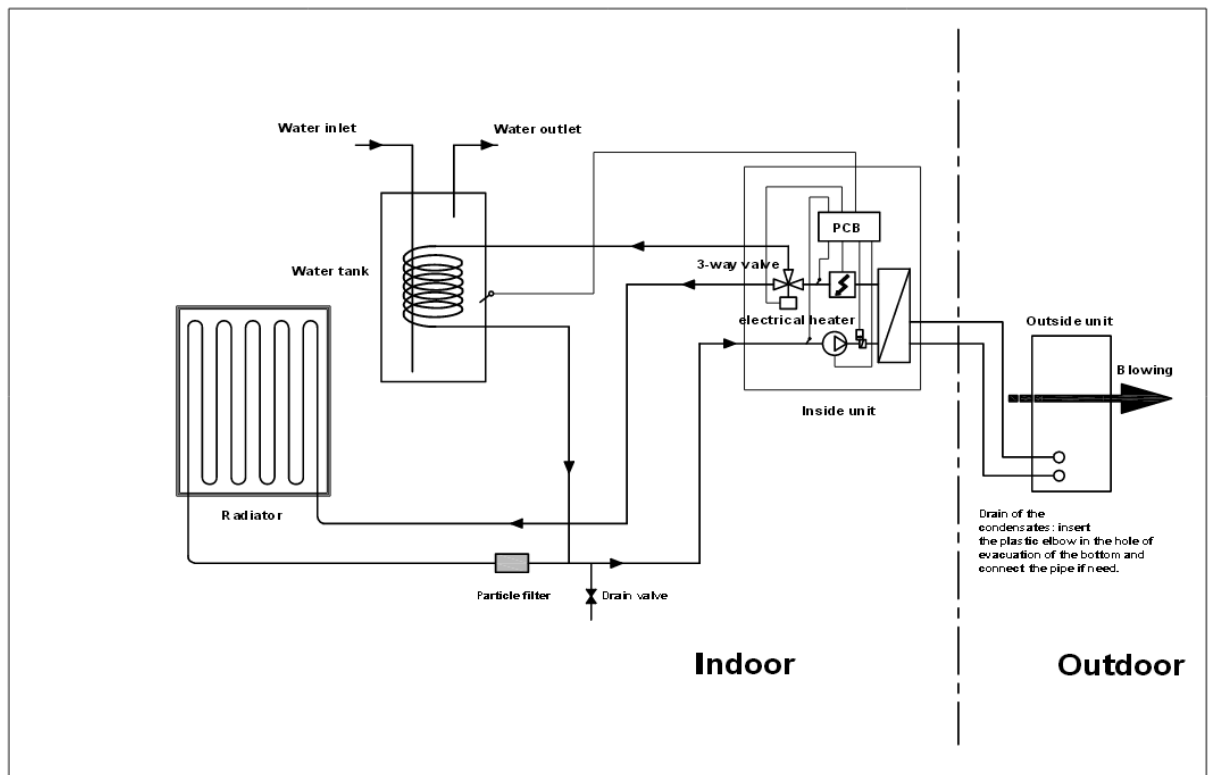
Odtok pro kondenzát:

V chladném období bude venkovní jednotka produkovat značné množství kondenzátu (cca 20-90 l/24 h), který může vlivem nesprávného odvedení kondenzátu zmrznout. Z tohoto důvodu je nutné zajistit odvod kondenzátu do kanalizace, odpadu či vsakovací jímky. Není přípustné nechat kondenzát vytékat na zem. [12]

2.4.1.2 Možnosti zapojení

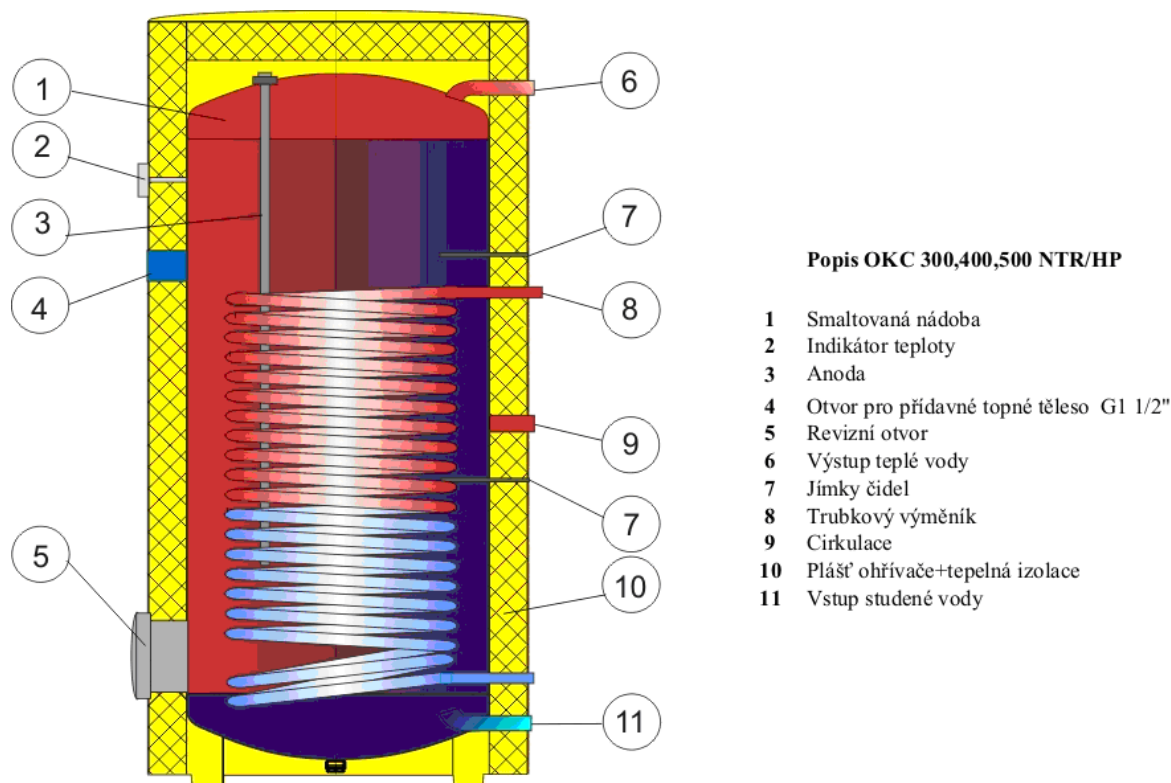


Obrázek č.7: Vytápění podlahy (zdroj - [12])



Obrázek č.8: Vytápění pomocí radiátorů (zdroj - [12])

2.4.1.3 Zásobník TUV



Obrázek č.9: Zásobník OKC 300 NTR/HP (zdroj - [12])

Tab. 2.6 „Technické parametry zásobníku TUV typu OKC300 NTR/HP“

Objem	295 (l)
Hmotnost	138 (kg)
Výška ohřivače	1 581 (mm)
Průměr ohřivače	670 (mm)
Maximální provozní tlak nádoby	1 (MPa)
Maximální provozní tlak výměníku	1 (MPa)
Maximální teplota topné vody	110 (°C)
Maximální teplota TUV	90 (°C)
Výhřevná plocha výměníku	3,2 (m ²)
Objem výměníku	24 (l)
Výkon výměníku při tep.spádu 55/50°C	12 (kW)

2.4.1.4 Výpočet roční doby provozu

$$T_m = \frac{Q_R}{Q_{max}} = \frac{15 \cdot 10^3}{12,9} = 1162 \text{ (h)}$$

T_m (h) – Doba využití maxima tepelného čerpadla,

Q_R (kWh) – Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody,

Q_{max} (kW) – Maximální tepelný výkon tepelného čerpadla.

2.4.1.5 Roční spotřeba elektrické energie

$$P_{sp} = P_c \cdot T_m = 3,2 \cdot 1162 = 3718 \text{ (kWh)}$$

P_{sp} (kWh) – Celková roční spotřebovaná elektrická energie,

T_m (h) – Doba využití maxima,

P_c (kW) – Elektrický příkon tepelného čerpadla.

2.5 Návrh větrání pomocí rekuperační jednotky

Pro rodinný dům Siesta PLUS jsem vybral rekuperační jednotku recoVAIR VAR 260/4 od firmy Vaillant.



Obrázek č.10: Rekuperační jednotka [13]

Rekuperační jednotka recoVAIR se skládá z centrální ventilační jednotky a z volitelně připojených dálkových ovladačů výměny vzduchu a rekuperace tepla. Zařízení VAR 260/4 je určeno ke svislé montáži na zeď. Rekuperační jednotka je připojena na systém vzduchových kanálů, který je vybaven tlumiči zvuku a vzduchovými průchody na přívod a odvod vzduchu. Přívodními větracími otvory se přivádí čerstvý vzduch do obývacích pokojů a ložnic. Spotřebovaný vzduch z kuchyně, koupelen a WC se odvádí odtahovými ventily do rekuperační jednotky, kde teplý odváděný vzduch předehřívá ve výměníku tepla venkovní vzduch. [13]

Výkon rekuperační jednotky lze ovládat samostatně a přizpůsobovat ho aktuálním potřebám ručně pomocí čtyřstupňového spínače nebo lze rekuperační jednotku regulovat automaticky systémovým regulátorem VRC 700 s integrovanými časovými spínacími hodinami a s dalšími komfortními funkcemi. [13]

2.5.1 Vlastnosti rekuperační jednotky

Rekuperační jednotka je schopna plného provozu až do venkovní teploty $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez zamrzání výměníku tepla. Omezená schopnost provozu je do venkovní teploty $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez zamrzání výměníku tepla při čemž se škrtí přívod vzduchu. Výměník tepla je typu křížovo-protiproudý s termickou účinností $< 92\%$. Objemový průtok vzduchu se nastavuje ventilátory v diagnostickém systému jednotky. Jednotka má 2 stejnosměrné ventilátory s konstantní regulací objemového průtoku, které zajišťují stejnoměrné množství vzduchu. V části rekuperační jednotky odvádějící vzduch je integrovaný senzor vlhkosti, který zajišťuje větrání podle potřeby. Jednotka má integrovaný samoregulovatelný bypas. Instalace a údržba je velmi jednoduchá. Lze si navolit příslušenství k jednotce jako je integrovatelný elektrický předehřívací registr a senzory kvality vzduchu (CO) v kombinaci se systémovým regulátorem VRC 700. [13]

Tab. 2.7 „Technické parametry rekuperační jednotky“

Rozměry š / v / h	595 / 885 / 631 (mm)
Hmotnost	41 (kg)
Jmenovité napětí	230 (V)
Max. příkon	170 (W)
Max. příkon s článkem ochrany před zamrznutím	1170 (W)
Odběr proudu	0,74 (A)
Stupeň krytí	IP10B
Maximální objemový průtok vzduchu	260 (m ³ /h)
Tepelná účinnost	87 (%)
Objem výměníku	36 (l)
Maximální akustický výkon	58 (dBA)

3 Návrh zdroje elektrické energie

3.1 Zdroje elektrické energie

Mezi zdroje elektrické energie využívané v nízkoenergetických domech patří fotovoltaické panely, větrná turbína a kogenerační jednotka.

3.1.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely využívají technologii přímé přeměny slunečního záření na elektřinu. Jedná se o jediný zdroj elektřiny bez pohyblivých součástí. Fotovoltaika je považována za trvale udržitelnou technologii, jelikož využívá nejdostupnější obnovitelný zdroj energie na Zemi – sluneční záření. Energie vložená do výroby fotovoltaických panelů a dalších komponent fotovoltaické elektrárny se v podmínkách České republiky vrátí zhruba za 2 roky, přičemž očekávaná životnost panelů přesahuje 30 let. [14]

Fotovoltaický článek je plošná polovodičová fotodioda schopná přeměňovat sluneční záření na stejnosměrný proud. Využívá při tom fotovoltaický jev. Fotovoltaický panel se skládá z více fotovoltaických článků připojených k sobě. Jmenovitý výkon se udává ve wattech špičkového výkonu Wp. Skutečný výkon závisí na intenzitě slunečního záření, úhlu dopadů paprsků a na výkonovém přizpůsobení zátěže. Fotovoltaické články se dělí na krystalické a tenkovrstvé. [14]

Krystalické - komerčně nejrozšířenější panely sestavené z článků vyrobených na tenkých deskách z krystalického křemíku. Rozlišují se tři základní varianty:

- monokrystalické (c-Si), kdy je ingot tažen z taveniny Czochralskiho metodou, ingot je tvořen jedním monokrystalem ve tvaru válce se zúženými konci (salám), který je následně oříznut do tvaru kvádry se zaoblenými rohy a poté rozřezán na jednotlivé desky o tloušťce 150 μm .
- multikrystalické (m-Si), kdy je ingot odléván do formy ve tvaru kvádry, který je následně rozřezán na menší kvádry a poté na desky ribbon, kdy je z taveniny přímo tažen tenký pás, z něhož jsou odlamovány desky.

Tenkovrstvé - méně rozšířené panely reprezentované několika odlišnými technologiemi: a-Si - amorfní křemík, $\mu\text{-Si}$ - mikrokrystalický křemík aj. [14]

Výhody FVE jsou prodej přebytečné energie do sítě, návratnost během pár let, vysoká životnost a dotace. Nevýhody FVE jsou nízká účinnost a nízká efektivita při špatném počasí.

3.1.2 Kogenerační jednotka

Kogenerace je společná výroba elektrické a tepelné energie. Jednotku tvoří spalovací motor nebo turbína. Paliva jsou zemní plyn, LPG nebo topný olej. Při instalaci a plném využití jednotky je uživatel energeticky soběstačný. Kogenerační jednotka se využívá tam, kde je velká spotřeba elektrické energie a tepelné energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody, např. nemocnice, hotely, kryté bazény. Elektrický výkon se pohybuje v desítkách až stovkách kWe. Pro rodinné domy slouží mikrokogenerační jednotka. Elektrický výkon se pohybuje v jednotkách kWe a tepelný výkon kolem 10 kW. [15]

Výhody KGJ jsou vysoká účinnost až 95%, kombinovaná výroba elektřiny a tepla. Nevýhody KGJ jsou velmi vysoká investice, velké rozměry nádrže na vodu a pravidelná údržba. [15]

3.1.3 Větrná turbína Off-grid

Větrná turbína nebo větrná elektrárna je stroj, který přeměňuje kinetickou energii větru na elektrickou energii. Ostrovní systém se používá tam, kde není možnost napojení na veřejné sítě, nebo připojení je příliš drahé nebo provozovatel si přeje, aby jeho pokrytí poptávky po energií bylo nezávislé. Vyrobenou energii je v tomto případě nutné skladovat v bateriích. [16]

Od turbíny jde energie přes regulátor dobíjení do baterií, které můžeme připojit buď přímo, nebo střídač převést přímo na střídavý proud pro napájení 230 V. V této aplikaci případný přebytek vyrobené energie je možno použít na podporu vytápění. [16]

Výhody VtE jsou nízká hluchost, není potřeba licence, dotace a nízká investice. Nevýhody VtE jsou potřeba větru a estetická stránka domu. [16]

3.2 Akumulace energie

Zařízení pro využívání sluneční a větrné energie jsou charakteristická nestabilním dodávaným výkonem. Zatímco u zdrojů připojených k rozvodné síti se akumulací elektrické energie vykrývají výkonové špičky, v oblasti autonomních systémů rozhoduje akumulace o celkové efektivitě soustavy. [17]

Technologie akumulace elektřiny umožňují uskladnit elektřinu po určitou dobu. Elektřinu zatím nelze uchovat přímo, proto se využívají procesy vratné přeměny elektřiny na jinou formu energie - nejčastěji chemickou, tepelnou nebo mechanickou. Společným jmenovatelem těchto technologií je, že vstupním i výstupním produktem je elektrický proud. [17]

Podle počtu mezistupňů v přeměně energie můžeme technologie akumulace elektřiny rozdělit do tří kategorií:

- Technologie, v nichž vratné reakce probíhají samočinně bez potřeby dalšího zařízení. Sem patří elektrochemické akumulátory - baterie a dále kondenzátory - kapacitory a indukčnosti, kde je energie ukládána v elektrostatickém nebo elektromagnetickém poli. [17]
- V širším pohledu může akumulace zahrnovat i přečerpávací vodní elektrárny, stlačený vzduch (CAES) nebo setrvačnický, u nichž je kromě samotného akumulčního prvku (nádrž, kaverna, setrvačnick) nutné ještě další zařízení na přeměnu elektřiny na akumulovanou energii a zpět na elektřinu - nejčastěji turbína a generátor. [17]
- Nejširší pohled pak zahrnuje i technologie, u nichž přeměna zpět na elektřinu buď není možná, nebo sice možná je, ale primárně se počítá s využitím meziprojektu. Kromě výroby tepla se jedná o technologie transformující elektřinu na jiný nosič energie, nejčastěji vodík. Ten lze použít buď samostatně, nebo k výrobě syntetických uhlovodíkových paliv, zejména plynu (P2G, power to gas). [17]

3.3 Instalovaný výkon

Tab. 3.1 „Instalovaný výkon“

Spotřebič	Výkon (W)
<i>Kuchyňský robot</i>	1400
<i>Lednička</i>	160
<i>Mrazák</i>	150
<i>Televize</i>	70
<i>Počítače</i>	500
<i>Myčka nádobí</i>	1800
<i>Mikrovlákná trouba</i>	1000
<i>Automatická pračka</i>	2000
<i>Rychlovarná konvice</i>	2000
<i>Sporák</i>	7800
<i>Vysavač</i>	650
<i>Světelný okruh</i>	800
<i>Zásobník TUV</i>	2200
<i>Tepelné čerpadlo *</i>	3170
<i>Rekuperační jednotka</i>	15-170 (1170**)
<i>Elektrická patrona</i>	2500
<i>Rezerva</i>	1000
Celkem *,**	28370
Celkem**	25200

*Instalovaný výkon pro návrh s tepelným čerpadlem.

**Maximální příkon rekuperační jednotky s článkem ochrany před zamrznutím.

3.3.1 Soudobý příkon

Zvolený dům spadá do stupně elektrifikace C. Elektřina se využívá pouze pro domácí spotřebiče, osvětlení a pro topné zařízení a není zde stanoven maximální soudobý příkon. I přesto je nutné stanovit koeficient soudobosti kvůli hlavnímu jističi a pojistce.

Koeficient soudobosti β jsem stanovil na 0,6. Tepelné čerpadlo nebude stále běžet na maximální výkon díky nízkým tepelným ztrátám objektu a ostatní domácí spotřebiče se nebudou používat zároveň vzhledem k soudobosti.

Soudobý příkon:

$$P_{\beta} = P_i \cdot \beta = 25200 \cdot 0,6 = 15,120 \text{ (kW)}$$

$$* P_{\beta} = P_i \cdot \beta = 28370 \cdot 0,6 = 17,022 \text{ (kW)}$$

P_{β} (kW) – Soudobý příkon,

P_i (kW) – Instalovaný výkon,

β (-) – Koeficient soudobosti.

3.3.2 Průměrná roční spotřeba elektrické energie

Tab. 3.2 „Průměrná roční spotřeba“

Spotřebič	Spotřeba (kWh)
<i>Kuchyňský robot</i>	3
<i>Lednička</i>	370
<i>Mrazák</i>	670
<i>Televize</i>	140
<i>Počítače</i>	200
<i>Myčka nádobí</i>	150
<i>Mikrovlonná trouba</i>	100
<i>Automatická pračka</i>	240
<i>Rychlovarná konvice</i>	100
<i>Sporák</i>	700
<i>Vysavač</i>	20
<i>Světelný okruh</i>	500
<i>Rekuperační jednotka</i>	130
Celkem	3188

3.4 Návrh fotovoltaických panelů

System dodávající elektrickou energii do rozvodné sítě (grid-on) se využívá v případě, že výrobce má uzavřenou smlouvu s provozovatelem příslušné distribuční soustavy. Připojení FVE k distribuční soustavě podléhá schválení projektu realizace FVE distributorem. [18]

Energie vyprodukovaná FVE může být do distribuční soustavy dodávána přímo (tzv. přímý prodej) nebo kombinovaným způsobem (formou tzv. zelených bonusů). Tímto připojením je zabezpečen neustálý odběr elektrické energie vyrobené fotovoltaickými články. [18]

V případě zapojení formou „zelených bonusů“ je FVE zapojena do rozvodné sítě objektu investora. Elektrická energie vyprodukovaná FVE pak v době, kdy je v objektu spotřeba elektrické energie, buď částečně, nebo i plně pokrývá tuto spotřebu. V případě, že FVE vyrobí více elektrické energie, než je objekt schopen spotřebovat bude přebytek distribuován do distribuční soustavy přes 4-kvadrantový elektroměr. [18]

Výhodnost využití zeleného bonusu je nutné posuzovat rovněž podle ceny (tarifu) za kWh nakupované elektrické energie od distributora. Pokud energii vyrobenou fotovoltaickým systémem spotřebujeme, nemusíme ji nakoupit, dosahujeme tak úspor. [18]

3.4.1 Složení fotovoltaického systému

Fotovoltaický systém připojený na síť se skládá z následujících komponentů:

Solární generátor:

K dosažení požadovaného výkonu je potřebné zapojení několika fotovoltaických panelů, které vytvoří solární generátor. Panely jsou vybavené připojovacími kabely s MC-T4 spojkami pro rychlé vytvoření elektrických obvodů generátoru. Pro bezpečné připojení k střešní konstrukci nebo pro montáž na speciální konstrukci je rám modulu tvořený hliníkovým profilem. [18]

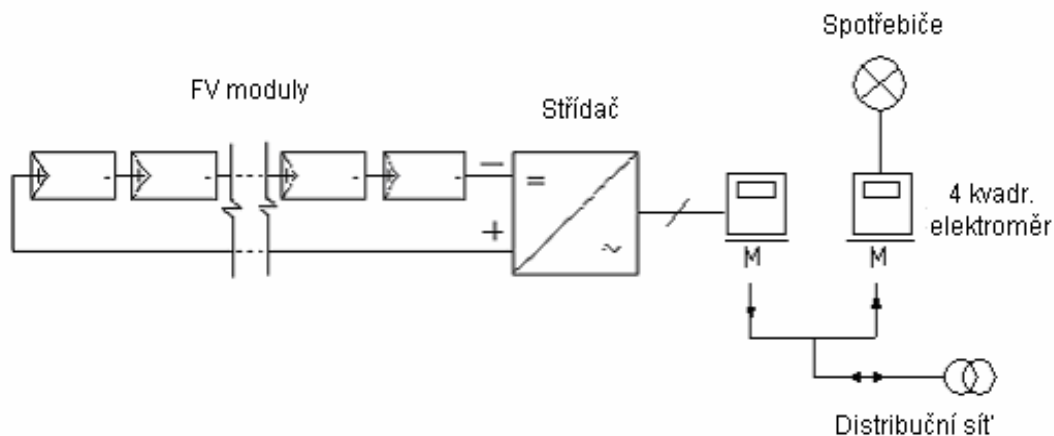
Spojovací kabely pro stejnosměrný proud:

Pro rychlou a bezpečnou montáž jsou moduly vybavené spojovacími kabely se zástrčkovým systémem. Napojení solárního generátoru na střídač napětí zabezpečují jednožilové kabely s MC-T4 spojovací zástrčkou a zásuvkou. [18]

Napěťový střídač:

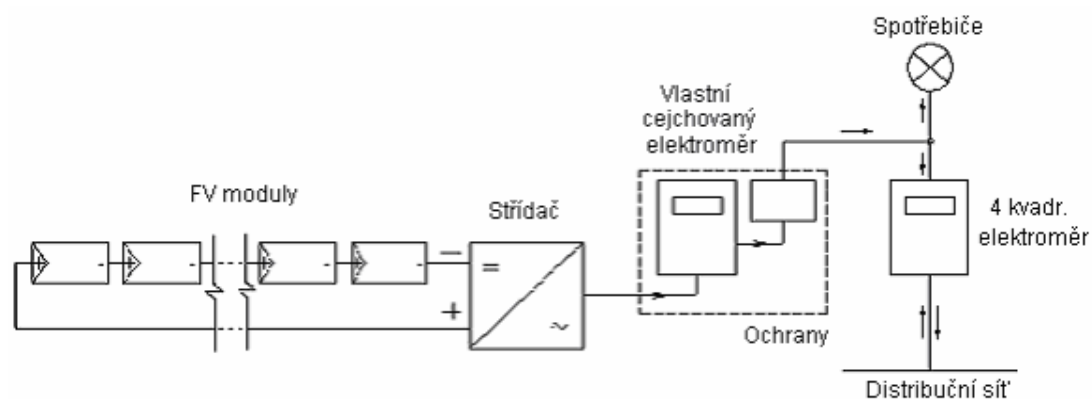
Stejnoseměrný proud generovaný ve fotovoltaických panelech je převáděn ve střídači na střídavý proud, který splňuje parametry elektrické sítě. Střídač zároveň monitoruje a reguluje napájení sítě a v případě jakékoliv poruchy v přenosové soustavě automaticky odpojí solární generátor od sítě. Střídač může být vybaven displejem, který ukazuje aktuální údaje o činnosti systému, okamžitý výkon, napětí, energii vyprodukovanou systémem ve sledovaný den, celkovou vyprodukovanou energii, dobu práce systému, případně poruchu a příčinu poruchy. [18]

3.4.2 Možnosti připojení k síti



Obrázek č.11: Schéma FVE napojené do distribuční sítě – tzv. přímý prodej (zdroj - [18])

Vedle již zmíněného solárního generátoru tvořeného moduly zapojenými do série a střídače je systém spojený s novým elektroměrem na měření energie dodané do veřejné distribuční elektrické soustavy. [18]



Obrázek č.12: Schéma FVE napojené do distribuční sítě – tzv. zelený bonus (zdroj - [18])

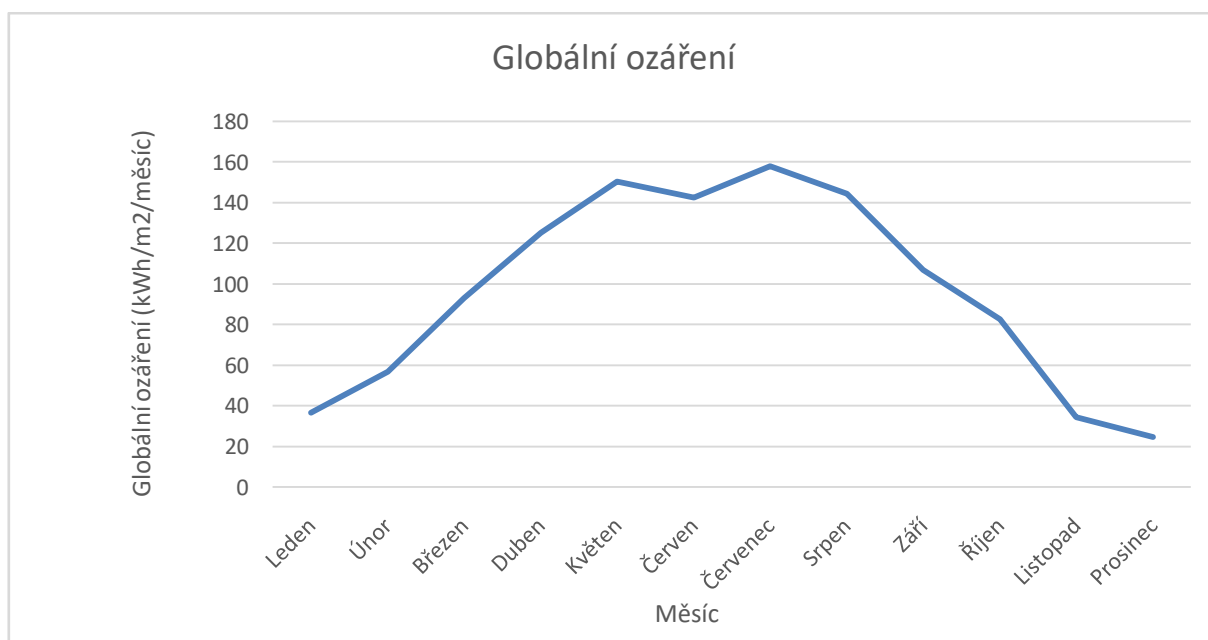
Na obr.č.2 je schématicky znázorněn fotovoltaický systém na výrobu elektrické energie dodávané do sítě kombinovaným způsobem – tzv. zelený bonus. Je to systém spojený s vlastním cejchovaným elektroměrem na měření energie dodané přednostně do objektu, popřípadě do sítě přes 4-kvadrantový elektroměr. [18]

3.4.3 Stanovení globálního ozáření ideálně orientované plochy

Lokalita: Plzeňský kraj

Tab. 3.3 „Globální ozáření Plzeňského kraje“ (zdroj - [18])

Měsíc	Globální ozáření (W/m ²)	Počet dní v měsíci	Globální ozáření (kWh/m ² /měsíc)
Leden	1190	31	36,89
Únor	2028	28	56,784
Březen	3005	31	93,155
Duben	4177	30	125,31
Květen	4857	31	150,567
Červen	4750	30	142,5
Červenec	5099	31	158,069
Srpen	4661	31	144,491
Září	3567	30	107,01
Říjen	2665	31	82,615
Listopad	1149	30	34,47
Prosinec	799	31	24,769
Celkem (kWh/m²/rok)			1156,63



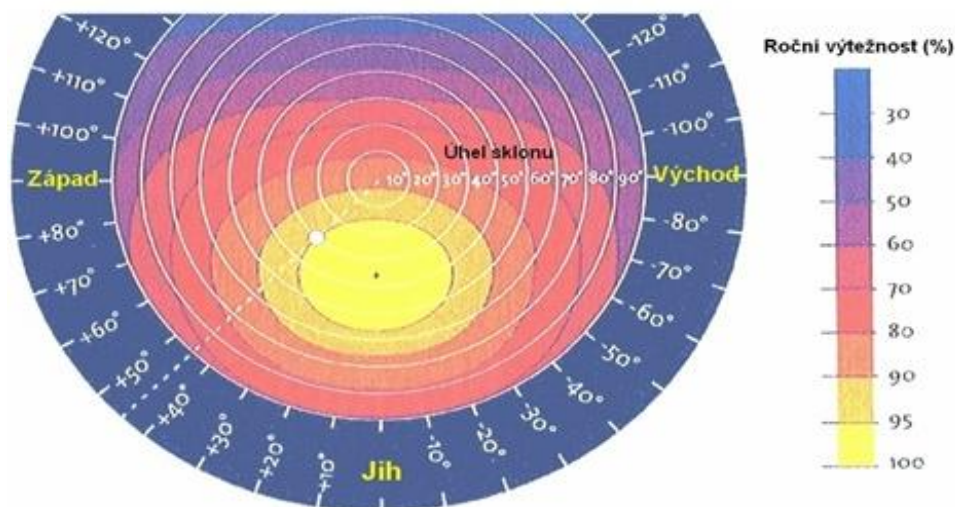
Obrázek č.13: Globální ozáření (zdroj - [18])

Předpokládání výroba elektřiny z fotovoltaického systému o instalovaném výkonu 1 kWp. [18]

Tab. 3.4 „Vyrobená energie FVE o výkonu 1 kWp“ (zdroj - [18])

<i>Měsíc</i>	<i>Měsíční výroba (kWh)</i>
<i>Leden</i>	<i>33,3</i>
<i>Únor</i>	<i>50,5</i>
<i>Březen</i>	<i>82,8</i>
<i>Duben</i>	<i>109,1</i>
<i>Květen</i>	<i>130,3</i>
<i>Červen</i>	<i>122,2</i>
<i>Červenec</i>	<i>134,3</i>
<i>Srpen</i>	<i>122,2</i>
<i>Září</i>	<i>91,9</i>
<i>Říjen</i>	<i>71,7</i>
<i>Listopad</i>	<i>30,3</i>
<i>Prosinec</i>	<i>22,2</i>
<i>Celkem</i>	<i>1000,8 kWh</i>

Zisky FVE v závislosti na úhlu sklonu modulu a odchylce od jihu.



Obrázek č.14: Zisky z ozáření modulu (zdroj - [18])

Sklon střechy zvoleného domu je v úhlu 38° a střecha směřuje na jih. Z obrázku č. 20 je vidět, že náš sklon střechy a směr odpovídá pro 100% výtěžnost modulů.

3.4.4 Návrh fotovoltaického systému

Jako zdroj solární energie jsem vybral fotovoltaické panely od firmy Intersekce s.r.o. [18]

Tab. 3.5 „Vlastnosti fotovoltaických panelů“ (zdroj - [18])

Typ modulu	FE 260 polykrystal
Výkon modulu	260 (Wp)
Výška modulu	1,58 (m)
Šířka modulu	1,06 (m)
Plocha modulu	1,675 (m ²)
Účinnost modulu	15,5 (%)
Teplotní koeficient	-0,37
Účinnost vlivem sklonu a odchylkou od jihu	100 (%)
Ztráta vlivem teploty	3,330 (%)
Ztráta reflexí	3,0 (%)
Ztráta vedením	2 (%)
Účinnost měničů	97,7(%)

$$\eta_m = \frac{(100 - z_t)}{100} \cdot \frac{(100 - z_r)}{100} \cdot \frac{(100 - z_v)}{100} \cdot 100 =$$

$$= \frac{(100 - 3,330)}{100} \cdot \frac{(100 - 3)}{100} \cdot \frac{(100 - 2)}{100} \cdot 100 = 91,89 (\%)$$

η_m (%) – Účinnost všech modulů,

z_t (%) – Ztráta vlivem teploty,

z_r (%) – Ztráta reflexí,

z_v (%) – Ztráta vedením.

3.4.4.1 Roční energetický zisk z FVE:

Na střechu RD Siesta se vejde maximálně 26 panelů.

$$P_v = P_m \cdot 26 = 260 \cdot 26 = 6760 \text{ Wp}$$

$$E_r = S_m \cdot R_g \cdot \left(\frac{\eta_j}{100}\right) \cdot \left(\frac{\eta_{1m}}{100}\right) \cdot \left(\frac{\eta_m}{100}\right) \cdot \left(\frac{\eta_c}{100}\right) =$$

$$= 43,54 \cdot 1156,63 \left(\frac{100}{100}\right) \cdot \left(\frac{15,5}{100}\right) \cdot \left(\frac{91,89}{100}\right) \cdot \left(\frac{97,7}{100}\right) = 7009 \text{ kWh}$$

P_v (Wp) – Maximální výkon získaný z modulů,

P_m (Wp) – Výkon modulu,

E_r (kWh) – Roční energetický zisk,

R_g (kWh/m²·rok) – Globální ozáření,

S_m (m²) – Plocha modulů,

η_j (%) – Účinnost vlivem sklonu a odchylkou od jihu,

η_{1m} (%) – Účinnost jednoho modulu,

η_m (%) – Účinnost modulů,

η_c (%) – Účinnost měničů.

3.4.5 Návrh akumulace elektrické energie

Pro akumulaci elektrické energie jsem zvolil tzv. „domácí baterii“ ECO 8.0 (7,5kWh) od německé firmy Sonnenbatterie.



Obrázek č.15: Domácí baterie ECO 8.0 (zdroj - [22])

Základem je li-ion články typu 18 650. Výhodou tohoto technologického sestavení baterie z jednotlivých článků je, že se může vytvořit více sériově paralelních kombinací, díky tomu může být výkon článku optimalizován a dosaženo tak maximální životnosti a stability. Sonnenbatterie používá články Sony Fortelion lithium-ion (LiFePO₄). Jedná se o nejmodernější li-ion články na trhu. Jejich výhodou je nízká cena a stabilní provozní napětí a výkon. Kapacita 1,1 Ah, pracovní napětí 3,2 V, hustota energie 95 Wh/kg, váha 40 g. [19]

Jmenovitá kapacita baterie klesne na hodnotu 80% až po 2 000 cyklech. Články by měly vydržet až 10 000 cyklů. Baterie mají velmi rychlé nabíjení, 99% kapacity by měly dosáhnout za 30 minut nabíjení. Domácí baterie řady ECO se vyrábí od 4 kWh až po 16 kWh kapacity po 2 kWh krocích. Řada PRO začíná od 24 kWh až po 96 kWh kapacity po 24 kWh krocích. Další výhodou je, že tato domácí baterie obsahuje všechny invertory a konvektory již v ceně zařízení. Jedná se tedy o kompletní systém, který obsahuje i DC/DC měnič, který je potřeba pro připojení fotovoltaických panelů. Druhý měnič DC/AC, neboli střídač, zajišťuje přeměnu stejnosměrných veličin na střídavé, jež využívají domácí spotřebiče. Baterie je zcela z přírodních látek a neobsahuje tedy žádné toxické těžké kovy. [19]

3.5 Návrh kogenerační jednotky

Jako zdroj elektrické energie pro RD nezávislý na distribuční síti jsem vybral kogenerační jednotku od firmy SenerTec. [20]

3.5.1 Kogenerační jednotka Dachs 5,5



Obrázek č.16: KGJ Dachs 5,5 (zdroj - [24])

Tab. 3.6 „Technické parametry kogenerační jednotky“

Rozměry š / v / h /	720 / 1270 1070 (mm)
Hmotnost	580 (kg)
Elektrický výkon	5,5 (kWe)
Termický výkon	14,8 (kWth)
Hladina akustického výkonu	63 (dB)
Příkon	19,5 (kW)
Napětí / frekvence	230 / 50 (V / Hz)
Otáčky	2400 (ot/min)
Palivo	Zemní plyn
Účinnost el. / tep.	28,4 / 68,3 (%)
Poměr vzduch/palivo	Lambda = 1
Energetická náročnost	A+++
Doba doplnění paliva	7000 (h)
Akumulační nádrž	SE 750
Rozměry akumulční nádrže průměr / výška	950 / 1920 (mm)
Objem akumulční nádrže	750 (l)

3.5.2 Zásobník TUV

Pro zásobu TUV jsem vybral zásobník OKCE 125 NRT.



Obrázek č.17: Zásobník OKCE 125 NRT (zdroj - [25])

Tab. 3.7 „Technické parametry zásobníku TUV typu OKCE 125 NRT“

<i>Objem</i>	<i>125 (l)</i>
<i>Hmotnost</i>	<i>70 (kg)</i>
<i>Výška ohřívače</i>	<i>1067 (mm)</i>
<i>Průměr ohřívače</i>	<i>545 (mm)</i>
<i>Příkon topného tělesa</i>	<i>2,2 (kW)</i>
<i>Maximální provozní tlak výměníku</i>	<i>1 (MPa)</i>
<i>Maximální provozní teplota topné vody</i>	<i>110 (°C)</i>
<i>Maximální teplota TUV</i>	<i>80 (°C)</i>
<i>Výhřevná plocha výměníku</i>	<i>1,45 (m²)</i>
<i>Objem výměníku</i>	<i>9,5 (l)</i>
<i>Výkon výměníku při tep.spádu 55/50°C</i>	<i>12 (kW)</i>

3.5.3 Výpočet roční doby provozu

$$T_m = \frac{Q_R}{Q_{max}} = \frac{15 \cdot 10^3}{14,8} = 1013,5 \rightarrow 1014 \text{ (h)}$$

T_m (h) – Doba využití maxima kogenerační jednotky. (Doba, po kterou běží kogenerační jednotka na plný výkon),

Q_R (kW) – Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody,

Q_{max} (kW) – Maximální tepelný výkon kogenerační jednotky,

3.5.4 Roční vyrobená elektrická energie

$$E_{el} = T_m \cdot P_m = 1014 \cdot 5,5 = 5577 \text{ (kWh)}$$

E_{el} (kWh) – Celková roční vyrobená elektrická energie,

T_m (h) – Doba využití maxima,

P_m (kW) – Maximální elektrický výkon kogenerační jednotky.

3.5.5 Roční spotřeba energie

$$P = P_c - P_t \cdot T_m = (19,5 - 14,8) \cdot 1014 = 4765,8 \text{ (kWh/rok)}$$

P (kWh/rok) – Roční spotřeba energie kogenerační jednotky,

P_c (kW) – Příkon kogenerační jednotky,

P_t (kW) – Tepelný výkon kogenerační jednotky,

T_m (h) – Doba využití maxima.

3.5.6 Roční spotřeba paliva

$$V_p = T_m \cdot V_m = 1014 \cdot 2,3 = 2332,2 \rightarrow 2333 \text{ (m}^3\text{)}$$

$V_p(\text{m}^3)$ – Roční spotřeba plynu,

$T_m(\text{h})$ – Doba využití maxima,

$V_m(\text{m}^3/\text{h})$ – Spotřeba plynu.

$$Q = V_p \cdot k \cdot H_s = 2333 \cdot 1 \cdot 10,5 = 24496,5 \text{ kWh}$$

$Q(\text{kWh})$ – Množství energie dodané plynem,

$V_p(\text{m}^3/\text{h})$ – Roční spotřeba plynu,

k – Přepočtový objemový koeficient. Za normálních podmínek je jeho hodnota $k=1$,

$H_s(\text{kWh}/\text{m}^3)$ – Množství tepla, které lze získat dokonalým spálením 1 m^3 se vzduchem při teplotě $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $101,3 \text{ kPa}$.

4 Ekonomické zhodnocení

4.1 Dotace

4.1.1 Nová zelená úsporám

Z programu Nová zelená úsporám lze získat dotace na:

- Solární termické a fotovoltaické systémy,
- Systém řízeného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu (rekuperace),
- Využití tepla z odpadních vod,
- Výměnu elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem,
- Výměnu lokálních topidel (např. kamna využívaná jako hlavní zdroj tepla na vytápění).

Výše dotace je jednorázová fixní částka:

- 35 000 nebo 50 000 Kč na termické solární systémy,
- 35 000 – 150 000 Kč na fotovoltaické solární systémy,
- 75 000 nebo 100 000 Kč na instalaci systémů řízeného větrání se zpětným získáváním tepla,
- 25 000 – 100 000 Kč na výměnu neekologického zdroje tepla,
- až 35 000 Kč na využití tepla z odpadních vod,

Získat lze až 50 % celkových způsobilých výdajů, nejvýše však 350 000 Kč.

Kdo může o dotaci žádat:

Vlastníci nebo stavebníci rodinných domů, jak fyzické osoby, tak právnické osoby.

Jak požádat o dotaci:

- Výhradně elektronicky prostřednictvím online formuláře žádosti.
- Žádat můžete před zahájením, v průběhu nebo po dokončení prací.
- Ukončení příjmu žádostí: vyčerpáním stanovené alokace nebo nejpozději do 31. prosince 2021. [21]

Pro návrh fotovoltaických panelů a tepelného čerpadla lze získat:

Tab. 4.1 „Dotace pro FVE a TČ“

<i>Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000$ kWh/rok</i>	<i>150 000 Kč</i>
<i>Tepelné čerpadlo vzduch–voda v kombinaci se zateplením</i>	<i>75 000 Kč</i>

4.1.2 Zelený bonus

f./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	f	g	k	m
700		-	31.12.2020	0	200	3 000	1 016
701	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2020	0	200	4 400	597
703		-	31.12.2020	200	1 000	3 000	647
704		-	31.12.2020	200	1 000	4 400	280
706		-	31.12.2020	1 000	5 000	3 000	356
707		-	31.12.2020	1 000	5 000	4 400	48
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45

Obrázek č.18: Zelený bonus KVET – základní sazba (zdroj - [23])

f./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	f	g	k	m
770	Výrobní elektřiny spalující čistou biomasu	1.1.2013	31.12.2013	0	5 000	O	100
772	Výrobní elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1.1.2013	31.12.2015	0	2 500	O	455
774	Výrobní elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1.1.2013	31.12.2013	0	2 500	AF	455
777	Výrobní elektřiny spalující důlní plyn	1.1.2013	31.12.2015	0	5 000	-	455
778	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5 000	-	155
779	Výrobní elektřiny spalující (samostatně) plynné palivo s výjimkou OZE a DZ	-	31.12.2020	0	5 000	-	455

Obrázek č.19: Zelený bonus KVET – doplňková sazba (zdroj - [23])

Roční zelený bonus na elektřinu z KVET se skládá ze dvou sazeb – základní a doplňkové. Výše celkové podpory na elektřinu z KVET se pak vypočte:

$$C_{zb} = E_{kvet} \cdot (ZB_{zs} + ZB_{ds}) = 5,577 \cdot (1016 + 455) = 8204 \text{ (Kč)}$$

C_{zb} (Kč) – celková výše podpory na elektřinu z KVET,

E_{kvet} (MWh) – množství vyrobené elektřiny z KVET,

ZB_{zs} (Kč/MWh) – základní sazba zeleného bonusu,

ZB_{ds} (Kč/MWh) – doplňková sazba I k základní sazbě zeleného bonusu.

4.2 Rekuperační jednotka

Cena rekuperační jednotky recoVair 260/4 je 55 949 Kč. Doporučená údržba rekuperační jednotky je jednou za rok a obnáší výměnu filtrů, kterou zvládne majitel sám. Celková cena filtrů je do 2000 Kč. Dále je doporučena údržba ventilátoru, kterou musí provést vyškolený technik, při tom je dobré nechat preventivně zkontrolovat všechny části větrací jednotky.

4.3 Domácí baterie

Cena domácí baterie Sonnenbatteri ECO 8.0 je 213 360 Kč. Baterie nevyžaduje žádnou údržbu. Díky inteligentnímu řízení baterie, lze nastavovat nabíjení podle předpovědi počasí.

4.4 Kogenerační jednotka

4.4.1 Investice

Tab. 4.2 „KGJ - investice“

Položka	poč.	jedn.	cena/jedn.	cena (Kč)
Technologie				
Kogenerační jednotka G 5,5	1	ks	481 000	481 000
Ekonomiser	1	ks	44 330	44 330
Akumulační nádrž SE 750	1	ks	38 000	38 000
Příslušenství pro přípravu teplé užitkové vody (TUV)				
Zásobník TUV OKCE 125 NTR	1	ks	12 825	12 825
Elektrická patrona (pro dohřev TUV), KKH EBH 2,5 E (CNF-5), (2,5 kW, 230 V)	1	ks	3 540	3 540
Čerpadlo pro ohřev TUV	1	ks	6 500	6 500
Napojení zásobníku TUV na rozvody TUV				4200
Příslušenství pro napojení KGJ na top. soustavu - přesné určení dle projektu UT				
Odkouření	1		20000	20000
Napojení KGJ na rozvody UT				19 500
Ostatní položky				
Rozvody hydraulické	40	m	500	20 000
Elektrozvody	60	m	250	15 000
Materiál elektro - instalační	1	ks	74 000	7 000
Materiál topenářsko - instalační	1	ks	48 000	13 000
Práce montážní – elektro				71 000
Práce montážní – instalační				36 000
Zkoušky : tlaková, topná, funkce, revize – paušál				6 000
Doprava a manipulace - paušál do 70 km				5 000
Cena				
Cena - technologie celkem				684 895
Cena - montáž, zkoušky, manipulace				118 000
Výsledná celková cena díla (bez DPH)			802 895 Kč	

4.4.2 Provoz

U návrhu s kogenerační jednotkou je problém s přebytkem výroby tepelné energie v létě. U kogenerační jednotky lze nastavit 3 stupně výkonu a tak je možné snížit výrobu tepelné energie. Zároveň se ale sníží i výroba elektrické energie. Proto je tedy nutné znát nebo spočítat jaké množství elektrické energie spotřebujeme za rok. Průměrnou roční spotřebu jsem vypočítal na 3,2 MWh za rok. Pokud necháme rezervu, tak můžeme snížit výkon na 4,1 kW_e a 10,6 kW_t. Teplo můžeme využít třeba na ohřev vody v bazénu. Další možností je uchování elektrické energie v domácí baterii a vypnutí chodu kogenerační jednotky.

Cena nakupovaného tepla od distributora je 635 Kč/GJ a cena elektrické energie je 4,78 Kč/kWh. Spotřeba paliva mi vyšla 2333 m³/rok, což je 24,96 MWh dodané energie. Při ceně 1415 Kč/MWh zaplatíme 35 318 Kč za rok.

4.4.3 Návratnost

Návratnost KGJ se vypočte:

$$N = \frac{I}{(Z_u \cdot (1 + N_{ce}) + Z_{zb} + Z_t \cdot (1 + N_{ct}) - Nt - P \cdot (1 + N_{cp}) - U)} =$$

$$= \frac{802895}{(26290 \cdot (1 + 0,07) + 8204 + 34290 \cdot (1 + 0,05) - 6744 - 35318 \cdot (1 + 0,04) - 4800)}$$

$$= 33,365 \rightarrow 33 \text{ let a 4 měsíce}$$

N(roky) – Návratnost investice,

I(Kč) – Celková investice,

Z_u(Kč) – Úspora el. energie provozem,

Z_{zb}(Kč) – Zisk ze zeleného bonusu,

Z_t(Kč) – Úspora tepla provozem,

N_i(Kč) – Náklady na provoz, (spotřeba energie),

U(Kč) – Cena údržby,

N_{ce}(%) – Roční nárůst ceny el. energie,

N_{cp}(%) – Roční nárůst ceny zemního plynu.

N_{ct}(%) – Roční nárůst ceny tepla.

4.5 FVE a tepelné čerpadlo

4.5.1 Investice

Tab. 4.3 „Tepelné čerpadlo - investice“

Položka	poč.	jedn.	cena/jedn.	cena (Kč)
Technologie tepelného čerpadla				
Tepelné čerpadlo Silent 120-DC	1	ks	126000	126000
Příslušenství TČ (tepelný výměník, oběh. čerpadlo)	součást TČ			0
Záložní a dotopový zdroj - elektrokotel	součást TČ			0
Ekvitermní regulace	součást TČ			0
Základní montážní sada TČ	1	ks	6500	6500
Nástěný držák či podstavec pod TČ	1	ks	1200	1200
Příslušenství pro přípravu teplé užitkové vody (TUV)				
Zásobník DZD OKC 300 NTR/HP	1	ks	17791	17791
Elektrická patrona G1 1/2" 2,5 kW	1	ks	2618	2618
Napojení zásobníku TUV na rozvody TUV	může být dodáno jako vícenáklad			
Příslušenství pro napojení TČ na top. soustavu - přesné určení dle projektu UT				
Nádrž expanzní 35/3	1	ks	1800	1800
Napojení TČ na rozvody UT	může být dodáno jako vícenáklad			0
Ostatní položky				
Rozvody hydraulické	5	m	500	2500
Elektrorozvody	5	m	250	1250
Materiál elektro - instalační	1	ks	2560	2560
Materiál topenářsko - instalační	1	ks	4380	4380
Práce montážní - elektro				4500
Práce montážní - instalační				8000
Zkoušky : tlaková, topná, funkce, revize				1000
Doprava a manipulace				1600
Cena				
Cena - technologie celkem				166599
Cena - montáž, zkoušky, manipulace				15100
Výsledná celková cena (bez DPH)	181 699 Kč			

Tab. 4.4 „FVE - investice“

Položka	Kč/Wp	Cena celkem (Kč)
Technologie FVE		
FV moduly	18,40	124 384
bojler - stávající	0,00	0
AL-konstrukce	5,00	33 800
AC/DC kabely a konektory	1,00	6 760
Drobný instalační materiál	1,00	6 760
Cena technologie FVE celkem	25,40	171 704
Ostatní náklady, které nejsou zahrnuty v ceně technologie		
Projednání připojení k distribuční síti, prováděcí projektová dokumentace, přípojka mezi střídačem a místem měření, revize	0,00	0
Montáž FVE, zprovoznění, zkoušky	5,00	33 800
Příplatek za nestandardní provedení (rozložení FV modulů do několika bloků na střeše, uložení FV modulů na nosné konstrukce pod žádaným úhlem, GREEN-BONO	0,00	0
Cena ostatních nákladů	5,00	33 800
Výsledná celková cena (bez DPH)	30,40	205 504

Výsledná celková cena FVE a TČ (bez DPH)	387 203 Kč
---	-------------------

4.5.2 Provoz

U návrhu s FVE a tepelným čerpadlem je potřeba řešit nízké sluneční ozáření panelů v zimě a při oblačném počasí. Výroba energie v prosinci je z mé navržené FVE pouze 155 kWh za měsíc (viz tab. „3.5“), což je 1/3 potřebné energie. Řešením by mohl být doplňkový zdroj elektrické energie např. větrná turbína, která by obnášela další investiční náklady. Dalším řešením by bylo odebírat elektrickou energii z distribuční sítě v době zimního období a v letním období přebytečnou energii prodávat. Toto řešení ale nespĺňuje podmínky zadání DP.

4.5.3 Návratnost

Cena nakupovaného tepla od distributora je 635 Kč/GJ. Cena nakupované elektřiny od distributora je průměrně 4,78 Kč / kWh.

Návratnost TČ s dotací a bez dotace se vypočte:

$$N = \frac{I}{(Z_t \cdot (1 + N_{ct}) - Nt \cdot (1 + N_{ce}) - U)} =$$

$$= \frac{181699}{(34290 \cdot (1 + 0,05) - 7846 \cdot (1 + 0,07) - 2000)} = 7,09 \rightarrow 7 \text{ let a 1 měsíc}$$

$$N_d \frac{106669}{(34290 \cdot (1 + 0,05) - 7846 \cdot (1 + 0,07) - 2000)} = 4,17 \rightarrow 4 \text{ roky a 2 měsíce}$$

N(roky) – Návratnost investice bez dotace,

N_d(roky) – Návratnost investice s dotací,

I(Kč) – Celková investice ,

Z_t(Kč) – Úspora tepla provozem ,

N_t(Kč) – Náklady na provoz, (spotřeba energie),

U(Kč) – Cena údržby,

N_{ce}(%) – Roční nárůst ceny el. energie,

N_{ct}(%) – Roční nárůst ceny tepla.

Návratnost FVE s dotací a bez dotace se vypočte:

$$N = \frac{I}{Z_u \cdot (1 + N_{ce})} =$$

$$= \frac{205504}{33503 \cdot (1 + 0,07)} = 5,73 \rightarrow 5 \text{ let a 9 měsíců}$$

$$N_d = \frac{55504}{33503 \cdot (1 + 0,07)} = 1,54 \rightarrow 1 \text{ rok a 6 měsíců}$$

N(roky) – Návratnost investice bez dotace,

N_d(roky) – Návratnost investice s dotací,

I(Kč) – Celková investice,

Z_u(Kč) – Úspora el. energie provozem,

N_{ce}(%) – Roční nárůst ceny el. energie,

4.6 Odběr el. energie z distribuční sítě

Pokud bych odebíral elektřinu pouze s distribuční sítě, se kterou bych topil a ohříval TUV, tak bych za celkovou spotřebu elektrické energie zaplatil při ceně 4,78 Kč/kWh:

Tab. 4.5 „Odběr energie z distribuční sítě“

Typ spotřeby	Spotřeba (kWh)	Celková cena (Kč)
Domácí spotřebiče	3188	15 239
TUV	9100	43 498
Vytápění	5900	28 202
Celkem	18 118	86 604

Závěr

Pro splnění zadání diplomové práce jsem musel vybrat zdroj tepelné energie a dále zdroj elektrické energie, tak aby byl rodinný dům nezávislý na distribuční síti. Vybral jsem tedy kogenerační jednotku, která vyrábí kombinovanou energii. Ze všech vypočítaných hodnot mi vyšlo, že je KGJ vhodným zdrojem. Výhodou je možnost regulovat výkon KGJ podle spotřeby energií v daném období. Obrovská nevýhoda u KGJ je investice, která je příliš vysoká a to 802 895 Kč. Dále každý rok musíme zaplatit za spotřebu paliva a to 35 318 Kč. KGJ se hodí tam, kde je doba běhu alespoň 6000 hod za rok. Uplatnění má v zařízeních jako jsou nemocnice, hotely nebo obytné domy s větším počtem bytů. Návratnost investice mi vyšla 33 let a 4 měsíce

Jako druhý návrh jsem zvolil fotovoltaické panely v kombinaci s tepelným čerpadlem. Oproti KGJ je investice velmi nízká a také můžeme získat dotaci pro tepelné čerpadlo až 75 000 Kč a pro FVE až 150 000 Kč. Pro akumulaci elektrické energie jsem zvolil tzv. domácí baterii od firmy Sonnenbatterie. Tento návrh ale nesplňuje nezávislost domu na distribuční síti, jelikož v zimním období nedokáže vyrobit dostatečné množství elektrické energie.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy: principy a příklady. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. 193 s. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.
- [2] Nulový dům [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie>
- [3] Plusový dům [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/120362-energeticky-plusovy-dum-vyrobi-vice-energie-nez-sam-spotrebuje>
- [4] Pasivní dům [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy>
- [5] RD Siesta plus, vlastnosti domu [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/siestaplus.html>
- [6] Tepelné čerpadlo [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teplna-cerpadla>
- [7] Elektrokotel [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/16772-kdy-se-vyplati-vytapet-elektrokotlem>, <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/19018-elektrokotle-jako-idealni-reseni-pro-vytapani-nizkoenergetickych-domu-a-novostaveb>
- [8] Rekuperace [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>
- [9] Přímotopy [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/10833-varianty-elektrického-vytapani-rozdeleni-podle-zdroje-tepla>
- [10] Výpočet tepelných ztrát RD [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-ztraty-objektu-dle-csn-06-0210>
- [11] Výpočet celkové roční potřeby energie na vytápění a ohřev TUV [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [12] Tepelné čerpadlo Silent 120 - DC (informace poskytl pan Josef Ledvina, intersekcce s.r.o.)
- [13] Rekuperační jednotka recoVair, typ VAR 260/4, Vaillant [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/rekuperacni-jednotka-recovair-var-260-4-9024.html>

- [14] Fotovoltaické panely [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [15] Kogenerační jednotka [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/energetika/kogenerace-pro-rodinne-domy-vyrabejte-teplo-a-elektrinu-najednou.aspx>
- [16] Větrná turbína Off-grid [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14174-vetrne-elektrarny-v-male-vetrne-elektrarny-v-cr>
- [17] Akumulace energie [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny>
- [18] Návrh fotovoltaických panelů (informace poskytl pan Josef Ledvina, intersekce s.r.o.)
- [19] Návrh akumulace enrgie [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/souboj-domacich-baterii-sonnenbatterie-vs-tesla>
- [20] Kogenerační jednotka Dachs 5,5 (informace poskytl pan Josef Ledvina, intersekce s.r.o.)
- [21] Nová zelená úsporám [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [22] *Domáci baterie ECO 8.0*. Dostupné z: <https://eegsolar.de/produkt/sonnenbatterie-hybrid-8-1/>
- [23] *Zelený bonu*. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5228943/ERV6_2019.pdf/7c470e71-3e3c-4f67-a6bd-5945852961d6
- [24] Kogenerační jednotka. Dostupné z: <https://senertec.com/wp-content/uploads/2016/09/Dachs-Infosheet-CZ.pdf>
- [25] Zásobník TUV – KGJ. Dostupné z: https://www.mall.cz/bojlery/drazice-okce-125-ntr22kw-model-2016?gclid=Cj0KCQjwuJz3BRDTARIsAMg-HxUT97Ipejq9UMjA4TO7bufXZE3PQu6e8r2JMkWekVpRhr2QI5gUSP0aAv4UEALw_wcB

Seznam obrázků a tabulek

Tab. 2.1 „Hodnoty pro Plzeň“	str. 21
Tab. 2.2 „Hodnoty pro výpočet energie pro vytápění“	str. 21
Tab. 2.3 „Hodnoty pro výpočet energie pro ohřev TUV“	str. 22
Tab. 2.4 „Technické parametry venkovní jednotky“	str. 25
Tab. 2.5 „Technické parametry vnitřní jednotky“	str. 25
Tab. 2.6 „Technické parametry zásobníku TUV typu OKC300 NTR/HP“	str. 28
Tab. 2.7 „Technické parametry rekuperační jednotky“	str. 31
Tab. 3.1 „Instalovaný výkon“	str. 35
Tab. 3.2 „Průměrná roční spotřeba“	str. 36
Tab. 3.3 „Globální ozáření Plzeňského kraje“	str. 39
Tab. 3.4 „Vyrobena energie FVE o výkonu 1 kWp“	str. 40
Tab. 3.5 „Vlastnosti fotovoltaických panelů“	str. 41
Tab. 3.6 „Technické parametry kogenerační jednotky“	str. 44
Tab. 3.7 „Technické parametry zásobníku TUV typu OKCE 125 NTR“	str. 45
Tab. 4.1 „Dotace pro FVE a TČ“	str. 48
Tab. 4.2 „KGJ - investice“	str. 51
Tab. 4.3 „Tepelné čerpadlo - investice“	str. 53
Tab. 4.4 „FVE - investice“	str. 54
Tab. 4.5 „Odběr energie z distribuční sítě“	str. 56
Obrázek č.1: Rodinný dům Siesta plus – vchod	str. 14
Obrázek č.2: Rodinný dům Siesta plus – terasa	str. 14
Obrázek č.3: Rodinný dům GS SIESTA – ptačí pohled	str. 15
Obrázek č.4: Rodinný dům Siesta plus – půdorys přízemí	str. 55
Obrázek č.5: Rodinný dům Siesta plus – půdorys 1. Patra	str. 16
Obrázek č.6: TC Silent 120 – DC	str. 24
Obrázek č.7: Vytápění podlahy	str. 27
Obrázek č.8: Vytápění pomocí radiátorů	str. 27
Obrázek č.9: Zásobník OKC 300 NTR/HP	str. 28
Obrázek č.10: Rekuperační jednotka	str. 30
Obrázek č.11: Schéma FVE napojené do distribuční sítě – tzv. přímý prodej	str. 38
Obrázek č.12: Schéma FVE napojené do distribuční sítě – tzv. zelený bonus	str. 39
Obrázek č.13: Globální ozáření	str. 40
Obrázek č.14: Zisky z ozáření modulu	str. 41
Obrázek č.15: Domácí baterie ECO 8.0	str. 43
Obrázek č.16: KGJ Dachs 5,5	str. 44
Obrázek č.17: Zásobník OKCE 125 NTR	str. 45
Obrázek č.18: Zelený bonus KVET – základní sazba	str. 49
Obrázek č.19: Zelený bonus KVET – doplňková sazba	str. 49

Příloha

Příloha č. 1 – Výpočet tepelných ztrát RD Siesta plus

Lokalita a vlastnosti budovy

Plzeň <input type="button" value="▼"/> (Tabulka)	Poloha budovy	Chráněná <input type="button" value="▼"/> ???
Venkovní výpočtová teplota t_e	-12 °C	Druh budovy
	<input type="button" value="NASTAVIT TEPLOTU U STĚN"/>	Osamělá <input type="button" value="▼"/> ???
Krajina	Normální <input type="button" value="▼"/>	Charakteristické číslo budovy B
		4 Pa ^{0.67} ???
		Přirážka p_2 na urychlení zátopy
		0 ???

Místnost (u obálkové metody to jsou další vlastnosti budovy)

Číslo a název místnosti	1 RD SiestaPlus
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 Pa ^{0.67} ??? <input type="button" value="📱"/>
Venkovní výpočtová teplota t_e	-12 °C ??? <input type="button" value="NASTAVIT TEPLOTU U STĚN"/>
Vnitřní výpočtová teplota t_i	20 °C (Tabulka)
Orientace místnosti	vnitřní místnost <input type="button" value="▼"/> => přirážka p_3 = 0 ???
Počet těsných dveří	2 <input type="button" value="▼"/> ???
Počet netěsných dveří	1 <input type="button" value="▼"/> ???
Charakteristické číslo místnosti M	0.7 ???
Tepelný zisk Q_z	0 W ???

Rozměry

Půdorysný rozměr a	8 m	Půdorysný rozměr b	13 m	Půdorysná plocha místnosti P	104 m ² ???
Konstrukční výška VK	7,18 m ???	Světlá výška VS	6,5 m ???	Vypočtená plocha obálkových konstrukcí ΣS ₁	509,5 m ² ???
Vytápěný objem V	746,7 m ³	Objem místnosti V _m	676 m ³	Sečtená plocha všech obálkových konstrukcí ΣS ₂	270,5 m ² ???

Teplota větracího vzduchu t _{vv}	19 °C ???
<input type="radio"/> Intenzita výměny vzduchu n	0,5 h ⁻¹ ???
<input checked="" type="radio"/> Objemový průtok	260 m ³ /h ???

Parametry obálkové konstrukce (místnosti / budovy)

	Typ ??? konstr.	Počet	t _{e,i} ??? [°C]	U ??? [W/m ² K]	Plocha konstrukce						Q _o [W]	Infiltrace		
					d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m ²]	S _d ??? [m ²]	S _v ??? [m ²]	S-S _d -S _v [m ²] ???		i _L (Tabulka) [m ³ /m.s.Pa ^{0,67}]	L ??? [m]	
1.	vložit smazat	SO	2	-12	0,11	8	3,5	28	0	0	56	197.1	x 10 ⁻⁴	
2.	vložit smazat	SO	2	-12	0,11	9,75	3,5	34.13	0	0	68.26	240.3	x 10 ⁻⁴	
3.	vložit smazat	SO	2	-12	0,11	6,5	2,5	16.25	0	0	32.5	114.4	x 10 ⁻⁴	
4.	vložit smazat	SO	1	-12	0,11	4	2,5	10	0	0	10	35.2	x 10 ⁻⁴	
5.	vložit smazat	SCH	2	-12	0,15	9,75	4	39	0	0	78	374.4	x 10 ⁻⁴	
6.	vložit smazat	SCH	2	-12	0,15	4	3,2	12.8	0	25.12	0.48	2.3	x 10 ⁻⁴	
7.	vložit smazat	OJ	11	-12	1,7	0,6	0,8	0.48	0	0	5.275	287.2	x 10 ⁻⁴	
8.	vložit smazat	OD	4	-12	1,7	1,3	1,2	1.56	0	0	6.24	339.5	x 10 ⁻⁴	
9.	vložit smazat	DO	2	-12	2,3	0,8	2	1.6	0	0	3.2	235.5	x 10 ⁻⁴	
10.	vložit smazat	OD	2	-12	1,7	0,6	2	1.2	0	0	2.4	130.6	x 10 ⁻⁴	
11.	vložit smazat	DO	1	-12	2,3	2	2	4	0	0	4	294.4	x 10 ⁻⁴	
12.	vložit smazat	OD	1	-12	1,7	2	2	4	0	0	4	217.6	x 10 ⁻⁴	

Tepelná ztráta prostupem			Tepelná ztráta větráním / infiltrací		
ΣQ_0	2468 W	???	Tepelná ztráta infiltrací Q_{inf} =	0 W	???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_c	0.151 W/m ² K	???	Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$ =	94 W	???
Přirážka p_1	0.02	???	Tepelná ztráta větráním Q_v =	94 W	???
Přirážka p_2	0	???	Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$ =	0.38	???
Přirážka p_3	0	???			
Q_p	2525 W	???			

Celková tepelná ztráta místnosti

Tepelná ztráta místnosti Q_c =	2618 W	???
Měrná tepelná ztráta místnosti q_c =	3.5 W/m ³	???