

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV ENERGETIKY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Energeticky soběstačný dům**

**Energy Self Sufficient House**

AUTOR: Matyáš Hruška  
STUDIJNÍ PROGRAM: Teoretický základ strojního  
inženýrství  
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Pavel Skopec, Ph.D.

PRAHA 2021

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hruška Jméno: Matyáš Osobní číslo: 484128  
Fakulta/ústav: Fakulta strojní  
Zadávající katedra/ústav: Ústav energetiky  
Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství  
Studijní obor: bez oboru

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energeticky soběstačný dům

Název bakalářské práce anglicky:

Energy self sufficient house

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat:

- 1) Rešerši problematiky výroby elektrické energie v malých zdrojích (v jednotkách kW).
- 2) Určení tepelné ztráty vybraného objektu a sestavení diagramu trvání potřeby tepla.
- 3) Bilanci spotřeby energií ve vybraném objektu.
- 4) Návrh vhodných variant pro pokrytí potřeby elektřiny a tepla a jejich zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Skopec, Ph.D., ústav energetiky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: 26.04.2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 04.06.2021

Platnost zadání bakalářské práce: 31.12.2022

Ing. Pavel Skopec, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Energeticky soběstačný dům vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne 4. 6. 2021

.....

Matyáš Hruška

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Pavlu Skopcovi, Ph.D., za odborné vedení této práce, cenné rady a pomoc. Dále děkuji panu Ing. Tomáši Vocílkovi za pohled do praxe navrhování ostrovních systémů. Nechci také zapomenout na rodinu a své blízké, kterým děkuji za podporu, bez které by vypracování bakalářské práce nebylo možné.

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá energetickou soběstačností v kontextu rodinného bydlení. V dané problematice byly analyzovány malé zdroje elektrické. Dále byl popsán konkrétní objekt, rodinný dům v Pardubickém kraji, pro který byla určena potřeba tepla, bilance spotřeby a výroby elektrické energie a následně vyhotoveny dva odlišné návrhy systému pro dosažení energetické soběstačnosti.

## **Klíčová slova**

energetická soběstačnost, rodinný dům, ostrovní systém, fotovoltaická elektrárna, obnovitelné zdroje energie

## **Annotation**

The bachelor thesis deals with energy self-sufficient detached housing. Following the topic an analysis of small-scale sources of electricity was performed. Then a specific house in the Pardubice region was selected for which the consumption of heat and electricity was determined together with balance of production and consumption. Based on the information obtained, two different designs of energy self-sufficiency systems were created.

## **Keywords**

energy self-sufficient, detached house, off grid system, photovoltaic power plant, renewable energy

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická část.....</b>	<b>9</b>
2.1	Fotovoltaické panely .....	9
2.2	Malá vodní elektrárna.....	11
2.3	Větrná elektrárna .....	13
2.4	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla – biomasa .....	14
2.4.1	Organický Rankinův cyklus.....	15
2.5	Mikrokogenerační jednotka Pellematic Condens_e .....	16
2.5	Motorgenerátor se spalovacím motorem .....	17
<b>3</b>	<b>Praktická část .....</b>	<b>18</b>
3.1	Zvolený objekt – dosavadní stav .....	18
3.1.1	Tepelná energie.....	18
3.1.2	Denostupně a diagram trvání teploty .....	19
3.1.3	Výpočet tepla pro ohřev teplé užitkové vody .....	21
3.1.4	Výpočet potřebného tepla pro vytápění .....	21
3.1.5	Výpočet topného výkonu .....	22
3.1.6	Analýza stávajícího topného systému.....	23
3.1.7	Elektrická energie .....	25
3.1.8	Instalovaná FV elektrárna.....	26
3.1.9	Bilance spotřeby a výroby .....	30
3.2	Návrhy systému .....	30
3.2.1	Návrh 1 .....	31
3.2.1.1	Plánování spotřeby.....	31
3.2.1.2	Rozšíření FV elektrárny.....	31
3.2.1.3	Doplňkové zdroje.....	31
3.2.1.4	Bateriové úložiště .....	33
3.2.1.5	Vytápění.....	34
3.2.2	Návrh 2 .....	34
3.2.2.1	Elektrocentrála .....	35
3.2.2.2	Vytápění.....	35
3.3	Zhodnocení .....	36
3.3.1	Energetická soběstačnost .....	36
3.3.2	Spolehlivost a uživatelský komfort.....	36

3.3.3	Investiční a provozní náklady .....	37
<b>4</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>40</b>
	<b>Seznam použité literatury a zdrojů.....</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam obrázků, tabulek a grafů .....</b>	<b>46</b>
	<b>Seznam zkratk.....</b>	<b>47</b>

# 1 Úvod

Soběstačnost bydlení je v dnešní době probírána čím dál častěji. Nové technologie umožňují získávat energii z místních zdrojů, často způsobem šetrným k životnímu prostředí. Energeticky soběstačné objekty nabízí množství nových možností. Výhodou zcela soběstačných domů je právě jejich nezávislost na rozvodných sítích – je možné je postavit i na odlehlých místech, daleko od rozvodné sítě, často blíž přírodě. Soběstačnost však zpravidla není zadarmo. Elektrickou energii je třeba vyrábět a akumulovat. Její výroba je drahá, případně závisí na počasí, ročním období nebo denním a nočním cyklu.

Další motivací může být právě environmentální rozměr takového projektu. Pokud jsou potřebná elektřina a teplo vyrobeny lokálně z obnovitelných zdrojů, snižuje se závislost na elektrárnách spalujících fosilní paliva. Lokální, decentralizované využití zdrojů energie bývá uváděno jako možná alternativa k velkým uhelným elektrárnám a teplárnám.

Soběstačný objekt si lze představit různě. Soběstačnost není nový koncept a možností, jak soběstačný dům uchopit, je mnoho. Jak již bylo zmíněno, soběstačnost znamená zajistit si vše, co potřebuji, sám, z vlastních zdrojů. Není však lehké jednoznačně vymezit hranici mezi soběstačným a nesoběstačným. Dobrým příkladem toho, jak tenká tato hranice může být, je plynová bomba na vaření. Jedná se o zdroj, který je možné provozovat bez přívodu plynu, ale je to zdroj omezený, který není možné lokálně doplnit. Logicky se nabízí otázka, je-li takový objekt ještě soběstačný, či nikoliv [1].

Dům může být energeticky soběstačný pouze účelově, tzn. mít vlastní zdroj elektřiny a tepla, ale v případě potřeby sáhnout do sítě, nebo naopak do ní energii doplňovat, když by mělo dojít k přebytku.

Další, ještě odvážnější představou je objekt skutečně energeticky nezávislý, tzn. takový, který je zcela odříznut od elektrické sítě, plynovodu, případně rozvodu tepla, a potřebu elektřiny i tepla uspokojuje pouze z vlastních zdrojů.

Tato bakalářská práce se bude zabývat technologiemi a systémy, které lze využít jako prostředků k vytvoření energeticky soběstačného domu. Práce je rozdělena na část teoretickou rešeršní a praktickou. Rešeršní část je zaměřena na problematiku výroby elektrické energie v malých zdrojích. V praktické části byla pro konkrétní vybraný objekt vytvořena analýza spotřeby energií, na jejímž základě byly připraveny dva návrhy vhodných variant pokrytí potřeby elektřiny a tepla. Po představení návrhů bylo provedeno jejich celkové zhodnocení.



## 2 Teoretická část

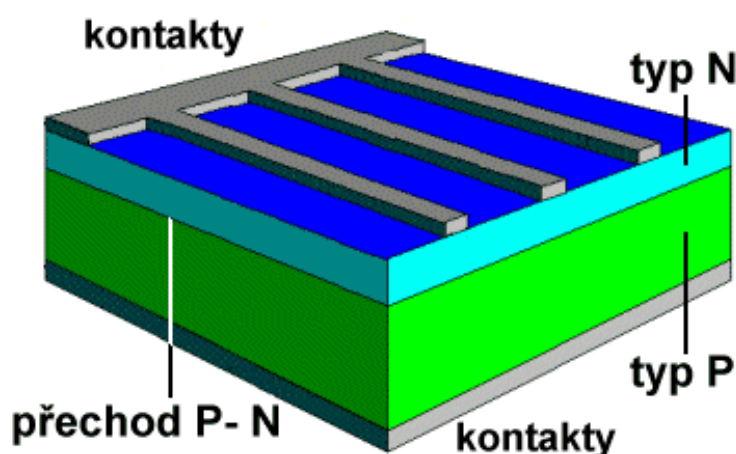
### 2.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické (FV) panely jsou asi nejběžněji využívanou technologií pro lokální výrobu elektrické energie. Jejich hlavními výhodami jsou jejich značná univerzálnost a nepřilíš komplikovaná instalace a provoz.

FV panely fungují na principu FV jevu, kdy fotony ze slunce vyrazí z krystalické mřížky křemíku elektron. Aby se tak stalo, musí mít foton, tedy záření, dostatek energie. Ta závisí přímo na vlnové délce – čím kratší je vlnová délka záření, tím větší je energie fotonu tohoto záření. Pro uvolnění elektronu z krystalické mřížky křemíku je mezní hodnota vlnové délky přibližně 1 105 nm, což odpovídá infračervenému záření. To v praxi znamená, že ta záření s kratší vlnovou délkou, mezi které patří (také) viditelné spektrum, mají dostatečnou energii a mohou elektron z krystalické mřížky křemíku vyrazit [4].

Křemík je vhodným materiálem hned z několika důvodů. Jeho fyzikální vlastnosti jsou výhodné, je to snadno dostupný prvek a je možné jej zpracovat až do téměř absolutní čistoty.

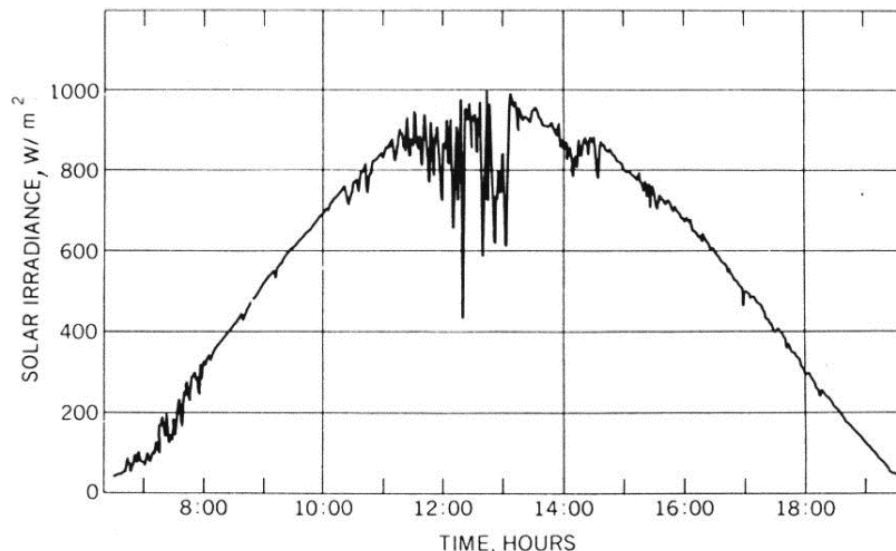
FV článek si lze zjednodušeně představit jako velkoplošnou diodu. Dva polovodiče jsou odděleny P-N přechodem. Na polovodič typu N, kde je přebytek záporně nabitých elektronů, dopadá sluneční záření, které uvolňuje další elektrony. P-N vrstva zabraňuje přechodu elektronů z N na P, ale ne naopak. Dojde k nahromadění elektronů a mezi vrstvami vzniká elektrické napětí. Schematické znázornění konstrukce FV článku je uvedeno na obrázku č. 1.



Obrázek č. 1 Řez FV panelem [4]

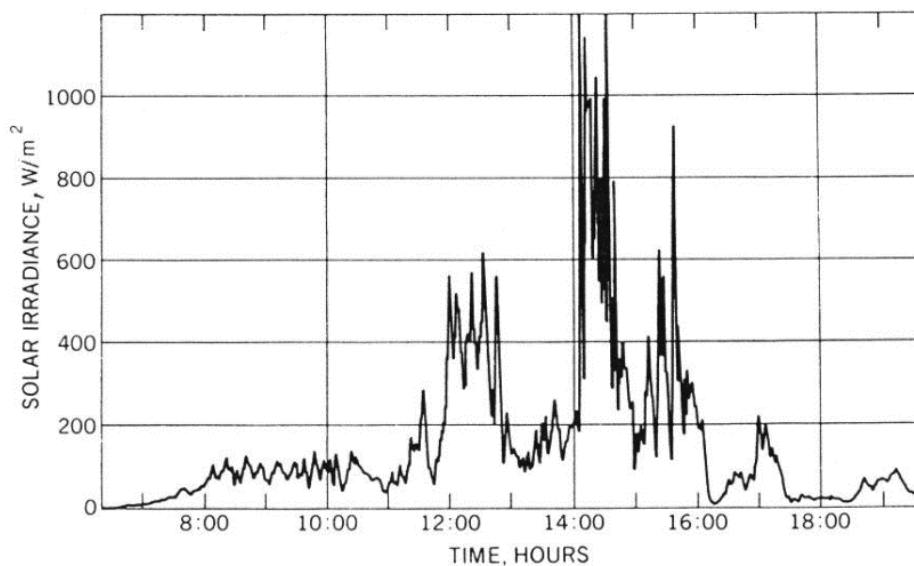
Účinnost dnešních FV panelů v některých případech dosahuje hodnoty až 24 % [5].

Značnou nevýhodou je závislost na počasí. Pokud nesvítí slunce, FV panely elektřinu nevyrábějí. Jak lze vidět na grafu č. 1, v bezoblačný slunečný den lze očekávat téměř parabolický průběh dopadající intenzity záření s vrcholem mezi 13. a 14. hodinou.



**Graf č. 1 Intenzita slunečního záření v bezoblačný den [8]**

Naopak proměnlivá oblačnost má za následek kolísání intenzity dopadajícího záření, jak je patrné z grafu č. 2.



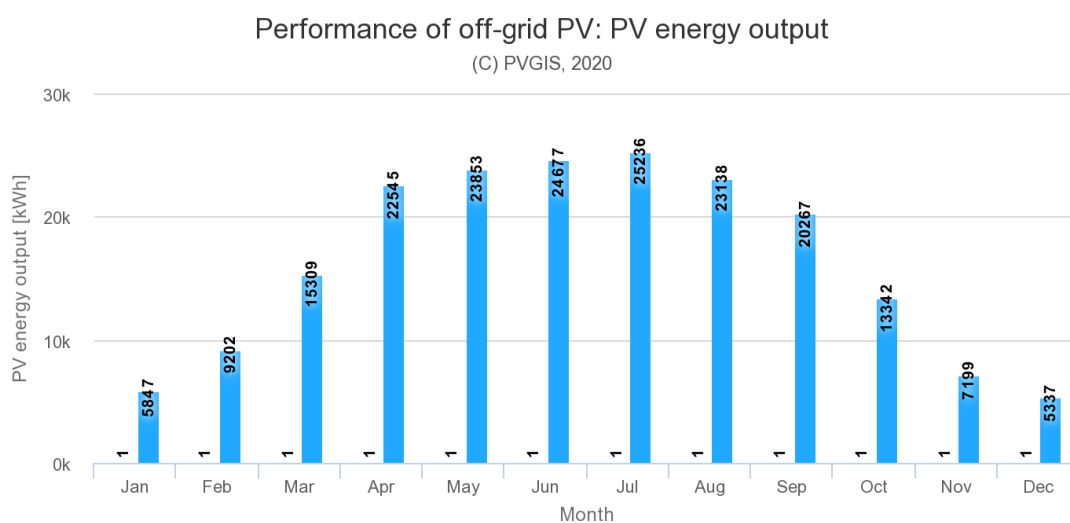
**Graf č. 2 Intenzita slunečního záření během dne s proměnlivou oblačností [8]**

Výkon FV panelů je velmi nestálý, a proto je praktické, pro ostrovní systémy v podstatě nezbytné, elektrickou energii akumulovat. Nejčastějším řešením bývají bateriová úložiště.

Ta jsou ale stále velmi nákladná a jejich zapojení bývá komplikované, proto celý systém zpravidla zásadně prodraží.

Vliv na účinnost FV panelů má také jejich sklon a orientace. Pokud chceme maximalizovat výkon panelů, je vhodné zvolit naklonění okolo 35° s orientací na jih nebo jihozápad. Naším cílem je, aby slunce vždy ozářilo co největší plochu FV panelu.

Slunce také svítí více v létě než v zimě, proto může nastat situace, že v létě bude elektrické energie nazbyt, a naopak v zimě bude energie scházet. Pokles výroby v zimních měsících je výrazný, jak lze vidět na grafu č. 3.



**Graf č. 3 Vývoj výkonu FV elektrárny 6,6 kWp, východní Čechy, 2020** [9]

Tento pokles lze do určité míry vykompenzovat vyšším nakloněním. Vyšší sklon (45°) FV panelů nám pomůže zvýšit efektivitu právě v zimních měsících, kdy je energie méně. Naopak v létě budou panely s vyšším sklonem méně účinné. Tímto způsobem je možné do určité míry vykompenzovat vysoký výkon v letním období a nižší v období zimním [7].

## 2.2 Malá vodní elektrárna

Vodní energii využívají lidé již celá staletí. Principem je využít energii tekoucí vody, pomocí vodní turbíny ji přeměnit na energii mechanickou a tu dále na energii elektrickou. Tato technologie je v dnešní době dobře zvládnutá a může být stabilním zdrojem elektrické energie pro vlastní spotřebu.

Pro úspěšnou realizaci jsou zásadní vlastnosti dané lokality. Průtok v průběhu celého roku, spád, možnost akumulace vody, náročnost vyvedení výkonu – to vše jsou veličiny, které hrají významnou roli. Další komplikací může být administrativní stránka věci. Je třeba dodržet všechny podmínky pro výstavbu nařízené správou daného povodí.

Vhodnou lokalitou pro domácí elektrárnu jsou bývalé vodní mlýny, stavby v blízkosti řek a zejména jezů, vodních přivaděčů nebo mezi rybníky. Malé a domácí vodní elektrárny se vyskytují na menších vodních tocích. Z ekonomických a také ekologických důvodů se často musejí obejít bez rozsáhlých vodních nádrží, které slouží jako zásobárna vody stabilizující podmínky provozu dané vodní turbíny. Je tedy stěžejní je navrhnout na míru podmínkám lokality. Průtok v malých tocích se mění v závislosti na ročním období a úhrnu srážek. Stále se však jedná o stabilní a spolehlivější zdroj elektrické energie. Na rozdíl od FV panelů vodní turbína vyrábí elektrickou energii i v noci, a není tak závislá na počasí jako energie z větru či slunce.

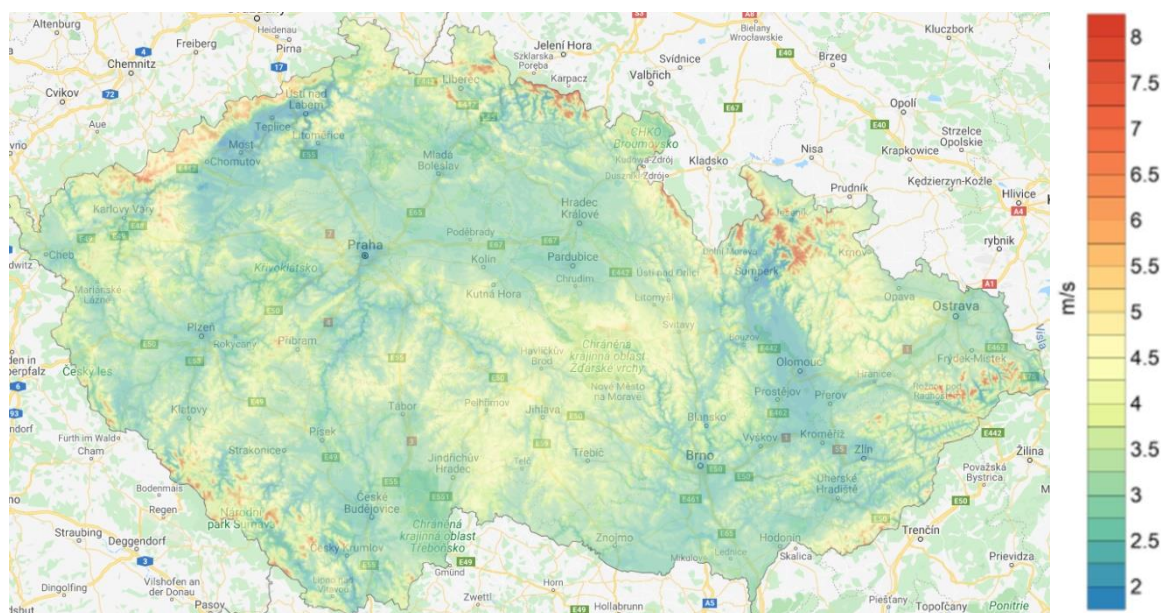
Vodní elektrárny jsou považovány za jeden z nejčistších zdrojů energie, ale i zde jsou určitá environmentální rizika. Vodní elektrárny mohou mít negativní vliv na ekosystém daného toku a jejich nádrže mohou bránit migraci ryb, měnit teplotu vody nebo mít příliš velký odběr vody z řečiště [11].

## 2.3 Větrná elektrárna

Větrná mikroelektrárna je další možností, jak lokálně a udržitelně využít energii prostředí k výrobě elektřiny. Pro použití v domácnostech se uvažují větrné elektrárny s výkonem do 2,5 kW a průměrem rotoru do 3 m.

Je zřejmé, že výkon větrné elektrárny bude výrazně záviset na rychlosti větru v dané lokalitě a počtu větrných hodin. Je také důležité, aby měla elektrárna kolem sebe dostatek prostoru, kdy by proudění větru neměly bránit překážky v podobě budov nebo vzrostlých stromů.

Efektivní provoz větrné mikroelektrárny vyžaduje rychlost větru alespoň 4–6 m/s. V České republice není takových větrných lokalit mnoho, jak je patrné na obrázku č. 4 – proto je tento typ elektráren v České republice spíše vzácností.



Obrázek č. 2 Mapa rychlosti větru v České republice ve výšce 10 m [12]

Pořizovací ceny větrné mikroelektrárny se pohybují v rozmezí 15–70 tis. Kč. Její značnou výhodou oproti FV panelům je, že může vyrábět elektřinu po celý den a její výkon je také méně ovlivněn ročním obdobím [13].

Jedním z příkladů malé větrné elektrárny může být model AP1200 českého výrobce AERPLAST s.r.o. s průměrem rotoru 3,2 m a jmenovitým výkonem 1,2 kW při rychlosti větru 10 m/s a rozběhovou rychlostí 3 m/s (obrázek č. 5). Cena za instalaci této elektrárny přesahuje 50 tis. Kč včetně DPH.



Obrázek č. 3 Malá větrná turbína AP1200, Concept house Ostrava [14]

## 2.4 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla – biomasa

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) je běžná v rozsáhlých systémech o tepelných výkonech v řádech desítek až stovek MW. Elektrárny vyjma, výroby elektřiny typicky zásobují teplem okolní města a vesnice. Existují ale i řádově daleko menší zařízení vhodná pro lokální výrobu elektřiny a tepla.

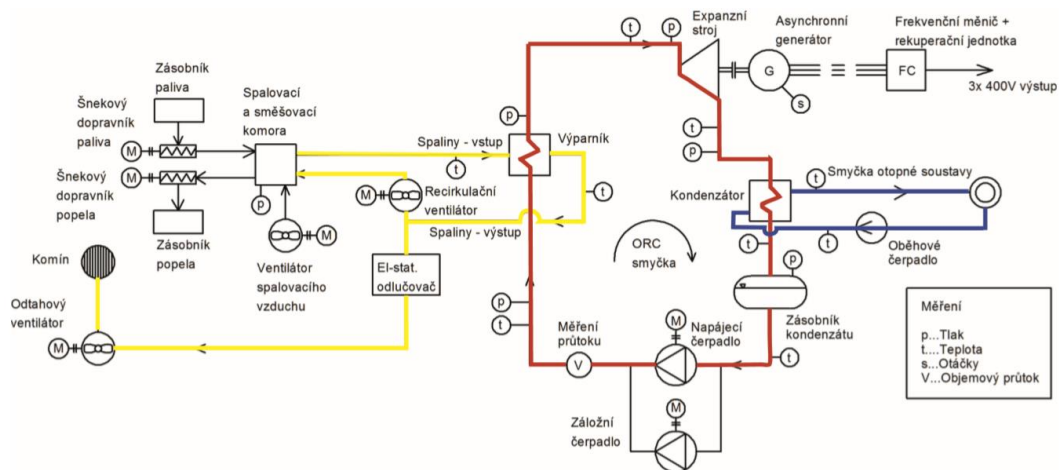
### 2.4.1 Mikro kogenerační jednotka Wave

Jedním z nich je i elektrárna Wave – jedná se v podstatě o plně automatický kotel na biomasu, který krom tepla dokáže vyrobit také určité množství elektrické energie, pokrýt vlastní spotřebu a zbytek přivést do sítě.

Princip fungování je založen na přeměně tepelné energie uvolněné spálením dřevní štěpky na elektrickou, a to prostřednictvím organického Rankinova cyklu (ORC). Pracovní cyklus je chlazen otopnou vodou, která je využívána pro vytápění.

Zařízení jde pro lepší pochopení rozdělit do tří okruhů, které jsou uvedeny na obrázku č. 6.





**Obrázek č. 4 Technologické schéma mikrokogeneračního zařízení Wave [15]**

Jedná se o okruh spalin (zvýrazněn žlutě), okruh pracovní látky (červeně) a okruh otopné vody (modře).

- **Okruh spalin:** ze spalovací komory jsou odváděny spaliny do směšovací komory, kde se smísí s již zchlazenými spalinami. Směs o teplotě přibližně 650 °C předá ve výparníku své teplo pracovní látce ORC. Část spalin se odvádí zpět do směšovací komory, zbytek spalin odchází do komína.
- **Okruh pracovní látky:** pracovní látka zde putuje z výparníku do expanzního stroje (lamelového expandéru), kde se tepelná a tlaková energie (přibližně 180 °C a 5 bar) přemění na energii mechanickou. V asynchronním generátoru se transformuje na energii elektrickou. Pracovní látka má i po expanzi značnou teplotu a tlak. Stále ve formě páry vstupuje do kondenzátoru, kde předává teplo otopné vodě a absolutně kondenzuje. Kondenzát je zachycen a odčerpán zpět do výparníku k opětovnému ohřátí. Tím se ORC uzavírá.
- **Okruh otopné vody:** jak bylo řečeno, otopná voda je ohřívána v kondenzátoru, kde slouží jako chladicí médium. Nominální teplotní spád činí 80/60 °C. To v praxi znamená, že voda do otopné soustavy vstupuje za teploty 80 °C a zpět se vrací za teploty 60 °C.

#### 2.4.1.1 Organický Rankinův cyklus

ORC je podobný cyklu Rankin-Clausiovu, který je používán v elektrárnách. Hlavní rozdíl je v pracovní látce – zatímco u Rankin-Clausiova cyklu se používá voda, pracovní látkou ORC jsou zpravidla organické sloučeniny s nízkým bodem varu. To umožňuje vyšší efektivitu při nižších teplotách.

Mezi výhody ORC patří:

- výhodné termodynamické vlastnosti, jako jsou nízká tepelná kapacita a velká molární hmotnost pracovní látky,
- zvýšená účinnost turbíny plynoucí z vysoké molekulární hmotnosti pracovní látky,
- v turbínách či jiných typech expanzních strojů nedochází ke kondenzaci, jelikož expanze končí v oblasti přehřáté páry,
- možnost rozšíření decentralizované energetiky [17].

Takový kotel si nejen vyrábí sám elektřinu pro svůj provoz, ale navíc dokáže energii produkovat i pro další strategická zařízení. V kombinaci s bateriovým úložištěm a případně i s FV panely může být dosaženo značné energetické soběstačnosti. Například v obci Mikolajice tato mikroelektrárna spolu s FV panely zajišťuje teplo a elektrickou energii pro tři obecní budovy. [18]

## 2.4.2 Mikrokogenerační jednotka Pellematic Condens\_e

I zde se jedná v podstatě o automatický kotel na biomasu – v tomto případě pelety, který kromě tepla vyrábí také elektrickou energii. Rakouský kotel Pellematic Condens\_e s integrovaným Stirlingovým motorem disponuje tepelným výkonem 10 kW a elektrickým výkonem 600 W. Tím se jedná ještě o menší zdroj, než jakým je více popsána elektrárna Wave. Výkonem i rozměry je tady vhodný pro domácí použití. [19]

### 2.4.2.1 Stirlingův motor

Stirlingův motor je jednoduchý pístový motor s vnějším spalováním, který byl vynalezen na počátku 19. století jako konkurence pro parní stroj. Pro jednoduchost si ho lze představit jako pístem uzavřený válec který je na jedné straně zahříván a na druhé straně ochlazován. Uvnitř válce se pohybuje přehaněč – druhý, prostupný píst, který periodicky přehání pracovní látku ze zahřáté části válce do studené. Oba písty jsou připojené na stejný setrvačnick, jejich pohyb je pouze o půl periody posunutý. Pracovní látkou je plyn, nejčastěji se jedná o helium. Pracovní cyklus motoru se skládá ze dvou izotermických a dvou izochorických dějů. Zahřátý plyn expanduje, tím vysune první píst a vykoná práci, současně tím byl plyn přesunut přehaněčem do studené části kde se ochlazuje, jeho tlak klesá. Ochlazený plyn je následně stlačen pracovním pístem současně je plyn převaděčem opět přesouván na teplý konec kde se znovu zahřívá a cyklus se opakuje. Pro zvýšení účinnosti je součástí motoru také regenerátor, který je umístěn mezi teplým a studeným koncem a slouží jako vnitřní tepelný výměník. Existují také další konstrukční řešení – je možné použít dvou válců a různě je upořádat, ale princip je stále stejný.



Mezi výhody Stirlingova motoru patří jeho jednoduchost, nízká hlučnost a malé servisní náklady. Nevýhodou je poměrně k výkonu vysoká hmotnost a cena [20].

## **2.5 Motorgenerátor se spalovacím motorem**

Motorgenerátor se spalovacím motorem neboli elektrocentrála je zařízení složené ze spalovacího motoru a generátoru. Pro svou spolehlivost je hojně využíván jako nouzový zdroj elektrické energie. Motorgenerátor může sloužit na stavbě bez možnosti stavebního připojení nebo jako záložní zdroj důležité infrastruktury, jako jsou například nemocnice. V kontextu ostrovních systémů jsou využívány především jako záložní zdroje elektrické energie.

Jejich provoz je v porovnání s jinými zdroji elektrické energie drahý a mimo to je také spojen s častou údržbou, pravidelným doplňováním paliva a hlukem. Není také možné mluvit o soběstačnosti zdroje, jak byla definována v úvodu této práce, palivo není lokálního charakteru, a je tedy třeba jej dovážet. Ze zmíněných důvodů bývá v ostrovních domech elektrocentrála provozována co možná nejméně, a to pouze v případech, že jiné zdroje elektrické energie nejsou momentálně k dispozici.

Elektrocentrály lze rozdělit dle potřeby paliva na benzínové, dieselové a plynové. Benzínové elektrocentrály bývají konstruovány na krátkodobé užívání a mívají nižší výkon, mezi jejich přednosti patří nízká váha a kompaktní rozměry. Dieselové jednotky jsou typicky výkonnější a jsou konstruovány pro vyšší zátěž. Plynové elektrocentrály se podobají benzínovým, ale jsou ekologičtější a jejich provoz je levnější [21].

## 3 Praktická část

### 3.1 Zvolený objekt – dosavadní stav

Pro účely této práce byl vybrán konkrétní objekt, rodinný dům v Pardubickém kraji, na kterém chci demonstrovat možné využití výše zmíněných technologií pro dosažení energetické nezávislosti objektu.

Jedná se o dvoupatrový rodinný dům postavený v roce 2000, v roce 2019 byl rozšířen o přístavbu. Celková obytná plocha domu je 197 m<sup>2</sup> (obrázek č. 7).



Obrázek č. 5 Vybraný objekt – rodinný dům, Pardubický kraj, jižní strana

#### 3.1.1 Tepelná energie

Výpočet tepelných ztrát byl proveden na základě projektové dokumentace (Tabulka č. 1), kde byla tepelná ztráta původního rodinného domu určena obálkovou metodou 8,3 kW.



- Průměrná vnitřní teplota (zvolena):  $t_{is} = 20 \text{ °C}$ .

$$D = (t_{is} - t_{es}) \times d = (20 - 7,7) \times 236 = 2\,902,8$$

### Postup výpočtu

Nejdříve jsem sestavil diagram trvání teplot pro průměrné otopné období. Při výpočtu jsem využil vztahu:

$$\tau = \frac{n}{d},$$

v němž hodnota  $\tau$  vyjadřuje poměr mezi počtem dnů s určitou teplotou k celkovému počtu dní otopné sezóny.

Ve vztahu:

$$\theta = \frac{t_{em} - t_e}{t_{em} - t_{ev}}$$

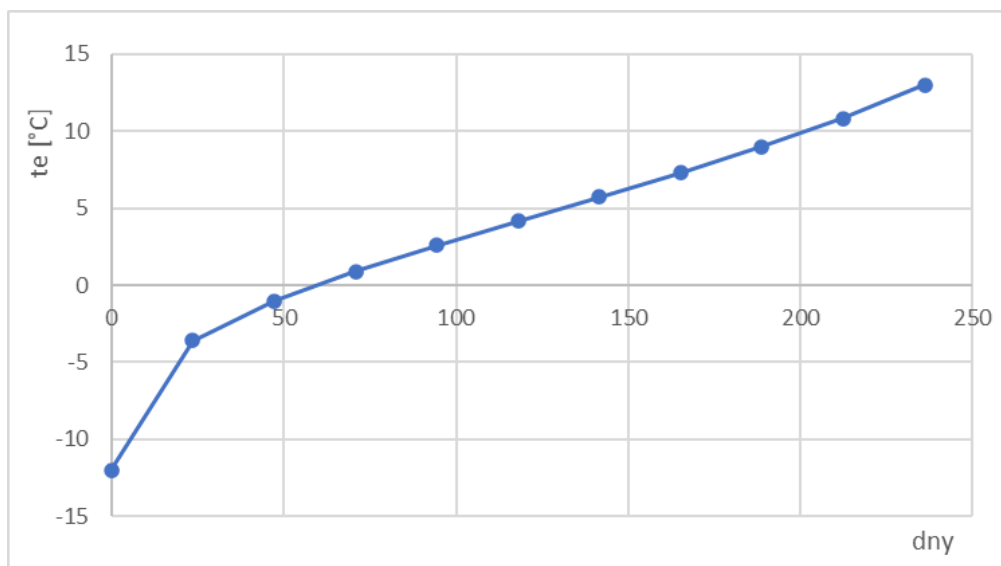
pak  $t_e$  představuje denní střední venkovní teplotu. Do tabulky jsem nejdříve doplnil hodnoty  $\tau$  v intervalu 0 až 1 a následně dopočítal  $\theta$  dle vztahu:

$$\theta = (1 - \tau)^{0,985 \cdot \tau^{-0,626}}.$$

Z výše uvedených vztahů jsem pak vyjádřil a dopočítal hodnoty  $n$  a  $t_e$ . Výsledek výpočtu je uveden v tabulce č. 1 a graficky znázorněn v grafu č. 4.

**Tabulka č. 2 Výpočet hodnot  $n$  a  $t_e$**

$\tau$	$\theta$	$n$	$t_e$
0	1	0	-12
0,1	0,64	23,6	-3,59
0,2	0,54	47,2	-1,03
0,3	0,47	70,8	0,9
0,4	0,40	94,4	2,59
0,5	0,34	118	4,17
0,6	0,28	141,6	5,72
0,7	0,22	165,2	7,31
0,8	0,15	188,8	8,99
0,9	0,08	212,4	10,83
1,0	0	236	13,00



Graf č. 4 Univerzální diagram trvání teplot v otopném období

### 3.1.3 Výpočet tepla pro ohřev teplé užitkové vody

Dalším důležitým faktorem je spotřeba tepla na ohřev teplé užitkové vody (TUV), se kterou je třeba počítat celoročně. Ta byla spočítána z kalorimetrické rovnice.

$$Q_{tuv} = m \times c_{wh} \times (t_1 - t_2)$$

$$c_{wh} = \frac{4\,186}{3\,600} \times \frac{W \times h}{kg \times K}$$

Množství spotřebované TUV je velmi individuální, zpravidla se však uvažuje o denní spotřebě 50 l vody o teplotě 60 °C na člena domácnosti. Pro šestičlennou domácnost tedy vychází:

- denní spotřeba tepla pro ohřev užitkové vody:  $Q_{tuv} = 17,4$  kWh/den,
- roční spotřeba tepla pro ohřev užitkové vody:  $Q_{tuv} = 6,37$  MWh/rok.

Potřebný tepelný výkon pro ohřev TUV je třeba zajistit celoročně nezávisle na venkovních teplotách. Akumulační nádoba systému umožňuje se TUV předzásobit, proto je možné potřebný výkon rozložit do 12 hodin i do celého dne. Pro další výpočty byl zvolen časový interval 8 hodin, a tedy potřebný výkon pro ohřev TUV byl stanoven na 2,2 kW.

### 3.1.4 Výpočet potřebného tepla pro vytápění

Potřebné teplo pro vytápění lze dopočítat dle vztahu:

$$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \times \eta_r} \times \frac{24 \times Q_c \times D}{(t_{is} - t_e)}$$

- Tepelná ztráta objektu (stanovena dle stavební dokumentace): 10 kW.

- Opravný součinitel (zvolen pro rodinný dům regulovaný prostorovým termostatem):  $\varepsilon = 0,71$ .
- Účinnost rozvodů a účinnost obsluhy (stanoveny na doporučovanou hodnotu):  $\eta_r$  a  $\eta_0 = 0,95$ .

$$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \times \eta_r} \times \frac{24 \times Q_c \times D}{(t_{is} - t_e)} = \frac{0,71}{0,95 \times 0,95} \times \frac{24 \times 10 \times 2902,8}{(20 - (-12))} = 17,127 \frac{MWh}{rok}$$

### 3.1.5 Výpočet topného výkonu

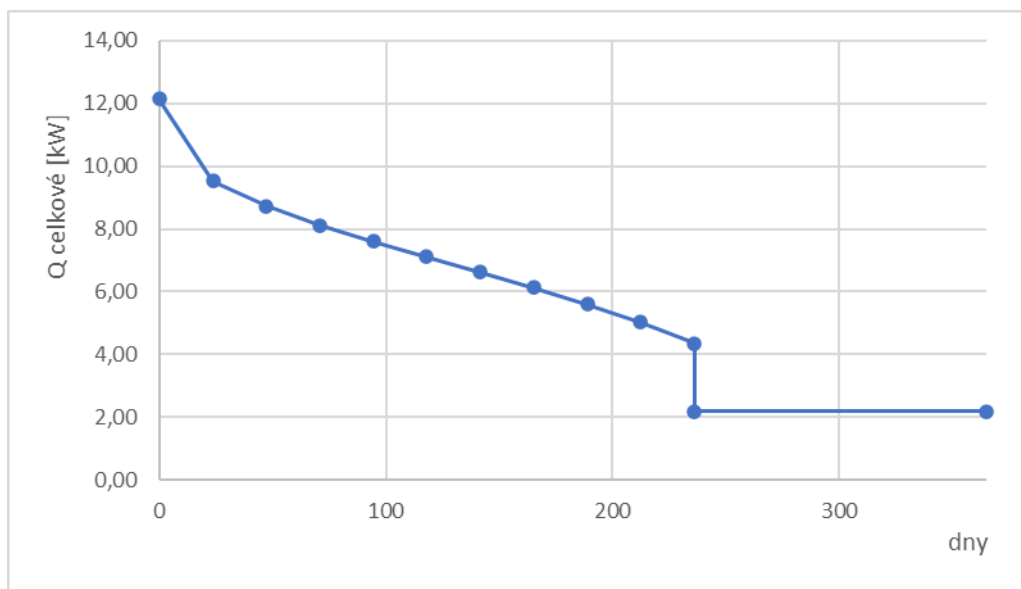
Z výše uvedených rovnic lze vyjádřit potřebný výkon  $Q_c$  jako:

$$Q_c = \frac{\eta_0 \times \eta_r}{\varepsilon} \times \frac{(t_{is} - t_e) \times Q_{vyt,r}}{24 \cdot D}$$

Bylo stanoveno, že potřebný topný výkon při venkovní teplotě  $-13 \text{ }^\circ\text{C}$  je 10 kW. Z již spočtených hodnot byl dopočítán také potřebný výkon v závislosti na venkovní teplotě. Po přičtení potřebného výkonu na ohřev užitkové vody, lze sestavit roční křivky trvání výkonů (tabulka č. 2, graf č. 5).

**Tabulka č. 3 Roční křivky trvání výkonů – data**

$n$ [dny]	$Q_{celk}$ [kW]
0	12,1
23,6	9,5
47,2	8,7
70,8	8,1
94,4	7,6
118,0	7,1
141,6	6,6
165,2	6,1
188,8	5,6
212,4	5,0
236	4,4
236	2,2
365	2,2



**Graf č. 5 Diagram trvání výkonů**

Celková roční potřeba tepla na vytápění i ohřev TUV byla na základě provedených výpočtů stanovena 23,5 MWh.

### 3.1.6 Analýza stávajícího topného systému

Pro vytápění a přípravu teplé vody je využívání kotel Atmos C 18 S na pelety a kusové dřevo, ten pracuje v kombinaci s osmi solárními kolektory. Dalším zdrojem tepla je krb, který je ale využíván jen příležitostně.

Kotel Atmos C 18 S spaluje jak pelety, tak kusové dřevo. Výhodou spalování pelet je snadná regulace a komfortní provoz bez nutnosti častého přikládání. Doplnit zásobník je nutné přibližně jednou týdně, v závislosti na provozu. Výhodou spalování kusového dřeva je jeho cena a snadná dostupnost. Účinnost kotle uváděná výrobcem je 83–91 % [24].

V topném období 2019/2020 byla vedena statistika, kdy a kolik bylo do zásobníku doplňováno pytlů pelet. V tomto roce byly v kotli spalovány pouze pelety. Roční spotřeba dosáhla v roce 2019 celkem 2 815 kg pelet. Statistiky z jiných let nejsou k dispozici, protože se kombinovalo spalování pelet a kusového dřeva.

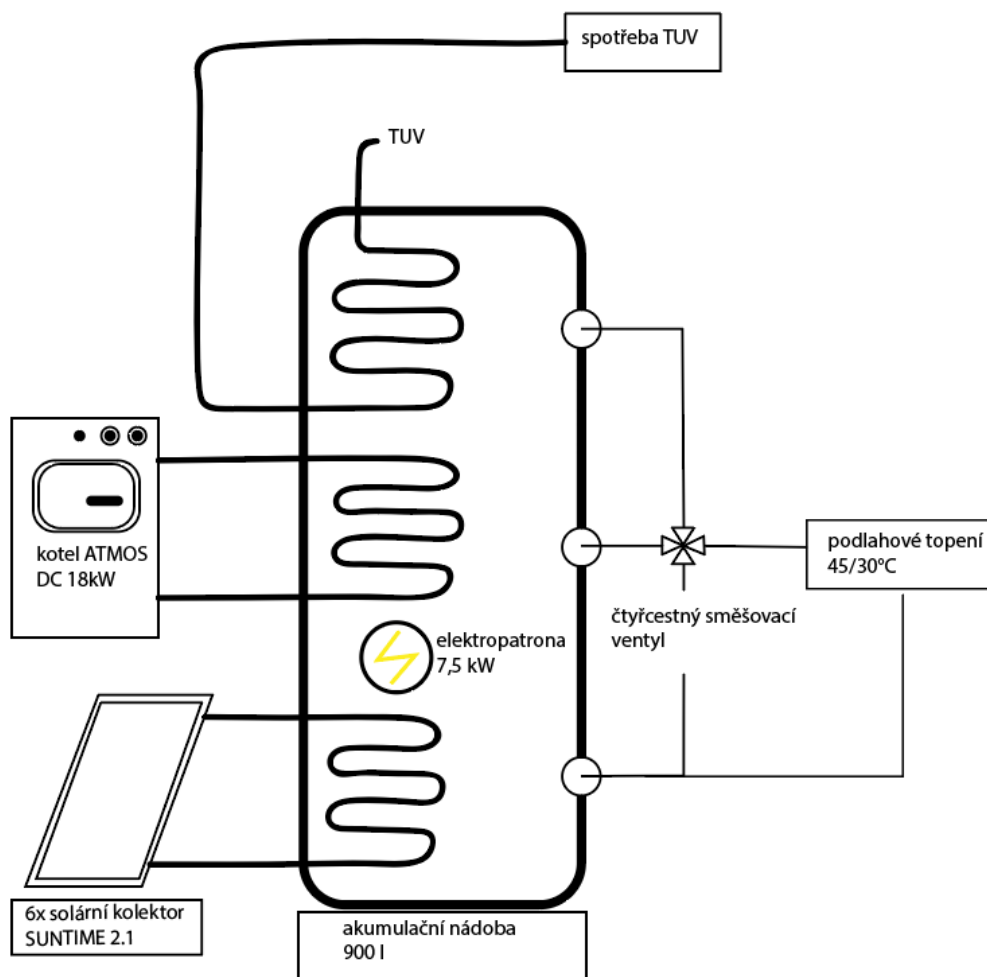
Pelety dle tzb-info.cz mají výhřevnost  $H_{MJ} = 16,5$  MJ/kg [25]. Kotel je napojen na akumulární nádobu, pracuje tedy převážně na nominální výkon; z tohoto důvodu je možné počítat s účinností uváděnou výrobcem. Teplo uvolněné spálením 2 815 kg pelet v kotli s účinností 88 % bylo spočítáno dle vztahu:

$$Q_{kotel} = \frac{M \times H_{MJ} \times \eta}{3,6} = \frac{2\,815 \times 16,5 \times 0,88}{3,6} = 11\,353,8 \text{ kWh.}$$

Na jižní střeše je umístěno 8 solárních kolektorů: 4x kolektor SUNTIME 2.1 a 4x starší kusově vyráběný kolektor bez dohledatelného jména, účinnosti nebo jiných technických parametrů. Na základě zkušeností z provozu lze odhadnout, že tepelné zisky starších kolektorů jsou zhruba poloviční v porovnání s novějším typem SUNTIME 2.1.

Kolektory za slunečných dní vyhřejí vodu v akumulární nádobě, která pak slouží k vytápění a spotřebě. Celkové využitelné tepelné zisky solární soustavy lze jen obtížně určit z důvodu neznámých technických parametrů staršího typu kolektorů. Zjednodušený výpočet dle normy TNI 73 0302 byl proveden pomocí online kalkulačky na webu tzb.info.cz pro 6 panelů SUNTIME 2.1 [26].

Celkové využitelné tepelné zisky solární soustavy (obrázek č. 9) byly určeny 4 210 kWh/rok. Vzhledem k neznámým technickým parametrům čtyř solárních kolektorů je pravděpodobná jistá nepřesnost.



Obrázek č. 8 Zjednodušené schéma topného systému



Solární kolektory v letních měsících pokryjí spotřebu teplé vody, během ostatních ročních období slouží pouze jako doplňkový zdroj, který predehřívá vodu v akumulacní nádobě. Kotel s výkonem 18 kW slouží jako hlavní, a především spolehlivý zdroj tepla a teplé vody. Akumulační nádoba umožňuje efektivní využití více zdrojů. Solární kolektory jsou připojeny na spodní část nádoby, kde je voda nejstudenější, kotel a topná patrona jsou připojeny výš, kde je voda již predehřátá a je potřeba její teplotu ještě zvýšit. Čtyřcestný ventil zajišťuje mísení vody z různých částí akumulacní nádoby tak, aby bylo dosaženo požadované teploty do podlahového topení.

Topný systém funguje spolehlivě jako celek, jednotlivé systémy se doplňují a jsou snadno regulovatelné. V případě dočasného nevyužívání přístavby je možné její prostory nevytápět, čímž lze ušetřit tepelnou energii.

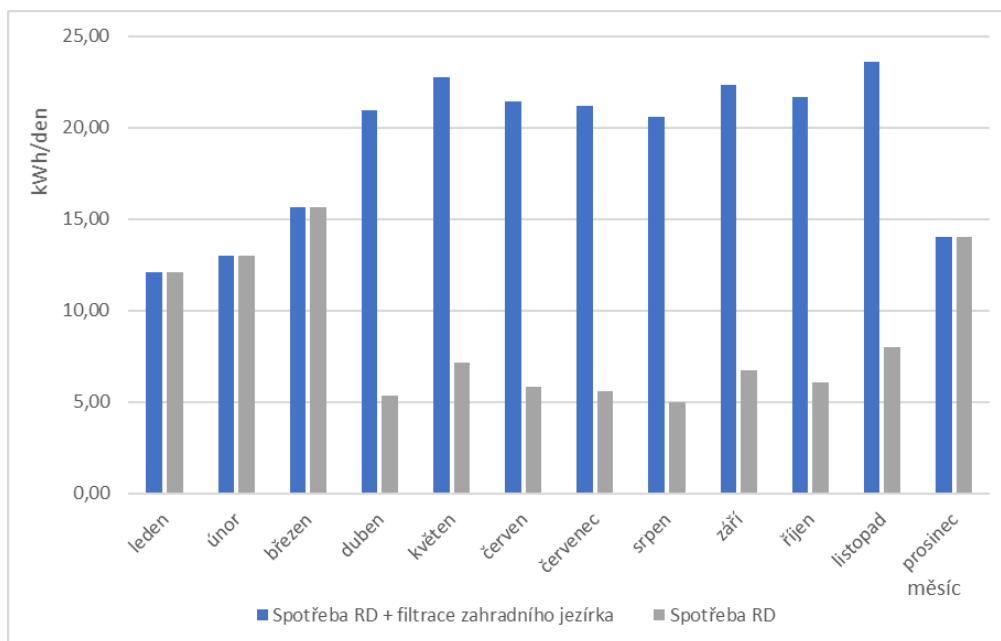
V předchozí kapitole byla určena celková roční potřeba tepla 23,5 MWh. Provedená analýza spotřeby paliva spolu s výpočtem přínosu solárních kolektorů ukazuje, že reálná roční potřeba tepla je nižší, konkrétně 15,6 MWh ročně. Je třeba uvést, že z důvodu pouze sporadického užívání byl zanedbán tepelný přínos krbových kamen. Přesto po porovnání výsledků z této a předchozí kapitoly je zřejmé že provoz rodinného domu je úspornější, než se původně předpokládalo.

### **3.1.7 Elektrická energie**

Spotřeba elektrické energie se značně mění v průběhu dne v závislosti na užívání domácích spotřebičů. Bývá nižší v pracovní dny a vyšší o víkendech. Nejznatelnější je rozdíl v jednotlivých ročních obdobích.

Rodinné domy, které vytápějí elektřinou, mají vyšší spotřebu v zimních měsících, v našem případě je tomu ale naopak. Důvodem je spotřeba filtračního systému zahradního jezírka, která činí 650 Wh. Filtrační zařízení je v provozu 24 hodin denně přibližně osm měsíců v roce, což ročně znamená spotřebu přibližně 3,74 MWh. To představuje přibližně polovinu celkové spotřeby.

Pokud v daných měsících odečteme denní spotřebu filtračního systému, je zřejmé, že samotná domácnost opravdu spotřebuje více elektrické energie v zimních měsících. V grafu č. 6 je toto znázorněno šedou barvou.



**Graf č. 6 Průměrná denní spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících**

Provoz filtračního zařízení se neřídí striktně podle jednotlivých měsíců, lze tedy předpokládat zvýšenou nepřesnost u přechodových měsíců, jako jsou listopad, prosinec a duben.

Denní spotřeba energie byla měřena také přímo na elektroměru, kdy ve dnech 23.–24. 2. 2021 byla naměřena denní spotřeba 9 a 10 kWh. Tyto hodnoty se výrazně neliší od průměrných hodnot známých z vyúčtování za elektřinu.

### 3.1.8 Instalovaná FV elektrárna

Na jižní straně střechy je krom osmi fototerických panelů instalováno také 20 FV panelů DAH 330Wp s celkovým výkonem 6,6 kWp (obrázek č. 10). Panely jsou zapojeny do čtyř paralelních sekcí po pěti panelech.

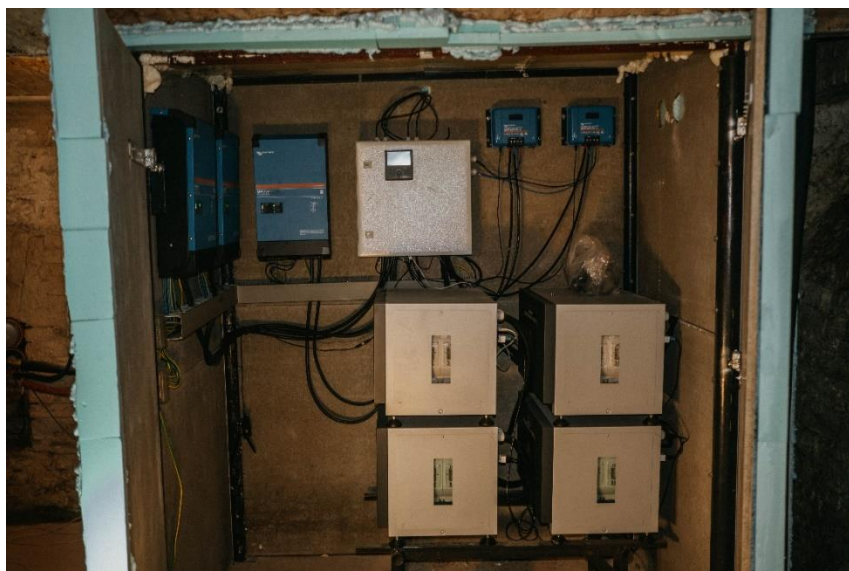


**Obrázek č. 9 Fototermické a FV panely na jižní střeše**

Vyrobená elektrická energie se přímo spotřebovává nebo ukládá do bateriového úložiště s užitnou kapacitou přibližně 32 kWh. V případě, že je bateriové úložiště plné a došlo by ke stavu, kdy výroba převyšuje spotřebu, není přebytečná elektrická energie dodávána do distribuční sítě. Jedná se tedy o hybridní FV systém a rodinný dům je do sítě zapojen pouze jako spotřebitel.

FV systém byl instalován v květnu v roce 2020. Projekt byl spolufinancován z dotace čerpané na zde sídlící firmu, z toho důvodu není možné využívat FV elektrárnu (obrázek č. 11) na provoz rodinného domu, ale pouze na provoz této firmy.





**Obrázek č. 71 Bateriové úložiště, střídače, řídící jednotka a MPPT regulátory v zaizolovaném prostoru**

Ze statistických údajů o úhrnu záření v dané lokalitě z portálu Photovoltaic Geographical Information System [28] a z technických parametrů instalované FV elektrárny lze spočítat teoretické množství vyrobené elektřiny dle vzorce:

$$E = S \times \eta_{celk} \times H,$$

v němž  $E$  je vyrobená elektrická energie,  $S$  je účinná plocha FV panelů,  $\eta_{celk}$  je celková účinnost systému a  $H$  je úhrn slunečního záření dopadajícího na panely v daném časovém intervalu.

FV elektrárnu tvoří 20 panelů o celkové ploše 33,23 m<sup>2</sup>. Celkovou účinnost systému je složité určit. Vliv mají krom účinnosti panelů a střídačů také teplotní rozdíly nebo znečištění panelů, souhrnně označovány jako faktor ztráty systému neboli performance ratio  $PR$ .

$$\eta_{celk} = \eta_{panelů} \times PR$$

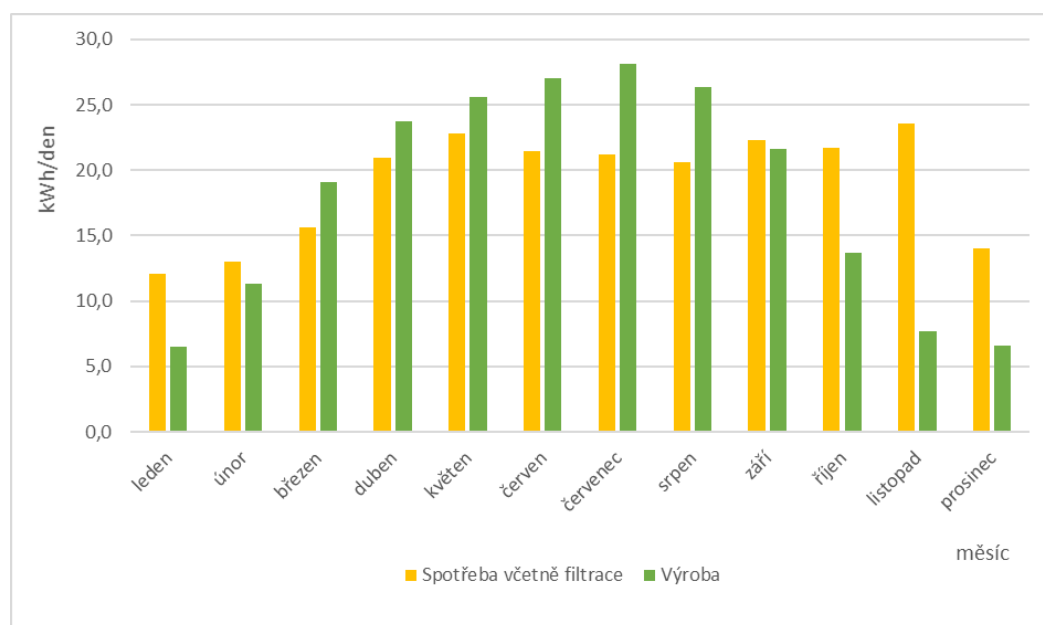
Faktor ztráty systému je obvykle možné učit jako podíl vyrobené elektrické energie k teoretické hodnotě elektrické energie, která by měla být vyrobena za předpokladu, že by byly ztráty systému nulové. V případě dané instalace není možné tento výpočet použít, neboť získaná data jsou znehodnocena častým naplněním kapacity baterií, a tedy pozastavením výroby. V dalších výpočtech bude tedy počítáno se standardním faktorem ztráty systému 75 % a tedy s celkovou účinností systému 15,1 % [29].

Za těchto předpokladů lze určit roční výrobu elektrické energie dle vztahu:

$$E = S \times \eta_{celk} \times H = 33,23 \times 0,151 \times 1318,5 = 6,6 \text{ MWh/rok.}$$

### 3.1.9 Bilance spotřeby a výroby

Přestože se celkové množství vyrobené elektrické energie blíží celkové spotřebě, objekt ještě zdaleka energetické soběstačnosti nedosahuje. Výkon FV elektrárny je v roce rozložen značně nerovnoměrně. To má za příčinu přebytky elektrické energie v letních měsících, a naopak nedostatek elektrické energie v zimním období. Z porovnání výroby a spotřeby elektrické energie (graf č. 7) vyplývá, že nainstalované technologie nezajistí energeticky soběstačný provoz rodinného domu, a tudíž je zapotřebí k dosažení energetické soběstačnosti zvýšit výrobu elektřiny v zimním období.



Graf č. 7 Průměrná denní výroba a spotřeba elektrické energie v průběhu roku

### 3.2 Návrhy systému

Pro srovnání byly v této práci vytvořeny dva návrhy: první energeticky zcela soběstačný, který veškerou potřebnou energii vyrábí z obnovitelných zdrojů, a druhý návrh, který je také nezávislý na rozvodné síti, ale určitou část roku se neobejde právě bez výše zmiňovaného plynu.

Pro účely této práce budou veškeré již instalované systémy uvažovány jako systémy plně využitelné pro účely provozu rodinného domu, tzn., bude zanedbána skutečnost, že instalovaná FV elektrárna reálně slouží k jiným účelům. Za daných předpokladů je tedy stávající stav do značné míry již energeticky nezávislý, předmětem návrhů je už jen dotažení původního systému k úplné soběstačnosti.

### 3.2.1 Návrh 1

V tomto návrhu bude kladen důraz na obnovitelné zdroje energie. Instalovaná FV elektrárna bude rozšířena a doplněna dalším záložním zdrojem, tak aby byl možný celoroční nezávislý provoz rodinného domu.

#### 3.2.1.1 Plánování spotřeby

Bylo počítáno se standardní spotřebou rodinného domu, zdroje i baterie jsou dimenzovány tak, aby byl co nejméně omezen komfort osob, které v něm žijí. Návrh nepočítá s výměnou spotřebičů za úspornější, proto je prakticky nezbytná změna uživatelského přístupu, obzvláště v období energetického nedostatku. V zimním období je praktické plánovat provoz pračky nebo dalších velkých spotřebičů na slunečné dny, na podzim dříve vypnout filtraci zahradního jezírka. Je také praktické stav baterií průběžně sledovat a na případné dlouhotrvající špatné počasí reagovat omezením spotřeby.

#### 3.2.1.2 Rozšíření FV elektrárny

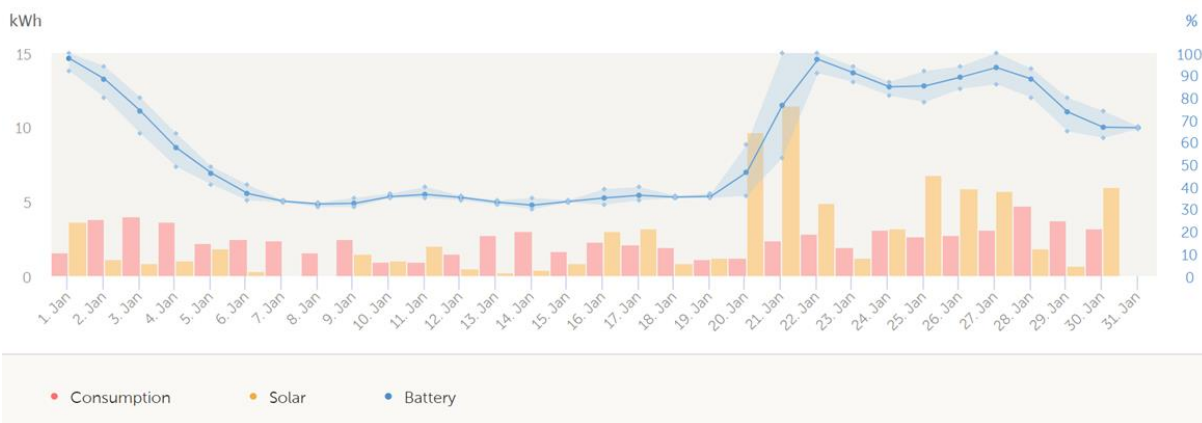
Rozšíření FV elektrárny bylo navrženo na západní střeše pergoly. Západní orientace panelů z hlediska celkových světelných zisků není výhodná, zajistí ale vyšší výnosy v odpoledních hodinách, a tak je výkon celého systému rovnoměrněji rozložen do průběhu dne.

Jedná se o deset monokrystalických panelů DAH se špičkovým výkonem 330 Wp. K upevnění bude využito hliníkových profilů, sklon střechy 30° bude respektován. Panely budou připevněny tak, aby mezi střechou pergoly a zadní částí panelu mohl volně proudit vzduch a panely se nepřehřívaly. Panely budou propojeny sérioparalelně do dvou paralelních sekcí po pěti panelech v sérii. Napětí na prázdnou jednoho FV panelu je 40,6 V, ve stringu je pět paralelně zapojených FV panelů. MPPT regulátor musí tedy s rezervou vydržet napětí 203 V. Zvolen byl MPPT regulátor 250 V/70 A Victron Energy, skrze který bude string připojen k již existující části systému.

#### 3.2.1.3 Doplnkové zdroje

Rozšíření FV elektrárny samo o sobě není dostatečné. Solární zisky jsou v zimních měsících natolik nízké a nespolehlivé, že bez dalších zdrojů elektrické energie nelze v tomto období zaručit dostatek elektrické energie pro provoz domácnosti. Data z instalace ukazují, že během letošní zimy došlo ke dvěma delším intervalům, kdy byl přínos FV elektrárny nulový. V období 7. až 14. února byl celkový výkon instalované FV elektrárny pouze 5,65 kWh. Podobně tomu bylo v období 1. až 20. ledna (graf č. 8), kdy výkon FV panelů jen mírně přesáhl vlastní spotřebu systému.





**Graf č. 8 Množství vyrobené elektrické energie v lednu 2021**

Zdroj: data instalace

Možnosti doplňkových zdrojů jsou ale v daném případě značně omezené. V okolí rodinného domu se nenachází žádný vodní tok vhodný pro stavbu malé vodní elektrárny. Ani větrná elektrárna se v tomto případě nejeví jako spolehlivý zdroj elektrické energie – přestože je rodinný dům situován na kopci a proudění větru zdánlivě nic nebrání, průměrná rychlost větru ve výšce 10 m je pouze 3,13 m/s. Větrná turbína AP1200 zmiňovaná v rešeršní části dosahuje nominálního výkonu až při rychlosti větru 10 m/s, její instalace tedy nepřipadá v úvahu [14].

Další možností je využít kombinované výroby elektřiny a tepla z biomasy. Výše popisovaná elektrárna Wave je při tepelném výkonu 50 kW schopna vyrobit 1,9 kW elektrického výkonu. Osmihodinový provoz této elektrárny by zajistil dostatek elektrické energie i v měsících s největším rozdílem výroby a spotřeby. Tepelný výkon 50 kW je ale pro daný objekt příliš velký.

Pro rodinný dům je výhodnější kogenerační kotel na pelety Pellematic Condens\_e, který disponuje tepelným výkonem 10 kW a elektrickým výkonem 600 W. Přestože je poměr mezi vyrobenou tepelnou a elektrickou energií výhodnější, je třeba se vyvarovat situacím, kdy je kogenerační jednotka v provozu, ačkoliv již je naplněna poptávka po teple.

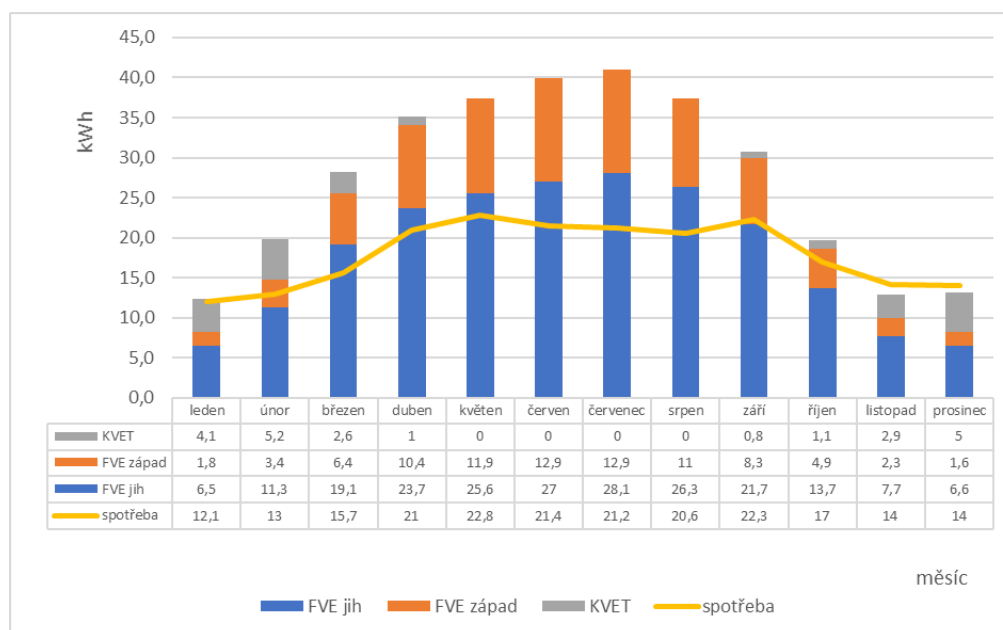
Nejedná se o běžně dostupný model, proto cenu výrobce neuvádí. V jednom z dostupných videí projektu Český soběstačný dům je uváděna cena kogenerační jednotky 750 tis. Kč. [30]

Pro porovnání, cena původního kotle Atmos C 18 S se pohybuje kolem 50 tis. Kč včetně DPH [24].

Kogenerační jednotka nahradí aktuálně užívaný kotel Atmos C 18 S a zároveň bude v zimě dobíjet baterii. Na základě statistiky spotřeby paliva z roku 2019 byl určen využitelný tepelný výkon v jednotlivých měsících i množství vyrobené elektřiny. Výrobce udává elektrický výkon 600 W na 10 kW tepelného výkonu.



Grafické porovnání výroby a spotřeby pro první návrh je v grafu č. 9.



**Graf č. 9** Bilance spotřeby a výroby pro první návrh

V měsících listopad a prosinec systém není ani tak schopný vyrobit dostatek elektrické energie pro pokrytí průměrné spotřeby. V měsíci leden je průměrná výroba těsně dostatečná, a tudíž může být problematické zajistit dostatek elektrické energie v případě, že budou solární zisky určitou dobu podprůměrné. Možným řešením je zvýšení provozních hodin kogenerační jednotky, což (pokud je využíváno ve větší míře) může vést k nadbytku výroby tepla. To by ale muselo být někde mařeno, čímž by docházelo k významným energickým i ekonomickým ztrátám. Další možností je omezit spotřebu v tomto období.

#### 3.2.1.4 Bateriové úložiště

Bilance byla provedena jako porovnání průměrné spotřeby a výroby v jednotlivých měsících. V jednotlivé dny se může spotřeba i výroba od vypočteného průměru značně lišit. Smyslem akumulace je právě tyto výkyvy vyrovnávat.

U offgrid systémů je bateriové úložiště dimenzováno na určitý počet autonomních dní. V případě, že by několik dní byly solární zisky minimální, bateriové úložiště v kombinaci s doplňkovými zdroji musí toto období překlenout.

Instalované bateriové úložiště tvoří čtyři baterie Li-ion BMZ ESS X, jejich společná užitná kapacita je 32 kWh. Průměrná denní spotřeba v zimních měsících je 13 kWh. Za předpokladu, že by nedošlo k omezení spotřeby a bateriové úložiště by bylo plně nabito, pokryje spotřebu domu jen po dobu necelých tří dnů.

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, letošní zimu nastala dvě delší období, kdy byl přínos FV panelů téměř nulový. Bateriové úložiště bylo doplněno o tři další baterie Li-ion BMZ ESS X na celkovou kapacitu 56 kWh. Kombinace bateriového úložiště a kogenerační jednotky tak bez omezení spotřeby umožní překlenout období jednoho týdne. V případě, že by špatné počasí mělo trvat déle, je možné zvýšit výkon kogenerační jednotky a dočasně omezit spotřebu.

### 3.2.1.5 Vytápění

Jak již bylo popsáno, původní kotel Atmos byl v tomto návrhu nahrazen kogenerační jednotkou. Původní kotel umožňoval spalování také kusového dřeva, to kogenerační jednotka neumožňuje. Pelety budou dováženy z místní pily SECA – Serafin Campestrini, s.r.o., Borohrádek.

Mimo zimní období lze předpokládat značnou nadvýrobu elektrické energie, tu lze efektivně využít pro ohřev teplé vody v akumulární nádobě. V horní části akumulární nádrže bude instalována topná příruba, kde bude přebytečný výkon mařen. Možné jsou dvě varianty, a to stejnosměrný nebo střídavý ohřev.

Ohřev stejnosměrným proudem přímo z FV elektrárny je výhodný, neboť tato varianta zamezí zbytečnému opotřebení měniče a jeho provozním ztrátám při ohřevu TUV. Měnič také není zatěžován topným tělesem, a je tedy plně k dispozici k jiným účelům. Nevýhodou jsou značně vyšší investiční náklady a nutná výměna akumulární nádoby [31].

Proto byl zvolen ohřev střídavým proudem s využitím původní akumulární nádoby i elektrické patrony. Investiční náklady jsou tedy zanedbatelné.

## 3.2.2 Návrh 2

V tomto druhém návrhu je kladen důraz výši investic. Cílem je vytvořit návrh, který je finančně dosažitelný a funkční.

Hlavním zdrojem elektrické energie nadále zůstává FV elektrárna. I zde je proto počítáno s jejím rozšířením na západní střechu pergoly, jak to bylo popsáno v předchozí kapitole. Bateriové úložiště není dále rozšířeno, využitelná kapacita 32 kWh je dostatečná. V případě, že FV elektrárna nevyrábí dostatek elektrické energie a hrozí vybití bateriového úložiště, je automaticky či manuálně spuštěna elektrocentrála.

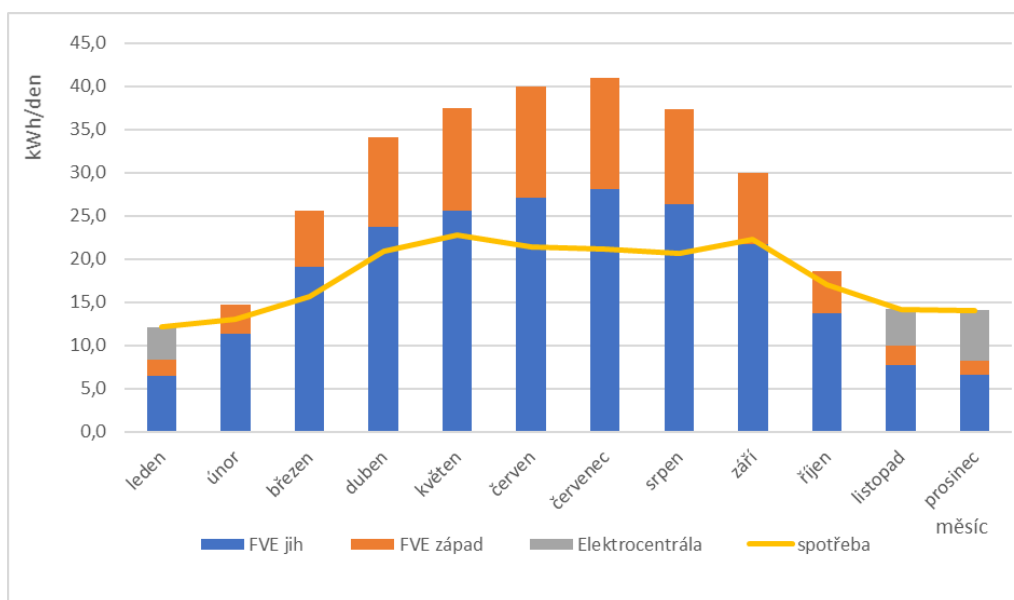
Existující ostrovní domy, jako jsou např. dům postavený v rámci projektu Český soběstačný dům nebo slovenský viničný Ostrovní dom, disponují spolehlivým záložním zdrojem, typicky elektrocentrálou. Díky tomu není nutné natolik předdimenzovat FV elektrárnu ani bateriové úložiště a v případě delšího výpadku slunečního záření lze zapnout záložní zdroj a dobít baterie.

### 3.2.2.1 Elektrocentrála

Zvolena byla plynová jednofázová elektrocentrála HERON LPGG 50 s automatickým startem. Provozní výkon elektrocentrály je 4,4 kWh při spotřebě 0,6 kg zkapalněného ropného plynu (LPG) / kWh [32]. Provoz elektrocentrály je nákladný, neekologický a závislý na palivu, které není lokálního charakteru. Jedná se však o spolehlivý záložní zdroj, jehož pořizovací náklady jsou ve srovnání s naddimenzováním bateriového úložiště a kogeneračním kotlem nízké.

Jedná se o záložní zdroj energie, který slouží k dobíjení baterie v případě déle trvajících nepříznivých podmínek. Celkové množství chybějící elektrické energie bylo stanoveno na základě analýzy průměrné spotřeby a výroby 530 kWh. Předpokládá se provoz 120 motohodin ročně s celkovou spotřebou paliva 320 kg LPG.

Bilance výroby a spotřeby energie pro druhý návrh je znázorněna v grafu č. 10.



**Graf č. 10** Bilance spotřeby a výroby pro druhý návrh

### 3.2.2.2 Vytápění

Původní topný systém rodinného domu je pouze doplněn o ohřev TUV střídavým proudem s využitím přebytků FV elektrárny, tak jak to bylo popsáno v předchozím návrhu.

### **3.3 Zhodnocení**

Byly vytvořeny dva odlišné návrhy, jak u daného rodinného domu dosáhnout energetické soběstačnosti bez výrazného narušení uživatelského komfortu.

#### **3.3.1 Energetická soběstačnost**

Jak již bylo popsáno výše, soběstačnost je široký pojem. Oba návrhy umožňují nezávislé fungování daného rodinného domu na elektrické síti, to však ještě neznamená, že bylo dosaženo požadované energetické nezávislosti.

V první variantě byly použity pouze obnovitelné zdroje energie. Kombinace FV elektrárny a fototermických panelů zajistí dostatek elektřiny a tepla po větší část roku. Kogenerační kotel na pelety jako záložní zdroj doplní chybějící elektrický a tepelný výkon v obdobích, kdy je sluneční energie málo. Pelety je nutné dovážet z místní pily, využívá se tak ve své podstatě paliva lokálního charakteru. Kogenerační kotel tedy lze pro účely této práce označit za energeticky soběstačný.

Druhý návrh nedosahuje požadované energetické soběstačnosti stanovené v úvodu této práce. V zimním období je počítáno s provozem elektrocentrály na LPG, což je z hlediska energetické soběstačnosti problematické. Předpokládaná roční spotřeba LPG byla stanovena na 320 kg, jedná se tedy o nezanedbatelné množství.

#### **3.3.2 Spolehlivost a uživatelský komfort**

Spolehlivost je u ostrovních systémů zásadní. Systém musí spolehlivě zajistit nepřerušovaný provoz rodinného domu i v případě déle trvajícího špatného počasí.

První návrh je vybaven rozsáhlým bateriovým úložištěm a spolehlivým doplňkovým zdrojem v podobě kogeneračního kotle. Systém ale i v zimním období do značné míry spoléhá na zisky FV elektrárny. Bateriové úložiště spolu s kogeneračním kotlem spolehlivě překlenou období jednoho týdne špatného počasí. Delší časové období už může být problematické. Doplňkový zdroj není v rámci stanovených provozních hodin dostatečně výkonný, aby samostatně zajistil dlouhodobý provoz celé domácnosti bez výrazného omezení spotřeby. Výrazným zvýšením provozních hodin kogenerační jednotky by došlo k nadvýrobě tepelné energie, pro kterou v rodinném domě není smysluplné využití, musela by být tedy neekonomicky mařena.

Nedostatek energie má výrazný vliv na uživatelský komfort. Ten může být ovlivněn i samotným faktem, že je energie pouze určité omezené množství.

Přestože jde regulaci systémů do značné míry automatizovat, je nutné, aby spotřebitel situaci sledoval a v období energetického nedostatku omezil a plánoval spotřebu. První návrh tedy neumožňuje uživatelsky bezstarostné fungování. Naopak v zimním období je třeba sledovat výrobu a spotřebu a případně i předpověď počasí a na situaci reagovat.

Druhý návrh je vybaven menší baterií a žádným doplňkovým zdrojem. Elektrocentrála má jako záložní zdroj dostatečný výkon pro pokrytí spotřeby v případě déletrvajícího nedostatečného výkonu FV elektrárny. Obyvatelé rodinného domu se tak nemusí ve své spotřebě natolik limitovat ani v zimních měsících. Cenou za neomezení komfortu však je vysoká spotřeba paliva. Výhodou druhého návrhu je tedy možnost volby, kdy a jak výrazně se rozhodne uživatel svou spotřebu omezit. Oproti tomu u prvního návrhu může nastat situace, kdy je uživatel k omezení spotřeby dotlačen.

### 3.3.3 Investiční a provozní náklady

Ostrovní provoz bývá v porovnání s hybridním nebo klasickým připojením do sítě ekonomicky nevýhodný. Ostrovní systémy jsou budovány na odlehlých místech bez možnosti připojení, jejich hodnota je především ve svobodě a nezávislosti. Přesto je cena ostrovního systému důležitým aspektem při jeho zhodnocení. Investiční náklady návrhů jsou rozepsány v tabulkách č. 3 a 4. Jednotlivé položky jsou přiřazeny k větším celkům systému, ceny jsou uváděny včetně DPH.

**Tabulka č. 4 Investiční náklady pro 1. návrh**

Návrh 1	Položka	Počet kusů [n]	Cena za kus [Kč/kus]	Cena [Kč]
FV západ	FV panely 330 Wp	10	3 990	39 900
	MPPT regulátor	1	20 673	20 673
	materiál nosné konstrukce včetně kompletní kabeláže	10	1 500	15 000
	jistič 63 A + přepětová ochrana	2	1 100	2 200
	megafuse pojistka 125 A/58V	1	827	827
	instalace včetně vstupní revize	1	10 000	10 000
Bateriové úložiště	baterie Li-ion BMZ jmenovitá kapacita 10 kWh	3	132 825	398 475
Kogenerační jednotka	Pellematic Condens_e se Stirlingovým motorem	1	750 000	750 000
	instalace	–	–	30 000
Celkem			<b>1 267 075 Kč</b>	

**Tabulka č. 5 Investiční náklady pro 2. návrh**

Návrh 1	Položka	Počet kusů [n]	Cena za kus [Kč/kus]	Cena [Kč]
FV západ	FV panely 330 Wp	10	3 990	39 900
	MPPT regulátor	1	20 673	20 673
	materiál nosné konstrukce včetně kompletní kabeláže	10	1 500	15 000
	jistič 63 A + přepětová ochrana	2	1 100	2 200
	megafuse pojistka 125 A/58V	1	827	827
	instalace včetně vstupní revize	1	10 000	10 000
Plynová centrála	HERON LPG 50	1	28 490	28 490
Celkem			<b>117 090 Kč</b>	

Investiční náklady prvního návrhu jsou značné, nejnákladnějšími položkami jsou kogenerační jednotka a bateriové úložiště. Druhý návrh je finančně méně náročný. Do tabulky investičních nákladů nebyl zahrnut již instalovaný systém, jehož pořizovací cena byla 1 270 000 korun.

Hlavní část provozních nákladů tvoří cena paliva, kdy v prvním návrhu se jedná pouze o pelety do kogenerační jednotky a u druhého návrhu je započítán i spotřebovaný LPG. Roční spotřeba pelet byla převzata ze statistiky z roku 2019. Pro první návrh je tato hodnota navýšena o 10 % vzhledem ke skutečnosti, že kogenerační jednotka plní funkci záložního zdroje elektrické energie, a je tedy možné, že bude v provozu i po naplnění poptávky tepla. Cena pelet byla stanovena 90 Kč / 15 kg balení [33]. Cena LPG během roku kolísá v rozmezí 28–35 Kč/kg [34], pro výpočet byla zvolena průměrná hodnota 31,5 Kč/kg.

Další položkou, která se objeví u obou návrhů, jsou ceny pravidelných revizí. Ty je třeba provádět jednou za tři roky jak u kotlů na tuhá paliva, tak u FV dle normy ČSN 33 1500. U obou návrhů byla přičtena položka ostatní pro nepředvídatelné náklady (tabulka č. 5).

**Tabulka č. 6 Provozní náklady pro 1. a 2. návrh**

Návrh 1		Roční náklady [Kč/rok]
FVE	revize dle normy ČSN 33 1500	1 000
Kogenerační jednotka	pelety + 10 %	15 172
	revize kotle na tuhá paliva	670
Ostatní výdaje		2 000
Celkové roční náklady		<b>18 842</b>
Návrh 2		Roční náklady [Kč/rok]
FVE	revize dle normy ČSN 33 1500	1 000
Kotel Atmos 18 C	pelety	13 792
	revize kotle na tuhá paliva	670
Elektrocentrála	LPG	9 980
Ostatní výdaje		2 000
Celkové roční náklady		<b>27 442</b>

Provozní náklady druhého návrhu jsou vyšší, rozdíl je tvořen hlavně náklady za LPG palivo.

Je zřejmé že návratnost prvního návrhu je nereálná. Investiční náklady jsou příliš velké a rozdíl provozních nákladů není takový, aby tuto skutečnost dostatečně kompenzoval. Z ekonomického hlediska je tedy druhý návrh jednoznačně výhodnější.

Ekonomické porovnání návrhů s dosavadním stavem provedeno nebylo. Jak již bylo popsáno dříve není smysluplné tyto varianty ekonomicky porovnávat, energeticky soběstačné systémy jsou budovány na odlehlých místech bez možnosti připojení. V daném případě, kdy je rodinný dům připojen do sítě je samozřejmě ekonomicky nevýhodné dům odpojit a budovat drahý ostrovní systém.

## 4 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala energetickou soběstačností rodinného domu. V úvodu byl tento pojem vymezen jako úplná nezávislost na rozvodné síti a jiných než lokálně produkovaných palivech. V rešeršní části práce byl věnován prostor malým, pro rodinný dům využitelným zdrojům elektrické. Druhá část práce se již věnovala vybranému rodinnému domu, pro který byla vypracována analýza potřeby elektrické a tepelné energie. Dále byl popsán instalovaný systém, který již v aktuálním stavu pokryje značnou část energetických potřeb domu. Na základě provedeného rozboru byly vytvořeny dva konkurenční návrhy systémů, jejichž realizací by bylo dosaženo pokrytí potřeby elektřiny a tepla.

Porovnání zmíněné analýzy potřeby s výrobou elektrické energie prokázalo nedostatky instalovaného systému. Jednotná jižní orientace celého instalovaného výkonu FV elektrárny soustředí většinu výkonu do několika málo hodin po poledni, systém je tak velmi citlivý na změny počasí. Proto byla v obou návrzích FV elektrárna rozšířena také o západní část, která díky své orientaci dosahuje vyšších zisků v odpoledních hodinách. Výkon FV elektrárny je tak rovnoměrněji rozložen do průběhu dne. Další zásadnější překážkou dosažení energetické soběstačnosti daného rodinného domu byla nízká výroba FV elektrárny v zimních měsících. Při řešení toho problému byly popsány dva odlišné přístupy. První návrh za cenu značných investičních nákladů splnil podmínky úplné nezávislosti na palivech jiného než lokálního původu. Pro zvýšení výroby elektrické energie v zimních měsících byla navržena kogenerační jednotka. V druhém návrhu byl sezónní nedostatek elektrické energie vyřešen plynovou elektrocentrálou, tím však byla porušena stanovená hranice soběstačnosti. Díky rozdílnému pojetí obou návrhů bylo zajímavé jejich srovnávání v různých oblastech. Který návrh je lepší není možné jednoznačně určit. Je vyšší míra energetické soběstačnosti natolik hodnotná, aby vykompenzovala vyšší investic?

Naplnění poptávky tepla bylo v porovnání s elektrickou energií jednodušší. Původní tepelný systém byl jen doplněn o ohřev TUV za využití přebytků z FV elektrárny. Pro první návrh se znalost potřeby tepla ukázala jako zásadní. Díky ní bylo možné určit přínos kogenerační jednotky v jednotlivých měsících.

Pro daný rodinný dům se ukázaly smysluplné jen některé z technologií, kterým byl věnován prostor v rešeršní části. Aplikace obnovitelných zdrojů je závislá na vlastnostech dané lokality, proto pro jiný rodinný dům na jiném místě mohou být v kontextu energetické soběstačnosti smysluplné i jiné technologie než ty obsažené v návrzích.



Při vypracování této práce jsem se seznámil se způsoby využití zdrojů obnovitelné energie. Dosavadní znalosti jsem si rozšířil zejména o zkušenost s výpočtem potřeby tepla. Získal jsem povědomí o parametrech jednotlivých součástí FV elektrárny. I přestože se systém nebude realizovat, pro mě téma soběstačného bydlení představuje zajímavý a perspektivní obor a dle mého názoru o něm bude čím dál více slyšet.

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] SAULICH, Petr. Stavba domu: Nezávislost je věc rozhodnutí. In: *Můj dům* [online]. 2018, 07. 02. 2018 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: [https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/stavba-domu-nezavislost-je-vec-rozhodnuti\\_3953.html](https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/stavba-domu-nezavislost-je-vec-rozhodnuti_3953.html)
- [2] SRDEČNÝ, Karel. Jak postavit energeticky soběstačný dům? *ASB* [online]. Jaga Media, 2008, 7. 3. 2008 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/jaky-vybrat-dum/jak-postavit-energeticky-sobestacny-dum>
- [3] TRNAVSKÝ, Jiří. Výlet do fototermitické historie. *Energie 21* [online]. 2018, 7. 7. 2018, 2018 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.energie21.cz/vylet-do-fototermiticke-historie-2/>
- [4] Fotovoltaický jev. *Solární energie* [online]. 2006 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/obsah.htm>
- [5] *Jak účinné jsou solární panely?* [online]. <https://www.eon.cz>: eon, 2020 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/chytra-domacnost/jak-vyuzivat-solarni-energii/jak-ucinne-jsou-solarni-panely>
- [6] Vselektro. <https://www.vselektro.eu> [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.vselektro.eu/fv-panel-330w-dah-solar-hcm60x9-full-black/>
- [7] Fotovoltaika a fototermika – porovnání: Různé systémy na různé použití. *Československá společnost pro sluneční energii* [online]. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/fotovoltaika-a-fototermika-porovnani>
- [8] William B. Stine a Michael Geyer. The Sun's Energy. *Power From The Sun* [online]. 2001 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter02/chapter02.html>
- [9] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM: EU SCIENCE HUB* [online]. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>, 2019 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP)
- [10] Redakce Nazeleno.cz. Malá vodní elektrárna: Kolik elektřiny vyrobí? Vyplatí se? *Nazeleno* [online]. 9. 3. 2010n. 1., 2010 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/mala-vodni-elektrarna-kolik-elektriny-vyrobi-vyplati-se.aspx>

- [11] VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny* [online]. Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT, 2009 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=18464](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464) Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka.
- [12] *Větrné podmínky ve výšce 10m* [online]. Akademie Věd České republiky: Ústav fyziky atmosféry, 2016 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [13] Pavla. Domácí větrná elektrárna: Kolik vyrobí elektřiny a vyplatí se vůbec? *Elektrina.co* [online]. 25. 06. 2020 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.elektrina.co/blog/elektrina/domaci-vetrna-elektrarna-kolik-vyrobi-elektriny-a-vyplati-se-vubec>
- [14] AERPLAST s.r.o. <Http://www.vetrne-elektrarny.eu> [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <http://www.vetrne-elektrarny.eu>
- [15] VODIČKA, Václav, ZELENÝ, Zbyněk a MAŠČUCH Jakub. Wave – vývoj a experimentální provoz malého kogeneračního zařízení na biomasu. *Tzbinfo.cz* [online]. 2018, 22. 1. 2018 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/16842-wave-vyvoj-a-experimentalni-provoz-maleho-kogeneracniho-zarizeni-na-biomasu> [2] <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/15390-mikrokogenerace-z-biomasy-jako-prostredk-k-usporam-primarnich-energii-a-co2>
- [16] MYDLIL, ČVUT UCEEB, MAŠČUCH Petr. Mikrokogenerace z biomasy jako prostředek k úsporám primárních energií a CO<sub>2</sub>. *Tzbinfo.cz* [online]. 2017, 20. 2. 2017 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/15390-mikrokogenerace-z-biomasy-jako-prostredk-k-usporam-primarnich-energii-a-co2>
- [17] SLAVÍK, Marek. Využití jednotky s ORC v bytovém domě: diplomová práce [online]. <https://dspace.cvut.cz>, 2015 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63552/F2-DP-2015-Slavik-Marek-Diplomova%20prace%2c%20Marek%20Slavik.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. ČVUT.
- [18] OŽANA, Kutl a Jaroslav. Teplo i světlo zároveň. Mikolajice využívají první mikroelektrárnu na světě. ct24 [online]. 2019, 20. 2. 2019 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2739806-teplo-i-svetlo-zaroven-mikolajice->

vyuzivaji-prvni-mikroelektrarnu-na-  
svete?fbclid=IwAR35SbGFh8AI4mGSYBXGVU1ZBxi0YG8hTZ1SvkvOt3K\_j6bUp  
wdi-nLKhaw

- [19] *Pellematic Condens\_e* [online]. <https://www.oekofen.com> [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: [https://www.oekofen.com/en-gb/pellematic-condens\\_e/](https://www.oekofen.com/en-gb/pellematic-condens_e/)
- [20] Příspěvatelé Wikipedie, Stirlingův motor [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 12. 05. 2021, 09:12 UTC, [citováno 30. 05. 2021] <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Stirling%C5%AFv\\_motor&oldid=19819353](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Stirling%C5%AFv_motor&oldid=19819353)>
- [21] Heureka: *Jak vybrat elektrocentrálu?* [online]. [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://elektrocentrally.heureka.cz/poradna/jak-vybrat-elektrocentralu/#kvalita-centraly-a-motoru>
- [22] Český hydrometeorologický ústav: *Otopná sezona* [online]. [cit. 2021-5-31]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/otopna-sezona>
- [23] REINBERK, Zdeněk. Tzb.info.cz: *Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. [cit. 2021-5-31]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [24] Topenilevne.cz. *Topenilevne.cz* [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: [https://www.topenilevne.cz/atmos-c-18-s-s-upravou-pro-horak-p43689/?gclid=CjwKCAjwgOGCBhAIEiwA7FUXkmPFmEsJvuMk8Rswb\\_jMaKnytYVtVh-uqNTiydQNYDLBgpNjta25mxoC-XkQAvD\\_BwE](https://www.topenilevne.cz/atmos-c-18-s-s-upravou-pro-horak-p43689/?gclid=CjwKCAjwgOGCBhAIEiwA7FUXkmPFmEsJvuMk8Rswb_jMaKnytYVtVh-uqNTiydQNYDLBgpNjta25mxoC-XkQAvD_BwE)
- [25] LYČKA, Zdeněk. Náklady na vytápění dřevními peletami: Výhřevnost dřevních pelet. *Tzb-info* [online]. 22. 2. 2010 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/6263-naklady-na-vytapani-drevnimi-peletami>
- [26] MATUŠKA, Tomáš. ŠOUREK Bořivoj a REINBERK Zdeněk. *Zjednodušená bilance solárního kolektoru* [online]. tzb-info.cz [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [27] What is Maximum Power Point Tracking (MPPT) [online]. <https://www.solar-electric.com> [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>

- [28] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [online]. 2019 [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP)
- [29] Performance ratio: Quality factor for the PV plant. SMA [online]. [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://files.sma.de/downloads/Perfratio-TI-en-11.pdf>
- [30] PODRUH Pavel. In: Youtube [online]. 25. 9. 2020 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=AHJj2c5dLYc> Kanál uživatele Electro Dad
- [31] VOCÍLKA Tomáš. *Systém 60VDC fotovoltaického ohřevu s MPPT přizpůsobením* [online]. Asolar s.r.o., Palliardiho 2a, 669 02 Znojmo, 2015 [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: [http://asolar.cz/data/010-60VDC\\_FV\\_OHREV/ASO\\_60VDC\\_OHREV\\_TUV\\_v08\\_06\\_2015.pdf](http://asolar.cz/data/010-60VDC_FV_OHREV/ASO_60VDC_OHREV_TUV_v08_06_2015.pdf)
- [32] *Plynová elektrocentrála HERON LPGG 50 8896318* [online]. <https://domacitechnika.cz> [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://domacitechnika.cz/lpgg-50-8896318-p39677/>
- [33] SECA: Dřevěné ekologické pelety [online]. [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://www.palubky-seca.cz/ostatni-zbozi/drevene-ekologicke-brikety/drevene-ekologicke-pelety>
- [34] PRIMAGAS s.r.o. Vytápění propanem: Vyplatí se zásobník nebo stačí láhve? *Tzb-info.cz* [online]. 2020 [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/20275-vytapeni-propanem-vyplati-se-zasobnik-nebo-staci-lahve>

## Seznam obrázků, tabulek a grafů

### Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Řez FV panelem .....	9
Obrázek č. 2 Mapa rychlosti větru v České republice ve výšce 10 m .....	13
Obrázek č. 3 Malá větrná turbína AP1200, Concept house Ostrava .....	14
Obrázek č. 4 Technologické schéma mikrokogeneračního zařízení Wave .....	15
Obrázek č. 5 Vybraný objekt – rodinný dům, Pardubický kraj, jižní strana .....	18
Obrázek č. 6 Zjednodušené schéma topného systému .....	24
Obrázek č. 7 Fototermické a FV panely na jižní střeše .....	27
Obrázek č. 8 Blokové schéma FV elektrárny .....	28
Obrázek č. 10 Bateriové úložiště, střídače, řídicí jednotka a MPPT regulátory v zaizolovaném prostoru .....	29

### Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Výpočet tepelných ztrát dle projektové dokumentace .....	19
Tabulka č. 2 Výpočet hodnot $n$ a $t_e$ .....	19
Tabulka č. 3 Roční křivky trvání výkonů – data .....	21
Tabulka č. 4 Investiční náklady pro 1. návrh .....	37
Tabulka č. 5 Investiční náklady pro 2. návrh .....	38
Tabulka č. 6 Provozní náklady pro 1. a 2. návrh .....	38

### Seznam grafů

Graf č. 1 Intenzita slunečního záření v bezoblačný den .....	10
Graf č. 2 Intenzita slunečního záření během dne s proměnlivou oblačností .....	10
Graf č. 3 Vývoj výkonu FV elektrárny 6,6 kWp, Hradec Králové, východní Čechy, 2020 ....	11
Graf č. 4 Univerzální diagram trvání teplot v otopném období .....	21
Graf č. 5 Diagram trvání výkonů .....	23
Graf č. 6 Průměrná denní spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících .....	26
Graf č. 7 Průměrná denní výroba a spotřeba elektrické energie v průběhu roku .....	30
Graf č. 8 Množství vyrobené elektrické energie v lednu 2021 .....	32
Graf č. 9 Bilance spotřeby a výroby pro první návrh .....	33
Graf č. 10 Bilance spotřeby a výroby pro druhý návrh .....	35

## Seznam zkratk

DPH	daň z přidané hodnoty
FV	fotovoltaický
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
LPG	zkapalněné ropné plyny
MPPT	maximum power point tracker
ORC	organický Rankinův cyklus
PR	performance ratio
TUV	teplá užitková voda

