



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Efektivnost instalace a provozu malé větrné elektrárny pro
rodinný domek**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Jan Hájek

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hájek** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **420038**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Efektivnost instalace a provozu malé větrné elektrárny pro rodinný domek

Název bakalářské práce anglicky:

Effectivity of Instalation and operation of wind turbine for family house

Pokyny pro vypracování:

1. Zjištění větrných poměrů v lokalitě pro návrh variant
2. Provozní a investiční výdaje variant, vyčíslení efektů
3. Ekonomické vyhodnocení variant z hlediska projektu

Seznam doporučené literatury:

1. Hallenga V.: Malá větrná elektrárna. Stavební návod. Ostrava, 2006.
2. Rychetník V.: Větrné motory a elektrárny 1. ČVUT, 1997.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Vitek CSc., 13116

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

Datum zadání bakalářské práce: **10.02.2016** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **27.05.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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 předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

.....

Jan Hájek

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc. za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce a cenné podněty k jejímu obsahu. Také děkuji prof. Ing. Oldřichu Starému, CSc. za podnětné připomínky k programování modelu v Excelu.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je ekonomicky vyhodnotit provoz a instalaci malé větrné elektrárny (MVtE) u rodinného domu (RD) v České republice. V rámci analýzy bylo porovnáno 6 MVtE dostupných na českém trhu o jmenovitém výkonu od 1,2 kW do 7 kW. Za předpokladu, že RD je připojen na distribuční síť (DS), je možné generovanou elektrickou energii větrnou elektrárnou provozovat ve třech variantách: veškerá energie je prodána za výkupní ceny, 2) energie se spotřebuje dle aktuální spotřeby domu a přebytek je dodán do DS, 3) energie se spotřebuje dle aktuální spotřeby domu, přebytek je akumulován v bateriích a spotřebován později. Vyhodnocení elektráren a variant je naprogramováno v interaktivním modelu v programu Excel. Model je testován na jednom konkrétním RD. Za zjištěných podmínek pro vybraný RD je provoz MVtE nevýhodný. Průměrné roční rychlosti, od kterých je provoz vybraných MVtE připojených na DS ekonomicky profitabilní, začínají na hodnotě 5,1 m/s.

Klíčová slova

Malá větrná elektrárna, větrná elektrárna, větrná energie, určení rychlosti větru, ekonomická efektivnost větrné elektrárny, podpora výroby elektrické energie z OZE v České republice.

Abstract

The objective of this bachelor thesis is to economically assess the investment and operation of small wind turbine built next to the household in the Czech Republic. Six small wind turbine's models were analysed. The range of the rated power of small wind turbines is from 1,2 kW to 7 kW and all are available on the Czech market. Generated electric energy can be used in three different options: First, all generated power can be sold to the distributor of electricity. Second, the generated energy can be used in the household. Energy, that is not utilized, is sent to the grid. Third, again the generated energy is used in the household. Unused energy is stored in batteries and used later. Assessment of small wind turbines is done in the interactive model programmed in Excel. The model is tested on one household situated in the Czech Republic. Based on the household and planned site's parameters the operation of a small wind turbine is unprofitable. The average wind speed for which the operation of small wind turbine starts to be profitable is 5,1 m/s.

Key Words

Small wind turbine, wind turbine, wind energy, measuring wind speed, wind turbine cost analysis, renewable energy source financial support in the Czech Republic.

Seznam použitých zkratk

CF	Cash flow
ČR	Česká republika
DS	Distribuční soustava
el.	Elektrické
ERÚ	Energetický regulační úřad
h	Hodina
Hz	Hertz
Kč	Koruna česká
kg	Kilogram
m	Metr
min	Minuta
kWh	Kilowatthodina
MWh	Megawatthodina
MVtE	Malá větrná elektrárna/malé větrné elektrárny
ot	Otáček
OZE	Obnovitelný zdroj energie/Obnovitelné zdroje energie
RD	Rodinný dům
s	Sekunda
ÚFA AV	Ústav fyziky atmosféry akademie věd České republiky
var	Variabilní/variabilních
V	Volt
VT	Větrná turbína
W	Watt
Wh	Watthodina

Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Energie Větru	12
2.1.	Vítr.....	12
2.2.	Energie větru	12
3.	Výběr stanoviště.....	13
3.1.	Určení rychlosti větru v lokalitě RD	13
3.2.	Vliv rázu krajiny a zástavby.....	15
4.	Vlastnosti MVtE.....	17
4.1.	Rozdělení podle aerodynamického principu	17
4.1.1.	Odporový princip.....	17
4.1.2.	Vztlakový princip	18
4.1.2.1.	Vrtule.....	19
4.1.2.2.	Darrierův rotor	19
4.2.	Typy použitých generátorů.....	20
4.2.1.	Stejnoseměrný generátor.....	20
4.2.2.	Synchronní generátory	20
4.2.3.	Asynchronní generátor	20
4.3.	Výkon MVtE.....	21
5.	Možnosti připojení MVtE	21
5.1.	Připojení k DS bez záložních akumulátorů.....	21
5.2.	Připojení k DS s akumulátory.....	22
5.3.	System nezávislý na DS (Off-grid).....	23
6.	Energetická náročnost RD a vybrané MVtE	24
6.1.	Spotřeba elektrické energie RD	24
6.2.	Diagram zatížení.....	25
6.3.	MVtE na českém trhu	27
6.4.	Rychlost větru během dne	28
6.4.1.	Weibullovo rozdělení	29
6.4.2.	Denní tok elektrické energie.....	29
7.	Vyhodnocení investičních nákladů a hotovostních toků projektu	33
7.1.	Možnosti příjmů	33
7.2.	Další investiční náklady	34
7.2.1.	Střídač	34

7.2.2. Stožár a ukotvení	35
7.2.3. Baterie	35
8. Ekonomické vyhodnocení variant.....	38
8.1. Výpočet NPV	38
8.2. Citlivostní analýza	41
8.3. Závěrečné zhodnocení.....	45
9. Závěr.....	47
Použitá literatura a informační zdroje	48
Seznam obrázků	50
Seznam tabulek	51
Seznam příloh.....	52

1. Úvod

Téma využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie je v dnešní době stále častější jak v médiích, tak i v politice. Důkazem toho je závazek mnoha vyspělých států zvýšit podíl vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Mezi obnovitelné zdroje se řadí energie slunce, voda, geotermálních energie, biomasa a také energie větru.

Při projíždění krajinou střední a západní Evropy již nikoho nepřekvapí velké větrné elektrárny o jmenovitém výkonu několik megawattů až gigawattů. Neustálý růst instalovaného výkonu větrných elektráren nám napovídá, že instalace takových elektráren je ekonomicky profitabilní. V mé práci se ale zaměřím na jinou skupinu větrných elektráren – takzvaných malých větrných elektráren (MVtE). Přesná definice MVtE není jednoznačně určována. Nejčastěji jsou takto označovány větrné elektrárny s jmenovitým výkonem do 100 kW, jelikož to je výkon, který může být ve většině zemí zapojen přímo do distribuční soustavy (DS) [32]. Tyto větrné elektrárny jsou často v ČR umísťovány do výšky 10 metrů nad zemí. Dle legislativy ČR není potřeba do této výšky stavební povolení pro instalaci MVtE. Stavbu je potřeba pouze ohlásit [27].

Cílem této práce je vyhodnocení efektivnosti provozu a instalace MVtE v České republice. Postup výpočtu je ilustrován na konkrétním RD, který je napojen na DS. Motivace pro výstavbu MVtE u tohoto RD je vytvoření záložního zdroje elektrické energie, snížení závislosti na dodávkách elektrické energie z DS a uspoření finančních prostředků.

V prvé řadě bude potřeba zjistit denní diagram zatížení RD a denní diagram výroby elektrické energie pro vybrané MVtE. K tomu musím znát průměrné hodinové rychlosti větru a spotřebu elektrické energie během dne po hodinách. Odečtení diagramů od sebe získám hodnoty denních toků elektrické energie v RD, respektive hodnoty spotřebované elektrické energie a dodané elektrické energie do DS z generované elektrické energie jednotlivými MVtE.

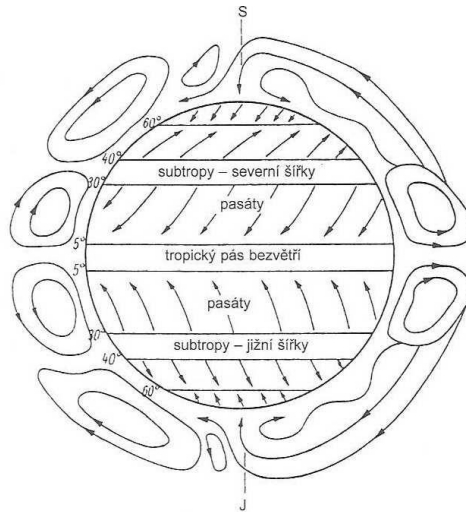
Z ekonomického hlediska je projekt posuzován pro tři možnosti využití generované energie: 1) veškerou generovanou elektrickou energii prodám za garantované výkupní ceny, 2) na generovanou vyrobenou elektrickou energii využiji podpory zelených bonusů, spotřebuji, co bude možné a zbytek dodám do DS, 3) na generovanou vyrobenou elektrickou energii využiji podpory zelených bonusů, spotřebuji, co bude možné a zbylou energii uložím do akumulátorů a spotřebuji později.

Dílčím cílem práce je vytvoření interaktivního modelu v programu Excel pro určování ekonomické efektivnosti MVtE. Program by měl být především schopen vyhodnotit ekonomickou profitabilitu vybrané větrné elektrárny pro všechny tři uvedené možnosti využití generované elektrické energie. Při ekonomické neefektivnosti projektu by program měl být schopen určit podmínky profitability investice do MVtE.

2. Energie Větru

2.1. Vítr

Vítr je energetickým zdrojem velmi hojným a všudypřítomným, ale zároveň velmi nevypočitatelným a nestálým. Vítr vzniká vlivem tepelného záření Slunce, které nerovnoměrně zahřívá zemský povrch. Nad ohřátým povrchem se ohřívá přilehlá vrstva vzduchu a ta má tendenci stoupat vzhůru. Celý děj je velmi ovlivněn střídáním dne a noci a rotací země. Vítr je produktem neustálé snahy vzduchu o vyrovnávání tlakových rozdílů v atmosféře a vždy vane od tlakové výše k tlakové níži [1].



Obrázek 1 Vznik větrů na Zemi

2.2. Energie větru

Pro výkon větru platí následující rovnice:

$$P_{vitr} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1.1)$$

kde je P_{vitr} výkon větru [W]
 ρ hustota vzduchu [kg/m^3]
 A plocha rotoru [m^2]
 v rychlost proudění vzduchu [m/s]

Z rovnice 1.1 vyplývá silná závislost výkonu větru na rychlosti větru: výkon roste s třetí mocninou rychlosti větru. Energie větru nebo generovaná energie je pak:

$$E_v = \int_{t_0}^t P_{vitr} \cdot dt \quad (1.2)$$

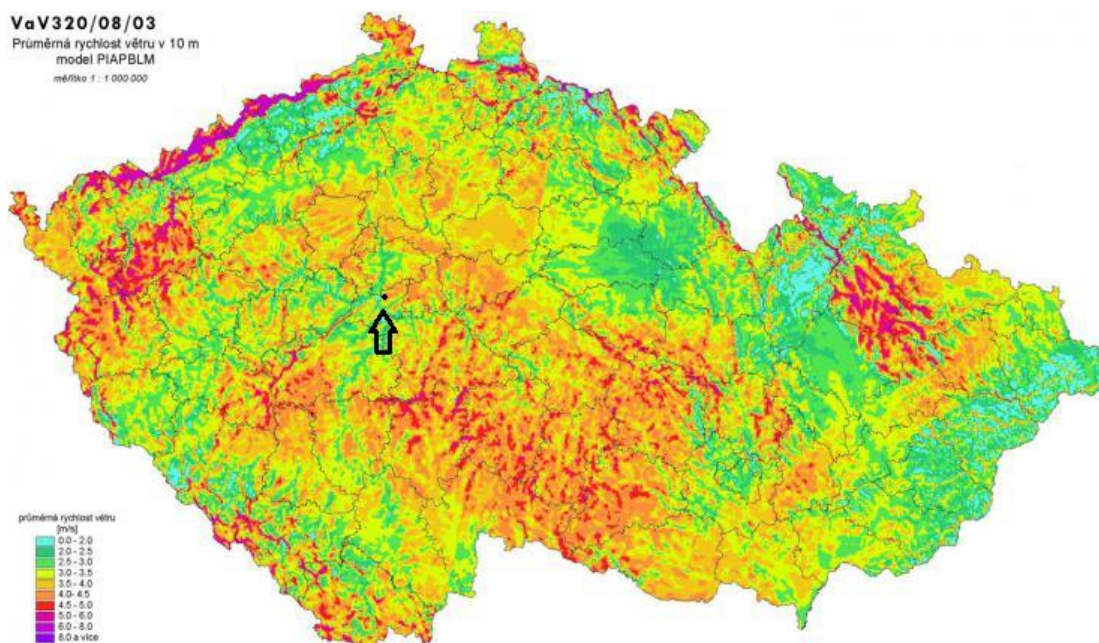
kde je E_v Energie větru [Wh]
 P_{vitr} výkon větru [W]
 t čas v hodinách [h]

3. Výběr stanoviště

3.1. Určení rychlosti větru v lokalitě RD

Dle vyhlášky Energetického regulačního úřadu (ERÚ) č. 296/2015 Sb je požadavkem účinného provozování větrné elektrárny roční průměrná rychlost větru ve výšce rotoru minimálně 6 m/s [18].

Jsou dvě možnosti, jak zjistit průměrnou roční rychlost větru. Nejjednodušeji ji zjistím z větrné mapy. Větrné mapy zobrazují graficky průměrné roční rychlosti na vybraném území. Uvedené rychlosti jsou vypočteny na základě použitého modelu. Větrné mapy jsou většinou modelovány pro výšku 10 nebo 100 metrů. Pro modelování malých větrných elektráren (MVtE) se vychází z průměrných rychlostí větru v 10 m. V České republice vypracovává větrné mapy Ústav fyziky atmosféry akademie věd České republiky (ÚFA AV). Příklad větrné mapy s výraznějším místem plánu výstavby MVtE je na obrázku 2.



Obrázek 2 Větrná mapa ČR ve výšce 10 metrů s vyznačeným místem plánované stavby větrné elektrárny

ÚFA AV vytvořil v roce 2016 podrobnou interaktivní mapu pro podporu výstavby MVtE [14]. Po zadání hodnot velikosti rotoru MVtE a jejího jmenovitého výkonu dokáže mapa určit očekávanou roční generovanou elektrickou energii. Generovaná data pro mou pozici plánované výstavby větrné elektrárny jsou zobrazena na obrázku 3.

Efektivnost instalace a provozu malé větrné elektrárny pro rodinný domek

zem. šířka: 49°57'36.162"N

výška nad zemí (střed rotoru): 10 m

zem. délka: 14°25'36.818"E

průměr rotoru: 5 m

maximální výkon: 5000 W

směr větru [°]	relativní četnost				prům. rychlost [m/s]	parametry Weibull		výroba energie	
	vše	0-4 m/s	4-8 m/s	> 8 m/s		A [m/s]	k	roční [kWh]	relativně
0	8.3%	5.32%	2.93%	0.05%	3.51	3.96	2.30	147.4	6.88%
30	4.2%	3.83%	0.36%	0.01%	1.95	2.15	1.43	26.9	1.26%
60	4.6%	3.69%	0.87%	0.04%	2.64	2.94	1.56	77.9	3.63%
90	5.4%	4.41%	0.98%	0.01%	2.70	3.04	1.93	55.6	2.60%
120	8.8%	7.18%	1.62%	0.00%	2.98	3.34	2.90	71.0	3.31%
150	16.3%	10.86%	5.39%	0.05%	3.41	3.85	2.40	246.1	11.48%
180	16.0%	11.89%	4.11%	0.01%	3.14	3.54	2.51	174.6	8.15%
210	7.0%	5.14%	1.80%	0.06%	3.05	3.44	1.86	124.4	5.80%
240	10.9%	4.85%	5.38%	0.67%	4.49	5.06	2.24	418.5	19.53%
270	8.3%	4.00%	3.53%	0.77%	4.45	5.01	1.86	505.0	23.56%
300	5.1%	3.05%	1.78%	0.27%	3.77	4.22	1.69	243.2	11.34%
330	5.0%	3.80%	1.20%	0.00%	3.06	3.45	2.41	52.8	2.46%
celkem	100%	68.02%	29.95%	1.93%	3.38	3.81	1.94	2143.4	100%

Obrázek 3 Data z interaktivního modelu ÚFA AV

Pro přesnější hodnoty rychlosti větru je doporučeno rychlost větru změřit anemometrem. Za použití tohoto způsobu je možné průměrnou rychlost větru pro každou hodinu během dne. Z těchto dat se dá dále vypočítat předpokládaný denní diagram výroby elektrické energie MVtE.

S výškou nad krajinou vzrůstá i rychlost větru. Z toho důvodu je majitel MVtE motivován umístit rotor větrné turbíny (VT) do co největší výšky. Přepočítání naměřené rychlosti v určité výšce do výšky rotoru VT se přepočítá následujícím vzorcem [6]:

$$v_{VT}(h) = v_m \left(\frac{h}{h_m} \right)^a \quad (1.3)$$

kde je $v_{VT}(h)$ rychlost větru ve výšce rotoru [m/s]

h výška rotoru [m]

v_m rychlost větru v měřené výšce [m/s]

h_m výška umístění anemometru [m]

a exponent korekčního vztahu závislejícím na drsnosti povrchu, také je nazýván Hellmanovým exponentem [-]

Hodnoty Hellmanova exponentu jsou uvedeny v tabulce 1:

Tabulka 1 Závislost hodnoty exponentu a na druhu povrchu

Druh povrchu	a
a – hladký povrch: vodní hladina, písek	0,14
b – louka s nízkým travnatým porostem nebo oranice	0,16
c – vysoká tráva, nízké obilné porosty	0,18
d – porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní	0,21
e – lesy s mnoha stromy	0,28
f – vesnice a malá města	0,48

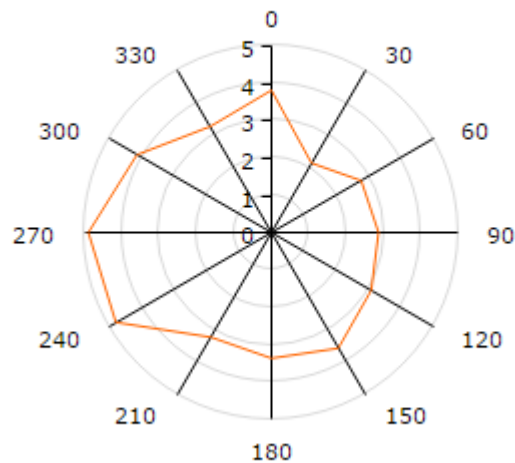
Ve svých výpočtech budu počítat s druhem povrchu d , tedy $a = 0,21$.

3.2. Vliv rázu krajiny a zástavby

Zmínka o Hellmanově exponentu uvádí kapitolu teorie umístění větrné elektrárny na základě rázu krajiny. Ideálním prostředím pro stavbu větrné elektrárny je rovný a hladký povrch, který nenarušuje směr větru a nevytváří turbulence. Při instalaci MVtE poblíž zástavby se vždy nějaká nerovnost či překážka poblíž větrné elektrárny objeví. Aby byly vlivy nerovného povrchu co nejvíce eliminovány, je potřeba výstavbu MVtE plánovat se znalostí základních pravidel pro výběr jejího stanoviště.

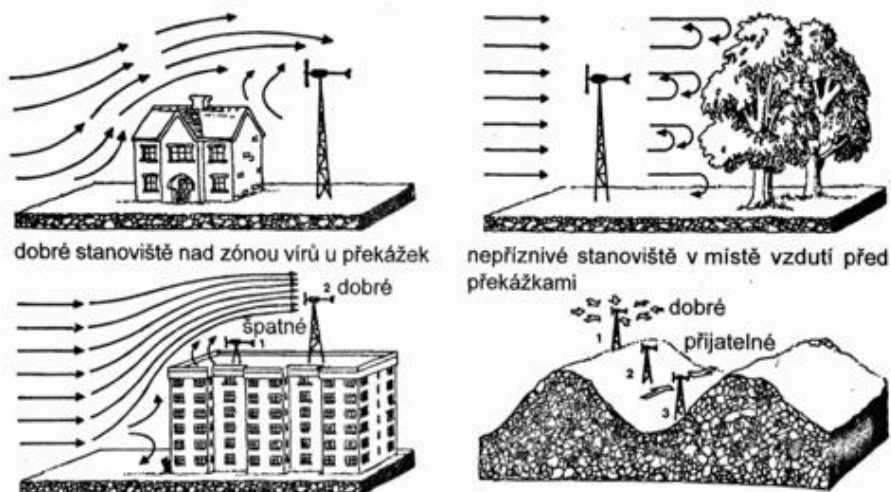
Důležité je znát směr větru, ze kterého fouká vítr nejsilněji a nejčastěji. Tuto informaci lze zjistit na již zmiňované interaktivní větrné mapě ÚFA AV. Vítr by měl proudit na větrné kolo co nejpříměji a nejrovněji. To znamená, že by to mělo být v místech s nejnižším výskytem turbulencí a větrných vírů. Pro mnou vybranou lokalitu je průměrná rychlost větru (v m/s) z různých směrů následovná:

Průměrná rychlost větru (m/s)



Obrázek 4 Průměrná rychlost větru ze světových stran ve mnou sledované lokalitě

V mém případě bych dle obrázku 4 měl zajistit co nejpřímější povrch v rozmezí stupňů 240 až 360 (ZZJ až S). To je v mém zvoleném místě možné, jelikož větrná elektrárna bude na okraji zastavěné vesnice. Ze západní strany je volná louka a z východní zastavěná vesnice.



Obrázek 5 Základní pravidla umístění MVtE v blízkosti překážek

Větrná elektrárna vytváří rušivé vlivy, kterým neleze zabránit. Jsou to hluk a disko efekt. V případě plánu výstavby MVtE v blízkosti obydlené oblasti by bylo vhodné oznámit záměr svému okolí a vybrat místo, které bude co nejméně rušit nás a naše okolí. Tímto krokem bude snížena pravděpodobnost stížností a nepříjemností od okolí na provoz MVtE.

MVtE je možné instalovat i na střechy domů. Při takové instalaci je nutné mít na paměti, že hluk a vibrace vytvářené větrným kolem a generátorem se přenáší na celou budovu. Dlouhodobé jemné vibrace mohou vést k poškození budovy. V takovém případě je doporučeno vypracování odborné analýzy dopadu MVtE na statiku domu [1].

4. Vlastnosti MVtE

Větrné elektrárny se dělí podle následujících kritérií:

- aerodynamického principu
- typu generátoru

4.1. Rozdělení podle aerodynamického principu

Na základě aerodynamického principu jsou rozlišovány dva základní aerodynamické principy: odporový a vztlkový.

4.1.1. Odporový princip

MVtE využívající odporový princip přeměňují větrnou elektrickou energii na elektrickou energii následovně: vítr se opírá do nastavené plochy (listy rotorů), která mu klade aerodynamický odpor a bere větru část energie. Tato energie roztáčí listy rotorů. V rotoru se pomocí teorie elektromagnetického pole generuje elektrická energie. Podmínkou pro vznik hnacího krouťícího momentu je, že obvodová rychlost musí být vždy menší než rychlost větru. Pokud není z hřídele odebírána energie, tak jsou otáčky úměrné rychlosti větru a při zdvojnásobení rychlosti větru se otáčky zvýší dvojnásobně [4]. MVtE pracující na odporovém principu se mohou odlišovat konstrukčním provedením, např. mají svislou nebo vodorovnou osu otáčení.

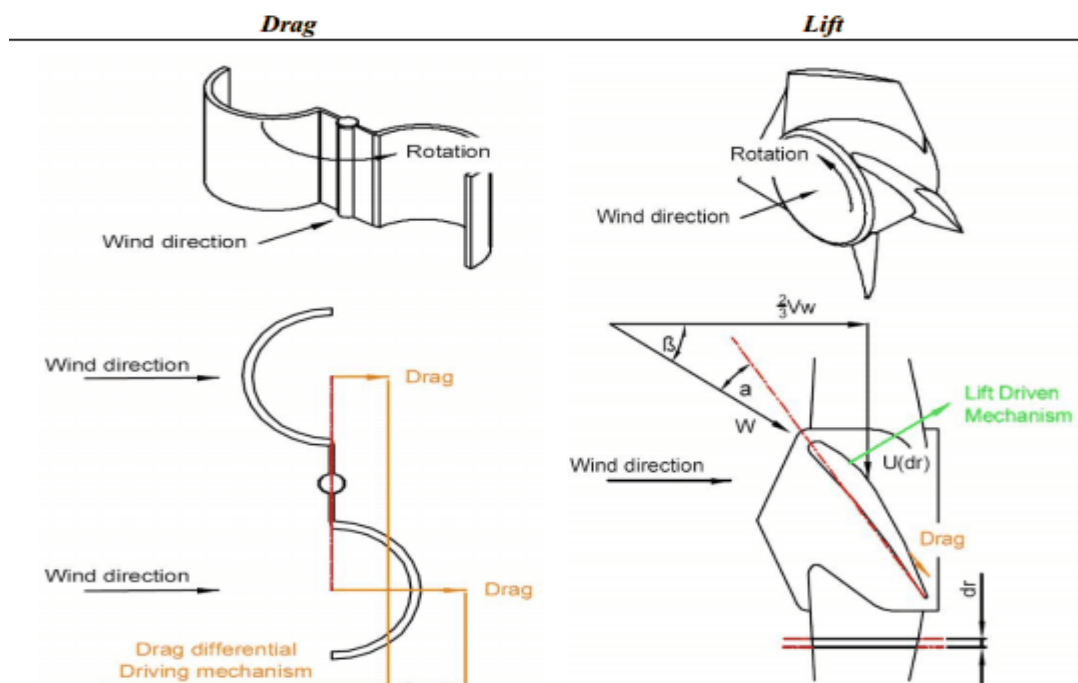
Účinnost turbín využívající odporový princip je v rozmezí 15–23 %. To je jeden z důvodů jejich nízkého výskytu v moderní energetické koncepci. Na odporovém principu pracuje například Savoniův rotor [2].

Výhody Savoniova motoru:

- Je jednoduchý na výrobu (výroba možná z barelu nebo plastového kyblíku)
- Nezávislost na směru větru.
- Přímé předávání síly na svislou hřídel, která může střídavě nebo zároveň pohánět různé stroje.
- Využívá široké pásmo síly větru. Správně zkonstruovaný Savoniův rotor dokáže využít vítr již při velmi nízkých rychlostech (2–3 m/s).
- Vysoká odolnost vůči bouřím při správném provedení.
- Možnost spojit několik Savoniových rotorů do většího zařízení.

Nevýhody Savoniových rotorů:

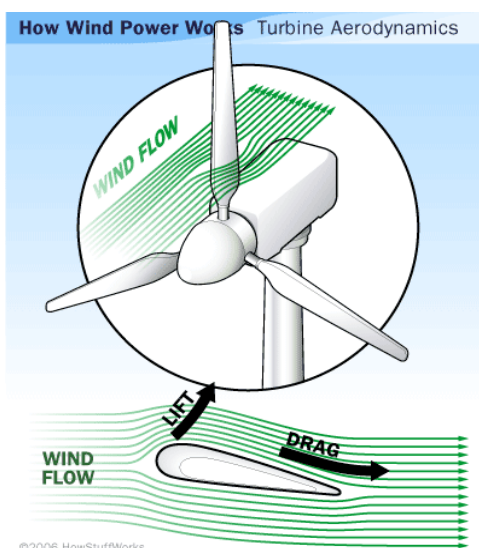
- Nezvyklý a mohutný vzhled.
- Vysoká hmotnost rotoru, která vyžaduje patřičné vyvážení, aby bylo zabráněno kritickému kmitání při vysokých otáčkách.
- Malá rychloběžnost, což znamená vysoké točivé momenty a nízké otáčky.
- Nízký součinitel využití energie větru (účinnost).
- Je nevhodný pro stavbu velkých větrných elektráren (vhodné pro výkon max. do 1kW).



Obrázek 6 Princip funkce odporové (drag) a vztakové (lift) turbíny

4.1.2. Vztakový princip

MVtE pracující na vztakovém principu využívají síly vznikající na rotorovém listu při obtékání vzduchem. Tyto síly jsou nazývány aerodynamické vztakové síly. Aerodynamická vztaková síla vzniká díky speciálně tvarovanému profilu lopatek, podobně jako na křídlech letadla [6]. Z toho důvodu je velmi důležitá aerodynamika a provedení lopatek. List rotoru je nastaven větru svou spodní hranou, na kterou vítr naráží. Větší objem vzduchu prochází přes horní hranu. Větrný proud na horní polovině se tím urychlí a vznikne zde podtlak, kdežto na druhé straně listu vznikne přetlak. Tím je vyvolána vztaková síla, která je asi dvakrát větší než odporová. Síla odporová a vztaková jsou na sebe kolmé a působením těchto sil na sebe vzniká výsledná síla, která pohání listy vrtule [4].



Obrázek 7 Zobrazení principu fungování vztakové větrné turbíny

Mezi větrné elektrárny pracující na vztlakovém principu patří:

4.1.2.1. Vrtule

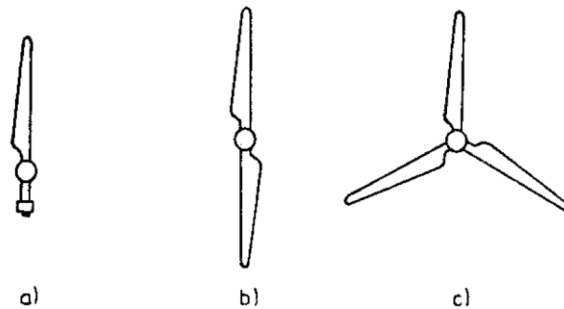
Vrtule vždy pracují ve vodorovnou osu otáčení. Mají 2 až 4 listy (byli vyrobeny i jednolísté zařízení s protizávažím) [1]. Někdy jsou vrtulové listy natáčivé kolem své podélné osy. To umožňuje lepší regulaci otáček, snadnější rozběh rotoru, aerodynamické brždění a snížení odporu vrtule při zastaveném rotoru.

Mezi výhody vrtulí patří:

- Oproti jiným větrným elektrárnám mají vysokou účinnost (až 45 %)
- Dosahují velké rychloběžnosti.
- Nepůsobí tak robustně jako některé jiné větrné elektrárny.

Nevýhody:

- Je potřeba ji natáčet do směru větru



Obrázek 8 Uspořádání vrtulí větrných rotorů: a) jednolístá s protizávažím, b) dvoulístá, c) třílístá

4.1.2.2. Darrierův rotor

Darrierův rotor má svislou osu otáčení. Je sestavován s 2 až 4 listy, které mají aerodynamický profil a jsou tvarovány tak, aby jejich namáhání odstředivými silami bylo co nejmenší. Tento rotor dosahuje účinnosti až 38 %.

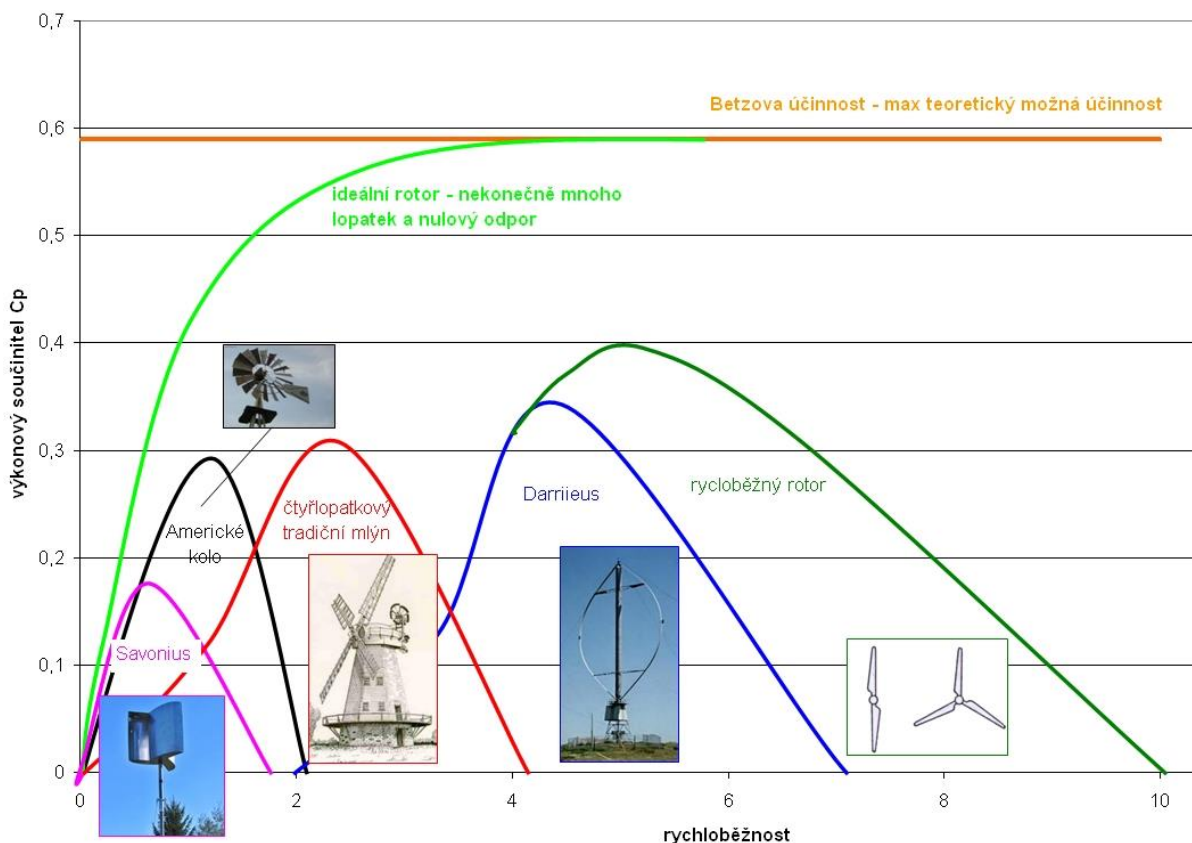
Výhody:

- Není potřeba ho natáčet do směru větru.
- Má elegantní tvar.

Nevýhody:

- Dochází u něj k velkému dynamickému namáhání, čímž se snižuje životnost elektrárny.

Často není schopen se sám uvést do pohybu, proto se rozběh často zajišťuje jiným typem rotoru, nejčastěji Savoniovým [7].



Obrázek 9 Rozdělení rotorů větrných elektráren dle rychloběžnosti rotorů

4.2. Typy použitých generátorů

4.2.1. Stejnoseměrný generátor

Často se používají u malých větrných elektráren. Jsou tvořeny rotorem a statorem. Na statorových pólech je budící vinutí. Vinutí kotvy je uloženo v drážkách rotoru. Budící vinutí vytvoří magnetické pole, ve kterém se otáčí rotor a ve vinutí, které je v něm uloženo, se indukuje elektrické napětí. Výstupní napětí je 12 nebo 24 V. Stejnoseměrné generátory dodávají stejnosměrný proud. Mohou být spojeny s bateriemi bez použití usměrňovačů. Nevýhodou stejnosměrných generátorů je časté opotřebování kartáčů, které jsou na komutátorech.

4.2.2. Synchronní generátory

Synchronní generátor (alternátor) se vyrábí v provedení jednofázovém či trojfázovém. Vyrábí se v provedení s vyniklými póly nebo s hladkým rotorem. Konstrukci generátoru tvoří jako u každého točivého stroje stator a rotor. Rotor se otáčí stále stejnou rychlostí s točivým magnetickým polem statoru. Ve statoru jsou uloženy indukční cívky posunuté vůči sobě o 120° . V rotoru vzniká točivé magnetické pole, které se následně indukuje ve statorovém vinutí. Ze statoru je poté odváděn trojfázový proud vyrobený generátorem. Hodnota napětí je dána budícím proudem a otáčkami rotoru. Hlavní nevýhoda synchronního generátoru je, že není schopen se sám rozběhnout z klidu.

3.2.3. Asynchronní generátor

Asynchronní generátory ve větrných elektrárnách se vyrábějí jako čtyřpólové. Ve spojení se sítí o kmitočtu 50 Hz mají synchronní otáčky 1500 ot./min. Další variantou je provedení šestipólové, které mají synchronní otáčky 1000 ot./min [8].

4.3. Výkon MVtE

Rovnice výkonu MVtE vychází z rovnice (1.1), která se navíc vynásobí hodnotou součinitele výkonnosti větrné elektrárny. Rovnice má následující tvar:

$$P_{VTE} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot v^3 \quad (1.4)$$

kde je P_{VTE} je výkon větrné elektrárny [W]
 ρ hustota vzduchu [kg/m^3]
 A plocha rotoru [m^2]
 v rychlost proudění vzduchu [m/s^1]
 C_p součinitel výkonnosti [-]

Součinitel výkonnosti je maximální účinnost daného stroje (v mém případě větrné turbíny). Účinnost se dá chápat jako část kinetické energie větrného proudění, kterou přemění větrná elektrárna na elektřinu. Nesetkal jsem se s výrobcem, který by hodnotu C_p uváděl. Součinitel výkonnost vypočítávám tímto vztahem:

$$C_p = \frac{P_{VTE}}{P_{vitr}} \quad (1.5)$$

kde je C_p součinitel výkonnosti větrné elektrárny [-]
 P_{VTE} výkon větrné elektrárny při jmenovité rychlosti větru [W]
 P_{vitr} výkon větrného proudu procházejícího rotorem větrné elektrárny při jmenovité rychlosti větru [W]

Dle Betzova pravidla je maximální možný součinitel výkonnosti větrných elektráren 59,3 %. V reálném provedení rotory vykazují další ztráty. Moderní větrné elektrárny dosahují hodnoty C_p v rozmezí od 0,4 do 0,5 [30], [6].

5. Možnosti připojení MVtE

Při výstavbě MVtE u rodinného domu (RD) je ve většině případů počítáno s využitím generované elektrické energie na spotřebu RD. Připojení MVtE je ovlivněno připojením, respektive nepřipojením, RD na distribuční síť (DS). Jsou 3 možná připojení MVtE:

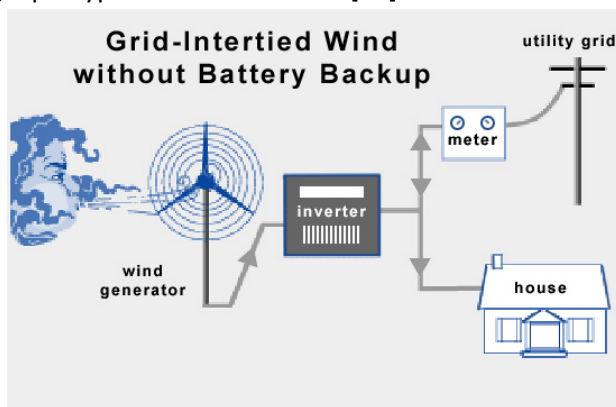
1. Připojení na DS bez záložních akumulátorů (On-grid without battery) – systém stále zcela závislý na DS. Nespotřebovaná elektrická energie je dodávána do DS.
2. Připojení na DS s akumulátory (On-grid with battery) – Jednak umožňuje prodávat přebytečnou elektřinu distributorovi elektrické energie a zároveň majitel RD má vlastní zálohu elektrické energie v akumulátorech.
3. Systém nezávislý na distribuční síti (Off-grid) – majitel RD se spoléhá pouze na elektrickou energii generovanou vlastními elektrárnami. V takových případech se často k MVtE přidávají fotovoltaické panely nebo diesellový generátor.

5.1. Připojení k DS bez záložních akumulátorů

Tento systém má několik výhod:

1. Nízké ztráty – systém připojení neobsahuje akumulátory. Odpadá tím několik problémů: není potřebný usměrňovač, není potřeba kontrolovat a vyměňovat baterie. Navíc bez baterií je možné využít vysoké napětí, které snižuje potřebnou velikost drátů a zvyšuje efektivitu přenosu elektrické energie.
2. Veškerá energie je spotřebována nebo prodána – po zajištění smluvních podmínek je vždy možné nespotřebované přebytky elektrické energie dodat do DS.
3. Možnost flexibilněji zvyšovat velikost vyprodukované elektrické energie.
4. V případě poruchy MVtE je zajištěna dodávka elektřiny ze sítě.

Jedinou významnější nevýhodou připojení na síť bez záložních akumulátorů je, že RD nemá zálohu elektrické energie při výpadku elektrické sítě [12].



Obrázek 10 Schematické zobrazení připojení větrné elektrárny k DS

5.2. Připojení k DS s akumulátory

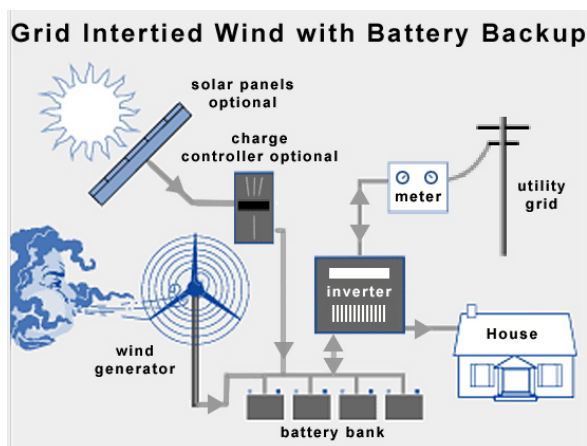
Použitím baterií je oproti předešlé možnosti připojení ještě více snížena závislost RD na dodávkách elektrické energie z DS. Mezi významné výhody systému připojenému na DS se záložními akumulátory patří:

1. Možnost prodávat přebytečnou energii – v momentě, že jsou baterie nabitě, je možné dodávat elektrickou energii do DS. Pokud má vlastník MVtE sjednanou smlouvu s distributorem elektrické energie, je možné na dodané elektrické energii do DS více vydělávat.
2. Při výpadku dodávky proudu distribuční sítí má majitel zálohu elektrické energie v akumulátorech.
3. V případě poruchy MVtE je zajištěna dodávka elektřiny ze sítě.

Nevýhody:

1. Užívání baterií je méně efektivní (využívá o 5–40 % více energie než systém bez baterií).
2. Životnost baterie a starost o baterii.
3. Stejná byrokratická administrativa jako u připojení na síť bez akumulátoru.

Tento systém má obecně větší v místech, kde je bezpodmínečně nutné mít stálý přísun elektrické energie (např. nemocnice, datová centra), v místech s velmi nestabilní distribuční sítí, nebo v místech s velmi vysokou cenou za proměnnou složku elektrické energie [12].

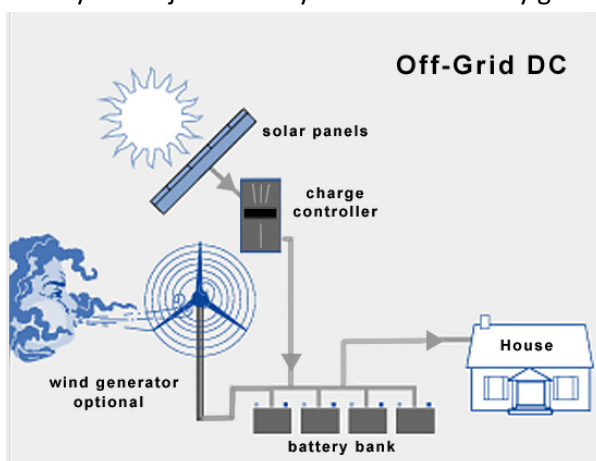


Obrázek 11 Schematické připojení větrné a fotovoltaické elektrárny k DS se záložními akumulátory

5.3. Systém nezávislý na DS (Off-grid)

Systém nezávislý na DS je ekonomicky výhodný v místech, která není zavedena přípojka k DS a náklady na připojení k DS jsou vyšší než náklady na výstavbu MVtE. Systém je využíván i v místech kde není možné být napojen na DS, např. paluba loď, horská chata. Jelikož aktuální výroba elektrické energie z MVtE je velmi proměnlivá, jsou často nezbytnou součástí těchto systémů akumulátory. Akumulátory ukládají momentálně nespotřebovanou elektrickou energii a dodávají ji v době, kdy výroba elektrické energie nepokryje spotřebu. Při použití akumulátorů je možné v objektu použít rozvody stejnosměrného proudu s nízkým napětím (12 nebo 24 V). V tomto případě je potřeba mít na paměti, že ne všechny elektrické spotřebiče jsou schopny fungovat na stejnosměrný proud (např. pračka). Druhou možností je použít střídač a používat v objektu střídavý elektrický proud 220–230 V.

Off-grid systémy bývají často doplněny fotovoltaickými panely, které vytváří více elektrické energie v letních měsících. V systému je možné využít také dieselový generátor [13].



Obrázek 12 Připojení větrné a sluneční elektrárny nezávislé na distribuční síti

6. Energetická náročnost RD a vybrané MVtE

6.1. Spotřeba elektrické energie RD

Studii efektivnosti instalace a provozu MVtE u rodinného domu demonstrují na konkrétním případě rodinného domu. Spotřeba elektrické energie tohoto RD byla měsíčně zaznamenávána od roku 2009. Roční hodnoty spotřeby elektrické energie jsou zobrazeny v tabulce 2. Příklad měsíčních spotřeb během roku 2011 je zaznamenán v tabulce 3.

Tabulka 2 Elektrická spotřeba RD v letech 2009 až 2016

Rok	Spotřeba RD [kWh]
2009	18018
2010	15475
2011	13235
2012	13877
2013	14513
2014	12885
2015	10623
2016	9651

Tabulka 3 Spotřeba RD v jednotlivých měsících během roku 2011

Měsíc	Spotřeba [kWh]
leden	2123
únor	2002
březen	1430
duben	498
květen	451
červen	511
červenec	439
srpen	515
září	574
říjen	1130
listopad	1839
prosinec	1723

V tabulce 2 je zobrazeno postupné snižování spotřeby elektrické energie. Velký význam na snížení spotřeby dohu měla postupná rekonstrukce zateplení RD, která probíhala ve dvou fázích: v roce 2011 a 2013. V menší míře se dá změna za spotřebu přisuzovat klimatickým změnám (např. délka období výskytu nízkých teplot). Toto tvrzení je ale diskutabilní a neověřené.

Z tabulky 3 je patrný velký rozdíl ve spotřebě elektrické energie v letních a zimních měsících. Největší podíl na rozdílu způsobuje vytápění RD a také větší užívání osvětlení v zimních měsících. Navíc je častěji používána sauna, jejíž provoz také významně zvýší spotřebu RD. Rozdíl ve spotřebě během jednotlivých měsíců bude mít vliv na množství nespotřebované elektrické energie. Pro průměrování roční spotřebu budou určovat denní průměrnou spotřebu elektrické energie v zimních měsících (listopad až březen, 150 dní) a letních měsících (duben až říjen, 215 dní).

6.2. Diagram zatížení

K zjištění, kolik vyrobené elektrické energie bude spotřebováno RD a jaké MVtE vygeneruje přebytky, budu potřebovat denní diagram zatížení RD denní diagram výroby elektrické energie z MVtE. Diagram zatížení je závislost vyrobené, respektive spotřebované, elektrické energie na čase. Pokud je zaznamenávána výroba (spotřeba) elektrické energie během dne (24 hodin), nazýváme takový diagram denním diagramem zatížení.

Získané hodnoty z grafů se od sebe odečtou a tím se zjistí tok elektrické energie v RD. Tento postup se dá velice dobře použít pro modelování fotovoltaické elektrárny. Jelikož je vítr mnohem více proměnlivý než slunečné záření, je postup zjištění denního diagramu výroby MVtE trochu složitější.

Myšlenka k zjištění denního diagramu výroby elektrické energie MVtE je následující: za předpokladu, že znám průměrné rychlosti větru během dne v hodinových intervalech, mohu pro každou tuto hodnotu vytvořit Weibullovo rozdělení. Tím získám distribuci výskytu jednotlivých rychlostí větru ve sledované hodině. Množství generované elektrické energie v jednotlivých hodinách získám vynásobením hodnot Weibullova rozdělení výkonovou charakteristikou MVtE pro příslušné rychlosti větru. Po zopakování výše uvedeného postupu pro všechny hodiny během dne získám potřebná data pro denní diagram generované elektrické energie MVtE.

U RD lze denní diagram zatížení určit ze spotřebované elektrické energie spotřebičů o vysokém nominálním výkonu a spotřebičů, které jsou v provozu kontinuálně po celý rok (např. lednička). Ze znalosti denních zvyklostí v RD se určí čas a doba používání jednotlivých spotřebičů. Sečtením hodnot spotřeby jednotlivých spotřebičů a zobrazením do grafu podle hodiny používání je výsledkem hledaný denní diagram zatížení.

Tabulka 4 Soubor spotřebičů v RD a jejich denní spotřeba elektrické energie v letních měsících

Spotřeba elektrické energie rodinného domu – letní měsíce			
Spotřebič	Příkon [W]	Čas denně [h]	Denní spotřeba [Wh]
Notebook	80	3,00	240
Notebook 2	95	5,50	523
Stolní PC	210	7,50	1575
Notebook 3	65	3,00	195
Tiskárna	340	0,03	11
Nabíječka 4x (á 5 W)	20	4,50	90
Fén	1200	0,08	100
Plasmová TV	250	1,00	250
DVD + SetTopBox	35	1,00	35
Reprosoustava	30	1,00	30
Varná konvice	2400	0,13	320
Myčka	2000	2,00	4000
Sporák (1/2 plotýnek)	3000	0,75	2250
Trouba	3200	0,50	1600
Mikrovlnná trouba	1400	0,05	70
Kávovar	1600	0,03	53
Lednice s mrazákem	17,5	24,00	420
Mixér	600	0,03	20
Elektrický radiátor	2000	0,00	0

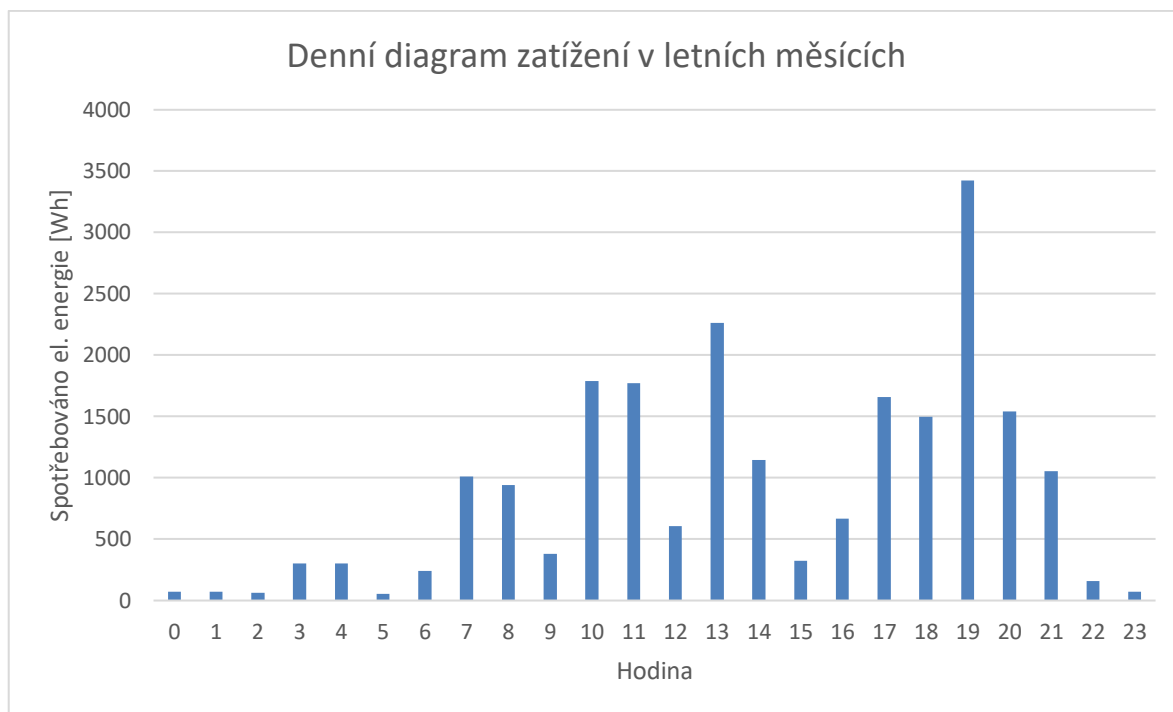
Spotřebič	Příkon [W]	Čas denně [h]	Denní spotřeba [Wh]
Sprcha - parogenerátor	2400	0,25	600
Bazén, Filtrace	500	8,00	4000
Sauna	6000	0,00	0
Bojler	1550	1,50	2325
Mrazák	28	24,00	672
Pračka	480	2,00	960
Sušička	1450	0,00	0
Žehlička	1800	0,17	300
Osvětlení chodba 1	60	0,25	15
Osvětlení chodba 2	60	0,25	15
Osvětlení chodba 3	45	0,25	11
Osvětlení pokoj 1	45	0,25	11
Osvětlení pokoj 2	60	0,25	15
Osvětlení pokoj 3	45	0,25	11
Osvětlení koupelna	60	0,25	15
Osvětlení pokoj 4	30	0,25	8
Osvětlení pracovna	25	0,25	6
Osvětlení pracovna 2	25	0,25	6
Osvětlení pracovna 3	25	0,25	6
Osvětlení kuchyň	40	1,00	40
Osvětlení obývací	40	0,50	20
Osvětlení sauna	40	0,00	0
Osvětlení garáž	80	1,00	80
Osvětlení sklep	60	0,50	30
Osvětlení kotelna	30	0,10	3
Garáž	140	0,08	12
Venkovní vrata	180	0,08	15
Tepelné čerpadlo	3400	0,00	0
oběhové čerpadlo	150	0,00	0
Wi-Fi router	7,2	24,00	173
Vysavač	1400	0,15	210
Rádio Kuchyň	25	1,00	25
Denní spotřeba			21367

Tabulka 4 shrnující spotřebiče v RD je vytvářena na základě jejich průměrného používání v letních měsících. Tabulka pro používání spotřebičů během zimních měsíců je v příloze 1.

Průměrná denní spotřeba elektrické energie ve sledovaném RD v zimních měsících je 48,14 kWh, v letních měsících 21,367 kWh. Jednoduchým výpočtem zjistíme roční spotřebu:

$$21367 * 215 + 48139 * 150 = 11814755Wh = 11,815 MWh$$

Roční spotřeba domu je 11,815 MWh. Tato hodnota je v rozmezí ročních hodnot spotřebované elektrické energie v RD, které jsou uvedeny v tabulce 2. Tento fakt je pro mě dostačující jako potvrzení, že mohu ve svých výpočtech vycházet z těchto hodnot.



Obrázek 13 Denní diagram zatížení RD v letních měsících

V diagramu zatížení jsou patrné velké rozdíly mezi spotřebou v noci a přes den. Díky domácím pracím a bazénové filtraci jsou spotřeby v dopoledních a večerních hodinách vyrovnané. Večer ale dochází k prudkému nárůstu spotřebované elektrické energie. Menší výkyvy spotřeby by mohli být docíleny například naprogramováním myčky a pračky na hodiny, ve kterých je spotřeba menší.

6.3. MVtE na českém trhu

Před výpočtem denního diagramu výroby elektrické energie z MVtE představím vybrané větrné turbíny. MVtE nemají pokrýt veškerou spotřebu RD, pouze ji snížit v množství, které bude ekonomicky profitabilní. Z toho důvodu se nebudu omezovat výpočtem potřebného výkonu, ale porovnám větrné elektrárny různých výkonů a jejich ekonomický dopad na projekt. Očekávám, že tento postup mi umožní určit hranici vyrobeného výkonu MVtE, pro který se tato investice vyplatí.

V mém porovnání jsem vybral MVtE od tří výrobců a českých distributorů. Na českém trhu je možné nalézt další distributory, ale po komunikaci s většinou z nich jsem usoudil, že podnikání ve větrné energetice se příliš nevěnují a často postrádají informace potřebné pro mé výpočty. Nakonec jsem vybral větrné elektrárny právě od jednoho výrobce a dvou distributorů.

Aerplast

Firma Aerplast s.r.o. je momentálně nejaktivnějším českým výrobcem malých větrných elektráren. Firma sídlí v Letovicích na Blanensku. Je to jediný český výrobce uvedený v mém přehledu.

Tato firma nabízí několik elektráren o jmenovitých výkonech od 300 W až po 22 kW. U zkoumaného RD je spotřeba elektrické energie poměrně vysoká. Z toho důvodu jsem vybral jako potenciální možnosti pro generování elektrické energie větrné elektrárny AP1200, AP2500 a AP7. Jednatel firmy naznačil, že do dalšího roku plánují vyvinout nové větrné elektrárny s horizontální osou otáčení [9].

Solar Economic

Jedním z vybraných distributorů větrných elektráren v České republice je firma Solar Economic s.r.o. Tato firma působí na českém trhu od roku 2009 a sídlí ve Valašském Meziříčí. Zaměřuje se na solární elektrárny, ale nabídka větrných elektráren a doplňkového zboží je velmi široká [10].

Solar energy PCE

Poslední významnou firmou zabývající se prodejem větrných elektráren na českém trhu je Solar energy PCE s.r.o. se sídlem v Nymburce. Opět se tato firma zaměřuje především na fotovoltaické elektrárny a prodej s instalací větrných elektráren nabízejí jako doplněk ke svým službám [11].

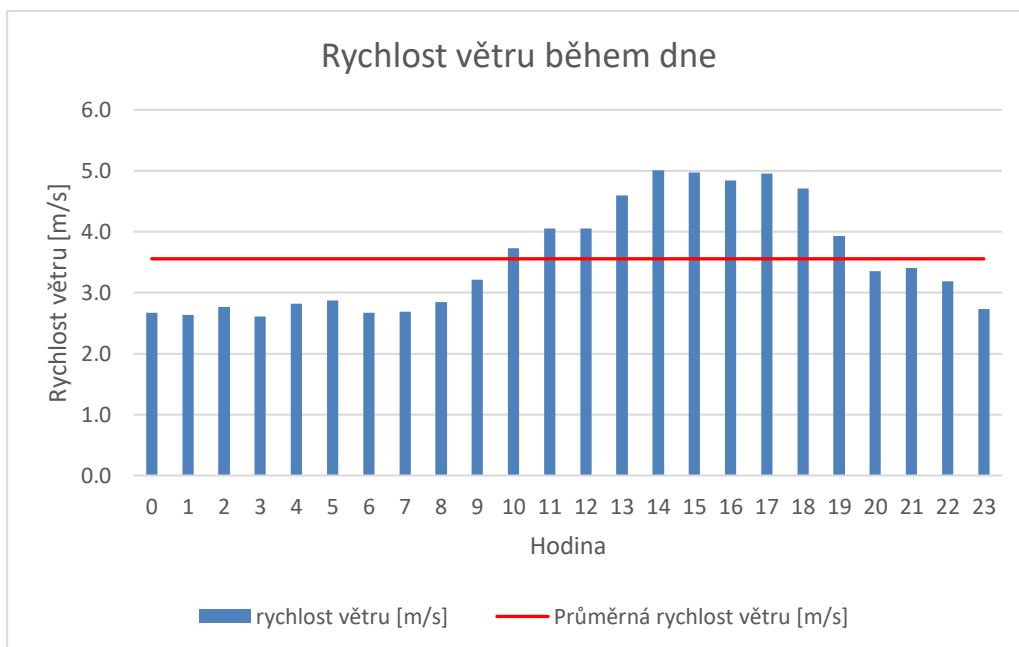
Informace o větrných elektrárnách jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 Vlastnosti MVtE, které využívám ve svém výpočtu

	AP1200	AP2400	AP7	SKYSTREAM 3.7	HY-3000L 5BLADE	HY-1500L 5BLADE
Vlastnosti MVtE						
Jmenovitý výkon	1200	2400	7000	2400	3000	1500
Jmenovitá rychlost větru	10	11	12	13	12.5	12
Výstupní napětí	48	230	230	240	220	110/220
Rozběhová rychlost	3	3	3	3.5	2.5	2.5
Maximální rychlost větru	30	30	30	25	25	25
Průměr rotoru	3.2	3.3	6.5	3.7	3.05	2.05
účinnost	25 %	36 %	21 %	17 %	36 %	44 %
Každoroční opotřebení	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %
Životnost	30	30	30	30	30	30
Cena Instalace						
Celková cena instalace (s DPH)	54 450	78 650	240 790	215 869	102 999	53 890
Variabilní náklady	900	1 600	3 400	4 317	2 060	1 078
Procentuální růst variabilních nákladů	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %

6.4. Rychlost větru během dne

Denní diagram generování elektrické energie MVtE závisí na hodinových průměrných hodnotách větru během dne. Rychlosti větru jsem měřil meteorologickou stanicí Professional USB, WS-0101 od firmy Conrad [19]. Anemometr jsem umístil ve výšce 5,5 metru v místě plánované výstavby MVtE. Data jsem nechal zaznamenávat v 10 až 30minutových intervalech. Měření jsem prováděl od 9.3.2017 do 8.4.2017. Naměřené rychlosti jsem přepočítával do plánované výšky výstavby MVtE (10 m) podle rovnice 1.4. Výsledné průměrné rychlosti během dne jsou zobrazeny na obrázku 14. Denní průměrná rychlost je 3,55 m/s.



Obrázek 14 Průměrné hodinové rychlosti větru během dne

6.4.1. Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení se počítá pro četnost rychlostí větru při znalosti rychlosti průměrné. Běžně se vypočítává roční četnost rychlostí větru ze znalosti roční průměrné rychlosti. Pro výpočty v mém modelu potřebuji znát četnost rychlostí větrů pro každou hodinu během dne.

Weibullovo rozdělení pak vypočteme [6]:

$$f(x) = \frac{k \cdot x^{k-1}}{A^k} \exp \left[- \left(\frac{x}{A} \right)^k \right] \quad (1.6)$$

kde je A bezrozměrný součinitel určující polohu maxima, který souvisí s průměrnou rychlostí (viz. Vzorec 1.7)

k bezrozměrný tvarový součinitel, nabývá hodnoty 1,5 až 3

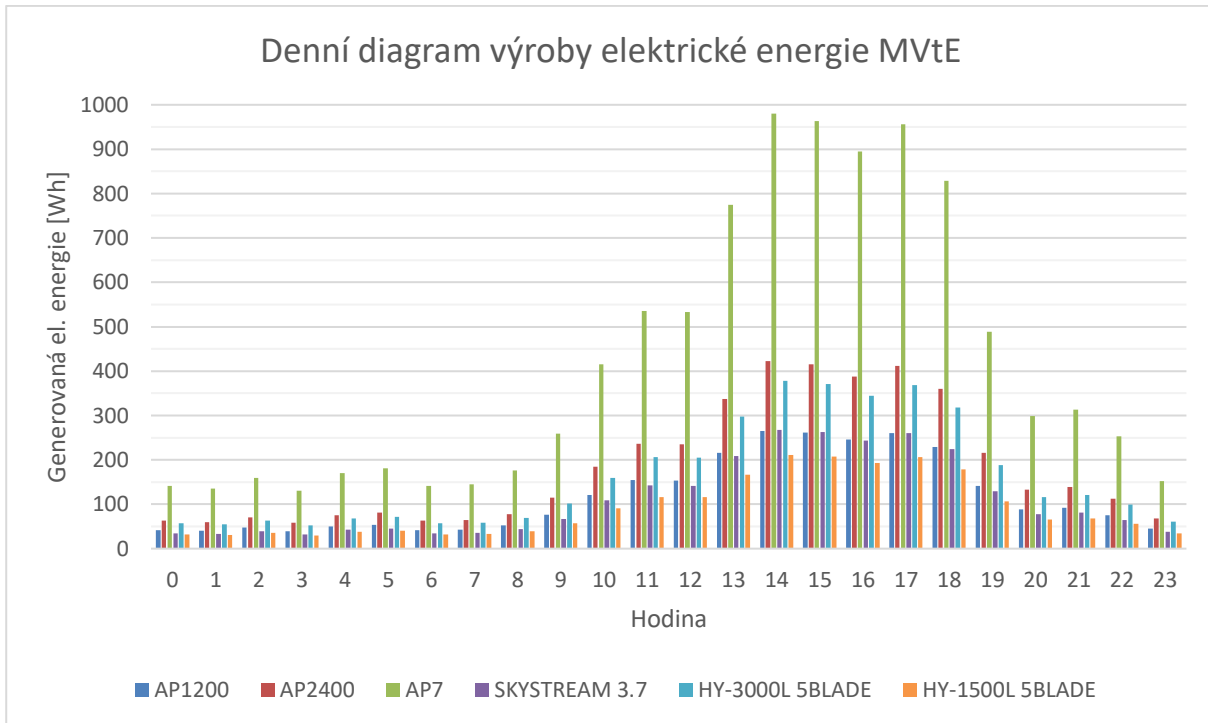
$$A = \frac{v_p}{0,88} \quad (1.7)$$

kde je v_p průměrná rychlost větru v lokalitě [m/s]

6.4.2. Denní tok elektrické energie

V dalším kroku násobím hodnoty Weibullova rozdělení hodnotami výkonových křivek vybraných MVTE. Tímto krokem dostanu hodnoty generované elektrické energie pro každou hodinu během dne, což jsou hodnoty denního diagramu výroby elektrické energie MVTE.

Výsledné hodnoty výpočtu jsou uvedeny na obrázku 15 a v tabulce 6. Ve větší velikosti je graf zobrazen v příloze 3.



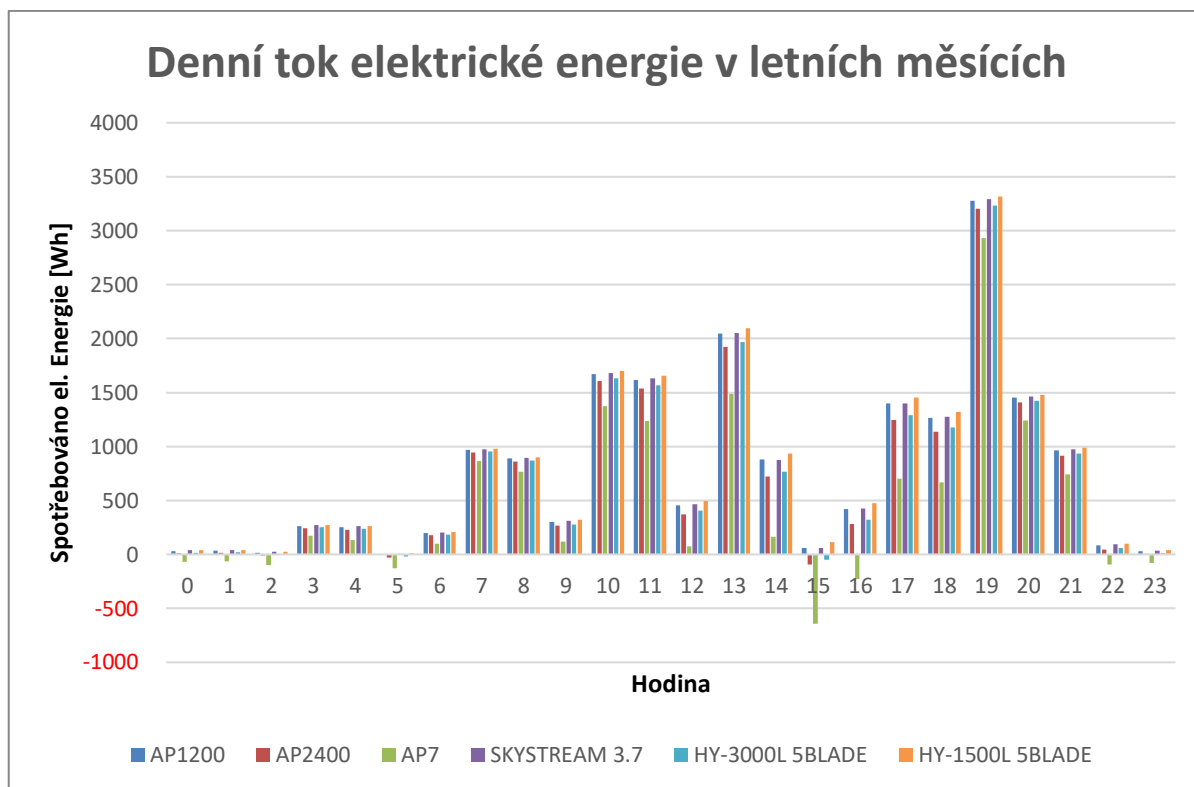
Obrázek 15 Generovaná elektrická energie z vybraných MVtE

Sečtením hodinové generované elektrické energie získám množství denní vyprodukovaná elektrická energie a po vynásobení této hodnoty počtem dní v roce (365 dní) získám roční generovanou elektrickou energii jednotlivých MVtE. Tento přehled je uveden v tabulce 6. Pro přehlednost dalších dat ještě uvádím využití výkonu větrných elektráren, který se vypočítá pomocí následujícího vzorce:

$$k_r = \frac{E_r}{P_{inst} \cdot t_r} [-] \quad (1.8)$$

kde je k_r koeficient ročního využití výkonu [-]
 E_r roční výroba elektrické energie [kWh]
 P_{inst} instalovaný výkon elektrárny [kW]
 t_r délka roku v hodinách [h]

Teď již znám všechny potřebné údaje pro zjištění toků elektrické energie v rodinném domě při instalování MVtE. Výsledné toky pro letní měsíce jsou zobrazeny na obrázku 16. Ve větším měřítku je graf toků elektrické energie během v letních měsících zobrazen v příloze 4. Graf denních toků elektrické energie v zimních měsících je v příloze 5. Roční součet dodávek elektrické energie do DS je uveden v tabulce 6.



Obrázek 16 Toky elektrické energie pro RD během dne v letních měsících

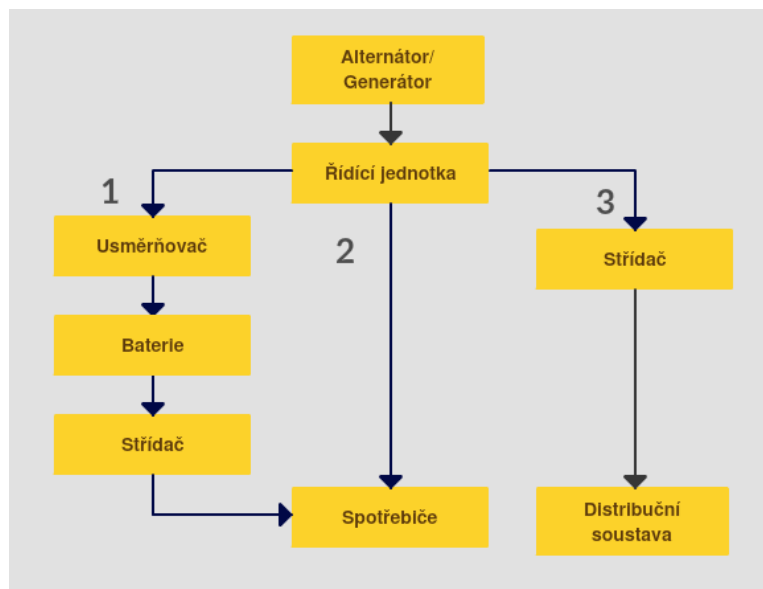
Tabulka 6 Generovaná elektrická energie vybraných MVTE pro každou hodinu během dne, během roku a množství dodané elektrické energie do DS za rok

hodina	Generováno el. energie [Wh]					
	AP1200	AP2400	AP7	SKYSTREAM 3.7	HY- 3000L 5BLADE	HY-1500L 5BLADE
0	42	63	142	35	57	32
1	40	60	135	33	54	31
2	47	71	159	40	64	36
3	39	58	130	32	53	30
4	50	76	170	42	67	38
5	54	81	181	45	72	41
6	42	63	142	35	57	32
7	43	64	145	36	58	33
8	52	78	176	44	70	39
9	77	115	259	67	101	57
10	121	184	415	109	160	90
11	154	236	536	142	206	116
12	154	235	534	142	205	116
13	216	338	775	209	297	167
14	266	422	981	268	378	211
15	262	415	963	263	371	207
16	245	387	895	243	344	193
17	260	412	956	261	368	206
18	229	360	828	224	318	178
19	141	216	488	129	188	106
20	88	133	298	77	116	65
21	92	139	313	81	121	68
22	75	113	253	65	99	56
23	45	68	152	38	61	34
Letní měsíce [kWh]	609	943	2156	571	835	469
Zimní měsíce [kWh]	425	658	1504	399	583	327
Generováno za rok [kWh]	1034	1601	3659	970	1417	797
Využití výkonu	9,8 %	7,6 %	6,0 %	4,6 %	5,4 %	6,1 %
Dodáno do DS [kWh]	0,65	38,99	393,36	0,00	21,50	0,00
Část z roční generované energie do DS	0,1 %	3,0 %	13,1 %	0,0 %	1,8 %	0,0 %

7. Vyhodnocení investičních nákladů a hotovostních toků projektu

7.1. Možnosti příjmů

Náklady na MVtE jsou uvedeny v předešlé kapitole v tabulce 5. Jsou 3 možnosti, jak uplatnit generovanou elektrickou energii: akumulovat, ihned spotřebovat nebo dodat do DS. Vybrané preferované možnosti budou mít vliv jak na počáteční investici, tak i na pozdější příjmy.



Obrázek 17 Schéma využití generované elektrické energie

Z finančního hlediska je v České republice podporována výroba elektrické energie větrnými elektrárnami dvěma způsoby: garantovanou výkupní cenou nebo zeleným bonusem. Je na majiteli, jaký způsob podpory si vybere. Významné rozdíly dvou možností je, že zelený bonus se vyplácí za veškerou vyrobenou elektrickou energii, ale u garantované výkupní ceny je vyplácena částka podle množství dodané energie do DS. Při vyplácení zeleného bonusu vyrobenou elektrickou energii můžeme hned spotřebovat a za tuto energii nám jednak bude vyplácen zelený bonus, a navíc ušetříme náklady na přijímání elektrické energie z DS. Možností je i vyrobenou elektrickou energii prodávat do DS. To záleží na našich smluvních podmínkách s distributorem elektrické energie [15]. Další rozdíl, který ovlivní cash flow (CF) je fakt, že zelený bonus není účtován s DPH, kdežto výkupní cena ano [16]. Výše výkupní ceny a zeleného bonusu jsou stanovovány před koncem každého kalendářního roku Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) a jsou platné pro elektrárny instalované v následujícím roce. Částky se zveřejňují v cenovém rozhodnutí energetického regulačního úřadu. To je dostupné online na webových stránkách ERÚ [17].

V případě instalace MVtE je nutné zdůraznit, že dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2016 ze dne 26. září 2016 výkupní ceny energie a zelené bonusy lze pro nově vybudované MVtE uplatnit pouze pokud jejich výrobní technologické celky nejsou starší než 2 roky. Tento fakt by mohl být problematický při výrobě vlastní MVtE nebo při zakoupení bazarové větrné elektrárny. V mém porovnání počítám pouze s nově zakoupenými větrnými elektrárnami [16].

Tabulka 7 Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro větrné elektrárny

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny	Zelené bonusy
				[Kč/MWh]	[Kč/MWh]
a	b	c	j	k	
410	Větrná elektrárna	1.1.2013	31.12.2013	2 294	1 794
411		1.1.2014	31.12.2014	2 137	1 637
412		1.1.2015	31.12.2015	2 060	1 560
413		1.1.2016	31.12.2016	1 969	1 469
414		1.1.2017	31.12.2017	1 930	1 430

V tabulce 7 jsou uvedeny výkupní ceny a zelené bonusy pro elektrickou energii generovanou z Větrné elektrárny. Výkupní cena za elektrickou energii dodanou do DS větrnou elektrárnou instalovanou v roce 2017 je 1 930 Kč/MWh (tedy 1,93 Kč/kWh). Tato výkupní cena ale není konečná. Po dobu životnosti (a tedy garance vykupování elektrické energie vyrobené elektrárnou) se každý rok výkupní cena navyšuje o 2 % [16]. S ohledem na výše uvedený přehled výkupních cen elektrické energie z minulých let se dá očekávat, že v následujících letech bude výše garantované výkupní ceny a zeleného bonusu nadále klesat.

RD, ke kterému vytvářím plány na připojení MVtE, vykupuje elektřinu od firmy ČEZ podle distribuční sazby D56d. Platba za spotřebovanou proměnnou část elektrické energie ve vysokém tarifu této sazby je 2045,00 Kč/MWh a platba za spotřebu v nízkém tarifu 1753,59 Kč/MWh. Ceny jsou uvedeny včetně DPH [20]. Pro zjednodušení ve svém projektu počítám s průměrnou cenou proměnné složky platby za spotřebovanou energii. Při výpočtu průměrné ceny vycházím z denního diagramu RD a ze znalosti časů účtování vysokého a nízkého tarifu. Podle internetových stránek distribuce firmy ČEZ je u mnou hodnoceného domu vysoký tarif účtován každý den od 9:00 do 10:00 a od 12:00 do 13:00 [21]. Během zbývajících doby je účtován nízký tarif. Pomocí váženého průměru hodnot vysokého a nízkého tarifu vypočtu průměrnou placenou cenu za proměnnou část ceny elektrické energie. Výsledná cena je 1779,33 Kč/MWh.

7.2. Další investiční náklady

7.2.1. Střídač

Na českém trhu se dají poměrně snadno nalézt střídače určené pro fotovoltaické elektrárny. Ovšem najít střídač pro MVtE, je náročnější proces. Na internetu není téměř žádný střídač určený přímo pro větrnou elektrárnu dostupný. O střídače specifické pro větrné elektrárny mi jde z důvodu dodávání elektrické energie do DS. Pokud bych provozoval MVtE v ostrovním režimu off – grid, použil bych obecně používané střídače elektrické energie. Na základě doporučení a zkušeností firmy Aerplast budu ve svém výpočtu pracovat jen s ověřenými střídači touto firmou a řídicími jednotkami od firmy ABB [23]. Pro řešení větrných elektráren od firmy HY dodává stejný výrobce také střídače pro tyto elektrárny [11].

Tabulka 8 Přehled vybraných střídačů

	ABB	ABB	HY	HY
	UNO-2.5-I	PVI-6000-TL	HYGCI-H-20GL	HYGCI-H-30GL
max. účinnost	96.3 %	97 %	95 %	95 %
rated AC [W]	2500	6000	2000	3000
max AC [W]	2750	6000	2200	3250
cena [Kč]	45 300	109 999	39 999	49 999
cena řídicí jednotky [Kč]	12 999	19 999	v ceně	v ceně

Součástí střídačů od firmy HY je i řídicí jednotka pro větrné elektrárny jejich výroby. Tyto inventory bych doporučoval používat pouze s větrnými elektrárnami HY. K větrným elektrárnám od firmy Aerplast je ještě potřeba dokoupit řídicí jednotku. Ceny za řídicí jednotky jsou uvedeny v tabulce 8 společně se střídači. Řídicí jednotka je potřebná pro optimalizaci výkonu MVtE a ochranu elektrárny před poškozením při překročení povolených rychlostí větru.

7.2.2. Stožár a ukotvení

RD, u kterého plánuji instalovat MVtE, dosahuje výšky 8,5 metru. To by byla přijatelná výška pro umístění rotoru větrné elektrárny. Nicméně, instalovat elektrárnu o jmenovitém výkonu 2 kW na střechu domu může mít za následek nežádoucí otřesy a vibrace, které v nejhorším případě naruší statiku domu. Bezpečnější, ale zároveň více nákladnou variantou, je výstavba 10metrového stožáru. Dle fóra na stránce mypower.cz [24] mají lidé dobré zkušenosti s příhradkovým stožárem a dále jeho ukotvením jisticími lany. Cena příhradkového stožáru přijde na 21 990 Kč [25]. Na ukotvení bych použil lana od firmy Mastrant. Tato firma nabízí lana z několika různých materiálů a různých tloušťek. 20 metrů lana Mastrant – P 6 mm vyjde na 418 Kč. Lana upevním třemi svorkami a očnicemi. Tyto položky zvýší náklady o 117 Kč [26]. Všechny ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Příhradkový stožár ale nebude dostatečný pro větrnou elektrárnu AP7. Stožár by tuto větrnou elektrárnu nemusel ani unést. V případě instalace této elektrárny firma Aerplast doporučuje zakoupit specializovaný stožár jehož cena s dodáním a namontováním vychází na 80 000 Kč.

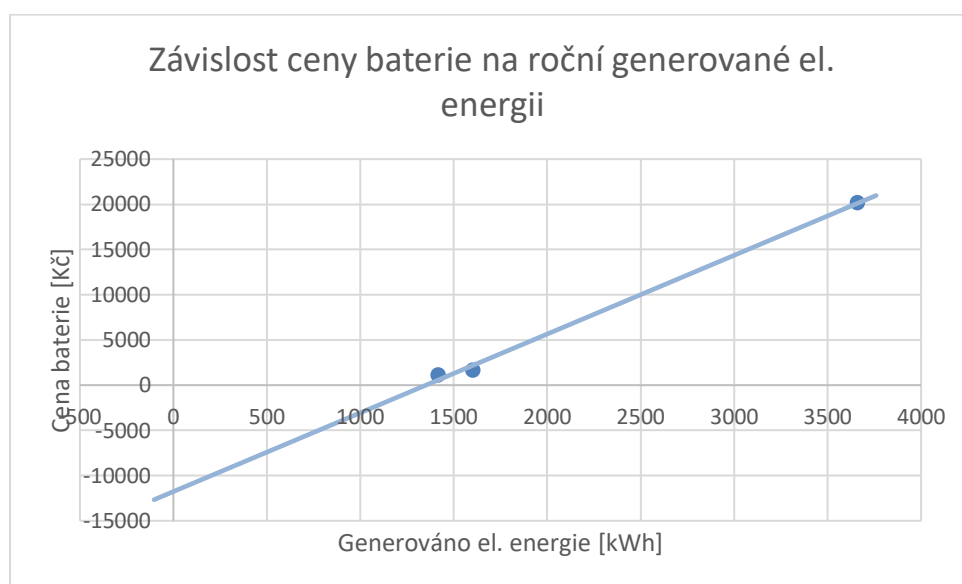
7.2.3. Baterie

Ve svém projektu budu používat záložní olověné baterie. Potřebnou kapacitu baterie zjišťuji z toků elektrické energie v domácnosti v letních měsících (viz obrázek 16). Z nich vychází, že nejvíce nespotřebované elektrické energie je generováno během 15. a 16. hodiny v případě AP7. U AP 2400 a HY-3000L to je pouze v 15. hodině. Potřebná kapacita baterií a jejich cena pro použití vybraných MVtE je uvedena v tabulce 9.

Tabulka 9 Kapacita a cena baterií

	AP1200	AP2400	AP7	SKYSTREAM 3.7	HY- 3000L 5BLADE	HY- 1500L 5BLADE
Potřebná kapacita [Wh]	0	92	868	0	48	0
Kapacita 12V baterie [Ah]		8	72		4	
cena [Kč]		543	6716		360	
životnost [let]		10	10		10	
cena celkem [Kč]		1 629 ¹	20 148 ²		1 080 ³	
generováno el. Energie [kWh]		1 601	3 659		1 417	

Ceny baterií jsou přebrány z internetového e-shopu topbattery.cz. V dalším kroku jsem graficky znázornil závislost ceny za olovené baterie na roční vyrobené elektrické energii. Graf je na obrázku 18.



Obrázek 18 Závislost ceny baterií na roční generované elektrické energii

Z vyobrazených bodů vyplývá lineární závislost ceny baterie na generované roční elektrické energii. Cenu za olovené baterie je možné zobecnit touto rovnicí:

$$p_a = 8,709 \cdot E_G - 11767 \text{ [Kč]} \quad (1.9)$$

kde je p_a cena za olovenou baterii [Kč]
 E_G roční generovaná elektrická energie [kWh]

Pro roční generované elektrické energie do 1353 kWh vycházejí ceny za baterie záporné. To znamená, že žádná elektrická energie se nebude akumulovat při roční generované elektrické energii menší než 1353 kWh. Podle rovnice 1.9 vypočítávám v mém

¹ <http://www.topbattery.cz/zalozni-stanicni-baterie-ups/akumulator-baterie-leaftron-ltx12-9-t2-12v-9ah.html>

² <http://www.topbattery.cz/zalozni-stanicni-baterie-ups/zalozni-baterie-sbg-12-70-12v-70ah-gelova-zivotnost-12-let.html>

³ <http://www.topbattery.cz/zalozni-stanicni-baterie-ups/baterie-akumulator-alarmguard-cj12-4-5-12v-4-5ah.html>

modelu automaticky cenu baterie ve výpočtu CF. Rovnice 1.9 bude platná pouze pro tento dům a bude omezena určitým maximálním výkonem. Elektrárny větších výkonů budou generovat více elektrické energie i v dalších hodinách a odhaduji, že poměr nespotřebované elektrické energie bude růst větším tempem. Přesným vyčíslením této myšlenky se ale ve své bakalářské práci nebudu zabývat.

Ze skutečností uvedených v této kapitole mohu vytvářet ekonomickou analýzu pro 3 možné scénáře:

1. Veškerá elektrická energie bude prodána za výkupní cena. Po uplynutí garance výkupní ceny, bude elektrická energie spotřebována v RD.
2. Od začátku bude vyplácen zelený bonus. Energie se spotřebuje v RD a nespotřebovaná energie bude poslána do DS (bez nároku na výkupní cenu). Po uplynutí doby vyplácení zeleného bonusu se bude elektrická energie nadále spotřebovávat v RD.
3. Od začátku bude vyplácen zelený bonus. Energie se spotřebuje v RD a nespotřebovaná energie bude akumulována v bateriích. Veškerou generovanou elektrickou energii tak spotřebuji.

Celková konečná výše prvotní investice bez cen baterií a ceny baterií jednotlivých MVtE jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10 Celková investice a ceny baterií

	AP1200	AP2400	AP7	SKYSTREAM 3.7	HY- 3000L 5BLADE	HY-1500L 5BLADE
Celková cena investice [Kč]	130 750	165 750	327 500	293 300	180 450	121 300
cena za baterie [Kč]	0	1 629	20 148	0	1 080	0

8. Ekonomické vyhodnocení variant

Částky počátečních investic jednotlivých projektů jsou velmi rozdílné. Varianty musím porovnávat rozhodovací metodou, která nezávisí na velikosti počáteční investice. Z toho důvodu budu investice porovnávat podle NPV (Net Present Value).

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \quad (1.10)$$

kde je CF_t generovaný peněžní tok v daném roce [Kč]
 T životnost projektu [let]
 t daný rok
 r diskontní míra [%]
 IN investice před uvedením do provozu [Kč]

Dle vyhlášky Energetického regulačního úřadu (ERÚ) č. 296/2015 Sb. je doba životnosti VT 20 let [18]. Nicméně většina výrobců uvádí životnost větrných elektráren 30 let. Cash flow tedy vypočítávám pro dobu životnosti 30 let. Diskontní míra v mém projektu je 5 %, což je hodnota často používá při hodnocení investic zohledňující uložení peněz na spořicí účet, riziko investování a očekávanou inflaci [22].

8.1. Výpočet NPV

Před výpočtem NPV je nutné znát V prvním kroku výpočtu NPV je nutné znát CF jednotlivých let po dobu životnosti projektu. Pro mnou navrhované 3 možnosti využití větrné elektrárny bude generované CF vždy rozdílné. Ukázka vstupních dat pro výpočet CF je v tabulce 11.

Tabulka 11 Ukázka vstupních dat pro výpočet CF elektrárny AP1200

Parametr	Hodnota	Jednotky
Jmenovitý výkon elektrárny		
Generováno elektrické energie	850	kWh/rok
Efektivita Regulatoru	95,0 %	
Energie celkem	808	kWh/rok
Každoroční opotřebení	0,5 %	ročně
Ušetřeno energie ze spotřeby	807	kWh/rok
Variabilní náklady	900	Kč
Procentuální růst var. nákladů	0,5 %	ročně
Životnost MVtE	30	let
Zvyšování ceny elektřiny	2 %	
Platba za spotřebu el. energie	1,779325	Kč/kWh
Zelený bonus	1,43	Kč/kWh
Doba trvání zeleného bonusu	20	ročně

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotky</i>
Investiční náklady	135 748	Kč
Cena akumulátoru	0	Kč
Splaceno při uvedení do provozu	100 %	
Úrok	0,0 %	ročně
Doba Splacení závazku	0	let
Diskont	5,0 %	
Výkupní cena	1,93	Kč/kWh

Ve výpočtech CF používám několik vzorců. Vzorec pro výpočet ušetřených výdajů:

$$V_U = P_E \cdot (1 + r)^{(t-1)} \cdot E_U \cdot (1 - d)^{(t-1)} \cdot \eta_R \quad (1.11)$$

kde je V_U ušetřený výdaj [Kč]
 P_E průměrná cena elektrické energie [Kč]
 r roční růst ceny elektrické energie [%]
 t rok pro který je ušetřený náklad počítán
 E_U energie vyrobená z MVtE a spotřebovaná v RD [kWh]
 d úbytek výkonu MVtE [%]
 η_R účinnost regulátoru [%]

Příjem za elektrickou energii dodanou do DS je počítán:

$$P_V = C_V \cdot E_G \cdot (1 + r)^{(t-1)} \quad (1.12)$$

kde je P_V příjem za dodanou elektrickou energii do DS [Kč]
 C_V výkupní cena [Kč/kWh]
 E_G generovaná elektrická energie za rok [kWh]
 t rok pro který je příjem z výkupu energie počítán
 r roční přírůstek výkupní ceny elektrické energie [%]

Příjem za generovanou elektrickou energii podporovanou zeleným bonusem:

$$P_{ZB} = C_{ZB} \cdot E_G \quad (1.13)$$

kde je P_{ZB} roční příjem z podpory zeleného bonusu [Kč]
 C_{ZB} cena zeleného bonusu [Kč/kWh]
 E_G generovaná elektrická energie za rok [kWh]

Do výdajů započítávám roční variabilní náklady elektrárny a při financování výstavby MVtE za pomoci půjčky započítávám roční splátku, kterou pro přehlednost dělím na platbu za úrok a úmor.

Pro výpočet platby za úmor a úrok využívám dvou funkcí Excelu: PLATBA.ZÁKLAD pro výpočet úmoru a funkci PLATBA pro výpočet úroku (hodnotu této funkce odečítám z hodnoty úmoru, výsledkem je velikost úroku). Výsledné hodnoty funkcí jsou záporné. V modelu je násobím číslem -1, abych v zobrazení měl kladnou hodnotu. Důvodem tohoto postupu je pouze přehlednost výsledků.

Variabilní náklady stanovuji hodnotou 2 % z pořizovací ceny MVtE a započítávám jejich každoroční růst. Ukázka výpočtu CF ve variantě č.1 pro elektrárnu AP1200 při placení investice v hotovosti je v příloze 3.

Každá z variant má specifický výpočet CF. První varianta (výkupní cena) počítá mezi příjmy prvních 20 let vyplacenou cenu za prodej energie dodané do DS. Po uplynutí doby garance výkupní ceny bude dům elektrickou energii spotřebovávat. Počítám pak s ušetřenými náklady. Výdaje jsou neměnné (výdaj na úrok a variabilní náklady).

Výpočet obou variant se zelným bonusem jsou stejné. Jediný rozdíl je ve výpočtu ušetřených nákladů. U varianty zeleného bonusu s akumulátorem je vstupní hodnota pro ušetřené náklady parametr „Energie celkem“, tedy energie generovaná MVtE a upravená o efektivnost střídače. U varianty zeleného bonusu, kde jsou přebytky dodávány do DS, je vstupním parametrem pro ušetřené náklady „Ušetřeno energie ze spotřeby“, tedy el. energie přímo využita RD.

K výpočtu NPV používám funkci Excelu ČISTÁ.SOUČHODNOTA jejímž vstupem je diskont a CF v jednotlivých letech životnosti projektu.

Tabulka 12 Výsledné hodnoty NPV jednotlivých variant a použitých MVtE

	AP1200	AP2400	AP7	SKYSTREAM 3.7	HY-3000L 5BLADE	HY-1500L 5BLADE
NPV (1) Půjčka	-126 333	-158 430	-294 968	-346 668	-180 923	-120 914
NPV (2) Půjčka	-115 075	-141 919	-264 565	-336 092	-165 991	-112 229
NPV (3) Půjčka	-115 054	-140 718	-261 109	-336 092	-165 329	-112 229
NPV (1) Hotovost	-121 635	-152 521	-283 637	-336 517	-174 679	-116 715
NPV (2) Hotovost	-110 377	-136 010	-253 233	-325 942	-159 747	-108 031
NPV (3) Hotovost	-110 357	-134 810	-255 548	-325 942	-159 085	-108 031
	-116 472	-144 068	-268 843	-334 542	-167 625	-113 025

Ze získaných výsledků hodnot NPV je patrné, že za výše uvedených podmínek je výstavba MVtE ekonomicky nevýhodná. Nejlépe vychází varianta č. 2, kde investice je placena v hotovosti.

Poslední dobou je často zmiňované téma změny tarifní struktury. V nové tarifní struktuře je návrh změnit cenu distribuce za spotřebovanou elektrickou energii. Pro tarif používaný u mého rodinného domu D55d by došlo k následující změně. Dosud je platba za distribuci spotřebované elektrické energie ve VT 308,36 Kč/MWh a v NT 77,45 Kč/MWh včetně DPH.

Dle nového sazebníku by cena v NT byla 154,88 Kč/MWh a 168,19 Kč/MWh ve VT s DPH. Tyto ceny jsou průměrné. Průměrné ceny starého tarifu D55d, ze kterých vychází kalkulace nových tarifů, jsou 39,93 Kč/MWh v NT a 278,30 Kč/MWh ve VT. Současná platba za spotřebovanou elektrickou energii je vyšší. K plánovaným cenám nového sazebníku připočtu 28 Kč/MWh. Výsledné ceny za distribuci jsou 182,88 Kč/MWh v NT a 196,19 ve VT. Při zachování současných plateb za

ostatní služby a obchodní složku platby za spotřebu elektrické energie je 1859,02 Kč/MWh v NT a 1932,83 Kč/MWh ve VT. Průměrnou cenu budu počítat stejným způsobem jako při stanovování průměrné ceny za spotřebovanou elektrickou energii podle současné tarifní struktury. Průměrná cena pak je 1865,54 Kč/MWh. Výsledné hodnoty NPV pro tento tarif jsou uvedeny v tabulce 13. Oproti hodnotám v tabulce 12 se NPV příliš nezmění. Dokonce, vychází NPV investice do MVtE o trochu výhodněji při zavedení nové tarifní struktury. Je potřeba zdůraznit, že zavedení nové tarifní struktury bude pro majitele využívající obnovitelné zdroje elektřiny pro vlastní spotřebu výhodné. Důvodem je průměrné zvýšení ceny elektřiny, tudíž se zvýší i celkové výdaje za spotřebovanou elektrickou energii [33].

Tabulka 13 Výsledné hodnoty NPV jednotlivých variant a použitých MVtE podle nové tarifní struktury

	AP1200	AP2400	AP7	SKYSTREAM 3.7	HY-3000L 5BLADE	HY-1500L 5BLADE
NPV (1) Půjčka	-126 058	-158 016	-294 122	-346 410	-180 553	-120 702
NPV (2) Půjčka	-113 807	-140 014	-260 664	-334 902	-164 285	-111 252
NPV (3) Půjčka	-113 786	-138 755	-256 621	-334 902	-163 591	-111 252
NPV (1) Hotovost	-121 360	-152 108	-282 791	-336 259	-174 308	-116 503
NPV (2) Hotovost	-109 110	-134 105	-249 333	-324 752	-158 040	-107 054
NPV (3) Hotovost	-109 089	-132 847	-251 061	-324 752	-157 346	-107 054
	-115 535	-142 641	-265 765	-333 663	-166 354	-112 303

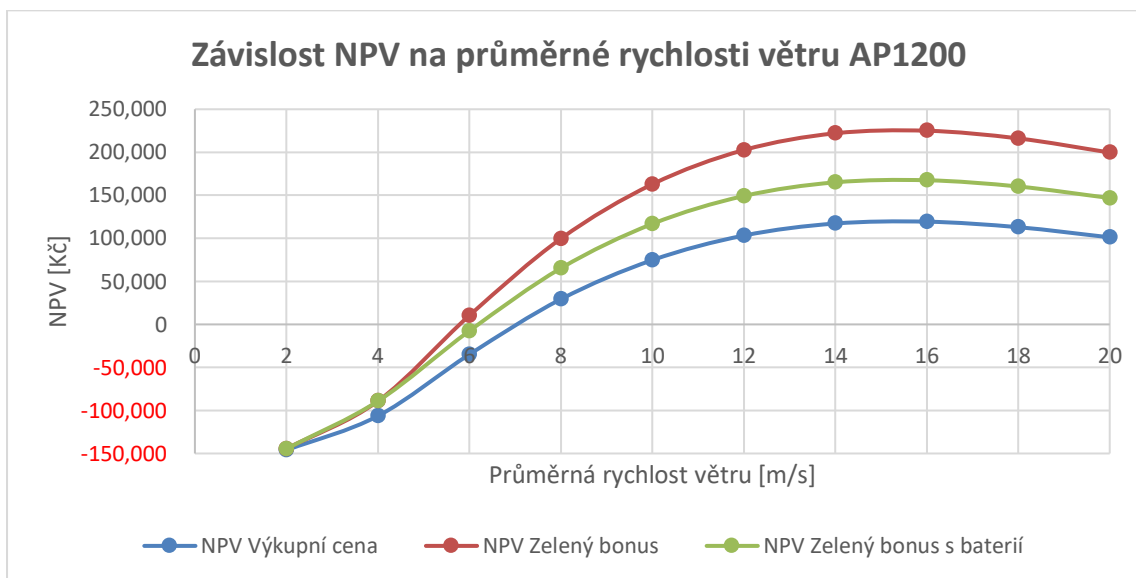
8.2. Citlivostní analýza

Na posledních dvou listech mého modelu MVtE je naprogramována interaktivní citlivostní analýza. Interaktivní analýza umožňuje uživateli měnit většinu vstupní hodnoty najednou. Program tak okamžitě zobrazí hranici, od které se investice vyplatí při změně více parametrů.

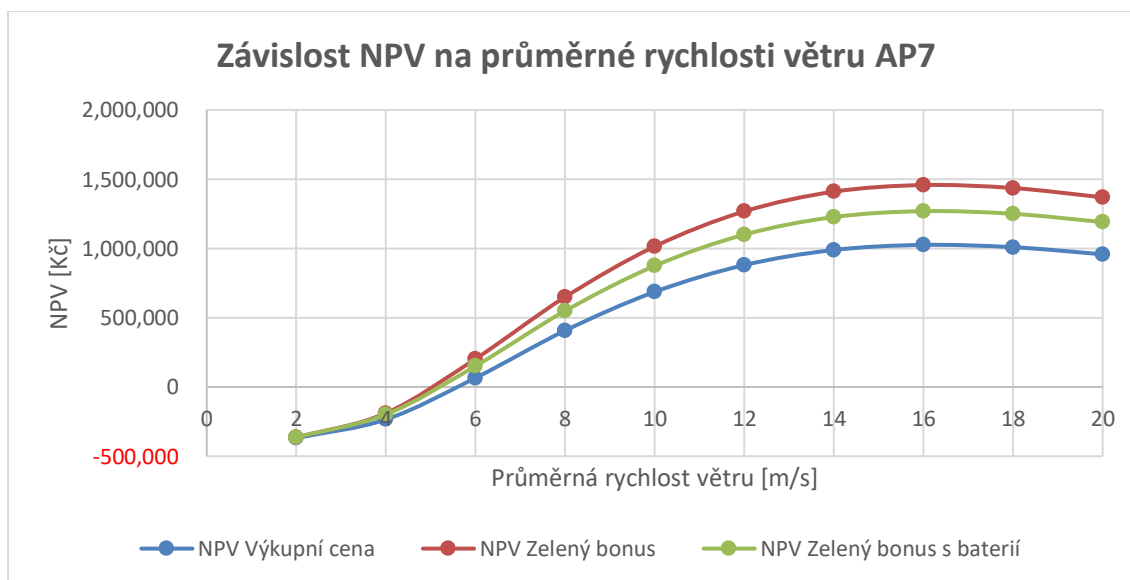
List citlivostní analýzy je zaměřen na zobrazování grafů při změně jednoho vstupního parametru. Analyzována je vždy právě vybraná MVtE v zadávacím listě „Input sheet“. Pro výpočet závislosti NPV na potřebném parametru je potřeba při každé změně MVtE kliknout na tlačítko „Calculate“.

Grafy citlivostních analýz zobrazují závislost NPV na parametru vždy jen pro jednu MVtE ve všech třech možnostech připojení. V této práci uvádím vybrané grafy větrných elektráren AP1200, AP2400 a AP7.

Grafy na obrázcích 19 a 20 ilustrují závislost NPV na průměrné roční rychlosti větru. Tyto grafy jsou uvedeny, jelikož je na nich vidět posunu křivky varianty 3 (zelené křivka) vůči křivce varianty 2 (červená křivka). Z grafu se dá usoudit, že se zvětšujícím se poměrem nespotřebované generované elektrické energie ke spotřebované generované elektrické energii začne být výhodnější varianta číslo 3 oproti variantě 2. Tuto hypotézu je ověřitelná na interaktivní analýze MVtE v příloženém programu Excel.

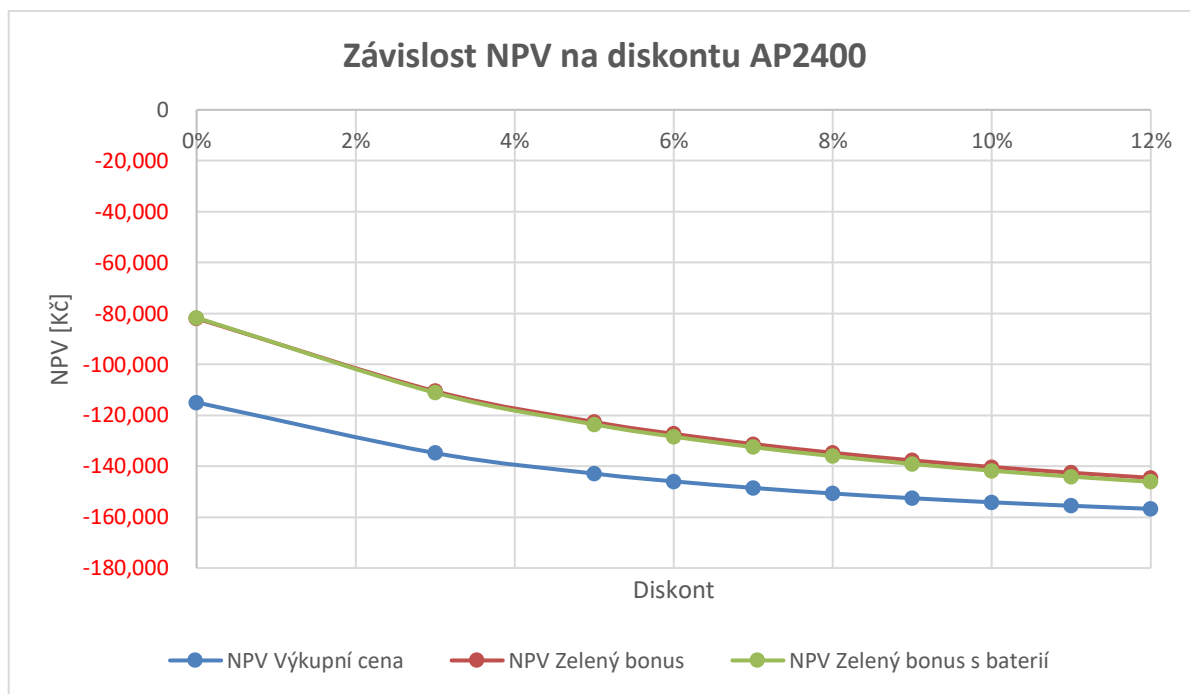


Obrázek 19 Závislost NPV na změně průměrné rychlosti pro AP1200

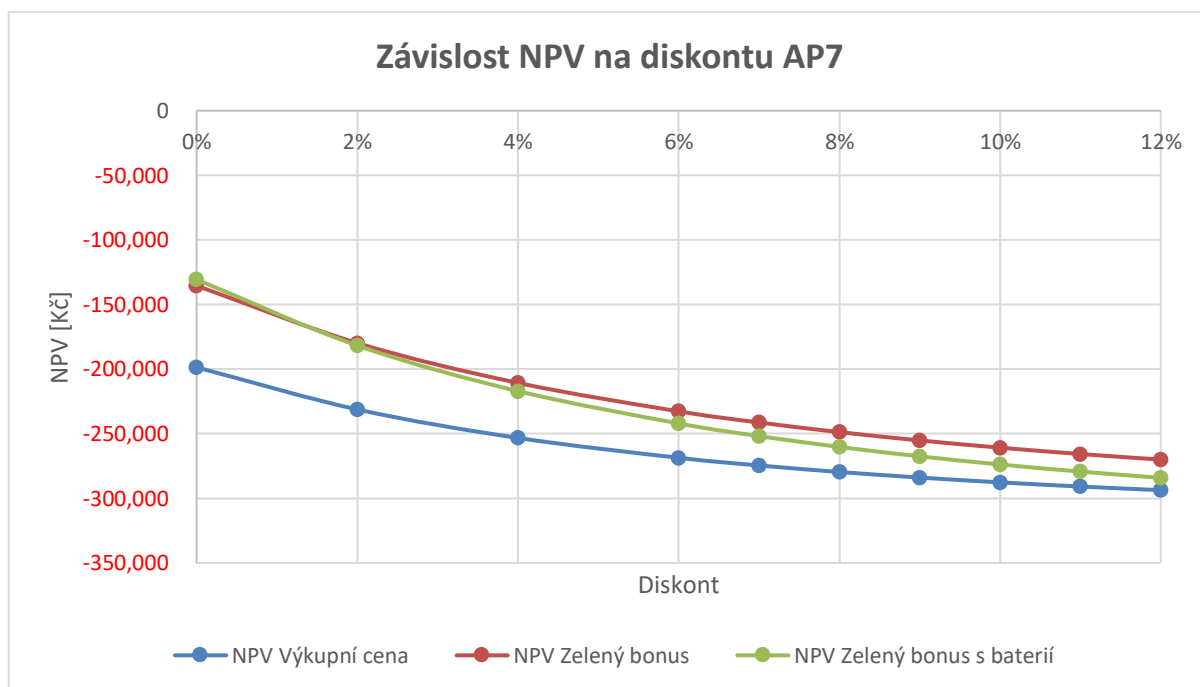


Obrázek 20 Závislost NPV na změně průměrné rychlosti pro AP7

Na obrázcích 21 a 22 zobrazených níže jsou ilustrovány citlivostní analýzy NPV na volbě diskontu pro AP2400 a AP7. Z grafického zobrazení je opět patrné, že výběr varianty závisí na výši diskontu. Opět by se investor rozhodoval mezi variantou 2 a 3. Pro vyšší diskontní míry vychází lépe varianta 2, pro nižší diskontní míry varianta 3. I u těchto grafických zobrazení je možné pozorovat rozdíl v průběhu jednotlivých křivek vůči sobě. Opět do této rozdílnosti promlouvá rozdílný poměr mezi spotřebovanou a nespotřebovanou elektrickou energií jednotlivých elektráren.

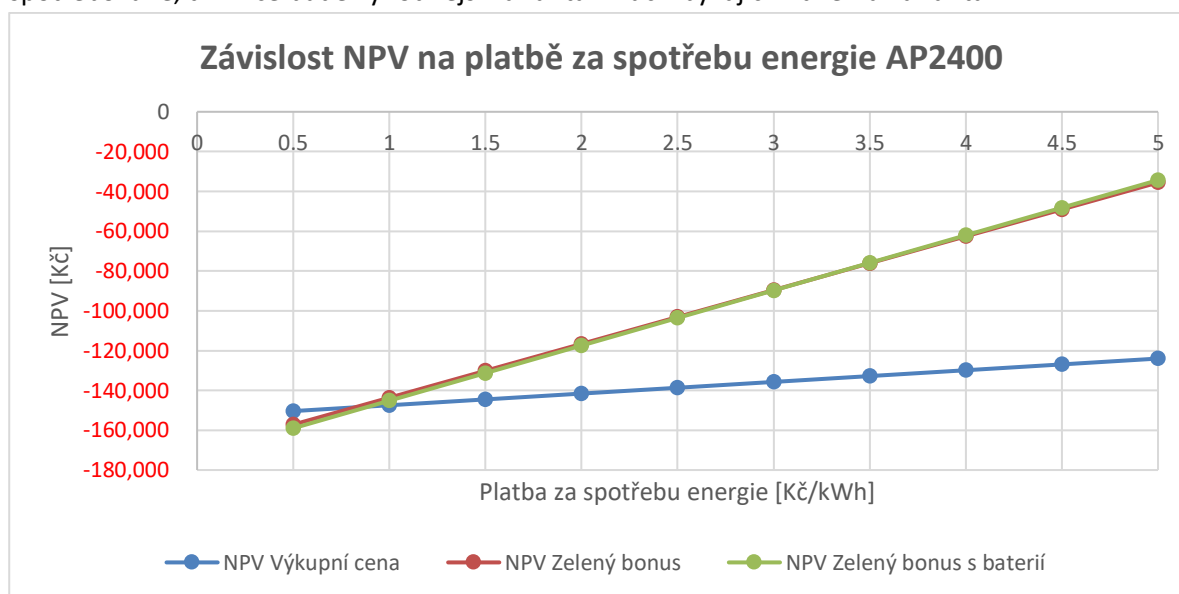


Obrázek 21 Závislost NPV na volbě diskontu pro AP1200

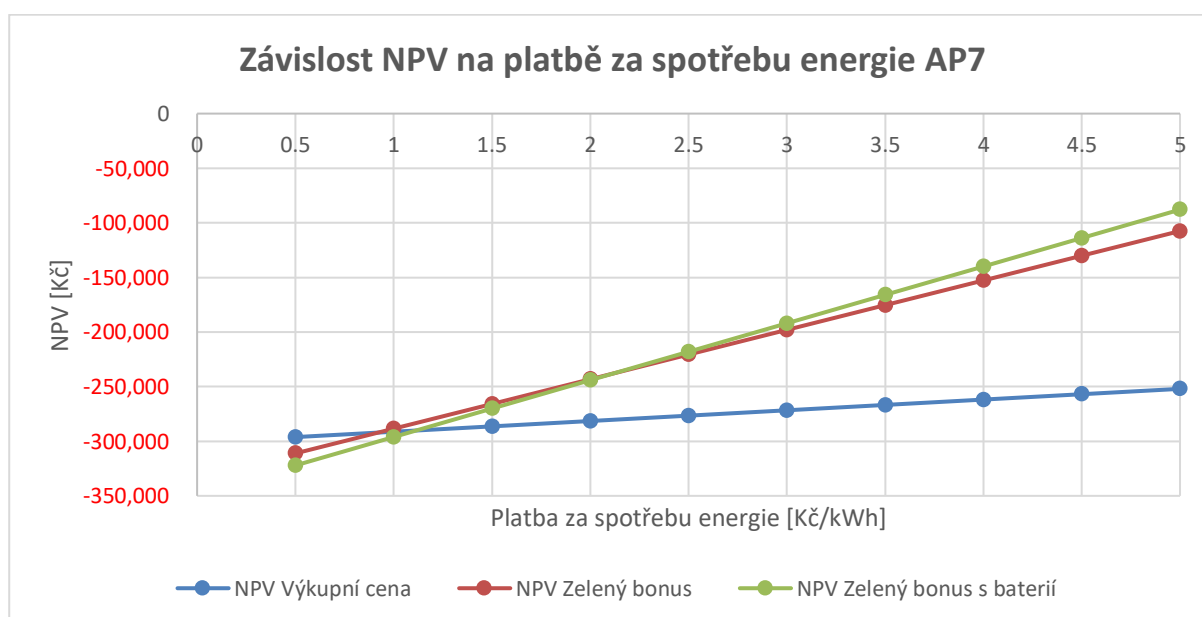


Obrázek 22 Závislost NPV na volbě diskontu pro AP7

Při zkoumání dopadu nové tarifní struktury na NPV jsem zjistil, že se zvýšením proměnné ceny elektrické energie dojde k zvýšení NPV. Na obrázcích 23 a 24 jsou zobrazeny závislosti NPV na výši proměnné ceny elektrické energie pro AP2400 a AP7. NPV pro variantu 1 se téměř nemění s výší platby za spotřebu energie s porovnáním variant 2 a 3. Je to logicky z důvodu, že platba za spotřebu energie ovlivňuje CF a NPV u varianty 1 jen posledními 10lety životnosti. Pro obě elektrárny je pro nejnižší hodnoty platby nejvýhodnější varianta 1. U varianty AP7 je varianta 2 výhodnější od platby 1Kč/kWh a od výše platby 2,2Kč/kWh je nejvýhodnější varianta č. 3. Pro elektrárnu AP2400 je průběh nejvýhodnějších variant stejný. Varianta 1 je nejvýhodnější do 0,8 Kč/kWh a poté se varianty 2 a 3 téměř překrývají. Trend křivek je ale jasný, čím bude vyšší platba za spotřebovanou elektrickou energii a čím větší bude poměr nespotebované energie ke spotřebované, tím více bude výhodnější varianta 2 vůči zbývajícím dvěma variantám.

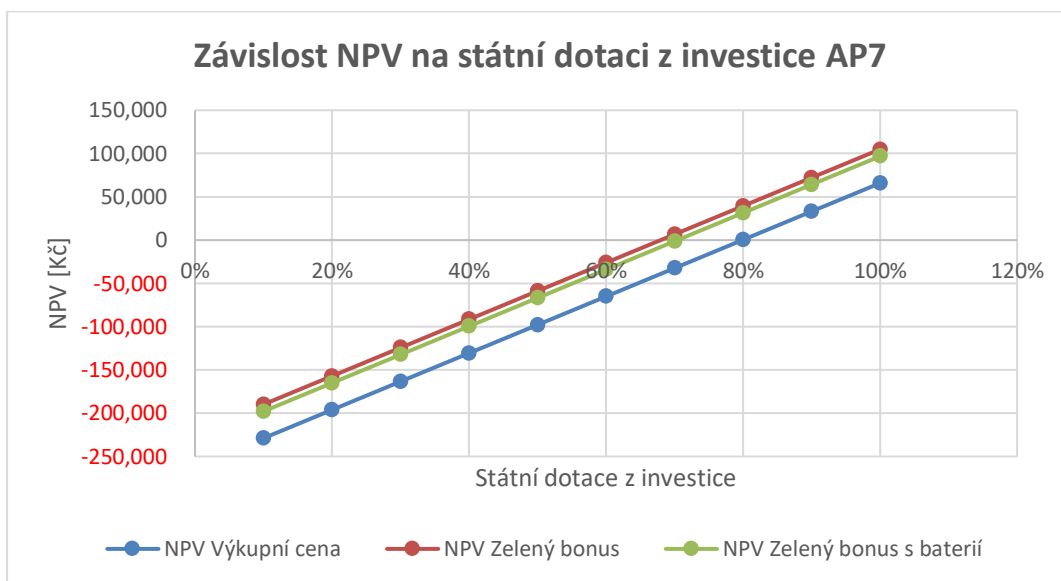


Obrázek 23 Závislost NPV na platbě za spotřebu energie pro AP1200



Obrázek 24 Závislost NPV na platbě za spotřebu energie pro AP7

Závislost NPV na procentuální míře státní dotace z investované částky pro AP7 je zobrazena na obrázku 25. Z křivky je patrná lineární závislost. Investice bude výhodná, při poskytnutí dotace od 70 % z potřebné investované částky pro varianty 2 a 3.



Obrázek 25 Závislost NPV na míře dotace z investované částky pro AP7

8.3. Závěrečné zhodnocení

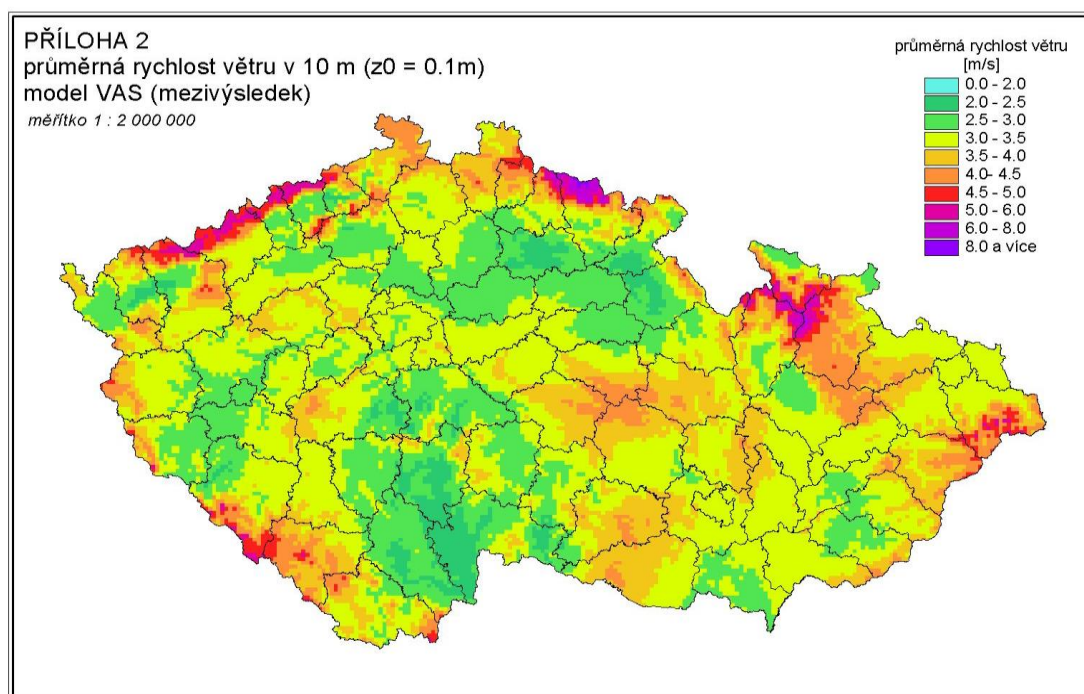
Podle výsledných hodnot NPV z předešlé podkapitoly vychází projekt investice do MVtE ve zvolené lokalitě jako velmi ztrátový. Výstavbu větrné elektrárny bych nedoporučoval.

Z citlivostní analýzy projektu vychází, že za určitých podmínek může být projekt investice do MVtE profitabilní. Tabulka 14 uvádí průměrné rychlosti větru MVtE, od kterých vychází NPV kladné. Hodnoty jsou počítány pro variantu 2 zainvestovanou v hotovosti, která vychází dle citlivostních analýz nejvýhodněji.

Tabulka 14 Nejnižší průměrná roční rychlost větru pro NPV > 0 Kč

	AP1200	AP2400	AP7	SKYSTREAM 3.7	HY-3000L 5BLADE	HY-1500L 5BLADE
Rychlost větru pro NPV > 0 [m/s]	5,8	5,3	5,1	8,4	5,7	6,1

Na obrázku 28 je zobrazena větrná mapa ČR ve výšce 10 m nad zemí. Rychlosti větru 5 m/s a více jsou zobrazeny fialovými barvami. Místa s tak vysokou průměrnou roční rychlostí větru jsou v ČR jen v příhraničí v horských oblastech.



Obrázek 26 Větrná mapa ČR pro výšku 10 m nad zemským povrchem

9. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá ekonomickým zhodnocením investice a provozu MVtE v České republice. Teoretický postup vyhodnocení plánu výstavby MVtE je ukázán na příkladu vybraného RD. Přínosem této práce je ukázání postupu výpočtu pro plánovanou výstavbu MVtE, určení odhadovaných podmínek pro ekonomickou profitabilitu projektu a vytvoření interaktivního modelu v programu Excel, který se dá univerzálně použít.

Práce je rozdělena do tří hlavních částí. První část je teoretická. Ta je zaměřena na teorii energii větru, vlastnosti malých větrných elektráren a jejich možností použití pro využití elektrické energie ke spotřebě v RD. V této části je také představena větrná mapa vytvořená ÚFA AV, která zobrazuje modelově vypočítanou roční průměrnou rychlost pro jakoukoliv lokalitu na území ČR ve výšce 10 m nad zemí a odhaduje roční generovanou elektrickou energii po zadání jmenovitého výkonu a průměru rotoru MVtE.

V další části je představen postup výpočtu ekonomické efektivnosti a jeho ukázka na vybrané MVtE. Nejprve je potřeba zjistit denní toky elektrické energie pro letní a zimní měsíce. Vybraný RD využívá k topení tepelné čerpadlo. Z toho důvodu je rozdíl spotřeby elektrické energie během letních a zimních měsíců až čtyřnásobný. Já jsem tento rozdíl stanovil trochu konzervativněji na dvojnásobný – v mém modelu je denní spotřeba elektrické energie v zimních měsících 48,14 kWh a v letních měsících 21,367 kWh. Nepřesnost výpočtu spotřebované elektrické energie může být dána faktem, že nepočítám s dny, kdy RD není používán. I přes tyto nedostatky považuji získané denní diagramy za dostatečné pro výpočet mého modelu. Vypočítaná průměrná roční spotřeba je 11,815 MWh. Denní diagram zatížení byl zjištěn podle zvyklostí používání větších spotřebičů v RD.

Denní diagram výroby elektrické energie závisí na hodinové průměrné rychlosti větru. Rychlost větru jsem měřil od 9.3.2017 do 8.4.2017. Celková průměrná rychlost větru mi vyšla 3,55 m/s. Při určování denního diagramu výroby elektrické energie jsem vycházel z naměřených průměrných hodinových rychlostí větru. Po vytvoření denního diagramu výroby elektrické energie a zjištění toků elektrické energie v RD, jsem vyčíslil kolik elektrické energie bude dodáno do DS a kolik bude spotřebováno. Do DS by dodávali významnější množství elektrické energie pouze tři MVtE: AP2400, AP7, HY-3000L.

V dalším kroku jsem vyčíslil investiční a provozní výdaje s provozními příjmy. Poté jsem již přešel k ekonomické analýze. Profitabilitu projektů jsem porovnával pomocí NPV. Za zkoumaných podmínek není provoz ani jedné větrné elektrárny ekonomicky výhodný. Nejlépe vychází elektrárny AP1200 a HY-1500L. To je ale z důvodu nejnižších investičních výdajů. Podle procentuálního využití výkonu vycházejí nejlépe větrné elektrárny od firmy Aerplast s.r.o. Především AP1200 – 9,6 % a AP2400 – 7,6 %.

V poslední části práce jsem se zabýval citlivostní analýzou variant pro vybrané MVtE. Z citlivostní a interaktivní analýzy z modelu Excel je patrné, že za jistých podmínek je možné dosáhnout ekonomické profitability u instalace MVtE s připojením na DS. Například by investor musel získat až 80% dotaci z investované částky nebo by průměrná roční rychlost větru musela být alespoň 5,1 m/s (pro AP7). Pro elektrárnu SKYSTREAM 3.7 vyjde NPV kladné až pro rychlost větru 8,4 m/s.

Současně s tištěnou prací byl vytvořen interaktivní model v programu Excel pro vyhodnocení ekonomické efektivnosti malých větrných elektráren. Tento model vychází z hodnot ÚFA AV a z informací o vybraných větrných elektrárnách. V momentální podobě je model nastaven na detailní potřeby mé bakalářské práce. Pro univerzální využití by bylo potřeba udělat drobné úpravy.

Použitá literatura a informační zdroje

- [1] HALLENGA, Uwe. Malá větrná elektrárna: stavební návod s konstrukčními výkresy. 2. přeprac. a rozš. české vyd. Ostrava: HEL, 2006, 95 s. ISBN 80-86167-27-5.
- [2] SCHULZ, Heinz. Savoniův rotor: návod na stavbu. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2005, 77 s. ISBN 80-86167-26-7.
- [4] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [5] CROME, Horst. Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2002, 144 s. ISBN 80-86167-19-4.
- [6] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1997, 199 s. ISBN 80-01-01563-7.
- [7] FOLTÝN, Petr. Návrh malé větrné elektrárny se Savoniovým rotorem. Bakalářská práce, Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT Brno 2009, 52 stran
- [8] Matoušek, Martin. Návrh větrné elektrárny. Bakalářská práce, Plzeň, Fakulta elektrotechnická Západočeská univerzita v Plzni 2013, 54 stran
- [9] Malé větrné elektrárny Aerplast s.r.o. [online]. (18/11/2016), Dostupné z: <http://www.vetrne-elektrarny.eu>
- [10] E-shop Solar Economic: Větrná elektrárna SKYSTREAM 3.7 [online]. (18/11/2016), Dostupné z: <https://www.solareconomic.cz/solarec/eshop/18-1-Vetrne-elektrarny/47-2-Vetrne-turbiny/5/190-Vetrna-elektrarna-SKYSTREAM-3-7>
- [11] E-shop Solar energy PCE: Větrné turbíny [online]. (18/11/2016), Dostupné z: <http://www.solar-elektro.cz/?sidx=0&br=&catg=2310&sort>
- [12] Information on Wind Energy as a part of your Renewable Energy System [online]. (10/12/2016), Dostupné z: <https://www.wholesolar.com/wind-information>
- [13] Learn More About Off-grid Power Systems [online]. (10/12/2016), Dostupné z: <https://www.wholesolar.com/solar-information/off-grid-living>
- [14] Větrná mapa pro výšku 10 m nad povrchem [online]. (27/12/2016), Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [15] Energetický regulační věstník [online]. (12/3/2017), Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/2571575/160926_CR5_2016.pdf/3398c523-a981-43c0-ab0a-494a61d7b323 část B) odstavec 1.2)
- [16] Často kladené dotazy [online]. (12/3/2017), Dostupné z: <http://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy#10>
- [17] Cenová rozhodnutí ERÚ [online]. (12/3/2017), Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti>
- [18] Technicko-ekonomické parametry pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů [online]. (18/1/2017), Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/463078/Technicko+ekon+parametry+2015/c90e54b7-2eaa-4f59-a5ca-c19d319b6de0>

- [19] Obchod Conrad: Bezdrátová meteostanice Professional USB WS-0101 [online]. (11/2/2017). Dostupné z: <http://www.conrad.cz/bezdratova-meteostanice-professional-usb-ws-0101-100-m.k672286>
- [20] Ceník skupiny ČEZ [online]. (13/2/2017), Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/elektrina/comfort/cenik.html>
- [21] Pásma platnosti vysokého tarifu a nízkého tarifu [online]. (14/2/2017), Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/cezdistribuce_pasmaplatnostintavt_prubehove_mereni.pdf
- [22] Hodnocení investic: Čistá současná hodnota (NPV) stručně a jasně [online]. (5/1/2017), Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodnota-npv-strucne-a-jasne>
- [23] Small Wind Inverters [online]. (19/4/2017), Dostupné z: <http://new.abb.com/power-converters-inverters/wind-turbines/small-wind>
- [24] Diskusní fórum MyPower.cz [online]. (2.1.2017) <http://forum.mypower.cz/viewtopic.php?t=521>
- [25] E-shop WFmetal s.r.o. Sada 4 PROFI stožárů [online]. (3/1/2017), Dostupné z: http://www.drzakanteny.cz/product.php?id_product=340&id_lang=1
- [26] E-shop Mastrant [online]. (28/3/2017) Dostupné z: <https://www.mastrant.com/cz/>
- [27] LÁLÍK, Michal: Legalizace staveb. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, 2012, ISBN: 978-80-7179-074-7, str. 32.
- [30] Betzovo pravidlo [online]. (25/4/2017), Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Betzovo_pravidlo
- [31] Prezentace Jiřího Procházky: Nová tarifní struktura – základní parametry výpočtu, „Co přinese nová tarifní struktura v elektroenergetice?“, Konference Cornenius, ERÚ, 21. ledna 2016. EGÚ Brno a.s.
- [32] IRENA: Renewable Energy Cost Analysis - Wind Energy [online]. (21/4/2017), Dostupné z: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf

Seznam obrázků

- Obrázek 1 Vznik větrů na Zemi. Dostupné z: HALLENGA, Uwe. Malá větrná elektrárna: stavební návod s konstrukčními výkresy. 2. přeprac. a rozš. české vyd. Ostrava: HEL, 2006, str. 11. ISBN 80-86167-27-5.
- Obrázek 2 Větrná mapa ČR ve výšce 10 metrů s vyznačeným místem plánované stavby větrné elektrárny. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/vyuziti-energie-vetru.html>
- Obrázek 3 Data z interaktivního modelu ÚFA AV. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/> (23/3/2017)
- Obrázek 4 Průměrná rychlost větru ze světových stran ve mnou sledované lokalitě. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/> (23/3/2017)
- Obrázek 5 Základní pravidla umístění MVtE v blízkosti překážek. Dostupné z: HALLENGA, Uwe. Malá větrná elektrárna: stavební návod s konstrukčními výkresy. 2. přeprac. a rozš. české vyd. Ostrava: HEL, 2006, str. 12. ISBN 80-86167-27-5.
- Obrázek 6 Princip funkce odporové (drag) a vztakové (lift) turbíny. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektren/vetrne-elektreny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/> (13/11/2016)
- Obrázek 7 Zobrazení principu fungování vztakové větrné turbíny. Dostupné z: <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power3.htm> (13/11/2016)
- Obrázek 8 Uspořádání vrtulí větrných rotorů: a) jednolistá s protizávažím, b) dvoulistá, c) třílistá. Dostupné z: RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1997, 199 s. ISBN 80-01-01563-7.
- Obrázek 9 Rozdělení rotorů větrných elektráren dle rychloběžnosti rotorů. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/pocet-listu-rotoru-vetrne-elektreny/310> (15/11/2016)
- Obrázek 10 Schematické zobrazení připojení větrné elektrárny k DS. Dostupné z: <http://www.wholesalesolar.com/products.folder/systems-folder/WIND.html> (10/12/2016)
- Obrázek 11 Schematické připojení větrné a fotovoltaické elektrárny k DS se záložními akumulátory. Dostupné z: <http://www.wholesalesolar.com/products.folder/systems-folder/WIND.html> (10/12/2016)
- Obrázek 12 Připojení větrné a sluneční elektrárny nezávislé na DS. Dostupné z: <http://www.wholesalesolar.com/solar-information/off-grid-living> (10/12/2016)
- Obrázek 13 Denní diagram zatížení RD v letních měsících
- Obrázek 14 Průměrné hodinové rychlosti větru během dne
- Obrázek 15 Generovaná elektrická energie z vybraných MVTE
- Obrázek 16 Toky elektrické energie pro RD během dne v letních měsících
- Obrázek 17 Schéma využití generované elektrické energie
- Obrázek 18 Závislost ceny baterií na roční generované elektrické energii
- Obrázek 19 Závislost NPV na změně průměrné rychlosti pro AP1200

- Obrázek 20 Závislost NPV na změně průměrné rychlosti pro AP7
- Obrázek 21 Závislost NPV na volbě diskontu pro AP1200
- Obrázek 22 Závislost NPV na volbě diskontu pro AP7
- Obrázek 23 Závislost NPV na platbě za spotřebu energie pro AP1200
- Obrázek 24 Závislost NPV na platbě za spotřebu energie pro AP7
- Obrázek 25 Závislost NPV na míře dotace z investované částky pro AP7
- Obrázek 26 Větrná mapa ČR pro výšku 10 m nad zemským povrchem. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/web-old/vetrna-energie/doc/vav/priloha02.jpg> (10/5/2017)

Seznam tabulek

- Tabulka 1 Závislost hodnoty exponentu a na druhu povrchu
- Tabulka 2 Elektrická spotřeba RD v letech 2009 až 2016
- Tabulka 3 Spotřeba RD v jednotlivých měsících během roku 2011
- Tabulka 4 Soubor spotřebičů v RD a jejich denní spotřeba elektrické energie v letních měsících
- Tabulka 5 Vlastnosti MVtE, které využívám ve svém výpočtu
- Tabulka 6 Generovaná elektrická energie vybraných MVtE pro každou hodinu během dne, během roku a množství dodané elektrické energie do DS za rok
- Tabulka 7 Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro větrné elektrárny. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti> (12/3/2017)
- Tabulka 8 Přehled vybraných střídačů
- Tabulka 9 Kapacita a cena baterií
- Tabulka 10 Celková investice a ceny baterií
- Tabulka 11 Ukázka vstupních dat pro výpočet CF elektrárny AP1200
- Tabulka 12 Výsledné hodnoty NPV jednotlivých variant a použitých MVtE
- Tabulka 13 Výsledné hodnoty NPV jednotlivých variant a použitých MVtE podle nové tarifní struktury
- Tabulka 14 Nejnižší průměrná roční rychlost větru pro NPV > 0 Kč

Seznam příloh

Příloha 1	Elektrické spotřebiče a jejich spotřeba v zimních měsících
Příloha 2	Denní diagram zatížení v zimních měsících
Příloha 3	Denní diagram zatížení v letních měsících
Příloha 4	Denní tok elektrické energie v letních měsících
Příloha 5	Denní tok elektrické energie v zimních měsících
Příloha 6	Ukázka tabulky pro výpočet cash flow
Příloha 7	Program porovnávající MVtE v Excelu [online, KOS]

Kontaktní údaje:

Jan Hájek
hajekja8@fel.cvut.cz

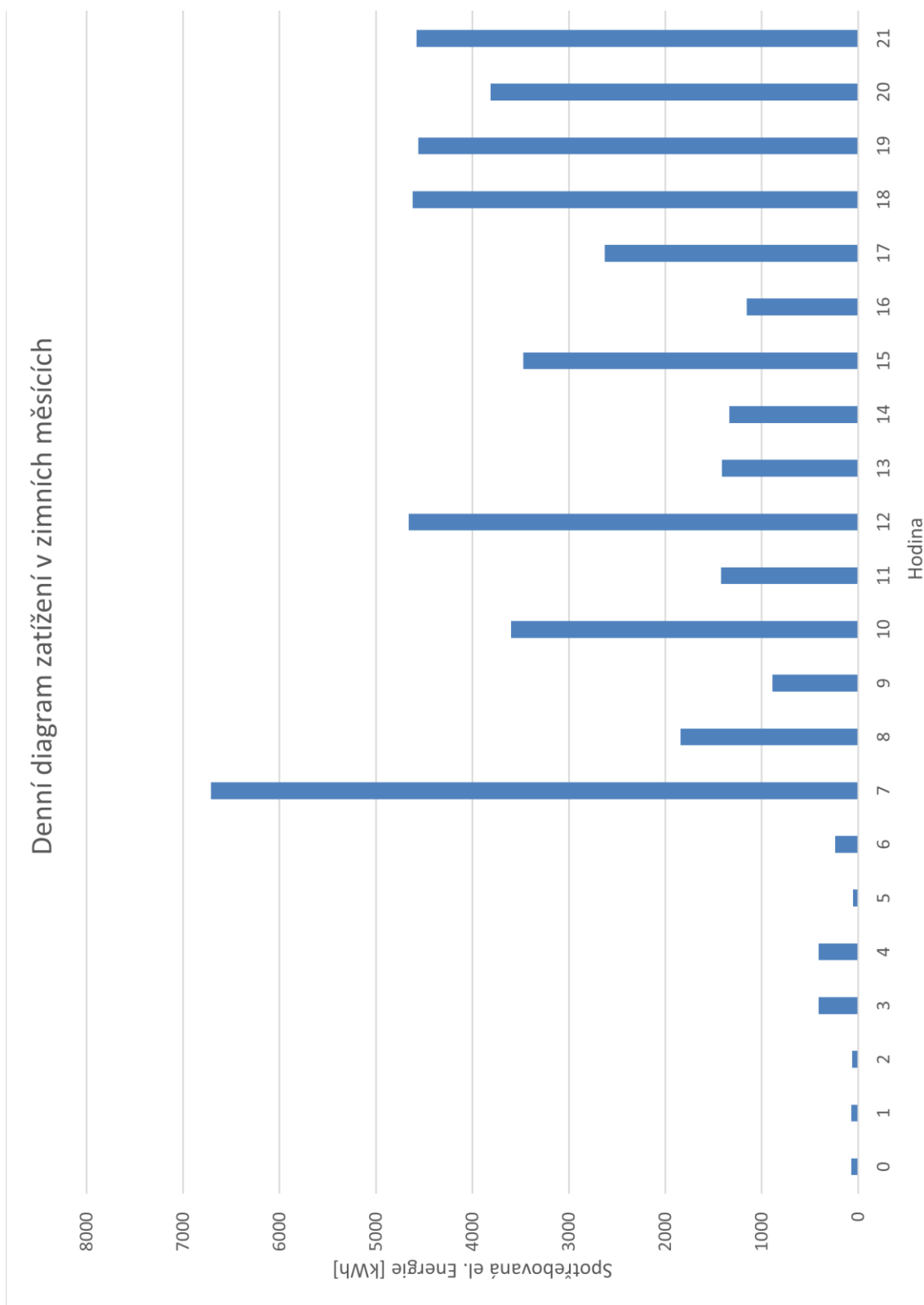
1) Elektrické spotřebiče a jejich spotřeba v zimních měsících

Spotřeba elektrické energie rodinného domu – zimní měsíce			
Spotřebič	Příkon [W]	Čas denně [h]	Denní spotřeba [Wh]
Notebook	80	3.00	240
Notebook 2	95	5.50	523
Stolní PC	210	7.50	1575
Notebook 3	65	3.00	195
Tiskárna	340	0.03	11
Nabíječka 4x (á 5 W)	20	4.50	90
Fén	1200	0.08	100
Plasmová TV	250	1.00	250
DVD + SetTopBox	35	1.00	35
Reposoustava	30	1.00	30
Varná konvice	2400	0.13	320
Myčka	2000	3.00	6000
Sporák (1/2 plotýnek)	3000	0.75	2250
Trouba	3200	0.50	1600
Mikrovlánná trouba	1400	0.05	70
Kávovar	1600	0.03	53
Lednice s mrazákem	17.5	24.00	420
Mixér	600	0.03	20
Elektrický radiátor	2000	0.50	1000
Sprcha - parogenerátor	2400	0.25	600
Bazén, Filtrace	500	5.00	2500
Sauna	6000	0.50	3000
Bojler	1550	2.00	3100
Mrazák	28	24.00	672
Pračka	480	2.00	960
Sušička	1450	1.50	2175
Žehlička	1800	0.17	300
Osvětlení chodba 1	60	2.00	120
Osvětlení chodba 2	60	2.00	120
Osvětlení chodba 3	45	2.00	90
Osvětlení pokoj 1	45	2.00	90
Osvětlení pokoj 2	60	1.00	60
Osvětlení pokoj 3	45	2.00	90
Osvětlení koupelna	60	0.50	30
Osvětlení pokoj 4	30	0.50	15
Osvětlení pracovna	25	2.00	50
Osvětlení pracovna 2	25	1.00	25
Osvětlení pracovna 3	25	0.50	13

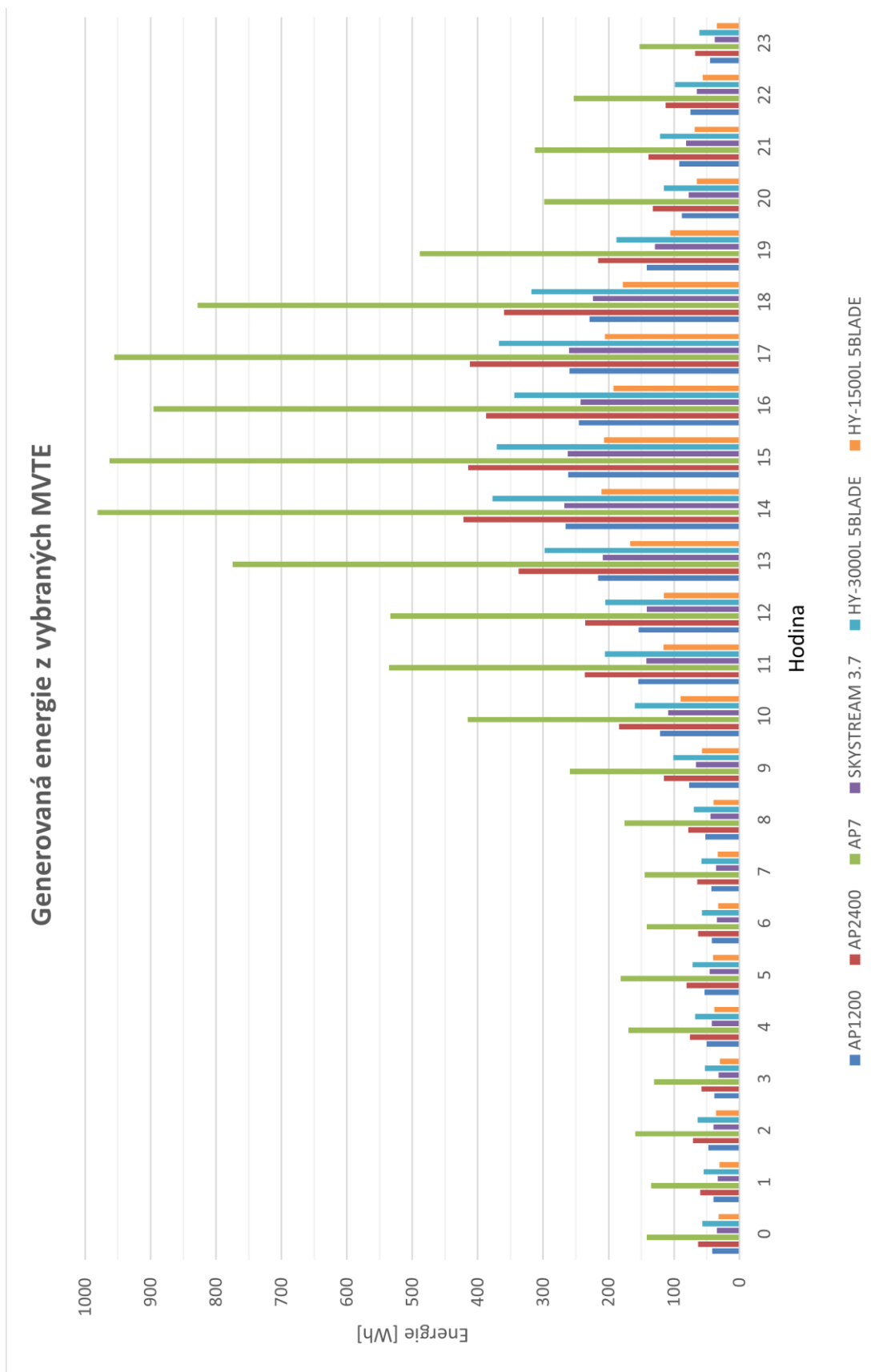
Efektivnost instalace a provozu malé větrné elektrárny pro rodinný domek

Spotřebič	Příkon [W]	Čas denně [h]	Denní spotřeba [Wh]
Osvětlení kuchyň	40	4.00	160
Osvětlení obývací	40	3.00	120
Osvětlení sauna	40	0.50	20
Osvětlení garáž	80	1.00	80
Osvětlení sklep	60	0.50	30
Osvětlení kotelna	30	0.10	3
Garáž	140	0.08	12
Venkovní vrata	180	0.08	15
Tepelné čerpadlo	3400	5.00	17000
oběhové čerpadlo	150	10.00	1500
Wi-Fi router	7.2	24.00	173
Vysavač	1400	0.15	210
Rádio Kuchyň	25	1.00	25
Denní spotřeba			48139

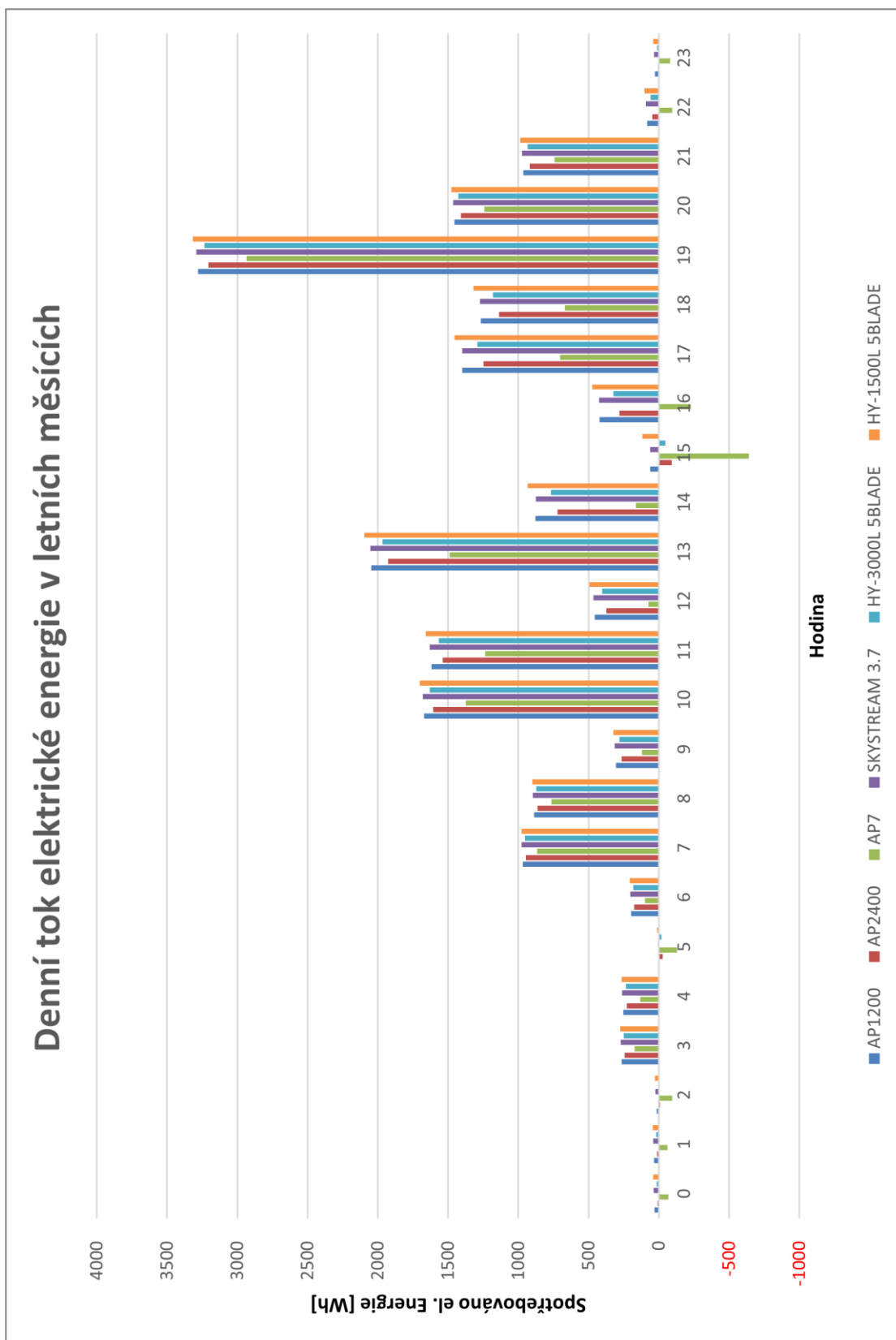
2) Denní diagram zatížení v zimních měsících



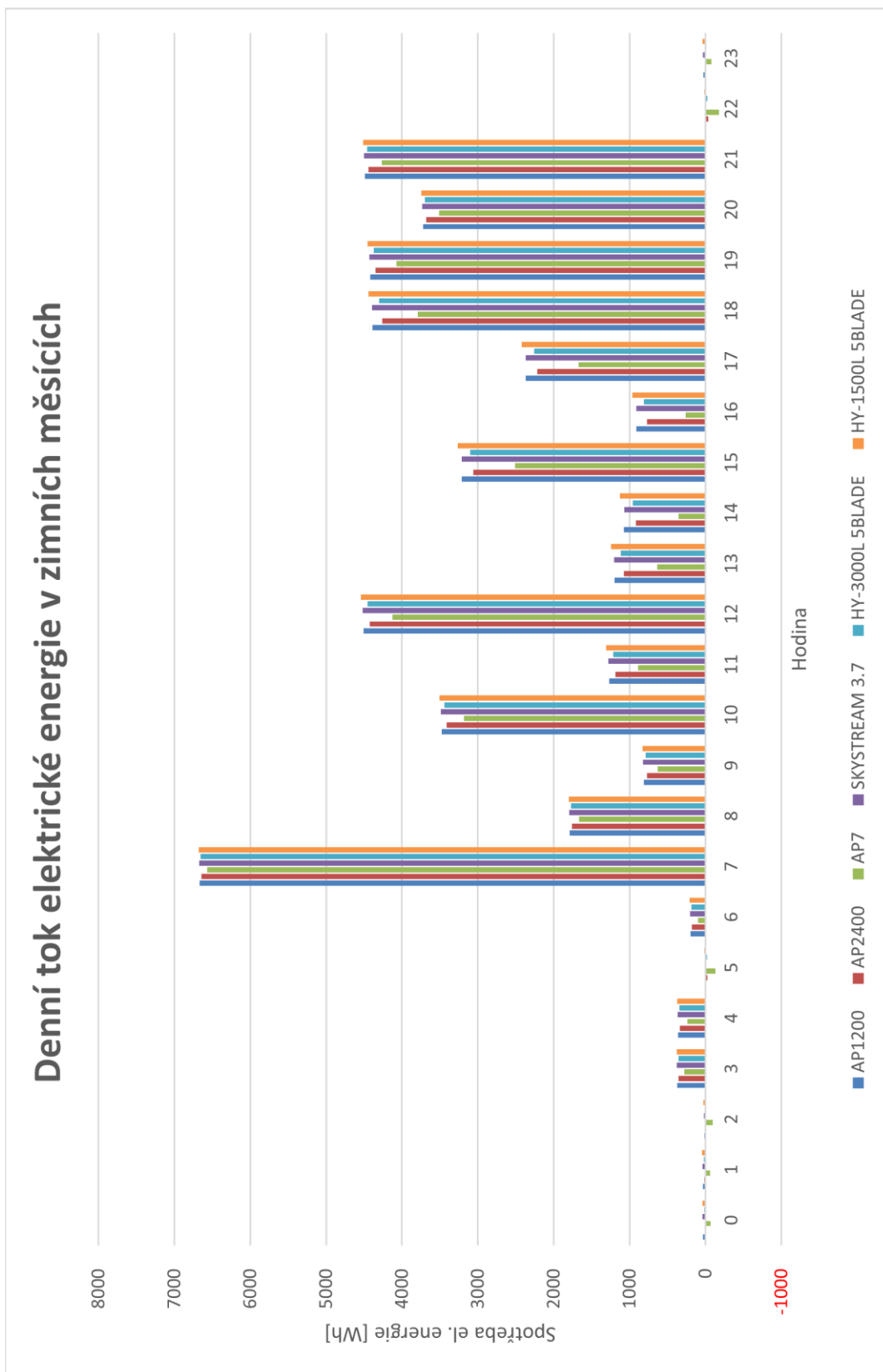
3) Generovaná elektrická energie z vybraných MVtE



4) Denní tok elektrické energie v letních měsících



5) Denní tok elektrické energie v zimních měsících



6) Ukázka tabulky pro výpočet cash flow, varianta výkupní ceny

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Příjmy														
Generováno elektrické energie		1034	1029	1024	1019	1014	1009	1004	999	994	989	984	979	974
Ušetřeno na výdajích		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Výkupní cena		1,996	2,026	2,056	2,087	2,118	2,149	2,181	2,214	2,247	2,280	2,314	2,349	2,384
Celkový příjem z provozu		1,996	2,026	2,056	2,087	2,118	2,149	2,181	2,214	2,247	2,280	2,314	2,349	2,384
Výdaje														
Splaceno	135,748,0 Kč													
Půjčka	0,0 Kč													
úmor		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
úrok		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
variabilní náklady		900	904	909	914	918	923	927	932	937	941	946	951	955
net CF	-135 748	1 096	1 121	1 147	1 173	1 200	1 227	1 254	1 282	1 310	1 339	1 368	1 398	1 428
součet CF	-135 748	-134 652	-133 530	-132 383	-131 210	-130 010	-128 783	-127 529	-126 247	-124 937	-123 598	-122 229	-120 831	-119 403

Efektivnost instalace a provozu malé větrné elektrárny pro rodinný domek

	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
969		964	959	955	950	945	940	936	931	926	922	917	912	908	903	899	894
0	0	0	0	0	0	0	0	2,231	2,264	2,298	2,332	2,367	2,402	2,438	2,475	2,511	2,549
2,419	2,455	2,492	2,529	2,567	2,605	2,644	2,644	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,419	2,455	2,492	2,529	2,567	2,605	2,644	2,644	2,231	2,264	2,298	2,332	2,367	2,402	2,438	2,475	2,511	2,549
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
960	965	970	975	980	985	989	994	999	1,004	1,009	1,014	1,019	1,025	1,030	1,035	1,040	
1,459	1,490	1,522	1,554	1,587	1,621	1,654	1,687	1,720	1,753	1,786	1,819	1,852	1,885	1,918	1,951	1,984	
-117,944	-116,453	-114,931	-113,377	-111,789	-110,169	-108,514	-107,278	-106,012	-104,719	-103,395	-102,043	-100,660	-99,246	-97,801	-96,325	-94,816	