



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Bakalářská práce

**Problematika instalace a provozu střešní větrné elektrárny na
bytovém domě**

Instalation and operation of rooftop wind turbines on flat house

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Robert Lacina

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Lacina Robert**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Problematika instalace a provozu střešní větrné elektrárny na bytovém domě

Pokyny pro vypracování:

1. Návrh variant větrné střešní elektrárny
2. Investiční a provozní výdaje variant, kvantifikace efektů
3. Vyhodnocení variant z hlediska projektu

Seznam odborné literatury:

1. Schulz H.: Savoniův rotor. Návod na stavbu. HELL, 2005.
2. Rychetník V., Pavelka J., Janoušek J.: Větrné motory a elektrárny. ČVUT, 1997.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Vitek, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2016

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Miroslavu Vítkovy, CSc. za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce a za jeho trpělivost. Také bych rád poděkoval svému blízkému okolí, že mi umožnilo dostatek prostoru a podpory při její tvorbě.

Prohlášení autora práce

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

.....

Podpis autora práce

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou instalace a provozu střešní větrné elektrárny z ekonomického hlediska. Práce zahrnuje popis větrných elektráren s horizontální a vertikální osou otáčení pracujících na odporovém a vztakovém principu. V další části práce je návrh variant s ohledem na jejich výkon. Analyzovány jsou pořizovací investice na jednotlivé navrhované varianty a jejich ekonomická efektivnost.

Klíčová slova

Větrné turbíny, odporový a vztakový princip, Savoniuv rotor, ekonomická efektivnost.

Abstract

Thesis task with the installation and operation of rooftop wind turbines economically. Job description includes wind turbines with horizontal and vertical axis of rotation working on the resistance and buoyancy principle. The next part is the design options with regard to their performance. We analyzed the cost of investment for each of the proposed options and their economic effectiveness.

Key words

Wind turbines, resistance and buoyancy principle, Savonius Wind turbine, economic effectiveness.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Teoretický úvod.....	8
2.1. Větrný motor s horizontální osou.....	8
2.1.2 Základní části větrné elektrárny.....	8
2.2. Větrný motor s vertikální osou.....	12
2.2.1 Savoniův rotor.....	12
2.2.2 Darrieův rotor.....	13
2.3 Volba vhodného místa.....	14
2.4 Rozhodovací metody pro výběr investic.....	16
3. Návrh variant větrné střechy elektrárny.....	17
3.1. Varianta A.....	18
3.2. Varianta B.....	19
3.3 Varianta C.....	20
3.4 Varianta D.....	21
4. Investiční a provozní výdaje variant, kvantifikace efektů.....	22
4.1 Varianta A.....	22
4.2 Varianta B.....	24
4.3 Varianta C.....	25
4.4 Varianta D.....	26
5. Vyhodnocení variant z hlediska projektu.....	27
Seznam použitých zdrojů.....	31
Příloha 1.....	33
Příloha 2.....	34
Příloha 3.....	35

1. Úvod

Vzestupný trend ve využití obnovitelných zdrojů elektrické energie, v České republice hlavně fotovoltaika ale i větrná energie, zapříčinil, že se na našem trhu začíná objevovat mnoho zahraničních i tuzemský výrobců větrných mikro elektráren do výkonu 1,5 kW.

Tato práce vznikla za účelem objasnění problematiky instalace a provozu střešní větrné elektrárny na bytovém domě z ekonomického hlediska, tj. zdali se ekonomicky vyplatí instalace větrné elektrárny na střechu bytového domu za účelem napájení osvětlení na chodbách domu a provozu výtahů, provozu čerpadel v plynové kotelně apod. Bytový dům, kde budou případně instalovány větrné elektrárny, se nachází v Praze v ulici Zázvorkova. V této práci se budu zabývat různými variantami řešení této problematiky.

Práce je rozdělena do čtyř částí. První je teoretická část, ve které obecně popisují dva typy větrných rotorů a stanovení vhodného místa pro jejich instalaci. Ve druhé části popisují návrhy variant použitých větrných elektráren včetně predikce výkonu. Ve třetí části porovnávám investiční a provozní výdaje navrhovaných typů větrných elektráren. Ve čtvrté části se zabývám vyhodnocením ekonomických ukazatelů.

2. Teoretický úvod

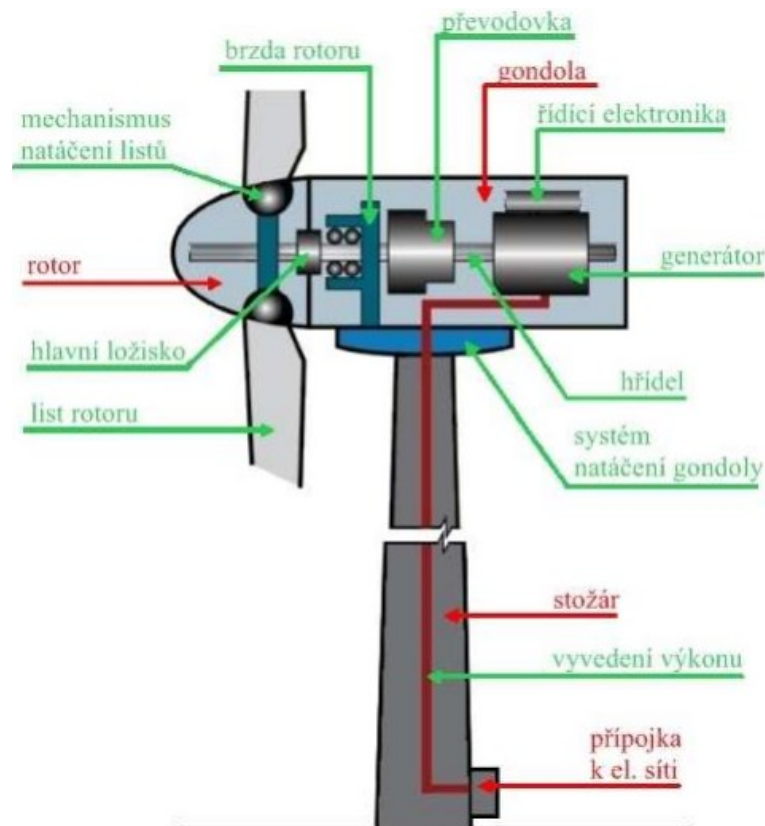
Větrné motory se používají pro získání mechanické energie přeměnou z pohybové energie větru a dále pak pomocí generátoru na energii elektrickou. Základní princip spočívá v odejmutí části energie větru zpomalením proudu vzduchu na pracovních plochách větrného motoru. [2][3]

2.1. Větrný motor s horizontální osou

Tato turbína je svojí osou otáčení orientovaná přímo proti směru větru. A pracuje na vztlačovém principu. [2] U tohoto principu se využívá síly vzniklé při obtékání vzduchu rotorové lopatky. Obtékající proud vzduchu kolem listu rotoru vytváří rozdílné tlaky a rychlosti proudění na jeho horní a spodní straně. [3]

2.1.2 Základní části větrné elektrárny

- Rotor
- Gondola
- Stožár



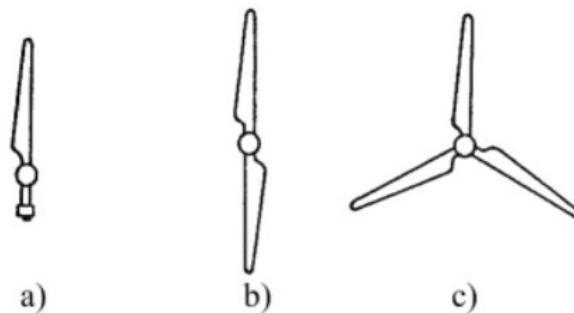
Obr. 2.1 Schéma větrné elektrárny ^[13]

Rotor

Rotory větrné elektrárny fungující na vztlakovém principu se dělí do dvou skupin:

1. Vrtule

Jedná se o rychloběžný typ větrného motoru s horizontální osou rotace. Je tvořena nejčastěji dvěma nebo třemi listy. Listy jsou zkonstruovány tak, aby jejich tvar umožňoval efektivní přenášení síly na rotor. Při splnění určitých podmínek dosahuje účinnost přes 40%. [2]



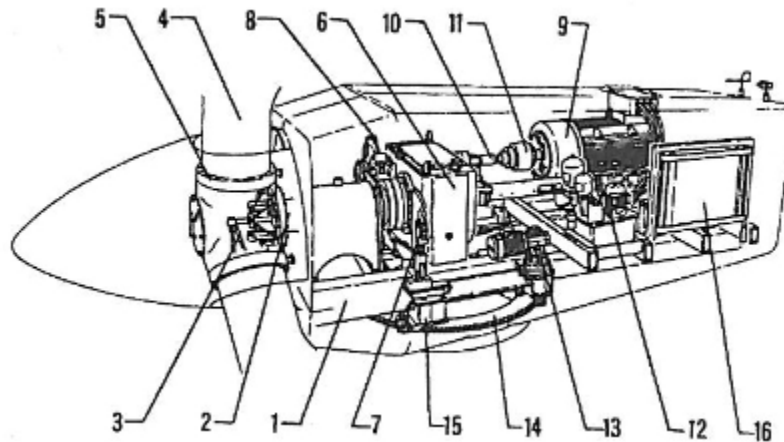
Obr. 2.2 Schéma provedení vrtulí: a) jednolistá b) dvoulistá c) třílistá^[2]

2. Lopatkové kolo

Jedná se o pomaloběžný typ větrného motoru s horizontální osou rotace. Nejčastěji se používá 12 a 24 lopatek, díky čemuž se rotor začne otáčet už při nízkých rychlostech větru ($2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Lopatkové kola se vyrábějí až do průměru 9 m. Nevýhodou lopatkového kola je jeho velká hmotnost. Celkovou hmotnost nejvíce ovlivňuje rotor, protože je skoro celý vyplněný lopatkami. [2] Jeho účinnost je do 30%. [5]

Gondola

Je umístěna na vrcholu stožáru a je v ní uložena celá strojová část větrné elektrárny.



Obr. 2.3 Schéma gondoly větrné elektrárny 225kW [2]

Základem je tuhý rám (1), ve kterém je ve dvou kuličkových ložiskách uložena hlavní hřídel (2), na ní je nasazen odlitek hlavy vrtule (3). Listy vrtule (4) jsou usazeny do kořene s přírubou (5) umožňující jejich natáčení. Na hřídeli je umístěna dvoustupňová převodovka (6). Nosník převodovky (7) přenáší momenty na bližší část strojovny u vrtule. Přes kardán (10) a kluznou spojku (11) je pomocí převodkovým vysokorychlostním hřídelem, na které je kotoučová brzda (8), poháněn generátor (9), který společně s hydraulickou jednotkou (12) leží v zadní části strojovny. Na rámu strojovny jsou umístěny dvě převodovky (13), které jsou poháněny elektromotory, umožňující natáčení vrtule do směru větru. K vrcholu rámu je přiděleno natáčecí kolo (14), kterým je otáčeno pomocí převodovek. Natáčení je řízeno na základě údajů z větrné korouhvičky a jsou zpracovány řídicí jednotkou (15), která mimo jiné zabraňuje překroucení přívodního kabelu. Celá větrná elektrárna je řízena centrální řídicí jednotkou (16).[2]

- Generátor

Generátory používané ve větrných elektrárnách se dělí na:

1. Synchronní generátory (alternátory) - Alternátor je nejčastěji používaným generátorem střídavé elektrické energie. [2]
2. Asynchronní generátor – Díky své jednoduché konstrukci a jednoduchosti připojení k elektrické síti se používají jako generátory u větrných elektráren. [2]
3. Stejnoseměrné generátory (dynama) – Jsou vhodné pro malé větrné elektrárny k dobíjení akumulátorů.[2]

- Pomocná zařízení

1. Ovládací a kontrolní systém – Tento systém kontroluje údaje o chodu elektrárny a chrání jí před poškozením.
2. Systém natáčení vrtule do směru větru - Natáčení osy rotoru po směru větru se děje dvěma způsoby: [2]
 - a) Samovolně jestliže je rovina vrtule na závětrné straně, tj. rotor je umístěn za stožárem po směru větru od osy natáčení rotorové gondoly. Aerodynamická síla, působící na rotor, vyvolává moment síly, který natáčí vrtuli stále kolmo ke směru větru. [2]
 - b) Pomocí orientačního zařízení, které je u menších turbín provedeno pomocí kormidla. Používá se u větrných motorů, kde jsou lopatky umístěny před stožárem proti směru větru od osy natáčení rotorové gondoly. U větších motorů je správné orientování rotoru zajištěno různými způsoby.[2][3]

Stožár

Je hlavní částí nosného systému elektrárny. Je na něm nainstalován rotor s gondolou tak, aby se mohly otáčet okolo vertikální osy do směru větru. Velikost a konstrukce stožáru velice souvisí s velikostí a typem větrné elektrárny.

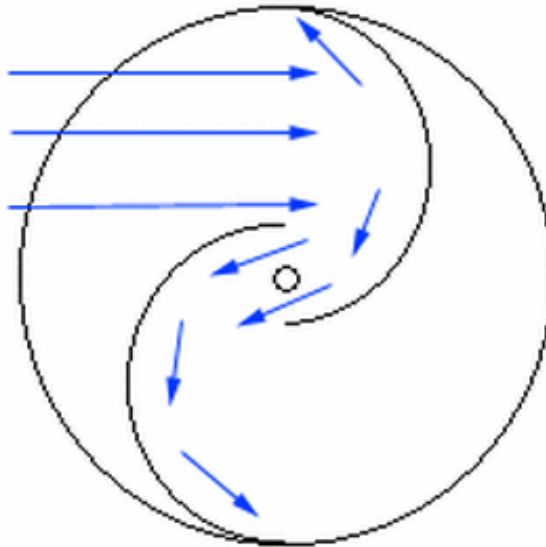
2.2. Větrný motor s vertikální osou

Tyto větrné rotory pracují na odporovém nebo vztakovém principu. Podstatou odporového principu je, že plocha rotoru klade vzduchu aerodynamický odpor a tím na ní působí síla, kterou rotor přeměňuje na rotační pohyb. [2][3]

Větrné turbíny pracující na odporovém principu jsou historicky starší. V dnešní době jsou méně často používány kvůli jejich menší účinnosti. [3]

2.2.1 Savoniův rotor

Tento typ rotoru je pojmenován podle jeho vynálezce Sigurda J. Savonia. Tento rotor se skládá ze dvou navzájem opačně posazených půl-válcových lopatek a osy procházející mezi nimi. Předsazení lopatek je přibližně 20% průměru rotoru. Při provozu se část energie větru dostane ze zadní strany závětrné lopatky na přední stranu návětrné lopatky. [1] Tento rotor pracuje na odporovém principu a využívá Robinsonův jev, podle něhož polokoule nastavená větru svojí vydutou stranou má skoro čtyřnásobně větší odpor než, když je nastavena větru svojí vypouklou stranou. U Savoniova rotoru jsou polokoule nahrazeny válcovými plochami. [2][3]



Obr. 2.4 Savoniův rotor^[14]

Výhody:

- Jednoduchá konstrukce: stavba z dostupných materiálů (barely, plechové roury), tzn. nízké pořizovací náklady [1]
- Nezávislost na směru proudění vzduchu, bez potřeby natáčení [1]
- Využití širokého pásma rychlosti větru od extrémně nízké rychlosti (2 až 3 m.s⁻¹) až po vysokou rychlost (15 až 25 m.s⁻¹) [1]
- Spojování do větších celků bez výrazného poklesu otáček [1]
- Při správném provedení vysoká odolnost vůči bouřím, to je zapříčiněno nízkou citlivostí vůči vírům a turbulencím. [1]

Nevýhody:

- Vyžaduje pečlivé vyvážení, zabraňující kmitání při vysokých otáčkách, kvůli vyšší hmotnosti. [1]
- Malá rychloběžnost, relativně nízké otáčky a vysoké točivé momenty. U generátorů je potřeba použít převody pro dosažení vyšších otáček. [1]
- Relativně malá účinnost, z toho plynoucí i malý dosažitelný elektrický výkon. [1]

2.2.2 Darrieův rotor

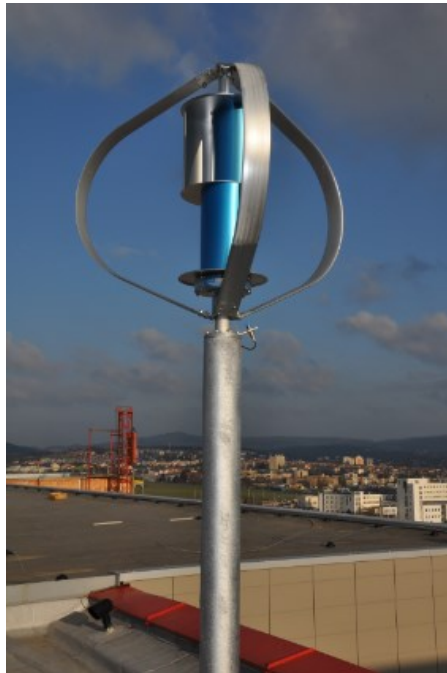
Tento typ turbíny byl v roce 1931 patentován francouzským inženýrem Georgem J. M. Darrieusem. Tento rotor pracuje na vztakovém principu a skládá se ze dvou až tří půl elipsovitých aerodynamicky tvarovaných lopatek. Darrieův rotor vyžaduje silnější vítr pro náběh otáčení než Savoniův, proto se někdy používá kombinace Darrierova a Savoniova rotoru, kde je Savoniův rotor používán na rozběh. Účinnost Darrierova rotoru se uvádí okolo 35 – 38%. [3]

Výhody:

- Nezávislost na proudění vzduchu, bez potřeby natáčení. [1]
- Generátor a ostatní komponenty pro výrobu elektrické energie se dají uložit pod stožár, což ulehčuje proces údržby a snižuje nároky na stožár. [2]

Nevýhody:

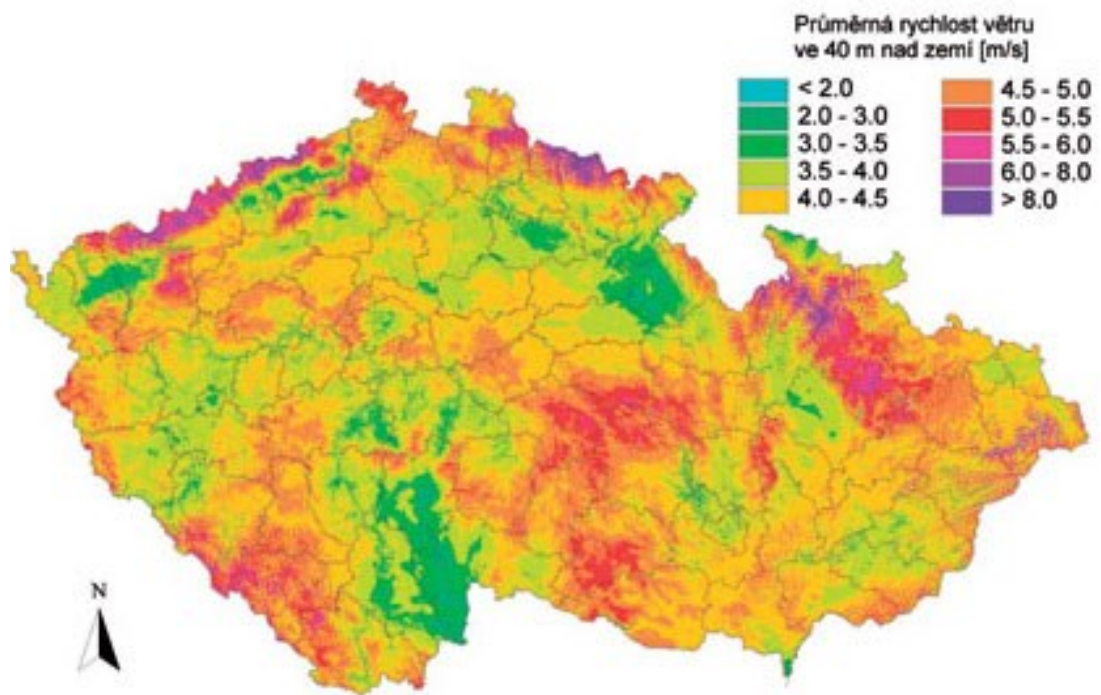
- Vyšší rozběhová rychlost. [2]
- Problematictější regulace. [2]



Obr. 2.5 Darrierův a Savoniův rotor^[18]

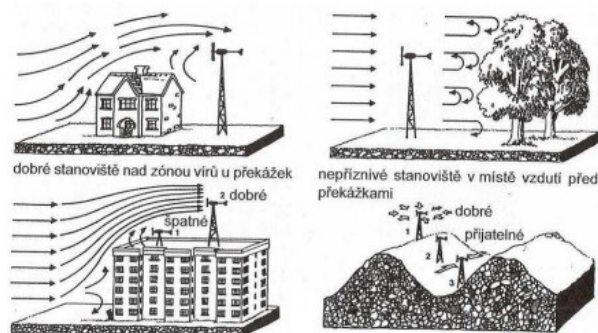
2.3 Volba vhodného místa

Výkon větrné elektrárny závisí na rychlosti větru, proto je nutné zjistit průměrné větrné podmínky v lokalitě instalace větrné elektrárny. Nejpřesnější data by byla zjištěna ročním měřením přímo v místě instalace větrné elektrárny. Dalším zdrojem informací o průměrné rychlosti větru jsou větrné mapy. Vypovídací schopnosti větrných map mohou být ovlivněny jak nedokonalostí matematického modelu, tak vlivy místních překážek. [11]



Obr. 2.6 Větrná mapa České republiky^[15]

Přestože je Savoniův rotor vhodný i pro nižší rychlosti větru, než využívají klasické větrné elektrárny, řídí se výběr vhodného místa stejnými pravidly. Nevhodné místo je v závětrří stromů nebo budov. [1] Pro dosažení nejlepších výkonů musí být rotor nad zónami vírů vznikajících u stromů a budov. [4]



Obr. 2.7 Volba stanoviště^[4]

2.4 Rozhodovací metody pro výběr investic

Pro rozhodování, jestli investici realizovat nebo ne, se používají kritéria rozhodování. Dělí se na absolutní (A) a relativní (R) a dále na kritéria, která pracují s uvažováním časového rozdělení toků (U) a na ta, která pracují bez uvažování časového rozdělení toků (N). Zkombinováním těchto typů kritérií dostaneme čtyři základní představitele a to kritérium absolutní bez uvažování časového rozložení toků, relativní bez uvažování časového rozložení toků, absolutní s uvažováním časového rozložení toků a relativní s uvažováním časového rozložení toků. Uvedu čtyři kritéria zastupující jednotlivé kombinace. [16] [17]

a) Payback Period - PP (AN)

$$\sum_{t=0}^{PP} CF_t \geq 0 \quad (2.1)$$

PP (doba návratnosti) je doba, za kterou se kumulované prognózované hotovostní toky vyrovnají počáteční investici do projektu. Toto pravidlo vybírá investici s nejkratší dobou návratnosti. Podmínky pro použití jsou, že projekty musí být investičně podobné varianty, přibližně stejně dlouhá doba efektů investice a že efekty jsou přibližně konstantní. Klad tohoto kritéria je v jednoduchosti, ale už se nezabývá s tím, co se stane po době splacení a upřednostňuje jednodušší investice. [16] [17]

b) Return on Investment - ROI (RN)

$$ROI = \frac{\frac{\sum_{t=0}^T CF_t}{T}}{Investice} \quad (2.2)$$

ROI (výnosnost investice) vyjadřuje poměr vydělaných jednotek finančních prostředků k investovaným jednotkám finančních prostředků. U tohoto kritéria chceme dosáhnout maximální hodnoty ROI. Opět jeho výhodou je jednoduchost, ale zanedbává časovou cenu peněz. [16] [17]

c) Net present value – NPV (AU)

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (2.3)$$

NPV (čistá současná hodnota) porovnává příjmy a výdaje z investice v současných hodnotách. NPV je základní metodou porovnávání. Investice je proveditelná pouze tehdy, když je $NPV \geq 0$. Při porovnávání více investic je nejvýhodnější tak, která má největší NPV. V případě, že je $NPV \leq 0$, tak investici nerealizujeme, protože nesplňuje očekávanou návratnost. [16] [17]

d) Internal Rate of Return – IRR (RU)

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (2.4)$$

IRR (vnitřní výnosové procento) je diskontní sazba, která vede k NPV=0. Vyjadřuje relativní, vztažený k investovaným výdajům, procentní výnos, který poskytuje investice za dobu svého provozu. Investici můžeme realizovat, jestliže je IRR větší než námi stanovený diskont. [16] [17]

3. Návrh variant větrné střešní elektrárny

Větrné elektrárny se budou nacházet na střeše bytového domu. Tento bytový dům je složen z pěti segmentů, kde každý segment má na střeše strojovnu výtahů. Na každou strojovnu umístíme jednu větrnou elektrárnu. Do kotelny, která je společná pro všech pět segmentů domu, případně umístíme akumulátory. Zapojení akumulátoru uvažuji z důvodů pokrytí výkonových špiček, jako jsou například bouřky a silné větry.

Průměrnou rychlost větru jsem odvodil z větrné mapy České republiky (Obr. 2.5) a to 4 – 4,5 m.s⁻¹.

Při volbě vhodných typů a výkonů větrných elektráren jsem zvažoval nákup malé větrné turbíny nebo sestavení vlastní větrné elektrárny. Na rozdíl od komerčně dostupných větrných elektráren nejsou k Savoniovým rotorům dostupné kompletní technické specifikace. Rotor je nutné navrhnout a zkonstruovat pro dané místo instalace. Pro zjištění reálného výkonu je nutné provést řadu pokusných měření. Proto jsem u varianty B použil data z diplomové práce Jana Střešovského *Větrný rotor typu Savonius pro výkon 1kW*. [10]

Součástí zapojení je akumulátor. Při dimenzování akumulátoru jsem bral v úvahu, jestli elektrická energie vyrobená větrnou elektrárnou pokryje spotřebu pro provoz výtahů, osvětlení společných prostor domů a čtyři čerpadla na oběh topení a teplé vody nebo pouze provoz osvětlení.

3.1. Varianta A

5 horizontálních větrných elektráren s výkonem 1000W

Jako první variantu jsem zvolil HY-1000L 5 BLADES. Tato malá větrná elektrárna má malou rozběhovou rychlost $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a jmenovitý výkon 1000W. [8] Výkon této elektrárny odečteme z grafu od výrobce, viz Příloha 1.

Výkon elektrárny odečtený z grafu při rychlosti větru $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je 50 W. Celkovou vyrobenou energii za rok spočítáme jako:

$$E = P * t = 50 * 8760 = 438 \text{ kWh}$$

Kde: E[kWh] – energie

P[W] – výkon

t[hod] – počet hodin v roce

Výroba při ideálních povětrnostních podmínkách při rychlosti větru $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je 1 382 kWh/rok.[8]

Energie vyrobená 5 větrnými turbínami se pohybuje od 2 190 kWh do 6 910 kWh ročně.



Obr. 3.1 HY-1000L 5 BLADES^[8]

3.2. Varianta B

5 Savoniových rotorů s výkonem 1000W

Jako druhou variantu jsem zvolil Savoniův rotor popsaný Janem Střešovským v jeho diplomové práci. Tento rotor je čtyřstupňový o výšce 2,561 m a průměru 0,65 m. Je navržen pro výkon 1 kW při rychlosti větru 15 m.s⁻¹. [10]

Jeho výkon při 4 m.s⁻¹ je 19,2 W.[10] Celkovou vyrobenou energii za rok spočítáme jako:

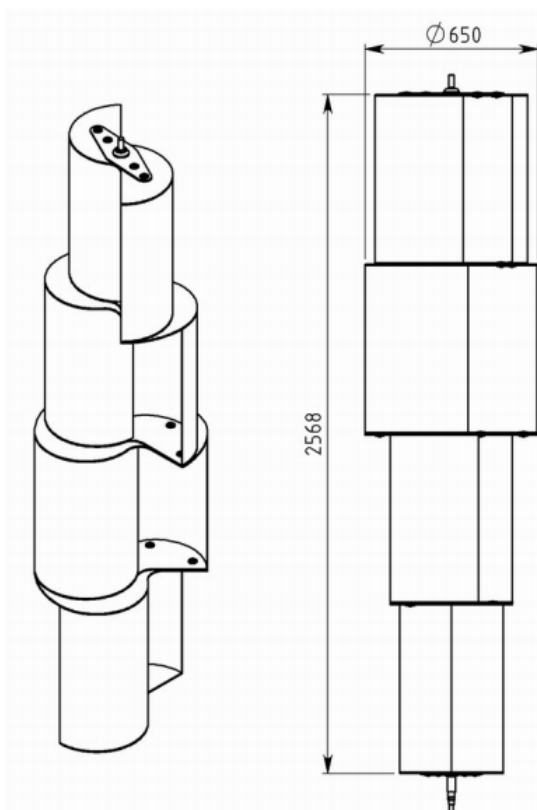
$$E = P * t = 19,2 * 8760 = 168,2 \text{ kWh}$$

Kde: E[kWh] – energie

P[W] – výkon

t[hod] – počet hodin v roce

Energie vyrobená 5 větrnými elektrárnami za rok je 841 kWh.



Obr. 3.2 Rozměry Savoniova rotoru^[10]

3.3 Varianta C

5 horizontálních větrných elektráren s výkonem 500W

Další jsem zvolil Ista Breeze i500 12V . Větrná elektrárna s rozběhovou rychlostí větru $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a jmenovitým výkonem 500 W. [19] Výkon této elektrárny odečteme z grafu od výrobce, viz Příloha 2.

Výkon elektrárny odečtený z grafu při rychlosti větru $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je 50 W. Celkovou vyrobenou energii za rok spočítáme jako:

$$E = P * t = 50 * 8760 = 438 \text{ kWh}$$

Kde: E[kWh] – energie

P[W] – výkon

t[hod] – počet hodin v roce

Energie vyrobená 5 větrnými turbínami je 2 190 kWh ročně.



Obr 3.3 Ista Breeze i500 12 V [19]

3.4 Varianta D

5 horizontálních větrných elektráren s výkonem 1500W

V této variantě jsem zvolil větrnou elektrárnu HY -1,5kW 5Blades Pegasus. Tato elektrárna má rozběhovou rychlost větru $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a výkon 1500W. [7] Výkon této elektrárny odečteme z grafu od výrobce, viz Příloha 3.

Výkon elektrárny odečtený z grafu při rychlosti větru $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je 100 W. Celkovou vyrobenou energii za rok spočítáme jako:

$$E = P * t = 100 * 8760 = 876 \text{ kWh}$$

Kde: E[kWh] – energie

P[W] – výkon

t[hod] – počet hodin v roce

Energie vyrobená 5 větrnými turbínami je 4 380 kWh ročně.



Obr. 3.4 HY -1,5kW 5Blades Pegasus [7]

4. Investiční a provozní výdaje variant, kvantifikace efektů

Při kvantifikaci efektů jsem použil vyúčtování dodavatele elektřiny za roky 2013 a 2014. Celková cena elektrické energie se skládá ze silové elektřiny, z platu za distribuované množství, z distribučních služeb (systémové služby, podpora elektřiny z obnovitelných zdrojů, činnosti OTE)

Složky ceny elektřiny	Kč/kWh
Silová elektřina	1,40200
Daň z elektřiny	0,02830
Plat za distribuované množství	1,70553
Systémové služby	0,13219
Podpora elektřiny z obnovitelných zdrojů	0,58300
Činnosti OTE	0,00756
Celkem	3,85858

Tab. 4.1 Složky ceny elektřiny

4.1 Varianta A

S baterií

Pro realizaci této varianty jsem zvolil již zmíněnou větrnou elektrárnu HY-1000L 5 BLADES. Regulátor nabíjení Hybrid Controller HY-T2-WSII-06 (600+550W/24). Regulátor má programovatelný vstup na MPPT systém konverze, sloužící k maximálnímu zisku při proměnlivém větru. Gelovou baterii o kapacitě 135Ah, spojovací materiál k ukotvení elektrárny k domu, 10 m kabelů.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Větrná elektrárna	29 990
Spojovací materiál	1 000
Regulátor nabíjení	5 890
Baterie	12 670
Kabely	732
Montážní práce	1 200
Celkem	51 482

Tab. 4.2 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren s baterií činí 257 410 Kč.

Bez baterie

Pro realizaci této varianty jsem zvolil již zmíněnou větrnou elektrárnu HY-1000L 5 BLADES. Regulátor nabíjení Hybrid Controller HY-T2-WSII-06 (600+550W/24). Regulátor má programovatelný vstup na MPPT systém konverze, sloužící k maximálnímu zisku při proměnlivém větru. Spojovací materiál k ukotvení elektrárny k domu, 10 m kabelů.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Větrná elektrárna	29 990
Spojovací materiál	1 000
Regulátor nabíjení	5 890
Kabely	732
Montážní práce	1 200
Celkem	37 912

Tab. 4.3 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren bez baterie činí 189 560 Kč.

Všech pět nainstalovaných větrných elektráren vyrobí 2 190 – 6 876 kWh ročně. Při ceně 3,85858 Kč/kWh vyrobí soustava větrných elektráren elektrickou energii v hodnotě 8 450 – 21 330 Kč ročně.

4.2 Varianta B

Při výpočtu množství materiálu potřebného pro výrobu jsem vycházel z dat uvedených v kapitole 2. Konstrukční návrh větrného zdroje diplomové práce Jana Střešovského:

S baterii

3 kusy 1x2 m měděné plechy, 3 m bezešvé trubky, 22 m lešenářských trubek, alternátor, usměrňovač, baterie, 20 m kabelů, baterii.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Měděné plechy	5 850
Bezešvá trubka	140
Lešenářské trubky	1 100
Baterie	12 670
Alternátor	3 200
Usměrňovač	900
Kabely	1 460
Montážní práce	1 200
Celkem	26 520

Tab. 4.4 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren činí 132 600 Kč.

Bez baterie

3 kusy 1x2 m měděné plechy, 3 m bezešvé trubky, 22 m lešenářských trubek, alternátor, usměrňovač, 20 m kabelů.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Měděné plechy	5 850
Bezešvá trubka	140
Lešenářské trubky	1 100
Alternátor	3 200
Usměrňovač	900
Kabely	1 460
Montážní práce	1 200
Celkem	13 850

Tab. 4.5 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren činí 69 250 Kč.

Tato soustava větrných elektráren vyrobí 841 kWh ročně. Při ceně 3,85858 Kč/kWh vyrobí soustava větrných elektráren elektrickou energii v hodnotě 3 245 Kč za rok.

4.3 Varianta C

S baterií

Pro realizaci této varianty jsem zvolil větrnou elektrárnu Ista Breeze i500. Regulátor nabíjení Hybrid Controller HY-T2-WSII-06 (600+550W/24). Gelovou baterii o kapacitě 135Ah, spojovací materiál k ukotvení elektrárny k domu, 10 m kabelů.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Větrná elektrárna	14 640
Spojovací materiál	1 000
Regulátor nabíjení	5 890
Baterie	12 670
Kabely	732
Montážní práce	1 200
Celkem	36 132

Tab. 4.6 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren s baterií činí 180 660 Kč.

Bez baterie

Pro realizaci této varianty jsem zvolil již zmíněnou větrnou elektrárnu HY-1000L 5 BLADES. Regulátor nabíjení Hybrid Controller HY-T2-WSII-06 (600+550W/24). Spojovací materiál k ukotvení elektrárny k domu, 10 m kabelů.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Větrná elektrárna	14 640
Spojovací materiál	1 000
Regulátor nabíjení	5 890
Kabely	732
Montážní práce	1 200
Celkem	23 462

Tab. 4.7 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren bez baterie činí 117 310 Kč.

Všech pět nainstalovaných větrných elektráren vyrobí 2 190 kWh ročně. Při ceně 3,85858 Kč/kWh vyrobí soustava větrných elektráren elektrickou energii v hodnotě 8 450 ročně.

4.4 Varianta D

S baterií

Pro realizaci této varianty jsem zvolil již zmíněnou větrnou elektrárnu HY-1,5kW 5BLADES PEGASUS. Regulátor nabíjení Hybrid Controller HY-T2-WSII-06 (600+550W/24). Gelovou baterii o kapacitě 135Ah, spojovací materiál k ukotvení elektrárny k domu, 10 m kabelů.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Větrná elektrárna	55 390
Spojovací materiál	1 000
Regulátor nabíjení	5 890
Baterie	12 670
Kabely	732
Montážní práce	1 200
Celkem	76 882

Tab. 4.8 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren s baterií činí 384 410 Kč.

Bez baterie

Pro realizaci této varianty jsem zvolil již zmíněnou větrnou elektrárnu HY-1,5kW 5BLADES PEGASUS. Regulátor nabíjení Hybrid Controller HY-T2-WSII-06 (600+550W/24). Spojovací materiál k ukotvení elektrárny k domu, 10 m kabelů.

Investiční výdaje na 1 větrnou elektrárnu	
Položka	Cena [Kč]
Větrná elektrárna	55 390
Spojovací materiál	1 000
Regulátor nabíjení	5 890
Kabely	732
Montážní práce	1 200
Celkem	64 212

Tab. 4.9 Investiční výdaje

Investiční výdaje pro 5 větrných elektráren bez baterie činí 321 060 Kč.

Všech pět větrných elektráren vyrobí 4 380 kWh ročně. Při ceně 3,85858 Kč/kWh vyrobí soustava větrných elektráren elektrickou energii v hodnotě 16 900 Kč ročně.

5. Vyhodnocení variant z hlediska projektu

U větrné elektrárny se špatně predikuje předpokládaný výnos. Výnos nejvíce záleží na síle větru v místě instalace. Proto jsem spočítal, jaký musí být výkon větrné elektrárny nebo jak se musí změnit cena za silovou elektřinu, aby bylo NPV alespoň rovno nule. Diskont jsem zvolil 2%. Do diskontu jsem zahrnul inflaci a mnou požadovaný výnos investice.

Čistou současnou hodnotu a vnitřní výnosové procento jsem počítal z cash flow za 15 let, protože mnou vybrané elektrárny mají technickou životnost 15 let.

Předpokládal jsem, že špičkový výkon elektrárny nebude ve stejné době jako špičkový odběr společných prostor bytového domu, proto jsem z dat, které mi poskytl vedoucí práce, spočítal střední výkon společných prostor domu. Poměrem středního odběru a jmenovitého výkonu pěti elektráren jsem spočítal koeficient, kterým jsem vynásobil hodnotu vyrobené energie. Tímto postupem jsem dostal hodnotu využití elektrické energie variant bez baterií. Střední odběr je 3 969 W. Hodnoty využití energie jsou v tabulce 5.1.

	P[W]	Vyrobena energie [kWh]	Jmenovitý P [W]	Nevyužitá energie		Využitá energie [kWh]
Varianta A sB	50	2 190	5 000	0	1	2 190
Varianta A bezB	50	2 190	5 000	1 031	0,8	1 738
Varianta A max sB	158	6 920	5 000	0	1	6 920
Varianta A max bezB	158	6 920	5 000	1 031	0,8	5 493
Varianta B sB	19,2	841	5 000	0	1	841
Varianta B bezB	19,2	841	5 000	1 031	0,8	668
Varianta C sB	50	2 190	2 500	0	1	2 190
Varianta C bezB	50	2 190	2 500	0	1	2 190
Varianta D sB	100	4 380	7 500	0	1	4 380
Varianta D bezB	100	4 380	7 500	3531	0,5	2 318

Tab. 5.1 Využitá energie

V tabulce 5.2 je zaznamenána situace s rychlostí větru 4 m.s^{-1} a cenou za elektrickou energii $3,85858 \text{ Kč/kWh}$. Z této tabulky je vidět, že pouze varianta A max má kladnou čistou současnou hodnotu a kladné vnitřní výnosové procento. U varianty A max je problém, že výroba $1\,382 \text{ kWh/rok}$ při 4 m.s^{-1} je dosažena v laboratorních podmínkách, proto bych ani tuto variantu nepovažoval za vhodnou investici.

	P[W]	Využitá energie [kWh]	Úspora [Kč]	IRR	NPV	Doba návratnosti [rok]
Varianta A sB	50	2 190	8 450	-8%	-145 912	30,5
Varianta A bezB	50	1 738	6 708	-7%	-101 342	28,3
Varianta A max sB	158	6 920	26 703	6%	84 022	9,6
Varianta A max bezB	158	5 493	21 197	7%	81 179	8,9
Varianta B sB	19,2	841	3 245	-11%	-89 123	40,9
Varianta B bezB	19,2	668	2 576	-7%	-35 444	26,9
Varianta C sB	50	2 190	8 450	-4%	-70 667	21,4
Varianta C bezB	50	2 190	8 450	0,984%	-8 562	13,9
Varianta D sB	100	4 380	16 901	-5%	-163 971	22,7
Varianta D bezB	100	2 318	8 944	-9%	-202 097	35,9

Tab. 5.2 Rozhodovací kritéria pro reálnou situaci

V následující tabulce 5.3 jsem propočítal nutný minimální denní výkon elektrárny, aby se čistá současná hodnota rovnala nule. U varianty C bez baterie je vidět, že by se požadovaný výkon musel zvednout minimálně o 4 W , což podle grafu výkonnostní křivky (viz Příloha 2) odpovídá rychlosti větru $4,5 \text{ m.s}^{-1}$. U ostatních variant je potřebná rychlost větru podstatně vyšší. U varianty A s baterií je to až o 1 m.s^{-1} více.

	P[W]	Vyrobená energie[kWh]	Úspora [Kč]	IRR	NPV
Varianta A sB	119	5 192	20 033	2%	0
Varianta A bezB	87	3 823	14 753	2%	0
Varianta B sB	61	2 674	10 320	2%	0
Varianta B bezB	32	1 397	5 389	2%	0
Varianta C sB	83	3 644	14 060	2%	0
Varianta C bezB	54	2 366	9 130	2%	0
Varianta D sB	177	7 753	29 917	2%	0
Varianta D bezB	148	6 476	24 987	2%	0

Tab. 5.3 Změna výkonu elektrárny

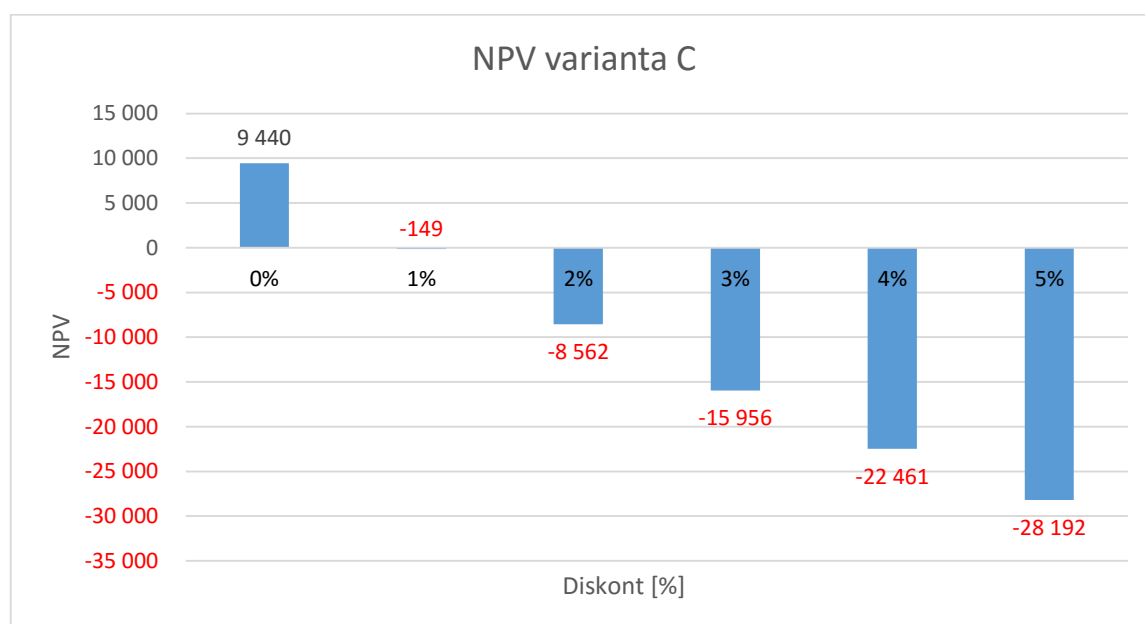
V tabulce 5.4 jsou zobrazeny ceny elektrické energie, při kterých by se jednotlivé varianty vyplatily. Z tabulky vyplývá, že by se cena musela zvednout o 0,3 Kč/kWh u varianty C bez baterie a u ostatních variant je toto potřebné zdražení daleko výraznější.

Cena elektřiny	3,85858
Cena elektřiny A sB	9,14751
Cena elektřiny A bezB	8,48620
Cena elektřiny B sB	12,27128
Cena elektřiny B bezB	8,07337
Cena elektřiny C sB	6,42006
Cena elektřiny C bezB	4,16881
Cena elektřiny D sB	6,83034
Cena elektřiny D bezB	10,77988

Tab. 5.5 Teoretické ceny elektrické energie

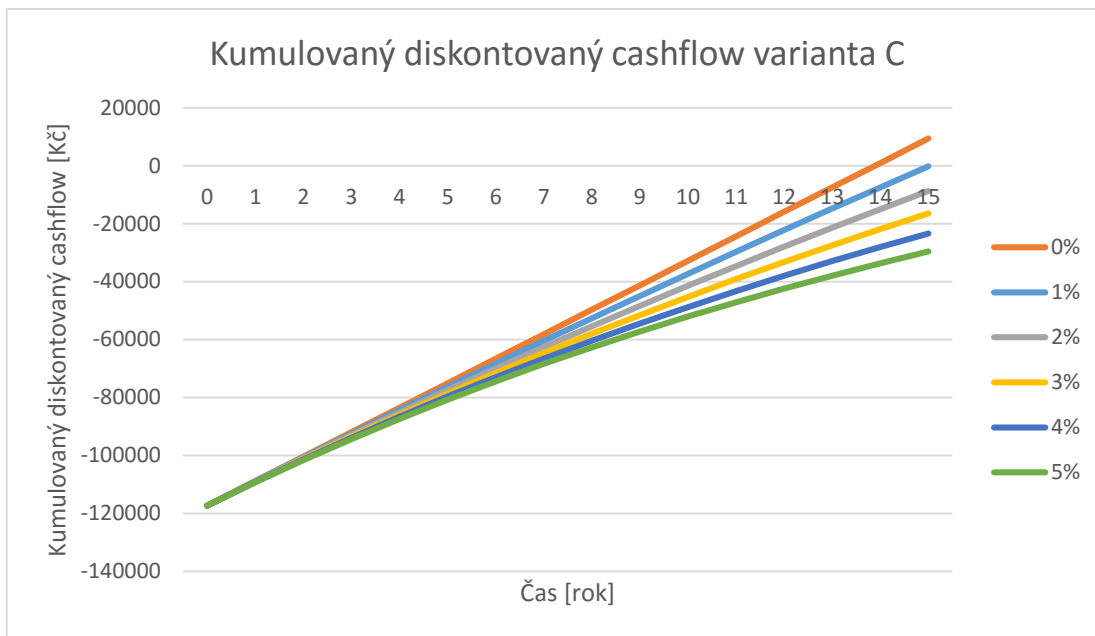
Podle větrné mapy České republiky je na místě instalace průměrná rychlost větru 4 – 4,5 m.s⁻¹. Při výpočtech jsem použil méně optimistickou hodnotu tj. 4 m.s⁻¹. Je možné, že po ročním měření rychlosti větru v dané lokalitě, by reálné hodnoty rychlosti větru dosáhly v průměru 4,5 m.s⁻¹ a v tom případě by se varianta C bez baterie jevila jako efektivní investiční projekt.

V následujícím grafu (Graf 5.1) vidíme vývoj čisté současné hodnoty pro nulový diskont až po pěti procentní diskont. Pro nulový diskont je vidět, že by se investice vyplatila realizovat. Pro jednocentní diskont už je čistá současná hodnota záporná, protože čistá současná hodnota rovna nule je při 0,984%.



Graf 5.1 NPV Varianty C při různém diskontu

V grafu 5.2 je znázorněn kumulovaný diskontovaný cash flow varianty C při různém diskontu. Jedině při nulovém diskontu se kumulovaný diskontovaný cash flow dostane do kladných hodnot ve 14 roce, při jiném diskontu se kumulovaný diskontovaný cash flow nedostane do kladných hodnot.



Graf 5.2 Kumulovaný diskontovaný cash flow

Seznam použitých zdrojů

- [1] SCHULZ, Heinz. *Savoniův rotor: návod na stavbu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2005, 77 s. ISBN 80-86167-26-7.
- [2] 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.
- [3] Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. O Energetice. [online]. 28. Únor 2015 [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektren/vetrne-elektreny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [4] HALLENGA, Uwe. *Malá větrná elektrárna: Návod ke stavbě*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 1998, 63 s. ISBN 80-86167-00-3.
- [5] Lopatkové kolo. CEZ. [online]. [1999] [cit. 2015-11-26]. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/lopat_kolo.html
- [6] KOLEKTIV AUTORŮ pod vedením časopisu Elektro. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Nakladatelství FCC PUBLIC, s.r.o., 1994. 174 s.
- [7] HY-1,5kW 5BLADES PEGASUS. SOLAR-ELEKTRO.CZ. [online]. ©2010- 2011 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.solar-elektro.cz/index.php?action=detail&id=ID589&catg=2412#>
- [8] HY-600L 5BLADES (24V). SOLAR-ELEKTRO.CZ. [online]. ©2010- 2011 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://www.solar-elektro.cz/index.php?action=detail&id=ID664&catg=2412>
- [9] Vítr. Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z.s. [online]. [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/OZE/vitr.htm>
- [10] STŘEŠOVSKÝ, Jan. *Větrný rotor typu Savonius pro výkon 1kW*. Brno, 2007. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
- [11] Větrné podmínky v České republice ve výšce 10 m nad povrchem. *tzbinfo*. [online]. 15. 4. 2013 [cit. 2016-01-02]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9770-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-i>

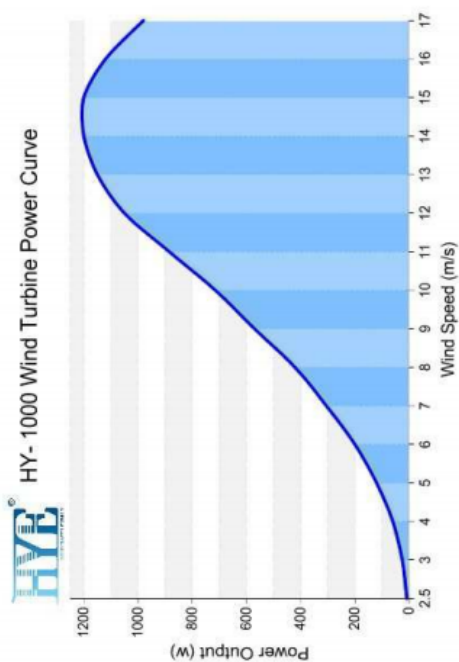
- [12] KOUDELA, Vladimír a Barbara SCHEJBALOVÁ. Ekonomická efektivnost investic. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000, 83 s. ISBN 80-7078-825-9.
- [13] Větrné elektrárny. *EnviWeb*. [online]. 15. 11. 2009 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/energie/79312/vetrne-elektrarny>
- [14] Savonius Wind turbine. *The student made Savonius Wind Turbine*. [online]. © 2011-2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.savonius.net/savonius-principle.html>
- [15] Mapy větrových oblastí. *Frigomont*. [online]. © 2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.frigomont.cz/domains/frigomont.cz/oplasteni-budov-informace/mapy-vetrovych-oblasti.html>
- [16] BREALEY, Richard A. a Stewart C. MYERS. *Teorie a praxe firemních financí*. Praha: Victoria, 1991. ISBN 80-85605-24-4.
- [17] CIPRA, Tomáš. *Praktický průvodce finanční a pojistnou matematikou*. Praha: HZ, 1995. ISBN 80-901918-0-0.
- [18] Savonius úvod. *Department of Electrical Power Engineering*. [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/index.php/laboratore/vtesavonius>
- [19] Ista Breeze i500 větrná turbína – větrná elektrárna 500W 12V. *EKOÚSPORA*. [online]. © 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.ekouspora.cz/ista-breeze-vetrna-turbina-vetrna-elektrarna-500w-12v.html>

Příloha 1

Technická specifikace HY-1000

Technická specifikace HY-1000

Model	HY-1000		
Jmenovitý výkon	1000W		
Max. výkon	1200W		
Jmenovitá napětí	24Vdc	48Vdc	110Vdc
Jmenovitá otáčky	750rpm		
Start-up rychlost větru	2,0m/s		
Cut-in rychlost větru	2,5m/s		
Jmenovitá rychlost větru	12m/s		
Mezni rychlost přežití	50m/s		
Průměr rotoru	1,96m		
Počet listů rotoru	5		
Pracovní plocha	3,01m ²		
Hlučnost	<20dB (5m za turbinou@5m/s v nárazích)		
Typ generátoru	Třífázový PMA		
Typ větrné turbíny	Protí větru		
Kotvení	Přírubové spojení		
Pracovní teplota	-40°C~60°C		
Systém brzdění při silném větru	Elektromagnetická brzda, blades aerodynamic brake		
Provozní životnost	15.let		
Čistá hmotnost	28kg		
Hrubá celková hmotnost	32kg		
Rozměry balení	146x53x27cm		



Dovoz a distribuce: Solar energy PCE s.r.o., Drahelická 53, 288 02 Nymburk, IČ 27907716, DIČ CZ27907716

Příloha 2

Závislost výkonu na rychlosti větru elektrárny Ista Breeze i500



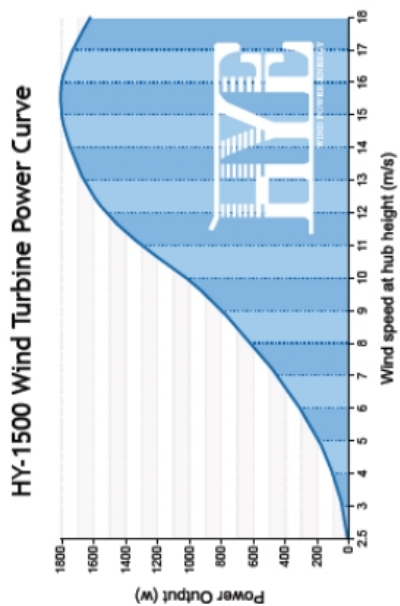
Data introduction

Příloha 3

Technická specifikace HY-1,5kW 5BLADES PEGASUS



Výkonová charakteristika Pegasus 1500W



1. Technická specifikace

Model	HY-1500		
Jmenovitý výkon	1500W		
Max. výkon	1800W		
Jmenovité napětí	48V DC	110V DC	120V DC
Jmenovité otáčky	750rpm		
Start-up rychlost větru	2.0m/s		
Cut-in rychlost větru	2.5m/s		
Jmenovitá rychlost větru	12m/s		
Mezní rychlost větru	50m/s		
Průměr větrného rotoru	2m		
Počet listů rotoru	5		
Pracovní plocha rotoru	3.3m ²		
Hlučnost	<20dB (5m za turbinou@5m/s v nárazech)		
Typ generátoru	Třífázový, PMA		
Typ větrné turbíny	Protí větru		
Kotvení	Přírubové spojení		
Pracovní teplota	-40°C ~ 60°C		
Bezpečnostní brzda	Elektromagnetická brzda, biades aerodynamic brake		