



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

# **Malý větrný zdroj elektřiny pro napájení tepelného čerpadla na bytovém domě**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vitek , CSc.

**Marek Staněk**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Staněk** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **498945**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Malý větrný zdroj elektřiny pro napájení tepelného čerpadla na bytovém domě**

Název bakalářské práce anglicky:

**Small wind power source for powering a heat pump on block house**

Pokyny pro vypracování:

Specifikace potřeby napájení tepelných čerpadel na bytovém domě  
Rešerše vhodných malých větrných elektráren a baterií pro akumulaci energie  
Ekonomické posouzení navržených variant využití větru pro napájení tepelného čerpadla

Seznam doporučené literatury:

Rychetník V., Pavelka J., Janoušek J.: Větrné motory a elektrárny. Skriptum ČVUT FEL, Praha 1997.  
VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. Elektromechanické měniče. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04875-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Miroslav Vítek, CSc. 13116**

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

Datum zadání bakalářské práce: **19.09.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **16.02.2025**

Ing. Miroslav Vítek, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
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



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Miroslavu Vítkovi, Csc. za vedení a obohacující připomínky k řešenému tématu.



# Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem malých větrných elektráren na střechu bytové domu v Praze 13 pro napájení tepelných čerpadel v různých výkonových a technologicko-instalačních variantách, včetně jejich finančně energetických zhodnocení.

## Klíčová slova

větrná elektrárna, tepelné čerpadlo, vítr, rychlost větru, průměrná rychlost větru, energie, instalovaný výkon, Darrierova turbína, vrtulová turbína

## Abstract

This work deals with the design of small rooftop wind power plants on a residential building in Prague 13 for supplying heat pumps in various power and technological installation options, including their financial and energy assessments.

## Key words

wind power plat, heat pump, wind, wind speed, average wind speed, energy, installed capacity, Darrier turbine, propeller turbine





## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím zdrojů uvedených na konci práce v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne:.....

.....

Marek Staněk



## Seznam zkratek

TČ – Tepelné čerpadlo

VTE – Větrná elektrárna

W - Watt

kW – kilowatta

kWh – kilowatthodina

MWh – megawatthodina

m – metr

mm - milimetr

s – sekunda

h – hodina

Kč – koruna česká

kg – kilogram

MPPT – Maximum Power Point Tracking

dB – decibel

V – Volt

A – Amper

FVE – fotovoltaická elektrárna



# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>LOKALITA.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>BILANCE .....</b>	<b>17</b>
3.1	SPECIFIKACE INSTALOVANÉHO TČ.....	17
3.2	TEORETICKÁ POTŘEBNÁ INSTALOVANÁ ENERGIE V BATERIÍCH .....	17
3.3	TEORETICKÝ POTŘEBNÝ INSTALOVANÝ VÝKON VE VTE .....	18
<b>4</b>	<b>ZKOUMÁNÍ POVĚTRNOSTNÍCH PODMÍNEK V DANÉ LOKALITĚ .....</b>	<b>19</b>
4.1	POVĚTRNOSTNÍ PODMÍNKY V DANÉ LOKALITĚ .....	20
4.2	TEORETICKÉ ROZMÍSTĚNÍ VTE NA STROJOVNÁCH VÝTAHU.....	22
<b>5</b>	<b>REŠERŠE VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN .....</b>	<b>24</b>
5.1	SAVIONOVA TURBÍNA .....	25
5.2	DARRIEROVA TURBÍNA .....	26
5.3	TURBÍNA S HORIZONTÁLNÍ OSOU ROTACE (VRTULOVÁ).....	27
<b>6</b>	<b>VÝPOČET TEORETICKÉ VÝROBY ENERGIE PRO JEDNOTLIVÉ DRUHY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN .....</b>	<b>28</b>
6.1	ČETNOST VÝSKYTU RYCHLOSTÍ VĚTRU ODPOVÍDAJÍCÍ WEIBULLUVU ROZDĚLENÍ... 28	28
6.2	TECHNICKÉ PARAMETRY VYBRANÝCH VĚTRNÝCH TURBÍN .....	29
6.2.1	<i>Darrierovy turbíny</i> .....	30
6.2.2	<i>Turbína s horizontální osou rotace</i> .....	32
6.3	VÝPOČET ROČNÍ TEORETICKÉ VÝROBY ENERGIE POMOCÍ WEIBULLOVA ROZDĚLENÍ A VÝKONOVÝCH KŘÍVEK.....	34
6.3.1	<i>Darrierovy turbíny</i> .....	35
6.3.1.1	FX-5000 .....	35
6.3.1.2	FX-10000 .....	36
6.3.2	<i>Turbína s horizontální osou rotace</i> .....	37
6.3.2.1	M4-5000.....	37
6.3.2.2	M6-10000.....	38
6.3.3	<i>Shrnutí</i> .....	39
6.4	VÝPOČET ROČNÍ TEORETICKÉ VÝROBY ENERGIE ZE ZNALOSTI NAMĚŘENÝCH ROČNÍCH DAT RYCHLOSTI VĚTRU NEJBLIŽŠÍ METEOSTANICE.....	40
<b>7</b>	<b>ZAPOJENÍ .....</b>	<b>42</b>

7.1	VARIANTA VLASTNÍHO NÁVRHU ZAPOJENÍ .....	43
7.1.1	<i>Volba přístrojů</i> .....	43
7.1.1.1	Baterie .....	43
7.1.1.2	MPPT regulátory .....	44
7.1.1.3	Střídač .....	45
	.....	45
7.1.1.4	Ochrany .....	46
7.1.1.5	Kabely .....	47
7.1.1.6	Stejnoseměrná sběrnice.....	47
7.1.2	<i>Reálné zapojení</i> .....	47
7.2	VARIANTA VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU.....	48
<b>8</b>	<b>INSTALACE NA STŘECHU.....</b>	<b>49</b>
8.1	VOLBA TYPU INSTALACE .....	49
8.1.1	<i>Podlahová instalace</i> .....	49
8.1.2	<i>Nástěnná instalace</i> .....	49
8.2	POTŘEBNÉ MATERIÁLY .....	50
<b>9</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>51</b>
9.1	INVESTICE .....	51
9.1.1	<i>Cena práce</i> .....	51
9.1.2	<i>Výše investice</i> .....	51
9.1.2.1	Varianta vlastního návrhu zapojení s úměrně navrženou baterií .....	51
9.1.2.2	Varianta využití fotovoltaického systému.....	52
9.2	POROVNÁVACÍ DATA .....	52
9.3	HODNOCENÍ PODLE FINANČNÍCH UKAZATELŮ .....	53
9.3.1	<i>NPV</i> .....	53
9.3.1.1	Varianta vlastního návrhu zapojení s úměrně navrženou baterií .....	54
9.3.1.2	Varianta využití fotovoltaického systému.....	56
<b>10</b>	<b>BEZPEČNOST .....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>58</b>
<b>12</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>59</b>
<b>13</b>	<b>ZDROJE .....</b>	<b>60</b>

# 1 Úvod

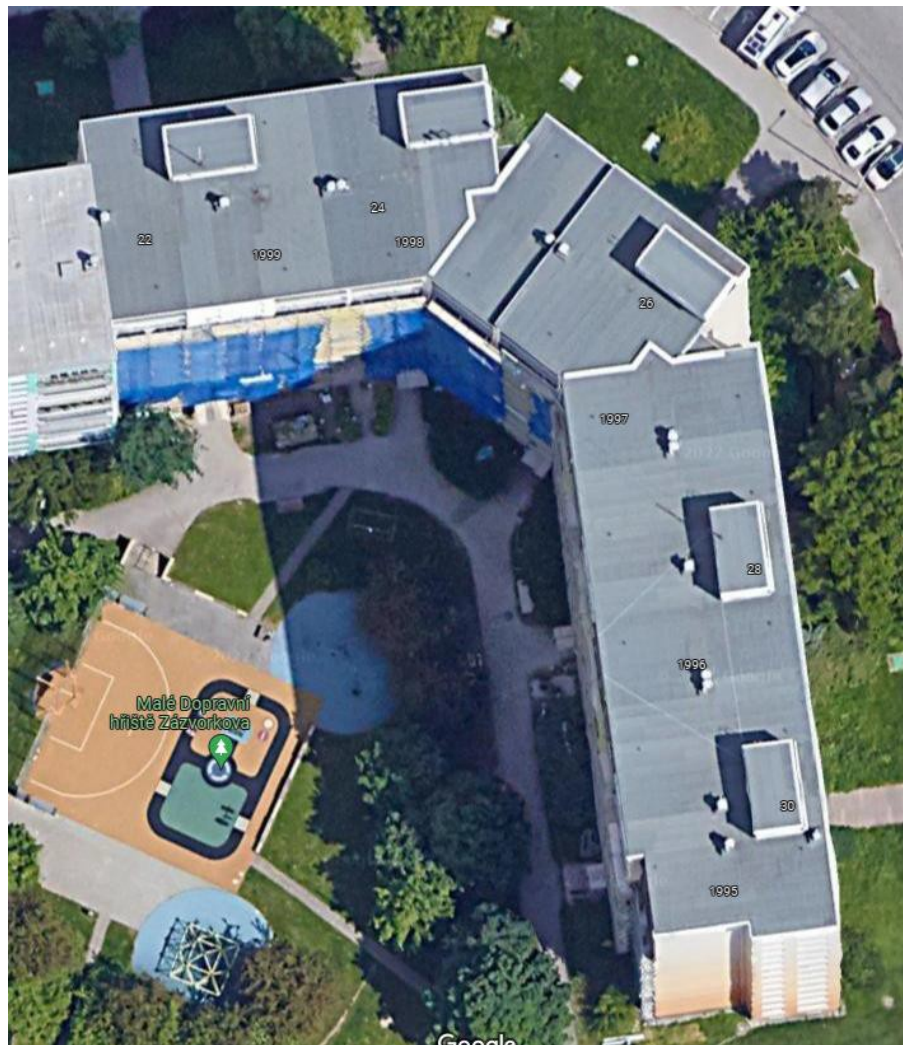
Historie využívání větrné energie člověkem sahá až do doby 5000 let př.n.l., kdy Egypťané využívali energii větru k pohonu lodí. Postupem času se energie větru začala uplatňovat i v dalších odvětvích a využitích. Energie větru se využívá/la například pro čerpání vody, k pohonu mlýnů, pro pohon bezmotorových letadel, padáků a balónů. V dnešní době se energie větru převážně využívá k výrobě elektrické energie. Mezi průkopníky výroby elektrické energie pomocí větru se řadí Charles F. Bush, který mezi roky 1887 a 1888 sestavil první větrnou turbínu, napojenou na generátor elektrického proudu. Tato první větrná elektrárna otevřela lidstvu nové dveře pro výrobu elektrické energie z energie větru. [25]

Větrná energie se řadí jako jedna ze „zelených“ variant pro výrobu elektrické energie, neboť při její výrobě nedochází ke znečišťování planety škodlivými plyny jako je tomu například u uhelných elektrárnách. Jako z jedné hlavních výhod je ten, že vítr je brán jako obnovitelný zdroj energie, tedy není třeba ničit krajinu těžbou pro získání fosilních paliv, které se pálí v kotli pro výrobu elektrické energie. V dnešní době, kdy se velmi hlídá oteplování a znečišťování planety, větrná energie je jedna z mnoha doplňkových či substitučních variant pro výrobu elektrické energie, která může zmírnit ekologické důsledky výroby elektrické energie. Mnoho evropských států využívá větrnou energii velmi hojně, například 100% vlaků v Holandsku pohání větrná energie [22], 40% elektřiny v Dánsku pochází z větrné energie [23], 38 % elektřiny v Německu pokrývají větrné elektrárny [24] a mnoho dalších států využívá či plánuje vyšší podíl využití větrné energie pro výrobu elektřiny.

Snaha o snížení vlivu výroby elektrické energie na planetu Zemi a snaha o menší závislost na dodávce elektrické energie z elektrizační soustavy přiměla mnoho občanů a rodin nainstalovat si vlastní soustavu pro výrobu elektrické energie. V našich končinách se obvykle využívá fotovoltaické elektrárny či fotovoltaické elektrárny s kombinací s větrnými elektrárnami. Výhodou této kombinace je ta, že v letních měsících převážně vyrábí elektřinu fotovoltaické panely a v zimě vyrábí převážně větrné elektrárny. Tato kombinace se dá využít například pro zdroj elektřiny pro pohon kaskády tepelných čerpadel. Právě tímto příkladem se bude zabývat tato práce, konkrétně výrobou elektrické energie pomocí malých větrných elektráren pro napájení tří TČ Viessmann Vitocel 100 18A.

## 2 Lokalita

Lokalita ve které se bude nacházet naše větrná elektrárna je na střeše bytového domu v Praze 13 v ulici Zázvorkova. Tento dům je 40 m vysoký a stáčí se do písmene „L“. Uvažované VTE je možno nainstalovat na stěny rozvoden výtahu.



Obr. 2.1 Fotografie uvažovaného domu z ptáčí perspektivy [1]



## 3 Bilance

Bilance je důležitá pro zjištění kolik je potřeba instalovat energie do baterií a pro určení instalovaného výkonu v VTE. V uvažovaném domě je nainstalováno TČ a plynové kotle pro ohřev vody na vytápění.

### 3.1 Specifikace instalovaného TČ

V uvažovaném domě jsou nainstalována tři TČ Viessmann Vitocal 100 – S (vzduch/voda) pro ohřev vody na vytápění. Z technického listu tohoto TČ byl zjištěn koeficient COP o hodnotě 3,3 až 3,5 (vzduch 2°C/voda 35°C) a jmenovitém výkonu až 16 kW. Toto TČ je poháněno elektromotorem, pro jehož napájení instalován frekvenční měnič, který je napájen šestipulzním usměrňovačem.



Obr. 3.1 Reklamní fotografie TČ instalovaného v bytovém domě [2]

### 3.2 Teoretická potřebná instalovaná energie v bateriích

V našem uvažovaném domě je roční spotřeba 400 MWh tepla na ohřev vody. Denní průměrná spotřeba je roční spotřeba vydělená počtem dní v roce.

$$\text{denní spotřeba tepla} = \frac{400 \text{ MWh}}{365 \text{ dní}} \cong 1 \text{ MWh/den} \quad (3.1)$$

Denní spotřeba tepla námi uvažovaného domu je přibližně  $1MWh$ . Budeme-li uvažovat tepelný faktor (COP) TČ 3,5, potom je denní spotřeba elektřiny na pohon TČ:

$$\text{denní spotřeba elektřiny (čerpadlo)} = \frac{\text{denní spotřeba tepla}}{COP} = \frac{1 MWh}{3,5} = 285 kWh \quad (3.2)$$

Tato hodnota je požadavek na baterie pro napájení TČ za předpokladu, že by TČ bylo napájeno jenom z baterií. Pro uchování této energie by bylo potřeba mnoho baterií. Tato varianta není uskutečnitelná z prostorových důvodů uskladnění baterií. Ideálním způsobem je kombinace napájení TČ z baterií a ze sítě. Tedy využití větrné energie jako aditivní způsob napájení pro snížení nákladů na provoz TČ.

### 3.3 Teoretický potřebný instalovaný výkon ve VTE

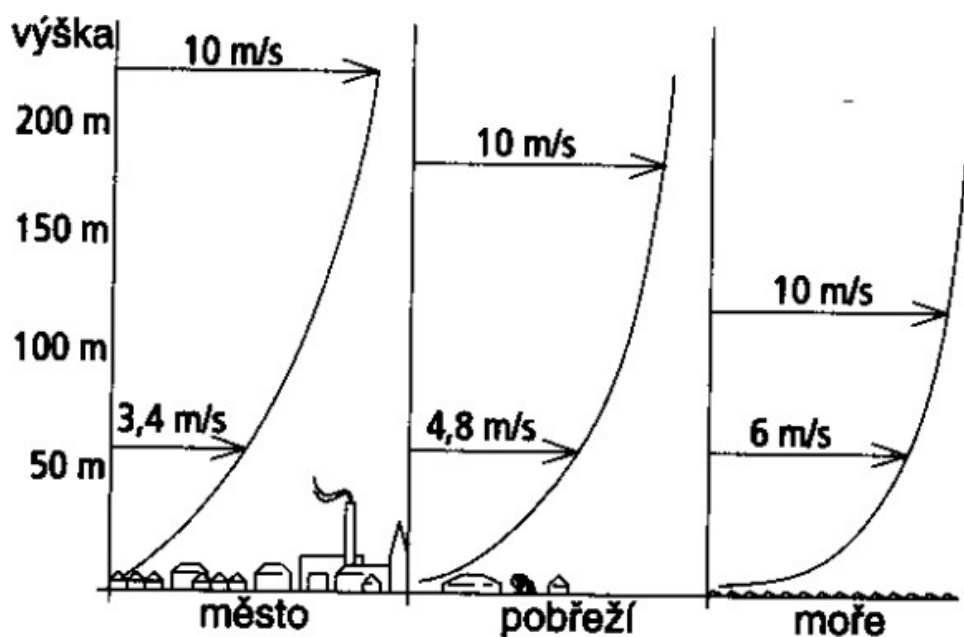
Nyní když známe denní spotřebu elektřiny pro ohřev vody, lze vypočítat kolik je třeba instalovaného výkonu ve větru. Denní spotřeba elektřiny pro ohřev vody byla určena na 285 kWh. To je 104,025 MWh za rok. Budeme-li uvažovat roční dobu využití maxima větru 1000 hodin, potom lze vypočítat potřebný instalovaný výkon v elektrárnách následujícím způsobem:

$$\text{potřebný inst. výkon} = \frac{\text{potřebná roční energie}}{\text{doba využití maxima}} = \frac{104,025 MWh}{1000 h} = 104,025 kW \quad (3.3)$$

Instalovaný výkon v VTE byl vypočten na 104,025 kW. V této práci budou vyhodnocovány a porovnávány dvě varianty instalovaného výkonu. Rozhodl jsem se pro 100 kW a 50 kW

## 4 Zkoumání povětrnostních podmínek v dané lokalitě

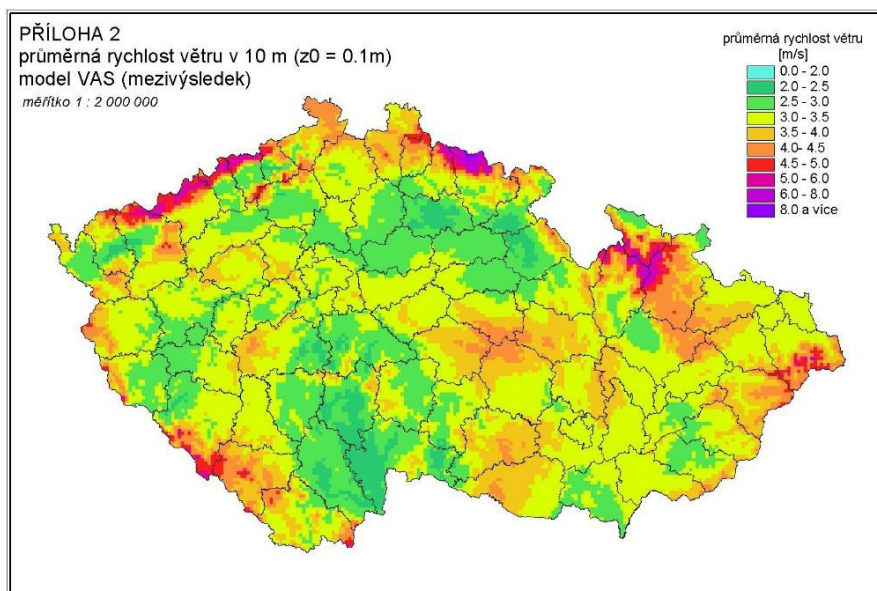
Jeden z nejdůležitějších aspektů pro volbu vhodné VTE v požadované lokalitě je průzkum povětrnostních podmínek v místě instalace. Teprve až po prozkoumání povětrnostních podmínek se můžeme zabývat výběrem vhodné VTE. Také z tohoto průzkumu se můžeme přesvědčit zda dává smysl v dané lokalitě toto zařízení instalovat nebo ne. Rychlost větru v místě instalace VTE významně ovlivňují tři důležité faktory a to je v jakém typu státu se větrná elektrárna nachází, výška v jaké je nainstalovaná a charakter krajiny v jaké se nachází. Nejpříznivější podmínky pro instalaci VTE mají státy přímořské, kde vanou pravidelné a poměrně silné větry až 80% dní v roce. Ve vnitrozemských státech je výskyt pravidelných silných větrů značně menší. Česká republika má kontinentální klima, které se projevuje sezónním kolísáním rychlosti větru. Příčinou je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu. Rychlost větru nejvíce závisí na výšce nad zemí a na charakteru krajiny. Nízko nad zemí je rychlost větru ovlivňována drsností povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost logaritmicky zvyšuje, jak ukazuje níže uvedený obrázek 4.1. [3]



Obr.4.1 Závislost rychlosti větru na výšce a typu terénu [3]

Určení průměrné rychlosti větru v dané lokalitě je nejlepší určit šesti či více měsíčním měřením pomocí anemometru. Rychlost větru se obvykle měří ve výšce 10 m nad terénem. Šesti či více měsíční měření nelze z časových důvodů uskutečnit, proto bude rychlost větru v dané lokalitě určena jiným způsobem.

Průměrné rychlosti větru na území České republiky udává tzn. větrná mapa, kterou poskytuje Akademie věd a to konkrétně ústav fyziky atmosféry. Z větrné mapy lze určit rychlost, směr a četnost výskytu větru ve vybrané lokalitě v 10. metrech nad zemí.



Obr.4.2 Větrná mapa České Republiky [26]

## 4.1 Povětrnostní podmínky v dané lokalitě

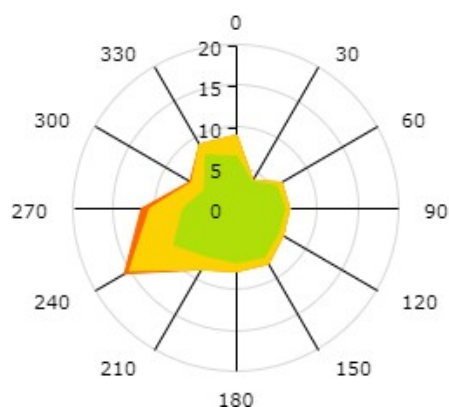
Z větrné mapy byly určeny informace o povětrnostních podmínkách v těchto oblastech.

Větrná mapa poskytla informace o směru větru, relativní četnosti a průměrné rychlosti.

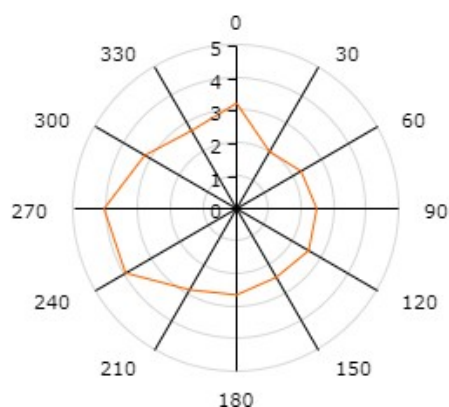
směr větru [°]	relativní četnost				prům. rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ]
	vše	$0 - 4 m \cdot s^{-1}$	$4 - 8 m \cdot s^{-1}$	$> 8 m \cdot s^{-1}$	
0	9%	6,41%	2,57%	0,02%	3,23
30	4%	3,77%	0,23%	0,00%	2,02
60	6,4%	5,67%	0,73%	0,00%	2,29
90	6,5%	5,95%	0,55%	0,00%	2,46
120	6,6%	5,93%	0,67%	0,00%	2,56
150	7,8%	6,83%	0,96%	0,00%	2,43
180	7,7%	6,58%	1,12%	0,00%	2,64
210	8,6%	6,77%	1,82%	0,01%	2,87
240	15,9%	8,88%	6,30%	0,72%	3,94
270	11,7%	6,57%	4,09%	1,04%	4,07
300	6,6%	4,55%	1,82%	0,23%	3,26
330	9,1%	7,59%	5,51%	0,00%	2,76
<b>celkem</b>	<b>100%</b>	<b>75,49%</b>	<b>22,37%</b>	<b>2,03%</b>	<b>3,06</b>

Tab. 4.1 Informace o rychlosti a relativní četnosti větru získané z větrné mapy akademie věd [4]

**Rozdělení směrů větru (%)**



**Průměrná rychlost větru (m/s)**



Obr.4.2 Větrné růžice ukazující rozdělení směru a rychlosti větru v uvažované lokalitě [4]

Z tabulky 4.2 lze vyčíst, že nejvyšší průměrná rychlost větru je 4,07 ve směru 270 °(jiho - západ). Je důležité připomenout, že tato hodnota rychlosti větru byla naměřena ve výšce 10 metrů nad terénem. Naše uvažovaná větrná elektrárna se má nacházet ve výšce cca 40 metrů nad terénem. Tedy tato hodnota je třeba přepočítat na námi uvažovanou výšku dle vzorce 4.1.

Střední rychlost větru v námi požadované výšce je dána vztahem:

$$v_h = v_o \cdot \left(\frac{h}{h_o}\right)^p \quad [3] \quad (4.1)$$

, kde

- $v_h$  - vypočtená rychlost větru [m · s<sup>-1</sup>]
- $v_o$  – naměřená rychlost větru ve výšce  $h_o$  [m · s<sup>-1</sup>]
- $h_o$  - výška ve které se provádí měření [m]
- $h$  - výška umístění rotoru [m]
- $p$  – exponent závisící na drsnosti povrchu [-]

Druh povrchu	p
Hladký povrch, písek, vodní hladina, led, bláto	0,10 – 0,14
Rovinatý terén s nízkým travnatým porostem, ornice, zasněžený terén	0,13 – 0,16
Vysoký travnatý porost, nízké obilné porosty	0,18 – 0,19
Porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní porosty	0,21 – 0,25
Vysoké husté lesy	0,28 – 0,32
Předměstí, vesnice, malá města	0,40 – 0,48

Obr.4.4 Tabulka hodnot exponentu závisícího na drsnosti povrchu [3]

Pomocí vzorce 4.1 se vypočte rychlost větru ve 40. metrech nad zemí. Jako  $v_0$  bude uvažována rychlost větru 4,07 m/s a exponent závisující na drsnosti povrchu bude uvažovat hodnotu 0,48.

$$v_h = 4,07 \cdot \left(\frac{40}{10}\right)^{0,48} = 7,917 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.2)$$

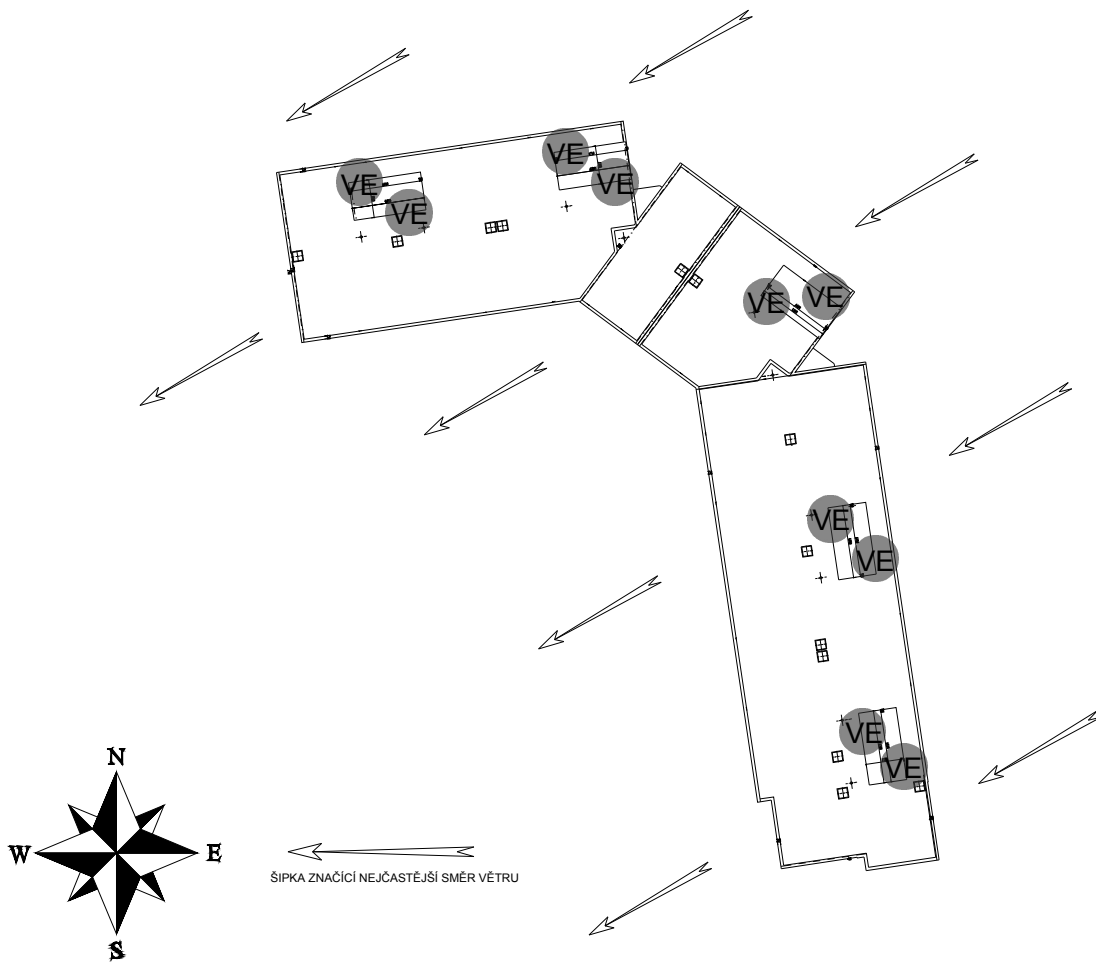
Průměrná rychlost větru v dané lokalitě ve výšce 40 m nad zemí byla vypočtena jako 7,917 m · s<sup>-1</sup>. Tato hodnota rychlosti větru bude uvažována při výběru větrných elektráren a při výpočtu teoretické vyrobené energie.

## 4.2 Teoretické rozmístění VTE na strojovnách výtahu

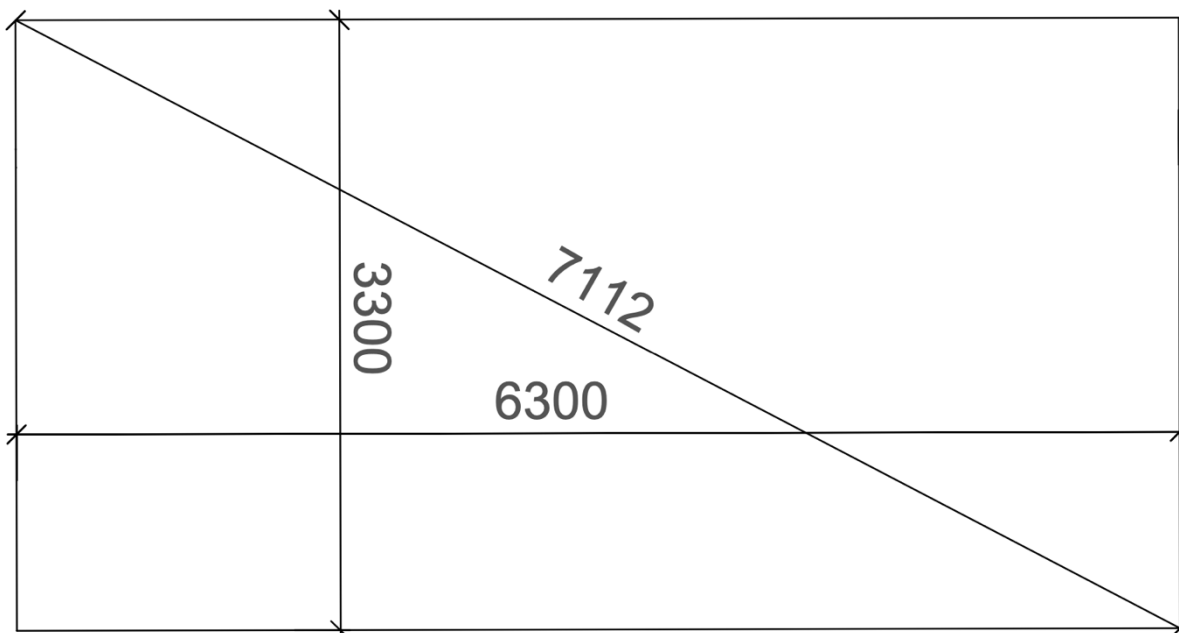
Z větrné růžice 4.2 lze vidět, že nejčastěji vane vítr ze severovýchodu na jihozápad. Tuto skutečnost je třeba zohlednit při návrhu rozmístění VTE na strojovnách výtahů.

Teoreticky lze umístit na každou strojovnu výtahu čtyři VTE. Na každém rohu by byla nainstalována jedna VTE. Toto rozmístění VTE však nemusí být zcela nejvhodnější, budeme-li brát v úvahu energii větru, která se sníží při průchodu větru turbínou. Budou-li například dvě VTE přímo za sebou relativně k směru větru, tak turbína co je v zácloně první turbíny bude přijímat vítr o slabší energii. Proto jsem se rozhodl rozmístit turbíny pouze na konce diagonály střechy strojovny. Toto rozmístění má však nevýhodu snížení počtu turbín na strojovnu a i tak snížení celkového instalovaného výkonu. Z teoreticky možného počtu dvaceti turbín je s tímto rozmístěním možno nainstalovat pouze deset turbín. Navíc rozměry strojovny také omezují volbu rozměrů turbíny. Bude-li se jednat o turbínu s Darrierovým rotorem, potom průměr rotoru nesmí přesáhnout 3 m, jinak dojde ke kolizi lopatek turbíny. Touto skutečností je omezena i volba výkonu větrné turbíny, neboť výkon větrné turbíny je úměrný kvadrátu průměru rotoru viz vzorec 5.3.

Rozmístění VTE na stěny strojoven výtahu je vykresleno na *Obr. 4.5*.



Obr. 4.5 Půdorys střechy se zakresleným rozmístěním VTE



Obr 4.6 – Rozměry strojovny výtahu (rozměry v mm)

## 5 Rešerše větrných elektráren

Správná volba větrného rotoru má zásadní význam na vyrobený výkon. Větrná turbína převádí sílu proudícího vzduchu na listy rotoru na rotační mechanickou energii, která je prostřednictvím generátoru převedena na energii elektrickou. Listy rotoru mohou mít různé speciální tvarované profily a pracují buď na principech vztlakové nebo odporové síly. Teoreticky maximálně dosažitelnou účinnost větrné turbíny definoval Albert Betz na 59,26 %. Reálná účinnost je v realitě nižší kvůli ztrátám na tření, nastavení úhlu lopatek, konstrukcí a podobně. [5]

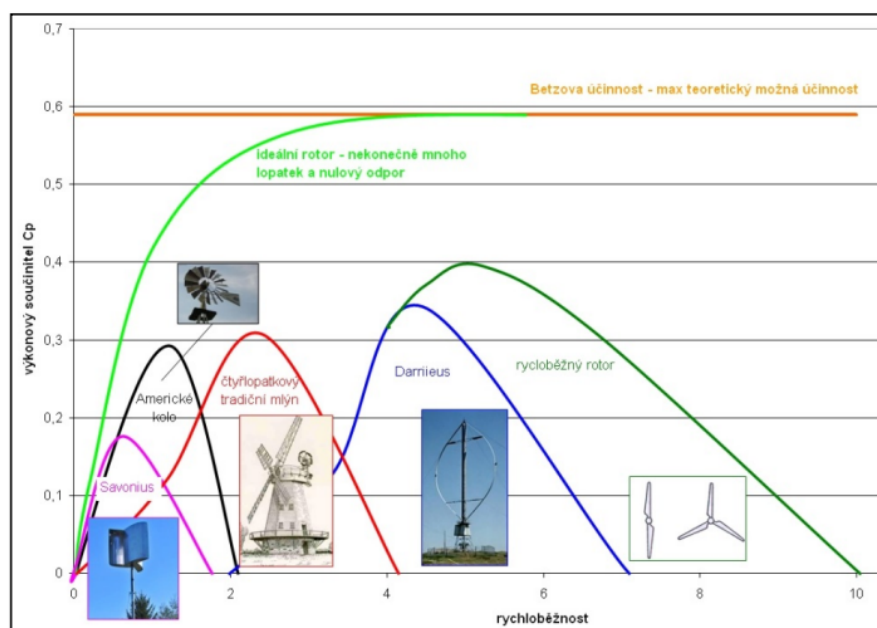
Výkon větrného rotoru je možno spočítat podle níže uvedeného vzorce:

$$P_m = 0,125 \cdot C_p \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot D^2 \quad [5] \quad (5.3)$$

, kde

$P_m$ – skutečný využitelný výkon	[W]
$C_p$ – výkonový součinitel	[%]
$\rho$ – hustota vzduchu	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$v$ – rychlost větru	[m·s <sup>-1</sup> ]
$D$ – průměr vrtule	[m]

Velikost  $C_p$  závisí na rychloběžném čísle  $\lambda = \frac{u}{v}$  ( $u$  je obvodová rychlost lopatek a  $v$  je rychlost větru) a typu motoru.



Obr.5.1 Rozdělení rotorů větrných elektráren [5]



## 5.1 Savionova turbína

Savionova turbína je typ turbíny, kterou lze použít pro větrné i vodní účely. Turbína pracuje na odporovém principu využití větrné energie a patří mezi pomaloběžné větrné rotory. Turbína je tvořena dvěma či třemi lopatkami půlkruhovitěho nebo ledvinovitěho tvaru do kterých naráží vzduch a roztáčí turbínu. Osa otáčení je kolmá na směr proudění vzduchu. Tato turbína je konstrukčně velice jednoduchá a bývá zpravidla vyrobena z kovu. Přes její jednoduchost má velice malou účinnost, která se pohybuje okolo 20%. Poskytuje velký kroutící moment. Hodí se spíše k čerpání vody nebo k mletí obilí než k výrobě elektrické energie. Savionova turbína má rychloběžné číslo rovno 1, tedy obvodová rychlost lopatek je stejná jako rychlost větru. Kvůli této skutečnosti se Savionova turbína využívá k měření rychlosti větru jako anemometr. Nevýhodou dvoulopatkové verze této turbíny je existence mrtvého úhlu, při kterém se turbína sama neroztočí. Tento typ turbíny není vhodný pro naši instalaci.



*Obr. 5.2 Savionova turbína [6]*

## 5.2 Darrierova turbína

Tato turbína pracuje na vztlakovém principu. Osa otáčení je kolmá na směr větru, díky tomu nezávisí práce stroje na směru větru. Rotory mívají obvykle dvě nebo tři profilovaná křídla upevněná kolem svislé rotační osy. Patří mezi rychloběžné rotory neboť obvodová rychlost rotoru je několikanásobně vyšší než rychlost větru. Darrierova turbína má několik variant provedení rotoru. Darrieova turbína s rotorem ve tvaru H je jednoduchá na výrobu, protože využívá rovné vertikální listy, ale je třeba, aby byla vyrobena robustně kvůli odstředivé síle. Dosahuje účinnosti kolem 35 %. Mezi hlavní výhody Darrierovy turbíny patří snadná údržba a nezávislost na směru větru. Mezi nevýhody patří horší ovladatelnost, pulzující výkonový cyklus vedoucí k rezonancím, velké odstředivé síly působící na rotor a potřeba vnějšího zdroje na primární roztočení rotoru. Tato turbína je velice dynamicky namáhána, což může vést ke snížení životnosti.



*Obr. 5.3 Darrierova turbína [7]*

### 5.3 Turbína s horizontální osou rotace (vrtulová)

Tento typ rotoru je nejpoužívanější typ rotoru pro výrobu elektrické energie. Používá se od malých elektráren až po obrovské VTE. Turbína využívá vztlakového principu. Kinetická energie větru se mění na mechanickou energii rotující listů rotoru. Rotor je spojen s generátorem, ve kterém se mění mechanická energie na elektrickou. Nejdůležitější části turbíny jsou vrtule. Nejčastěji bývá provedení trojlisté vrtule, ale může být i dvoulisté nebo jednolisté. Na vrtule jsou kladeny velké požadavky, aby odolávaly síle větru a odstředivé síle. Pro získání maximální efektivity je třeba navrhnout správný profil a natočení listů proti větru. U malých větrných elektráren tohoto typu je natočení proti větru řešeno korouhvičkou. Problém nastává při roztáčení vrtule. Obvykle je potřeba připojit pomocný zdroj pro prvotní roztočení vrtule.

Účinnost tohoto typu rotoru se pohybuje okolo 45 %.



*Obr. 5.4 Turbína s horizontální osou rotace [8]*

## 6 Výpočet teoretické výroby energie pro jednotlivé druhy větrných elektráren

Pro správný výběr vhodné VTE a baterie je potřeba zjistit kolik by teoreticky VTE vyrobila energie za rok v dané lokalitě. Větrná mapa nám poskytla informace o průměrné rychlosti větru, výskytu četnosti větru a graf hustoty pravděpodobnosti větru v deseti metrech nad zemí. Naše větrná elektrárna by se vyskytovala ve čtyřiceti metrech nad zemí. Proto je třeba tyto parametry přepočítat na výšku čtyřiceti metrů nad zemí.

### 6.1 Četnost výskytu rychlostí větru odpovídající Weibullovu rozdělení

Z větrné mapy byly získány informace o četnosti výskytu různých rychlostech větru. Tyto informace se často převádí do Weibullova rozdělení pravděpodobnosti výskytu větru. Větrná mapa toto rozdělení poskytla, ale ve výšce deseti metrů nad zemí. Pro náš případ je potřeba tyto hodnoty přepočítat na výšku čtyřiceti metrů nad zemí.

Z kapitoly povětrnostních podmínek v dané lokalitě byla přepočtena průměrná rychlost větru ve 40. metrech nad zemí na  $7,917 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . S touto hodnotou budeme počítat pro získání hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení.

Hustotu pravděpodobnosti Weibullova rozdělení lze vypočítat následující rovnicí:

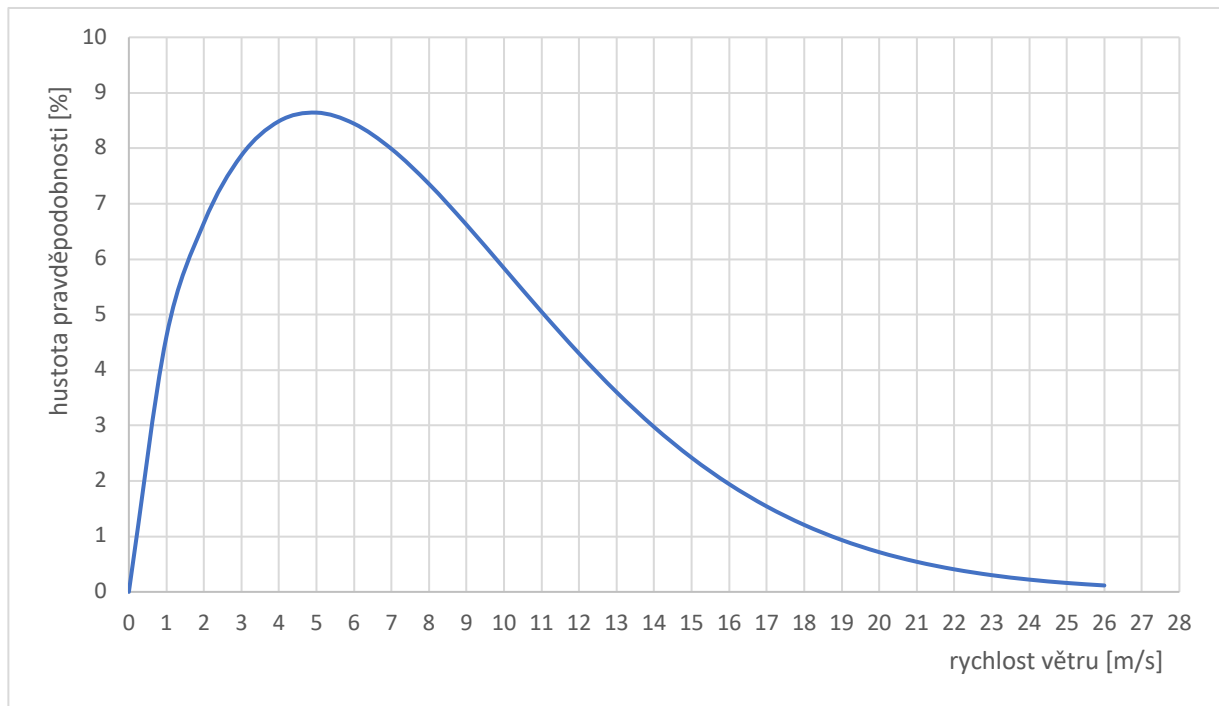
$$f(x) = \frac{b \cdot x^{b-1}}{a^b} \exp \left[ - \left( \frac{x^b}{a} \right) \right] \quad [21] \quad (6.1)$$

kde,

$b$  – tvarový činitel [-]

$a$  – součinitel určující polohu maxima [-]

Tvarový součinitel  $b$  byl poskytnut větrnou mapou pro 10 m nad zemí a jeho hodnota je 1,62. Protože není jiná možnost jak zjistit tvarový součinitel pro výšku 40 m nad zemí než měřením, tak při výpočtech bude použit tvarový součinitel pro výšku 10 m nad zemí. Součinitel určující polohu maxima  $a$  byl zjištěn z online generátoru Weibullova rozdělení. [21]



Obr.6.1 Weibullovo rozdělení pro rychlosti větru 40. metrů nad zemí v dané lokalitě

Výše uvedený graf popisuje hustotu pravděpodobnosti Weibullova rozdělení rychlosti větru ve 40. metrech nad zemí. Je nutno říci, že tento graf pravděpodobnosti je matematický odhad. Přesných výsledků by se dostalo experimentálním měřením. Toto rozdělení nepočítá s výskytem větru o nulové rychlosti větru.

## 6.2 Technické parametry vybraných větrných turbín

Z kapitoly o potřebném instalovaném výkonu VTE byl určen potřebný instalovaný výkon na 100 kW. Tento výkon lze rozložit do několika elektráren. V kapitole 4.2 bylo vysvětleno, že na strojovny výtahu lze kvůli větrnému stínění umístit pouze deset větrných elektráren. Rozhodl jsem se provést výpočty teoretické vyrobené energie pro větrné turbíny s různými instalovanými výkony a provedením. Důvod výpočtu teoretické vyrobené energie různých druhů větrných elektráren s různými instalovanými výkony je porovnání. Toto porovnání bude důležité v ekonomické části této práce, protože turbína s vyšším výkonem přeměňuje více energie, ale roste i její cena.

Rozhodl jsem se uvažovat pouze turbíny s Darrierovým rotorem a turbíny s horizontální osou rotace (vrtulové) z důvodu vyšší účinnosti než Savionovy turbíny. V následujících podkapitolách budou vypsány technické parametry vybraných větrných turbín a jejich teoretická výroba.

## 6.2.1 Darrierovy turbíny

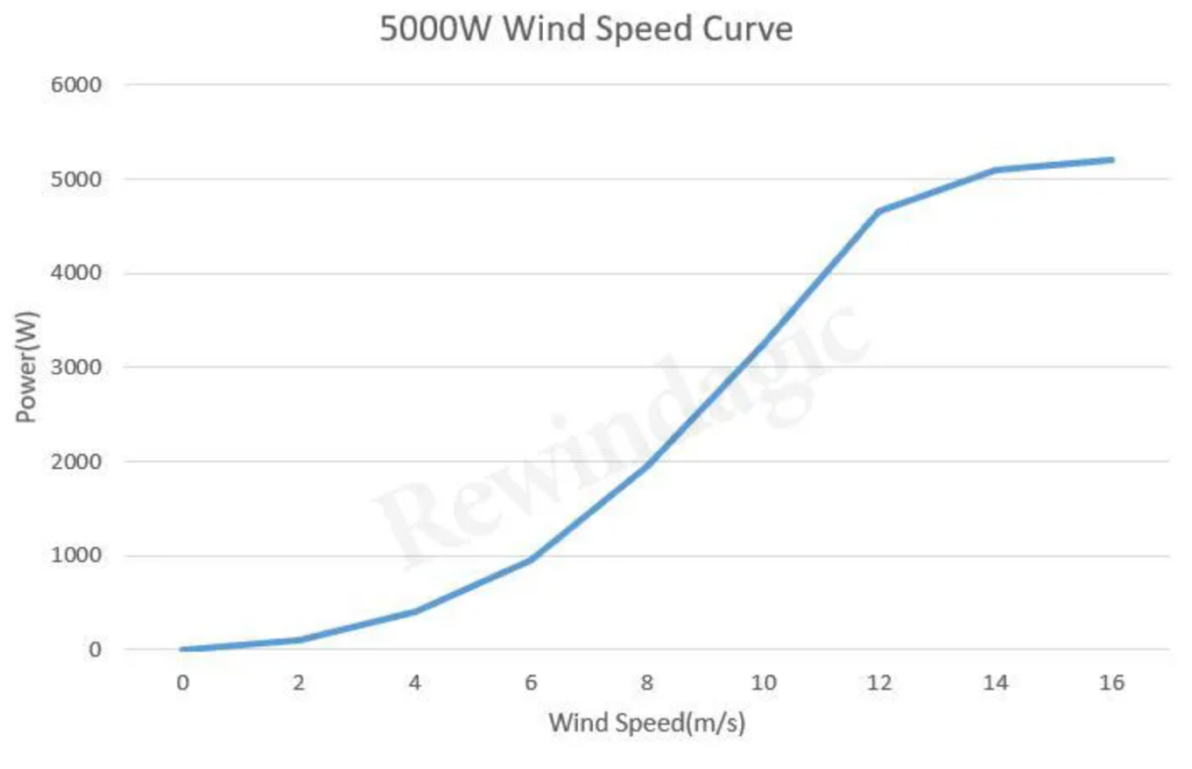
Vybral jsem dvě turbíny s Darrierovým rotorem ve dvou výkonových variantách. Na níže uvedené tabulce jsou uvedeny technické parametry. Vybrané turbíny jsou od stejného výrobce Rewindagic.

Z tabulky si lze povšimnout, že všechny vybrané turbíny mají třífázový synchronní generátor s permanentními magnety a stejný počet listů. Hmotnost turbín se zvyšuje cca o 20 kg s 5 kW instalovaného výkonu. Turbín je možno nainstalovat na rohy strojoven výtahu, aniž by došlo ke kolizi jejich lopatek, neboť průměr rotoru nepřesahuje daný limit tří metrů. Zvuková hladina je udávána jako 28 až 35 dB, což je na úrovni šepotu, tedy turbíny se dají považovat za velmi tiché a nenarušující bezprostřední okolí. Životnost obou turbín je více jak 20 let. Tato hodnota bude uvažována při finančním hodnocení.

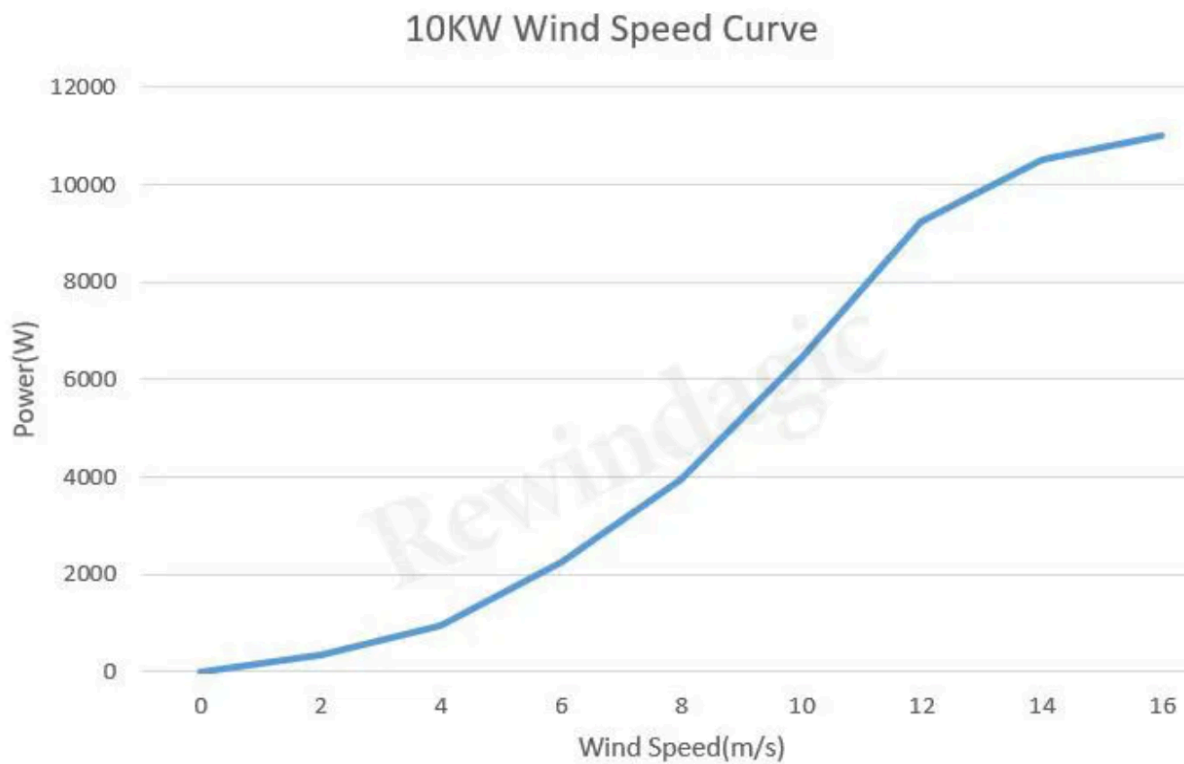
model	FX-5000	FX-10000
jmenovitý výkon [W]	5000	10000
maximální výkon [W]	5100	11000
jmenovité napětí [V]	12-48	12-48
startovací rychlost větru [m/s]	1,3	2
jmenovitá rychlost větru [m/s]	13	12
maximální rychlost větru [m/s]	45	50
hmotnost [kg]	<26	<40
průměr rotoru [m]	1,05	1,32
délka listu [m]	0,6	0,9
počet listů	3	
materiál listů	skleněná vlákna	
generátor	3f.synch.gen.perm.mag.	
pracovní teplota [°C]	-40 až 80	
životnost [roky]	>20	
hlasitost [dB]	28-35	
cena [Kč]	35 211	57 278

Tab. 6.1

Nedílnou součástí každé větrné turbíny je výkonová křivka. Výkonová křivka je závislost vyráběného výkonu při dané rychlosti větru. Výkonová křivka je důležitá pro určení teoretické vyrobené energie a je poskytována výrobcem nebo ji lze určit experimentálním měřením.



Obr. 6.2 – Výkonová křivka turbíny FX-5000 [9]



Obr. 6.3 Výkonová křivka turbíny FX-10000 [9]

Porovnáním výše uvedených výkonových křivek turbín o různých jmenovitých výkonech lze říci, že jejich křivky kopírují téměř identický tvar. Výkonové křivky do jmenovitých hodnot připomínají svým tvarem parabolu nebo kubickou křivku, což odpovídá rovnici 5.3, kde je výkon přímo úměrný třetí mocnině rychlosti větru. Na jmenovitých hodnotách se výkon ustálí na konstantní hodnotě vyšší o 1 kW, než je hodnota jmenovitého výkonu turbíny.

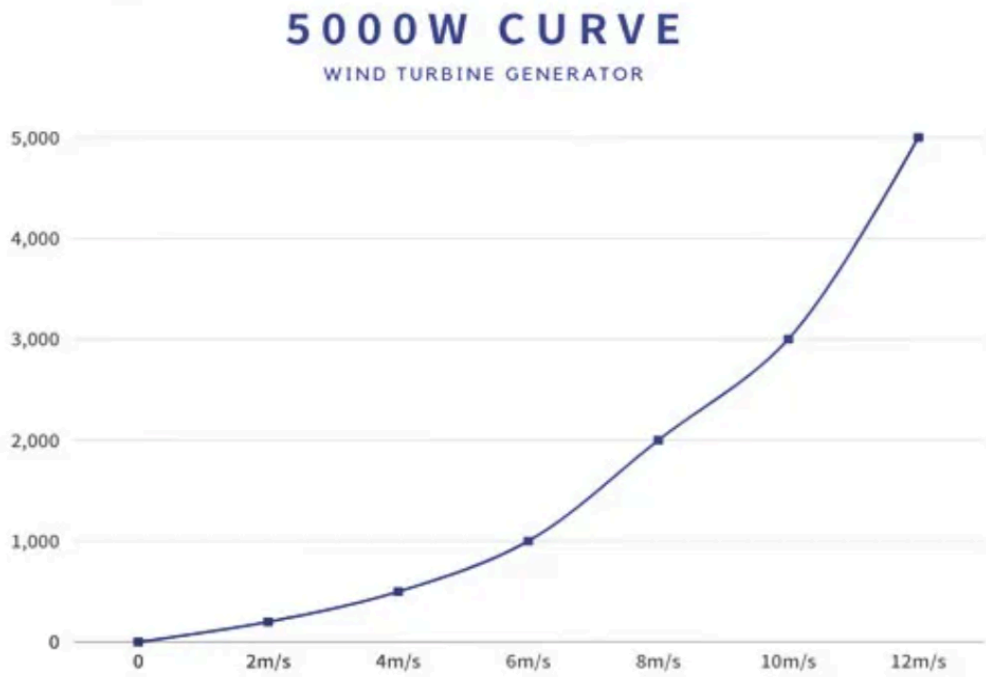
## 6.2.2 Turbína s horizontální osou rotace

Podobně jako u turbíny s Darrierovým rotorem jsem vybral dvě turbíny s horizontální osou rotace ve dvou výkonových variantách. Opět se jedná o turbíny od výrobce Rewindagic. Jmenovité rychlosti větru jsou podobné jako u Darrierových turbín, stejně tak jako maximální rychlost větru. Hmotnosti nejsou uvedeny, ale předpokládaná hmotnost by měla být podobná jako u Darrierových turbín. Natáčecí systém je u obou variant zařízen otočnou korouhvičkou. Některé hodnoty u turbíny M4-5000 nejsou uvedeny, což ztěžuje porovnání. Není uvedena životnost, což je důležitá hodnota při finančním hodnocení projektu.

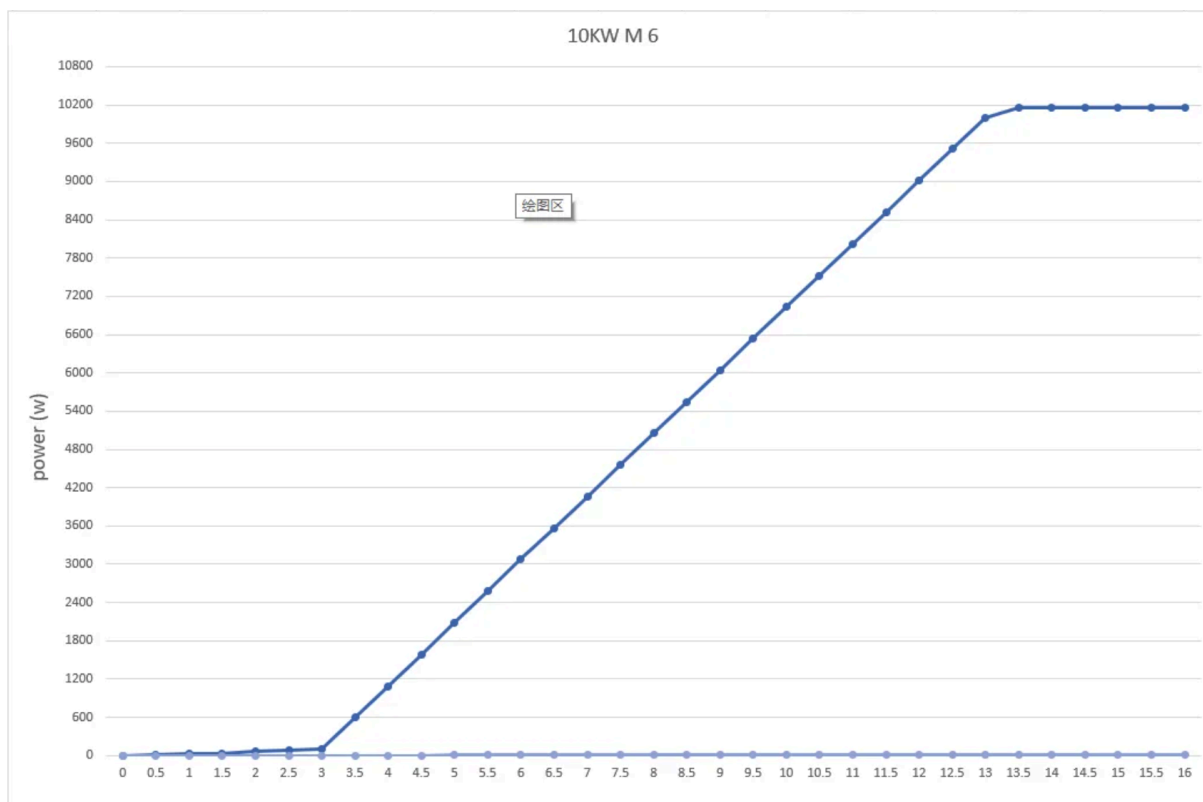
model	M4-5000	M6 - 10000
jmenovitý výkon [W]	5000	10000
maximální výkon [W]	neuveďeno	10150
jmenovité napětí [V]	12/24/48	12/24/48/96
startovací rychlost větru [m/s]	1,5	3
jmenovitá rychlost větru [m/s]	12	13
maximální rychlost větru [m/s]	50	50
hmotnost [kg]	neuveďeno	neuveďeno
průměr rotoru [m]	1,85	2,36
délka listu [m]	0,9	1,05
počet listů	3	
materiál listů	slitina hliníku	Nylon
generátor	3f.synch.gen.perm.mag.	
pracovní teplota [°C]	-40 až 80	
životnost [roky]	neuveďeno	20
hlasitost [dB]	neuveďeno	
natáčecí systém	korouhvička	
cena [Kč]	27 300	40 530

Tab. 6.2





Obr. 6.4 – Výkonová křivka turbíny M4-5000 [10]



Obr.6.5 Výkonová křivka turbíny M6-10000 [11]

Tvary výkonových křivek zvolených turbín s horizontální osou rotace o různých jmenovitých výkonech se od sebe výrazně liší. Turbína o výkonu 5kW má do jmenovitých hodnot velmi podobný tvar jako turbíny s Darrierovým rotorem. U turbíny M6-10000 roste výkon téměř lineárně s rychlostí větru.

### 6.3 Výpočet roční teoretické výroby energie pomocí Weibullova rozdělení a výkonových křivek

Ze znalosti roční četnosti rozdělení rychlosti větru z podkapitoly 6.1 a výkonových křivek lze určit teoretickou roční vyrobenou energii.

Roční vyrobenou energii lze vypočítat následujícím vzorcem:

$$E = T_v \cdot P \quad (6.2)$$

, kde

$E$  – vyrobená energie [kWh]

$T_v$  – výskyt dané rychlosti větru v průběhu roku [h]

$P$  – výkon zvolené VTE při dané rychlosti větru [W]

Výkon při dané rychlosti větru lze odečíst z výkonových křivek větrných turbín. Tento výkon je následně vynásoben roční četností výskytu dané rychlosti větru v hodinách. Tímto lze vypočítat teoretickou roční výrobu energie větrných turbín. Je nutno připomenout, že toto je pouze matematický model. Přesnějších výsledků by se dostalo několika ročním měřeními rychlosti větru v dané lokalitě.

Vypočtené roční výroby s tabulkami jsou na následujících stranách.

## 6.3.1 Darrierovy turbíny

### 6.3.1.1 FX-5000

rychlost větru [m/s]	Výskyt za rok [dny]	Výkon [kW]	Energie [MWh]
1	4,60	0	0,000
2	6,65	0,1	0,016
3	7,87	0,25	0,047
4	8,49	0,5	0,102
5	8,64	0,75	0,156
6	8,44	1	0,203
7	7,99	1,4	0,268
8	7,36	2	0,353
9	6,62	2,5	0,397
10	5,84	3	0,420
11	5,05	3,9	0,473
12	4,30	4,5	0,464
13	3,60	4,9	0,423
14	2,97	5	0,357
15	2,42	5,1	0,296
16	1,94	5,1	0,238
17	1,54	5,1	0,189
18	1,21	5,1	0,148
19	0,94	5,1	0,114
20	0,72	5,1	0,088
<b>Celkem vyrobené roční energie [MWh]</b>			<b>4,75</b>

Tab. 6.3

### 6.3.1.2 FX-10000

rychlost větru [m/s]	Výskyt za rok [dny]	Výkon [kW]	Energie [MWh]
1	4,60	0	0,00
2	6,65	0,4	0,06
3	7,87	0,8	0,15
4	8,49	1,1	0,22
5	8,64	1,7	0,35
6	8,44	2,2	0,45
7	7,99	3	0,58
8	7,36	4	0,71
9	6,62	5,1	0,81
10	5,84	6,5	0,91
11	5,05	8,1	0,98
12	4,30	9,6	0,99
13	3,60	10	0,86
14	2,97	10,1	0,72
15	2,42	10,1	0,59
16	1,94	10,1	0,47
17	1,54	10,1	0,37
18	1,21	10,1	0,29
19	0,94	10,1	0,23
20	0,72	10,1	0,17
<b>Celkem vyrobené roční energie [MWh]</b>			<b>9,92</b>

Tab. 6.4

## 6.3.2 Turbína s horizontální osou rotace

### 6.3.2.1 M4-5000

rychlost větru [m/s]	Výskyt za rok [dny]	Výkon [kW]	Energie [MWh]
1	4,60	0	0,00
2	6,65	0,25	0,04
3	7,87	0,4	0,08
4	8,49	0,55	0,11
5	8,64	0,8	0,17
6	8,44	1	0,20
7	7,99	1,5	0,29
8	7,36	2	0,35
9	6,62	2,4	0,38
10	5,84	3	0,42
11	5,05	3,8	0,46
12	4,30	5	0,52
13	3,60	5	0,43
14	2,97	5	0,36
15	2,42	5	0,29
16	1,94	5	0,23
17	1,54	5	0,18
18	1,21	5	0,14
19	0,94	5	0,11
20	0,72	5	0,09
<b>Celkem vyrobené roční energie [MWh]</b>			<b>4,86</b>

Tab. 6.5

### 6.3.2.2 M6-10000

rychlost větru [m/s]	Výskyt za rok [dny]	Výkon [kW]	Energie [MWh]
1	4,60	0	0,00
2	6,65	0	0,00
3	7,87	0,1	0,02
4	8,49	1,1	0,22
5	8,64	2,1	0,44
6	8,44	3,1	0,63
7	7,99	4,1	0,79
8	7,36	5,05	0,89
9	6,62	5,1	0,81
10	5,84	6	0,84
11	5,05	7,1	0,86
12	4,30	8	0,83
13	3,60	10	0,86
14	2,97	10,1	0,72
15	2,42	10,1	0,59
16	1,94	10,1	0,47
17	1,54	10,1	0,37
18	1,21	10,1	0,29
19	0,94	10,1	0,23
20	0,72	10,1	0,17
<b>Celkem vyrobené roční energie [MWh]</b>			<b>10,03</b>

Tab. 6.6

### 6.3.3 Shrnutí

V níže uvedené tabulce jsou vypsány vypočtené hodnoty teoretické vyrobené energie za rok, za den a pokrytí požadované energie za předpokladu nainstalování deseti turbín. Z tabulky je zcela patrné, že teoreticky víc energie jsou schopny vyrobit vrtulové turbíny, které dokážou vyrobit přibližně o 1% více energie, než jejich Darrierové protějšky.

Z tabulky je také patrné, že při nainstalování deseti turbín o výkonu 10 kW lze pokrýt více jak 95% požadované energie, kdežto nainstalování deseti turbín o výkonu 5 kW přibližně 45%.

Typ	Darrierovy turbína		Vrtulové turbíny	
Model	FX-5000	FX - 10000	M4-5000	M6 - 10000
Energie za rok [MWh]	47,52	99,21	48,55	100,30
Energie za den [kWh]	130,19	271,80	133,02	274,79
Pokrytí požadované energie [%]	45,68	95,37	46,67	96,42

Tab. 6.7

Nejvýkonnější turbína však není rozhodující kritérium. Je to kritérium jedno z mnoha, které bude ovlivňovat výsledné rozhodnutí. V úvahu spadá i ekonomická část, která bude rozebírána v pozdějších kapitolách této práce.

## 6.4 Výpočet roční teoretické výroby energie ze znalosti naměřených ročních dat rychlosti větru nejbližší meteostanice

Další možností jak získat data o teoretické roční výrobě je využití historických měření nejbližší meteorologické stanice. Nejbližší taková stanice se nachází cca 4,5 km vzdušnou čarou od uvažovaného objektu v městské části Praha-Ruzyně.

Tato stanice poskytuje historická data o průměrné rychlosti větru každého dnu v roce. Využil jsem poslední dostupná data z roku 2022 pro určení teoretické výroby deseti větrných turbín různých typů o různých výkonových variantách. Hlavní výhodou tohoto teoretického výpočtu je získání představy o množství vyrobené energie v jednotlivých měsících v roce. Díky faktu, že data jsou skutečná a provedena relativně blízko uvažovaného objektu, tak tento výpočet lze považovat za více důvěryhodný.

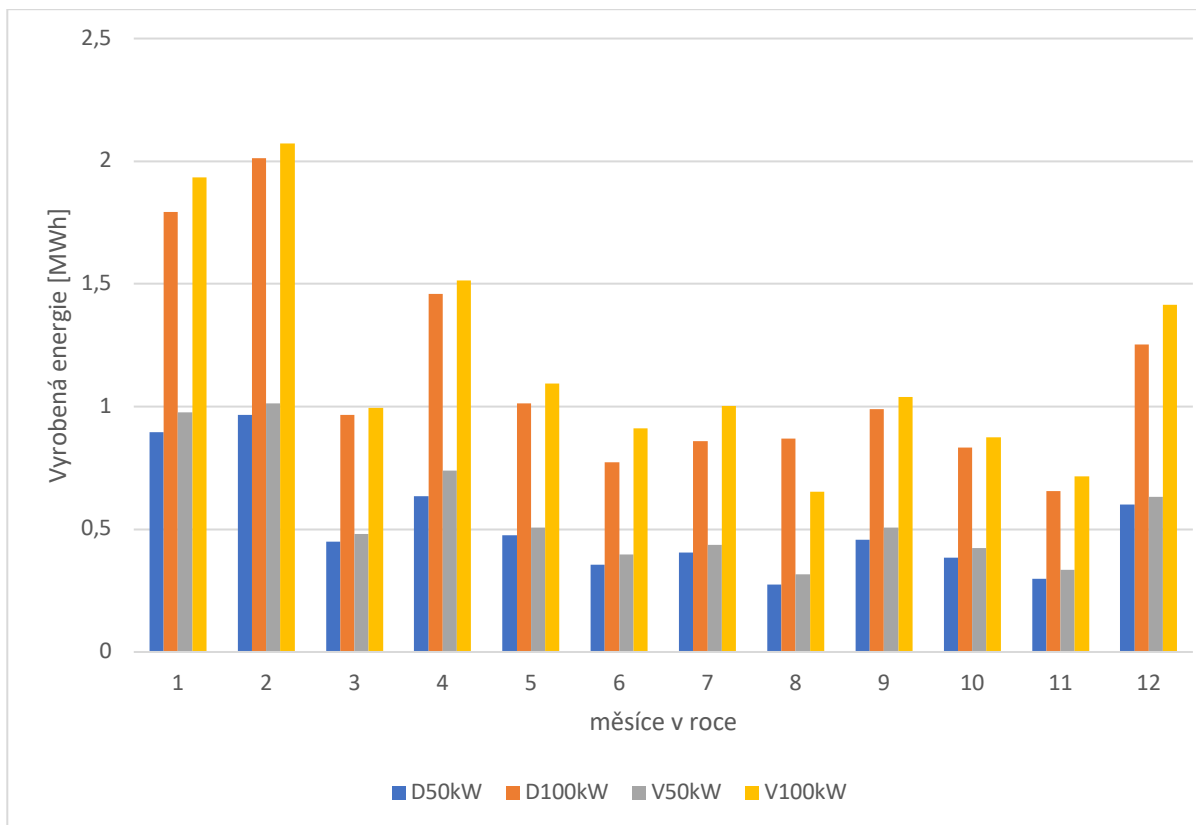
Měsíc	Typ turbíny a instalovaný výkon			
	Darrier		Vrtule	
	FX-5000 50 kW	FX-10000 100 kW	M4-5000 50 kW	M6-10000 100 kW
1	0,90	1,79	0,98	1,94
2	0,97	2,01	1,01	2,07
3	0,45	0,97	0,48	1,00
4	0,63	1,46	0,74	1,51
5	0,48	1,01	0,51	1,09
6	0,35	0,77	0,40	0,91
7	0,40	0,86	0,44	1,00
8	0,27	0,87	0,32	0,65
9	0,46	0,99	0,51	1,04
10	0,38	0,83	0,42	0,87
11	0,30	0,66	0,33	0,72
12	0,60	1,25	0,63	1,41
<b>Celkem [MWh]</b>	<b>6,20</b>	<b>13,48</b>	<b>6,76</b>	<b>14,22</b>

Tab. 6.8

Z tabulky 6.8 je patrné, že vyrobená roční energie každé varianty je drasticky nižší, než při výpočtu pomocí Weibullova rozdělení. Tato varianta se jeví více realisticky díky skutečně změřeným datům v relativní blízkosti uvažovaného objektu. Díky této skutečnosti bude s těmito výpočty uvažováno v ekonomickém zhodnocení, neboť ze znalosti proměnlivosti teoretické výroby energie v průběhu roku a ze znalosti spotřeby energie objektu na vytápění.

Pro zjednodušení bude tato teoretická výroba za rok 2022 brána za periodickou, tedy bude předpokládáno, že výroba v následujících letech bude identická v každém měsíci roku jako v roce 2022.





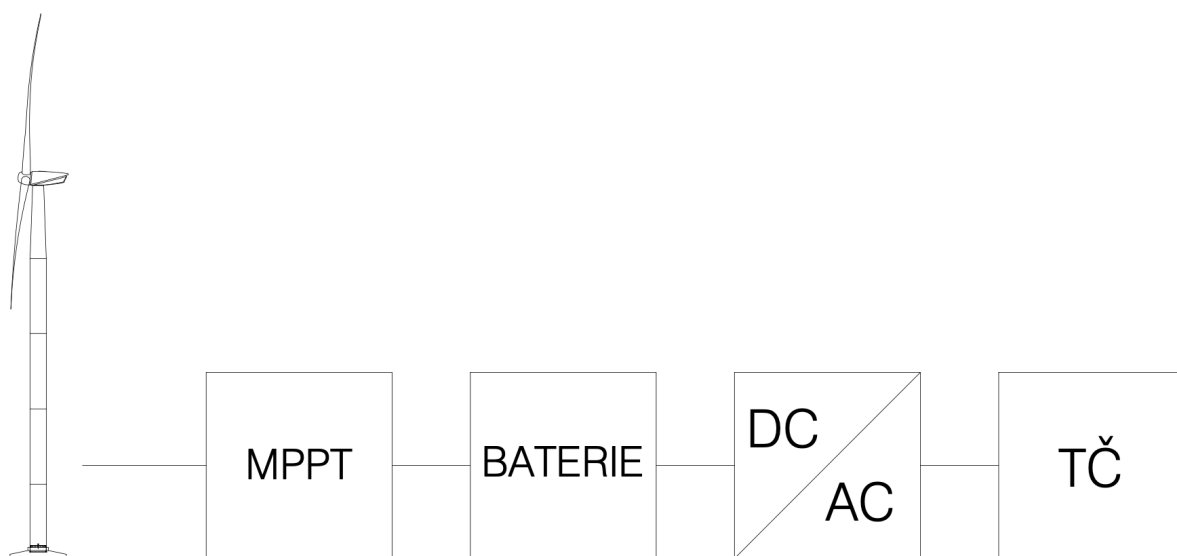
*Graf 6.1 Teoretická výroba v jednotlivých měsících*

Z výše grafu 6.1 je patrné, že teoreticky největší výroba energie je v lednu a únoru. Nejnižší výroba je v letních a podzimních měsících, kde je teoretická výroba téměř poloviční.

Tento stav je ideální pro kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou. Přes letní měsíce může většinu energie vyrábět fotovoltaická elektrárna a přes zimní měsíce větrné turbíny.

## 7 Zapojení

Obecné zapojení celého systému od větrných turbín k TČ je principiálně jednoduché. V prvním kroku je třeba vyrobené střídavé třífázové napětí přeměnit na stejnosměrné napětí a uložit do baterií. Toto se dá zařídit pomocí regulátoru nabíjení. Moderní regulátory nabíjení mají ve své konstrukci již zabudovaný usměrňovač. Tudiž dobře zvolený regulátor nabíjení usměrňuje střídavé napětí a zároveň připojuje či odpojuje baterie od generátoru, aby nedocházelo k nabíjení příliš velkým napětím či nabíjení příliš nízkým napětím. V dalším kroku je potřeba uloženou energii přeměnit na námi požadované hodnoty a parametry. Jelikož energie je uložena v bateriích, které mají stejnosměrné napětí a TČ vyžadují 400/230 V, tak je potřeba stejnosměrné napětí přeměnit pomocí střídače, který rozstřídá stejnosměrné napětí na požadované napětí o požadované frekvenci TČ. Střídač by měl být hybridní, protože umí v případě potřeby přepnout napájení z baterií na napájení z domovní sítě a v případě hlubokého vybití baterií dobíjí.



Obr. 7.1 Blokové schéma zapojení celého systému

Než však může dojít k takovému zkompletování, je třeba správně zvolit všechna zařízení obsažená v celém schématu zapojení. Důležité je správné zvolení kapacity a správné zapojení baterií. Důležitá je také zvolení správně nadimenzovaných přístrojů k instalovanému výkonu.

## 7.1 Varianta vlastního návrhu zapojení

### 7.1.1 Volba přístrojů

#### 7.1.1.1 Baterie

Rozhodl jsem se pro baterii Pylontech o kapacitě 10 kWh a jmenovitém napětí 48 V. Varianty o instalovaném výkonu 50 kW dosahují průměrné denní výroby 18 kWh a 100 kW varianty 39 kWh. Proto jsem se rozhodl použít 20 kWh baterii pro 50 kW varianty paralelním spojením dvou těchto baterií. U 100 kW varianty jsou to čtyři tyto baterie zapojeny paralelně pro získání celkové kapacity 40 kWh. Tyto skutečnosti budou uvažovány v ekonomickém zhodnocení.



Obr. 7.2 Fotografie jednoho modulu baterie [12]

Energie [kWh]	10,65
Jmenovité napětí [V]	48
Pracovní napětí [VDC]	40-57,6
Kapacita akumulátoru [Ah]	50
Maximální nabíjecí proud [A]	75
Maximální vybíjecí proud [A]	105
Cyklická životnost 50% DOD	7000
Cyklická životnost 80% DOD	6000
Hmotnost [kg]	119
Účinnost [%]	95
Cena [Kč]	99 000

Tab. 7.1

### 7.1.1.2 MPPT regulátory

MPPT regulátory regulují napětí a proud pro získání nejvyššího výkonu z větrné turbíny. Zároveň sledují stav baterie a podle toho korigují parametry nabíjení, aby nedocházelo k nabíjení příliš vysokým proudem či nabíjení příliš nízkým napětí.

Rozhodl jsem se pro hybridní MPPT regulátory s automatickou nabíječkou baterií pro tři hodnoty napětí. Tyto regulátory dokáží pracovat s větrnými turbínami do výkonu až 11 kW a umožňují ruční nastavování výstupních parametrů pro nabíjení baterií. Tudíž tento regulátor lze použít pro větrné turbíny o výkonu 10 kW, ale i 5 kW. Regulátor také disponuje wifi připojením, tudíž lze sledovat a měnit parametry dálkově. Hybridní je proto, že lze do něj zapojit i fotovoltaické panely, protože má v sobě zabudovaný i MPPT regulátor pro fotovoltaiku. Prodává se v ceně i s tzv. „dump load“ neboli ohmický prvek pro spalování nechtěných výkonů například při velké výrobě.



Obr. 7.3 Fotografie MPPT regulátoru [13]

Maximální příkon [kW]	11
Výstupní napětí [VDC]	12/24/48 AUTO
Jmenovitý výstupní proud [A]	60
Typy baterií	LiFePo4, Pb, gel,
Ochrany	nadproud., přetížení, obrácený tok výkonu,
IP	30
WIFI	ano
Startovací napětí VTE pro 48 V baterii [V]	32
Maximální výkon do baterií [kW]	5,6
Brzdící napětí VTE [V]	102,4
Cena [Kč]	17 507

Tab. 7.2

### 7.1.1.3 Střídač

Střídač je poslední důležitý výstupní blok, protože bude napájet TČ. Instalované TČ mají příkon 16 kW a napájení 3x230/400 V. Je tedy potřeba vybrat třífázový střídač s výkonem alespoň o trochu vyšší než vyžaduje tepelné čerpadlo pro zanechání dostatečné rezervy. Střídač by měl být zároveň hybridní. To znamená, že v případě nedostatečné energie v bateriích přepne zdroj napájení na domovní síť. Důležitý požadavek je také schopnost střídače dobíjet baterie ze sítě v případě hlubokého vybití.

Rozhodl jsem se pro paralelní spojení dvou 10kW třífázových střídačů Xtend Solarmi SUN – 10K-SG04LP3-EU.



Obr.7.4 Fotografie střídače [14]

Výkon [kW]	20
DC vstup[V]	48
Typ baterií	Li, Pb
Váha [kg]	33,6
Cena [Kč]	69 803

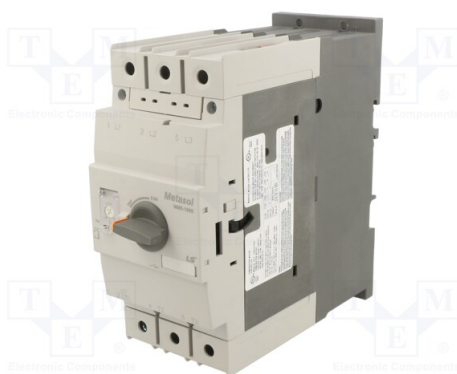
Tab. 7.3

### 7.1.1.4 Ochrany

Jako v každém elektrickém systému je potřeba chránit elektrická zařízení před jejich poškozením, zejména proudem. V mém schématu zapojení je třeba chránit zejména baterie před vysokým proudem a MPPT regulátor, který je zapojený na výstupu větrné turbíny.

V technických parametrech MPPT regulátoru turbíny poskytnutých výrobcem se píše, že maximální proud z turbíny na vstup regulátoru je 230A. Jelikož výstup turbíny je třífázový, tak na každou fázi je maximální proud třetinový, tedy 76,6A. Pro tuto hodnotu je třeba zvolit vhodný třífázový jistič.

Rozhodl jsem se pro Jistič MMS-100S 75A LS Electric.



Obr.7.5 Fotografie jističe [15]

Rozsah nastavení nadproudové spouště [A]	55-75
Montáž	DIN
Zkratová spoušť [A]	975
Krytí	IP20
Cena [Kč]	3107

Tab. 7.4

Ačkoli MPPT regulátor má v sobě zabudované spoustu druhů ochran baterií, tak je stejně potřeba nainstalovat pojistku na výstup regulátoru z důvodu nežádoucího zkratu v regulátoru.

Vybral jsem pojistky od firmy EATON s jmenovitým proudem 225A při 48 VDC. Při koupi deseti kusů je cena jedné pojistky 3 420 Kč.



Obr.7.6 Fotografie pojistky [16]

### 7.1.1.5 Kabely

Kabel mezi větrnou turbínou a MPPT regulátor jsem se rozhodl pro H07V–10mm<sup>2</sup>. Cena za 1m je 32,2 Kč.

Kabel mezi MPPT regulátory a bateriemi jsem se rozhodl použít svařovací kabel o průměru 25mm<sup>2</sup> a cenou za metr 265,84 Kč.

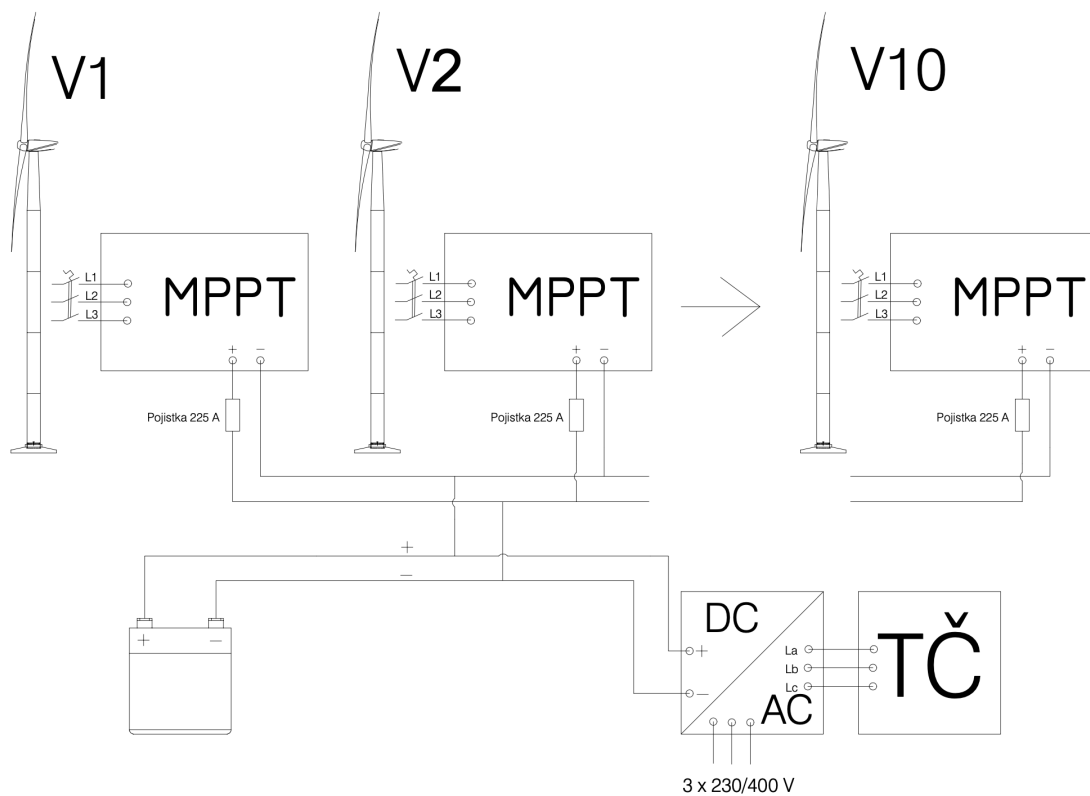
### 7.1.1.6 Stejnoseměrná sběrnice

Pro propojení baterií a větrných turbín je potřeba dvou sběrnic. Jedna sběrnice bude jako kladný terminál a druhá jako záporný terminál. Na tyto terminály se zapojí výstupy MPPT regulátorů všech větrných turbín paralelně a baterie.

Rozhodl jsem se pro pásové sběrnice CU 60x10mm o délce 2m s cenou za kus 5 896 Kč.

### 7.1.2 Reálné zapojení

Reálné schéma zapojení je nakreslené na níže uvedeném obrázku. Všechny výstupy MPPT regulátory jsou paralelně spojeny na sběrnici na kterou jsou připojeny baterie.



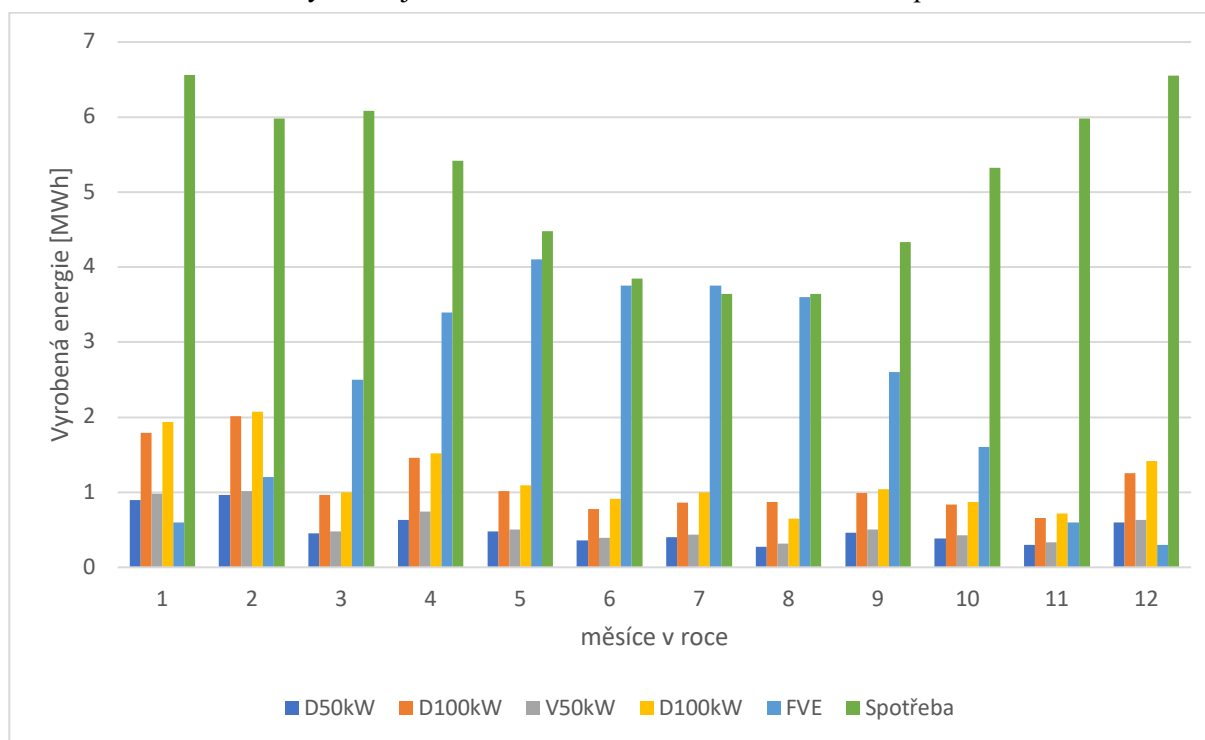
Obr.7.7 Schéma zapojení celého systému

## 7.2 Varianta využití fotovoltaického systému

Protože na střechu uvažovaného objektu je v plánu do budoucna nainstalovat fotovoltaický systém, tak je možno využít jeho existujících komponentů a zaimplementovat do tohoto systému VTE. Toto řešení může výrazně snížit pořizovací náklady projektu.

Firma Watt+ vypracovala projekt se systémem již obsahující baterie a hybridní střídač. Využitím těchto nainstalovaných komponentů lze významně snížit výši investice, neboť tyto komponenty bývají nejdražšími ze všech komponentů. V této variantě postačí zakoupit vše v podkapitole 7.1.1 kromě baterií a střídače.

Velkou výhodou této kombinace je schopnost vyrábět energie v každém měsíci v roce. Fotovoltaická elektrárna vyrábí nejvíce v letních měsících a větrná elektrárna převážně v zimních.



Graf 7.1 Výroba FVE a VTE se spotřebou v jednotlivých měsících v roce

Firma Watt+ poskytla informace o teoretické výrobě fotovoltaické elektrárny v jednotlivých měsících. V grafu 7.1 lze vidět, že v letních měsících je fotovoltaická elektrárna schopna pokrýt téměř celou spotřebu. V zimních měsících naopak převažuje větrná elektrárna.

Tento typ kombinované instalace je relativně běžný. Fotovoltaická elektrárna bývá obvykle uvažována jako hlavní zdroj energie a větrná elektrárna jako pouze doplňkový zdroj energie. Tento typ instalace je velmi vhodný pro off-grid systémy. Například na chatu v odlehlém území.



# 8 Instalace na střechu

## 8.1 Volba typu instalace

Na uvažovanou střechu lze nainstalovat větrné turbíny dvěma způsoby. Podlahovou instalací a nástěnnou instalací. Na následujících podkapitolách budou tyto instalace popsány a porovnávány jejich výhody a nevýhody.

### 8.1.1 Podlahová instalace

Podlahová instalace obvykle vyžaduje jednoho stožár a tří ocelových lanek. Je vyžadováno úchytné patky pro stožár a tří ocelových ok pro úchyt lanek. Tento typ instalace je nevhodný na plochou střechu uvažovaného domu, protože se skrze konstrukci domu může šířit mnoho vibrací způsobených větrnou turbínou. Navíc vrtání do střechy domu může narušit zateplení a celkovou energetickou efektivitu celého domu.

### 8.1.2 Nástěnná instalace

Nástěnná instalace spočívá v přidělení nosné tyče ke stěně pomocí držáku. Tento typ instalace se jeví jako nejvíce vhodný vzhledem k tomu, že není potřeba stožár přidělovat k ploché střeše, ale lze využít stěn strojoven výtahu.



Obr.8.1 Příklad podlahové instalace [17]



Obr.8.2 Příklad nástěnné instalace [18]

## 8.2 Potřebné materiály

K vybrané nástěnné instalaci je třeba pouze dvou komponentů. Držák stožáru a stožár. Z dostupných dat o větrných turbínách lze říci, že budou vážit pod 40kg. Tedy je třeba zajistit stožár a držáky, které tyto hmotnost udrží.

Pro stožár jsem se rozhodl od značky IstaBreeze, která prodává stožárový díly (1m) s nosností do 40 kg. Vnější průměr je 60mm. Cena jednoho dílu je 2 838 Kč. Jelikož výška strojovny je 2,9m, tak na jednu turbínu bude potřeba minimálně tři těchto tyčí.

Jako držák stožáru jsem vybral držák od firmy TOMI CZECH s.ro.. Držák se skládá ze dvou na sebe kolmých pásovin, válce a nastavitelné úchyty pro stožár. Do úchyty lze uchytit stožár o maximálním průměru až 67mm. Cena jednoho držáku je 561 Kč. Kvůli bezpečnosti by bylo vhodné jich nainstalovat co nejvíce. Výrobce tvrdí, že jeden držák udrží více než 40kg. Pro jistotu budu uvažovat nainstalování čtyř těchto držáku na jeden stožár turbíny.



*Obr.8.3 Stožárový díl IstaBreeze [19]*



*Obr.8.4 Nástěnný držák [20]*

# 9 Ekonomické zhodnocení

## 9.1 Investice

### 9.1.1 Cena práce

Podle různých zdrojů je instalace větrné turbíny na střechu budovy záležitost několika hodin. Budu-li uvažovat, že instalace bude provedena dvěma dělníky nikoli svépomocí a budu-li uvažovat dobu instalace jedné větrné turbíny 2 hodiny a hodinovou sazbu 200 Kč, tak cena práce instalace deseti turbín je 8 000 Kč. Tuto hodnotu zahrnu do celkové výše investice.

### 9.1.2 Výše investice

#### 9.1.2.1 Varianta vlastního návrhu zapojení s úměrně navrženou baterií

Pro každou variantu větrné turbíny byly spočteny investiční náklady a vypsány do níže uvedené tabulky. Baterie uvažuji 20 kWh pro 50 kW varianty a 40 kWh pro 100 kW varianty. Uvažovaná délka vodičů od větrných turbín k MPPT regulátorům v suterénu budovy je 60m a délka kabelů od MPPT regulátorů ke sběrnici je uvažována 10m. Každý stožár je poskládán ze tří dílů stožárových tyčí a čtyř stožárových držáků. Všechny uvedené ceny jsou uvažovány bez množstevní slevy či jiné slevy.

Typ turbíny	Darrier		Vrtule	
Instalovaný výkon [kW]	50	100	50	100
Větrné turbíny [tis. Kč]	352,11	572,78	273,00	405,30
Baterie [tis. Kč]	198	396	198	396
Ochrany [tis. Kč]	65,27	65,27	65,27	65,27
Střídač [tis. Kč]	139,61	139,61	139,61	139,61
Regulátory [tis. Kč]	175,07	175,07	175,07	175,07
Vodiče [tis. Kč]	122,92	122,92	122,92	122,92
Stožáry [tis. Kč]	107,58	107,58	107,58	107,58
Práce [tis. Kč]	8	8	8	8
<b>Celkem [tis. Kč]</b>	<b>1168,56</b>	<b>1587,23</b>	<b>1089,45</b>	<b>1419,75</b>

Tab. 9.1

Při pohledu na ceny jednotlivých položek je zřejmé, že největší podíl na výsledné výši investice vytvářejí větrné turbíny.

### 9.1.2.2 Varianta využití fotovoltaického systému

Jak bylo zmíněné v podkapitole 7.2, tak tahle varianta nepočítá s koupí střídače a baterií. Namísto toho využije existující fotovoltaický systém.

Typ turbíny	Darrier		Vrtule	
Instalovaný výkon [kW]	50	100	50	100
Větrné turbíny [tis. Kč]	352,11	572,78	273,00	405,30
Baterie [tis. Kč]				
Ochrany [tis. Kč]	65,27	65,27	65,27	65,27
Střídač [tis. Kč]				
Regulátory [tis. Kč]	175,07	175,07	175,07	175,07
Vodiče [tis. Kč]	122,92	122,92	122,92	122,92
Stožáry [tis. Kč]	107,58	107,58	107,58	107,58
Práce [tis. Kč]	8	8	8	8
<b>Celkem [tis. Kč]</b>	<b>830,95</b>	<b>1051,62</b>	<b>751,84</b>	<b>884,14</b>

Tab. 9.2

Z výše uvedené tabulky lze vidět, že oproti předchozí variantě se výše investice u každé varianty turbíny snížila.

## 9.2 Porovnávací data

Pro hodnocení podle finančních ukazatelů je třeba získat jednotkové ceny složek za elektrickou energii pro určení celkové ceny elektrické energie za jednu MWh. Tato data byla získána z faktury daňového družstva a jsou uvedena v následující tabulce 9.3.

	Jednotka	Za jednotku [Kč] bez DPH
Distribuce elektřiny, plat za distribuované množství elektřiny NT	MWh	106,08
Distribuce elektřiny, plat za distribuované množství elektřiny VT	MWh	1407,54
Systemové služby ČEPS, a.s.	MWh	113,53
Cena za službu nákupu na trhu	MWh	250
Daň z elektřiny	MWh	28,3
Spot12 Komodita	MWh	2569,14

Tab. 9.3

Uvažovaný objekt má sazbu D25d, která uvažuje 16 hodin vysokého tarifu a 8 hodin nízkého tarifu. Hodnoty z tabulky 9.3 budou složít pro výpočet ušetřených peněz (zisků) při NPV.

## 9.3 Hodnocení podle finančních ukazatelů

Každý projekt je třeba vyhodnotit pomocí finančních ukazatelů, aby bylo zjištěno, zda projekt bude výnosný či ztrátový. Nejčastěji využívané finanční ukazatele jsou NPV neboli čistá současná a hodnota IRR neboli vnitřní výnosové procento.

### 9.3.1 NPV

NPV neboli čistá současná hodnota je finanční ukazatel, který počítá jen s budoucími finančními toky (cashflow) a informuje, kolik finančních prostředků daný projekt přinese či ztratí v dané době životnosti projektu. Vzorec pro výpočet NPV je vypsán ve vzorci 9.1.

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (9.1)$$

, kde

$CF$  – finanční tok za každý rok [Kč]

$r$  – úroková míra (diskont) [%]

$N$  – doba životnosti projektu [roky]

Pro výpočet NPV budu předpokládat, že projekt je hrazený z peněz bytového družstva, celý systém je bezporuchový, tedy v cashflow budou zanedbány případné opravy a roční výnosnost je počítána z průměrných hodnot výroby, tedy předpokládám, že turbíny budou vyrábět každý rok stejné hodnoty elektrické energie. Projekt je výnosný pokud  $NPV > 0$ . Pokud je hodnota NPV záporná, tak projekt se nevyplatí a pokud je NPV rovno nule, tak se rozhoduje, jestli projekt zrealizovat nebo ne. Životnost projektu je uvažována podle větrných turbín a to 20 let.

Jako diskontní sazbu budu uvažovat aktuální hodnotu diskontní sazby, kterou uvedla česká národní banka a její hodnota je 6%.

### 9.3.1.1 Varianta vlastního návrhu zapojení s úměrně navrženou baterií

Typ	D 50kW	D 100kW	V 50kW	V 100kW
IRR	-7,18%	-3,57%	-6,03%	-2,17%

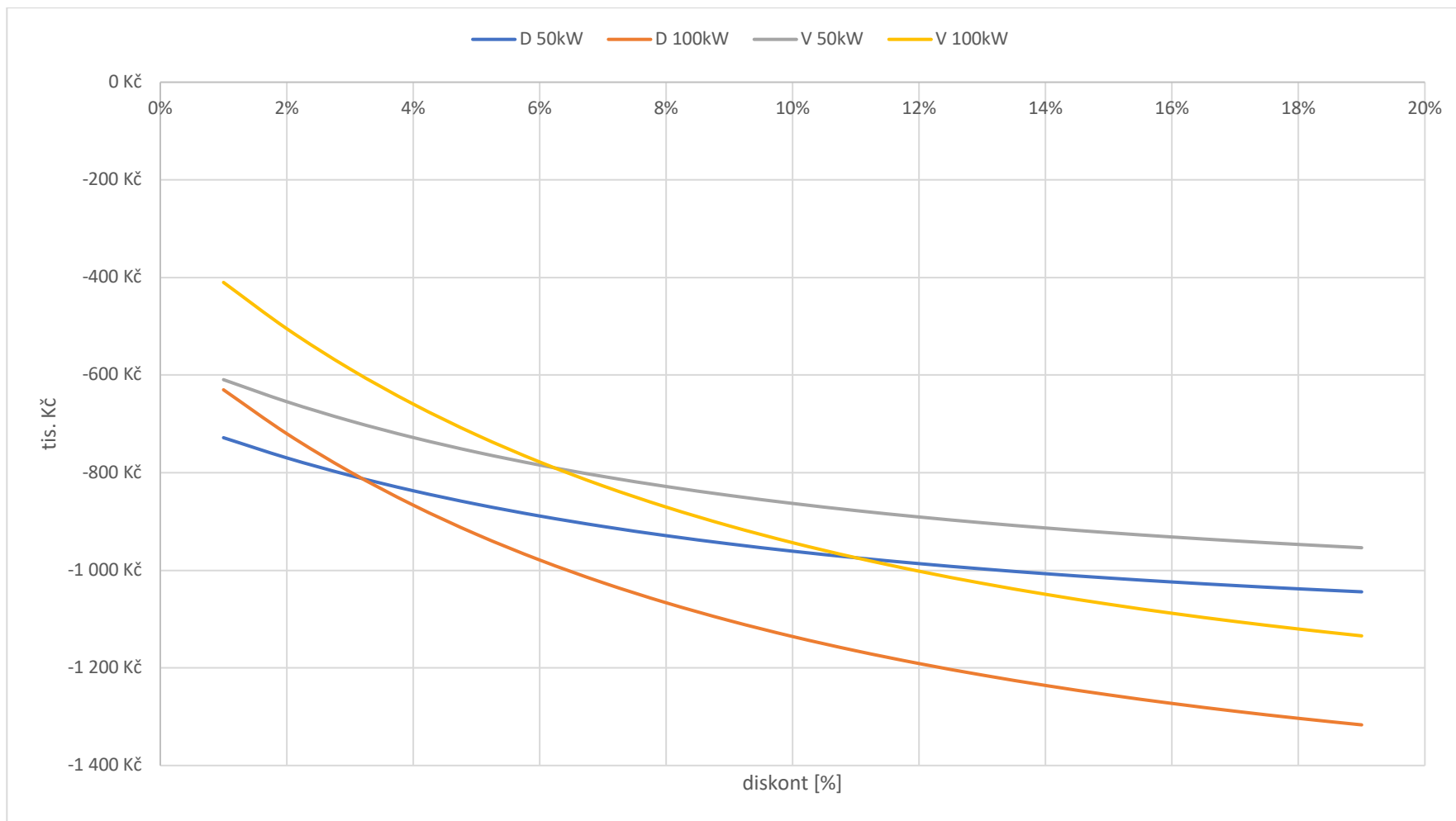
Tab. 9.4

diskont	D 50kW	D 100kW	V 50kW	V 100kW
1%	-728,4 Kč	-630,2 Kč	-609,5 Kč	-410,2 Kč
2%	-769,7 Kč	-720,1 Kč	-654,6 Kč	-505,0 Kč
3%	-805,7 Kč	-798,2 Kč	-693,8 Kč	-587,4 Kč
4%	-837,1 Kč	-866,5 Kč	-728,0 Kč	-659,4 Kč
5%	-864,6 Kč	-926,3 Kč	-758,0 Kč	-722,6 Kč
6%	-888,8 Kč	-978,9 Kč	-784,4 Kč	-778,1 Kč
7%	-910,1 Kč	-1 025,4 Kč	-807,7 Kč	-827,1 Kč
8%	-929,1 Kč	-1 066,5 Kč	-828,3 Kč	-870,5 Kč
9%	-945,9 Kč	-1 103,1 Kč	-846,7 Kč	-909,1 Kč
10%	-960,9 Kč	-1 135,7 Kč	-863,0 Kč	-943,5 Kč
11%	-974,3 Kč	-1 164,9 Kč	-877,7 Kč	-974,2 Kč
12%	-986,4 Kč	-1 191,1 Kč	-890,8 Kč	-1 001,9 Kč
13%	-997,2 Kč	-1 214,7 Kč	-902,6 Kč	-1 026,7 Kč
14%	-1 007,0 Kč	-1 236,0 Kč	-913,3 Kč	-1 049,2 Kč
15%	-1 015,9 Kč	-1 255,3 Kč	-923,0 Kč	-1 069,6 Kč
16%	-1 023,9 Kč	-1 272,8 Kč	-931,8 Kč	-1 088,1 Kč
17%	-1 031,3 Kč	-1 288,8 Kč	-939,8 Kč	-1 104,9 Kč
18%	-1 038,0 Kč	-1 303,4 Kč	-947,1 Kč	-1 120,3 Kč
19%	-1 044,1 Kč	-1 316,7 Kč	-953,8 Kč	-1134

Tab. 9.5

Vypočtené hodnoty NPV pro více hodnot diskontu jsou uvedeny v Tab. 9.5. Hodnoty jsou v tisících korunách. V prvním řádku tabulky jsou vypsány varianty. První písmeno vysvětluje typ turbíny: D jako Darrier a V jako vrtule. Následující číslo je instalovaný výkon.

Z pohledu na hodnoty v tabulce a na vypracovaný Graf. 9.6 je zřejmé, že ani jedna varianta není výnosná. Hodnotě diskontu kdy je NPV rovno nule se říká vnitřní výnosové procento nebo IRR. Vnitřní výnosové procento tak vyjadřuje výnosnost projektu. Z tabulky 9.4 je zřejmé, že nejlépe je na tom varianta s vrtulovými turbínami o instalovaném výkonu 100kW, kde vnitřní výnosové procento nabývá hodnoty -2,17%. Nejhůře je na tom varianta s Darrierovými turbínami s instalovaným výkonem 50kW, kde vnitřní výnosové procento nabývá hodnoty -7,18%. Budeme-li uvažovat momentální diskont 6%, tak je projekt nevýnosný a nevyplatí se realizovat i vzhledem k velmi nízkým hodnotám IRR.



Graf 9.1 NPV v závislosti na diskontu varianty vlastního návrhu zapojení s úměrně navrženou baterií

### 9.3.1.2 Varianta využití fotovoltaického systému

Typ	D 50kW	D 100kW	V 50kW	V 100kW
IRR	-4,61%	0,08%	-3,09%	2,36%

Tab. 9.6

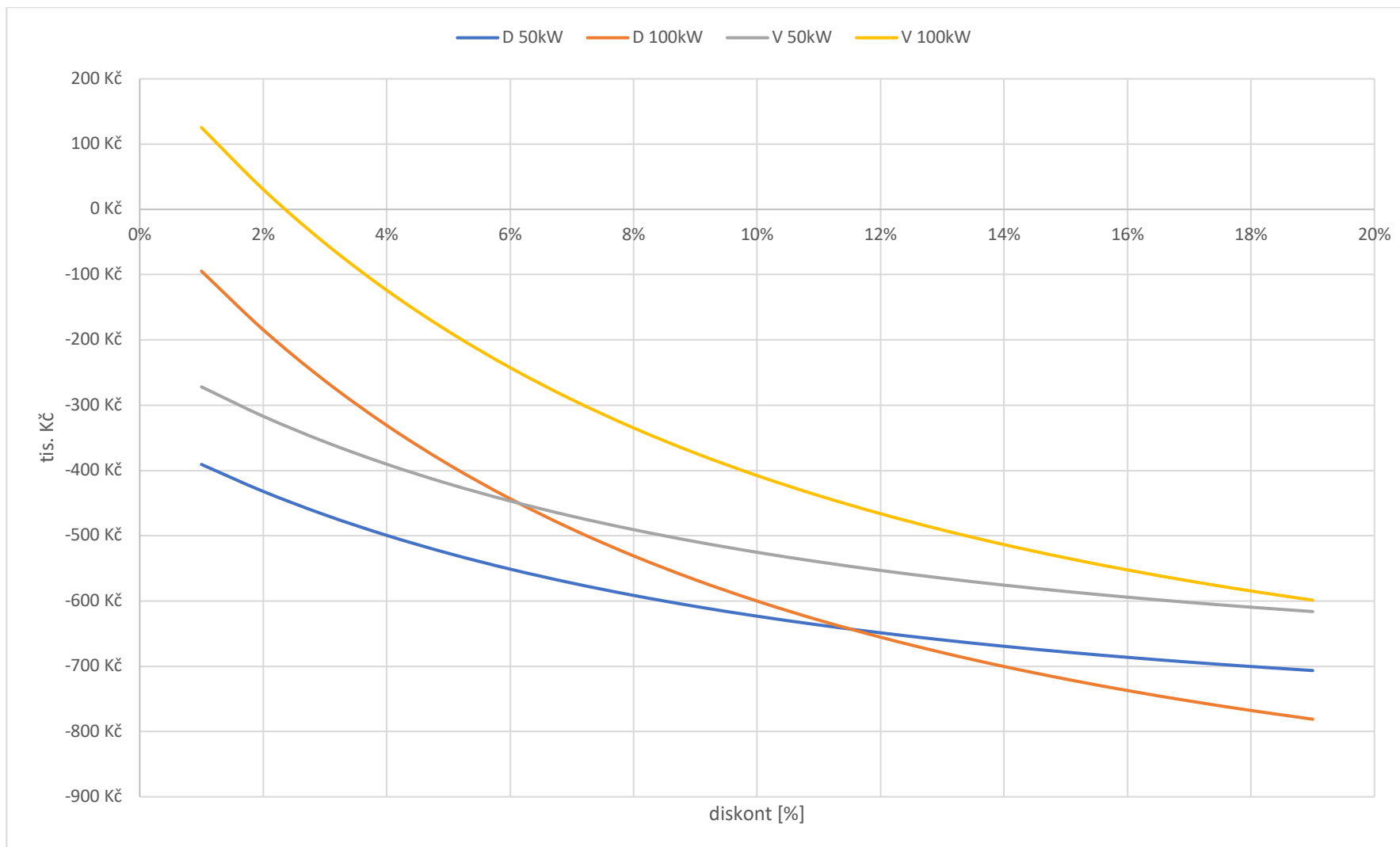
diskont	D 50kW	D 100kW	V 50kW	V 100kW
1%	-390,8 Kč	-94,6 Kč	-271,9 Kč	125,4 Kč
2%	-432,1 Kč	-184,4 Kč	-317,0 Kč	30,6 Kč
3%	-468,1 Kč	-262,6 Kč	-356,2 Kč	-51,8 Kč
4%	-499,5 Kč	-330,9 Kč	-390,4 Kč	-123,8 Kč
5%	-527,0 Kč	-390,7 Kč	-420,4 Kč	-186,9 Kč
6%	-551,2 Kč	-443,3 Kč	-446,8 Kč	-242,5 Kč
7%	-572,5 Kč	-489,8 Kč	-470,1 Kč	-291,5 Kč
8%	-591,5 Kč	-530,9 Kč	-490,7 Kč	-334,9 Kč
9%	-608,3 Kč	-567,5 Kč	-509,1 Kč	-373,4 Kč
10%	-623,3 Kč	-600,1 Kč	-525,4 Kč	-407,9 Kč
11%	-636,7 Kč	-629,3 Kč	-540,1 Kč	-438,6 Kč
12%	-648,8 Kč	-655,5 Kč	-553,2 Kč	-466,3 Kč
13%	-659,6 Kč	-679,1 Kč	-565,0 Kč	-491,1 Kč
14%	-669,4 Kč	-700,4 Kč	-575,7 Kč	-513,6 Kč
15%	-678,3 Kč	-719,7 Kč	-585,4 Kč	-534,0 Kč
16%	-686,3 Kč	-737,2 Kč	-594,2 Kč	-552,5 Kč
17%	-693,7 Kč	-753,2 Kč	-602,2 Kč	-569,3 Kč
18%	-700,4 Kč	-767,7 Kč	-609,5 Kč	-584,7 Kč
19%	-706,5 Kč	-781,1 Kč	-616,2 Kč	-598,8 Kč

Tab. 9.7

Tato varianta se z hlediska NPV a IRR jeví lépe díky absenci nutnosti pořizovat baterie a střídač. Avšak tato varianta počítá s baterií o kapacitě 30 kWh..

Z tabulky 9.6 lze vyčíst, že vnitřní výnosové procento je kladné ve 100kW variantách. Nejlépe je na tom varianta s vrtulovými turbínami s vnitřním výnosovým procentem 2,36%. Při uvažování aktuálního diskontu 6%, tak se nevyplatí ani jedna varianta.





Graf 9.2 NPV v závislosti na diskontu varianty využití fotovoltaického systému

## 10 Bezpečnost

Větrné turbíny jsou pohybující se relativně těžké stroje a proto musí být bezpečně nainstalovány, aby nedošlo k nechtěnému uvolnění a pádu ze střechy. Větrné turbíny také přinášejí jiné bezpečnostní ohrožení než je pouhé uvolnění a pád ze střechy.

Turbíny vrtulového typu přinášejí nebezpečí především v zimních měsících. Na vrtulích vzniká námraza a při provozu se může tato námraza uvolnit a relativně velkou rychlostí se odmrstit a ohrozit své bezprostřední okolí. Kvůli tomuto problému se u turbín vyšších výkonů instaluje vyhřívání listů. V této práci byly uvažovány vrtulové turbíny bez zmíněného vyhřívání. V případě instalace turbín tohoto typu je třeba dodržovat pravidelnou kontrolu především v zimních měsících.

Z výše zmíněných důvodů se jeví turbína Darrierova typu jako bezpečnější i přes její menší účinnost.

## 11 Životní prostředí

Větrné turbíny bývají spojovány s narušováním životního prostředí a to konkrétně díky produkci hluku o vysokých frekvencích a možného úrazu okolního ptactva. V *Tab. 6.1* je uvedena maximální hlasitost turbíny 35dB. To je velmi nízká úroveň hlasitosti a není předpokládáno, že by někoho narušovala. Nejvyšší riziko narušení životního prostředí se tedy jeví narušení okolního ptactva. V případě nutnosti lze k turbínám nainstalovat vysokofrekvenční akustickou pláštěčku zvěře, ale jinak tento faktor nelze nijak významně ovlivnit či zcela eliminovat.

## 12 Závěr

Přihlédnutím k ekonomickému hodnocení projektu je zřejmé, že nejvíce výnosná je varianta s deseti vrtulovými turbínami o celkovém instalovaném výkonu 100 kW s kombinací s existujícím fotovoltaickým systémem. V realitě si myslím, že by bylo vhodnější nainstalovat spíše turbíny s Darrierovým rotorem kvůli výše zmíněným bezpečnostním důvodům. Varianta s Darrierovými rotory má sice menší výnosnost, ale není třeba pravidelného kontrolování v zimních měsících, kdy je energie pro tepelné čerpadlo nejvíce požadována. Z tabulky 9.7 je však zřejmé, že uskutečnit VTE s turbíny typu Darrier nedává smysl z finančního hlediska.

Dále bych chtěl upozornit, že všechny výpočty jsou pouze teoretické. Teoretická výroba se může velmi lišit od reality. Obvykle se před instalací VTE na určeném místě měří rychlost větru v horizontu několika let a následně jsou data vyhodnocována. Vlastnosti větru se mohou rok od roku velmi lišit vlivem globálních změn. Tato práce uvažovala s periodicky opakujícím se větrem každý rok. V případě úvahy nad realizováním instalace VTE doporučuji měření nezanedbat.

Důležitým faktorem, který je třeba brát v úvahu při uvažování instalace VTE na střechu obytného domu je volba spolehlivého výrobce větrných turbín. Spousta výrobců na trhu má ve zvyku lhát o pravém výkonu turbíny pro zvýšení ceny produktu. Na internetových diskuzních fórech jsem zjistil, že se tato praktika děje velmi běžně. Vinutí v generátorech bývá obvykle poddimenzováno a během chodu při jmenovitých hodnotách vznikají velké ztráty teplem či poškození izolace vinutí. Nejvíce stížností směřuje k výrobcům z Číny.

S porovnáním s FVE nejsou VTE tak rozšířené či oblíbené v České republice. To je způsobeno převážně tím, že máme velmi slabé větry oproti přímořským státům. Nicméně jako doplňkový zdroj energie k FVE se jeví jako vhodný. Tato práce uvažovala s VTE instalovanými relativně nízko nad hladinou moře. VTE by se více vyplatilo instalovat spíše v horských oblastech, jak je zobrazeno na obrázku 4.2.

Myslím si, že je třeba VTE implementovat více do městského prostředí. Spousta ulic a tunelů disponuje velmi silným komínovým efektem, kterého se dá využít. Spousta nových návrhů turbín využívá Venturiho jev nebo elektrostatiку. Je to druh přeměny energie, kterému má cenu se v budoucnu zabývat.

## 13 Zdroje

- [1] Google maps. Online. Google. 2024. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>. [cit. 2024-01-07].
- [2] VIESSMANN. *Vitocal 100-S*. Online. Viessmann. 2024. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/produkty/teplna-cerpadla/vitocal-100-s.html>. [cit. 2024-01-07].
- [3] INTERNETOVÝ PORTÁL ELEKTROTECHNIKA. *Energie větru*. Online. Adoc.pub. 2009. Dostupné z: <https://adoc.pub/energie-vtru-sila-vtru.html>. [cit. 2024-01-07].
- [4] ÚSTAF FYZIKY ATMOSFÉRY. *Mapa všeobecných větrných podmínek*. Online. Vitr.ufa.cas.cz. C2009. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>. [cit. 2024-01-07].
- [5] KRÁL, O. *Větrná energie*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] FORRÓ, B. *Studie využití pomaloběžných větrných turbín pro malé a střední aplikace*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] *1000watt H Vertical Axis Wind Turbine for Home*. Online. In: Amgpower.en.made-in-china.com. Dostupné z: <https://amgpower.en.made-in-china.com/product/tqGmFVlyXOAg/China-1000watt-H-Vertical-Axis-Wind-Turbine-for-Home.html>. [cit. 2024-01-07].
- [8] *1000W Wind Turbine (HY-1000L-48V) on-Grid (HY-1000L)*. Online. In: Hyenergy.en.made-in-china.com. Dostupné z: <https://hyenergy.en.made-in-china.com/product/rbnxhzqUOKVP/China-1000W-Wind-Turbine-HY-1000L-48V-on-Grid-HY-1000L-.html>. [cit. 2024-01-07].
- [9] *Factory 5000W 10000W Wind Turbine Generator 3 Blades Alternator Three-Phase Vertical Axis Windmill With Mppt Controller 5KW 10KW*. Online. In: AliExpress.com. Dostupné z: <https://hyenergy.en.made-in-china.com/product/rbnxhzqUOKVP/China-1000W-Wind-Turbine-HY-1000L-48V-on-Grid-HY-1000L-.html>. [cit. 2024-01-07].
- [10] *5000W 5 Blades Windmills Free Energy Wind Turbine Generator 5KW 12V 24V 48V With Mppt Charge Controller For Home Use*. Online. In: AliExpress.com. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/1005006233461455.html?spm=a2g0o.producttlist.main.1.29c13ca2Qw|OmE&algo\\_pvid=f95e863a-a703-4aca-b08e-38c7af4d428f&algo\\_exp\\_id=f95e863a-a703-4aca-b08e-38c7af4d428f-0&pdp\\_npi=4%40dis%21USD%211486.26%21743.13%21%21%2110563.30%21%21%402103856417005563902138385e768f%2112000036394230703%21sea%21CZ%210%21AB&curPageLogUid=QIYwkyYlB4Xf](https://www.aliexpress.com/item/1005006233461455.html?spm=a2g0o.producttlist.main.1.29c13ca2Qw|OmE&algo_pvid=f95e863a-a703-4aca-b08e-38c7af4d428f&algo_exp_id=f95e863a-a703-4aca-b08e-38c7af4d428f-0&pdp_npi=4%40dis%21USD%211486.26%21743.13%21%21%2110563.30%21%21%402103856417005563902138385e768f%2112000036394230703%21sea%21CZ%210%21AB&curPageLogUid=QIYwkyYlB4Xf). [cit. 2024-01-07].

- [11] *1000W 3 Blades Windmills Free Energy Wind Turbine Generator 10KW 12V 24V 48V With Mppt Charge Controller For Home Use*. Online. In: AliExpress.com. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/1005006190156071.html?spm=a2g0o.productlist.main.117.529141c8l0gWcq&algo\\_pvid=4e764834-7b94-456b-811a-fcf6c8dfaea2&algo\\_exp\\_id=4e764834-7b94-456b-811a-fcf6c8dfaea2-58&pdp\\_npi=4%40dis%21USD%211172.38%211172.38%21%21%218356.27%21%21%402103956b17018934282316720ecbcc%2112000036198646749%21sea%21CZ%210%21AB&curPageLogUid=ZHEjnWYOak11](https://www.aliexpress.com/item/1005006190156071.html?spm=a2g0o.productlist.main.117.529141c8l0gWcq&algo_pvid=4e764834-7b94-456b-811a-fcf6c8dfaea2&algo_exp_id=4e764834-7b94-456b-811a-fcf6c8dfaea2-58&pdp_npi=4%40dis%21USD%211172.38%211172.38%21%21%218356.27%21%21%402103956b17018934282316720ecbcc%2112000036198646749%21sea%21CZ%210%21AB&curPageLogUid=ZHEjnWYOak11). [cit. 2024-01-07].
- [12] Lithiová baterie PylonTech Force L1 10,65kWh 48V. In: *Bch-battery.cz* [online]. [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.bch-battery.cz/lithiova-baterie-pylontech-force-l1-10-65kwh-48v>
- [13] 5000-15000W WIFI Hybrid Solar Wind Charge Controller Power System MPPT Solar Regulator For 12V 24V 48V Lithium Lead-acid Battery. Online. In: AliExpress.com. Dostupné z: <https://www.bch-battery.cz/lithiova-baterie-pylontech-force-l1-10-65kwh-48v>. [cit. 2024-01-07].
- [14] *Xtend Solarmi SUN-10K-SG04LP3-EU*. Online. In: I4wifi.cz. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/cs/281628-xtend-solarmi-sun-10k-sg04lp3-eu>. [cit. 2024-01-07].
- [15] *MMS-63S 40A*. Online. In: Tme.eu. Dostupné z: <https://www.tme.eu/en/details/mms-63s-40a/motor-protection-breakers/is-electric/mms-63s-40a/>. [cit. 2024-01-07].
- [16] *ALS225 Fuse 225 Amp*. Online. In: Uniqueliftparts.com. Dostupné z: <https://uniqueliftparts.com/als225-fuse-225-amp/>. [cit. 2024-01-07].
- [17] *LOWENERGIE Wind Turbine Generator Mast Kit Pole Mounting Guy Lines Off Grid Power UK Stock*. Online. In: Amazon.co.uk. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/Lowenergie-Turbine-Generator-Mounting-Lines/dp/B07D3BQL1T?th=1>. [cit. 2024-01-07].
- [18] DURSUN, Ayhan a Sağlam ŞAFAK. A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model. 2012.
- [19] *Tower Extension Part/Pipe/Tube for 15 Kg Wind Turbine*. Online. In: B2b-istabreeze.com. Dostupné z: [https://www.b2b-istabreeze.com/index.php?route=product/product&manufacturer\\_id=11&page=3&product\\_id=79](https://www.b2b-istabreeze.com/index.php?route=product/product&manufacturer_id=11&page=3&product_id=79). [cit. 2024-01-07].

- [20] *Držák stožáru 42-67mm, 25cm od zdi (s vlnkou a pásem vodorovně), zinek Galva.* Online. In: Antenyprofisat.cz. Dostupné z: <https://www.antenyprofisat.cz/eshop/drzaky-anten-stozary-a-jejich-uchyceni/stozary-a-trojnozky/drzaky-stozaru/odsazene-20-40cm/na-42mm/drzak-stozaru-42-67mm-25cm-od-zdi-s-vlnkou-a-pasem-vodorovne-zinek-galva>. [cit. 2024-01-07].
- [21] *Weibullova kalkulačka.* Online. In: Wind-data.ch. Dostupné z: <https://wind-data.ch/tools/weibull.php>. [cit. 2024-01-07].
- [22] *Nizozemské železnice splnily závazek 100 % energie z OZE o rok dříve.* Online. OENERGETICE.CZ. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/nizozemske-zeleznice-splnily-zavazek-100-energie-oze-rok-drive>. [cit. 2024-01-07].
- [23] *Elektrina z větru začíná být podle dánské vlády příliš drahá.* Online. OENERGETICE.CZ. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/vetrne-elektrarny/elektrina-z-vetru-zacina-byt-podle-danske-vlady-prilis-draha>. [cit. 2024-01-07].
- [24] *Větrné elektrárny vyrábějí nejvíc elektřiny v Německu i Británii. Podíl fotovoltaiky je zatím omezený.* Online. Ekonomickydenik.cz. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/vetrne-elektrarny-vyrabeji-nejvic-elektriny-v-nemecku-i-britanii-prispevek-fotovoltaiky-je-zatim-omezeny/>. [cit. 2024-01-07].
- [25] *VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.* Online. Edu.techmania.cz. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/tekutiny/proudeni-realne-tekutiny/vetrne-elektrarny>. [cit. 2024-01-07].
- [26] *Větrná energie.* Online. Zelenymost.cz. Dostupné z: <http://zelenymost.cz/6-odborne-prednasky/vetrna-energie>. [cit. 2024-01-07].