



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

**Návrh větrné elektrárny**

**Wind power plant design**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika, management  
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Vít Klein, Ph.D.

**Ferdinand Závora**

---

**Praha 2016**



*Bakalářská práce*  
*Návrh větrné elektrárny*

---

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Ferdinand Závora**

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

Název tématu: **Návrh větrné elektrárny**

Pokyny pro vypracování:

1. Větrná energie a její využití v energetice
2. Návrh elektrárny
3. Ekonomické vyhodnocení
4. Vyhodnocení dopadu na životní prostředí
5. Závěrečné vyhodnocení a doporučení

Seznam odborné literatury:

- [1] CROME, Horst. Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2002, 144 s. ISBN 80-861-6719-4.
- [2] HALLENGA, Uwe. Malá větrná elektrárna: stavební návod s konstrukčními výkresy. 2., přeprac. a rozš. vyd. Ostrava: HEL, 2006, 95 s. ISBN 80-86167-27-5.
- [3] IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 383 s. ISBN 80-7300-097-0.
- [4] RYCHETNÍK, Václav. Větrné motory a elektrárny. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1997, 199 s. ISBN 80-01-01563-7.

Vedoucí: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. ~~Pavel~~ Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016





## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Vítu Kleinovi, Ph. D. za ochotu, odborné rady a věnovaný čas. Zároveň chci poděkovat firmě Vestas za poskytnuté informace k výstavbě a provozu větrných elektráren.





## **Anotace**

Tato práce se zabývá samotnou větrnou energií jako obnovitelným zdrojem a především návrhem, výstavbou a následně i provozem teoretické větrné elektrárny na území České republiky a výhodami či nevýhodami s ní spojenými. Cílem práce je zjednodušit a popsat kompletně celý návrh větrné elektrárny včetně ekonomického doporučení, popsat větrnou energii jako celek a zhodnotit ekologický dopad stavby.

## **Klíčová slova**

větrná energie, větrná elektrárna, vítr, rychlost větru, ekonomická efektivnost větrných elektráren, Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti, V52, Vestas

## **Abstract**

This work focuses on wind energy as a renewable resource and mainly on designing, building and running a theoretical wind power plant in the Czech republic and the pros or cons connected with it. The goal of the work is to simplify and fully describe everything that goes into planning and building a wind power plant including the economic evaluation, talk about wind power as a whole and evaluate the ecological impact of the building.

## **Key words**

wind energy, wind power plant, wind, wind speed, economic efficiency of wind power plants, Weibull distribution of probability, V52, Vestas







## **Prohlášení**

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

V Praze dne 20. 5. 2016

.....

Ferdinand Závora



*Bakalářská práce*  
*Návrh větrné elektrárny*

---



## Seznam obrázků a tabulek

### Obrázky:

1	<i>Podíl větrné energie jednotlivých zemí v % (z celkové spotřeby energie dané země) .....</i>	5
2	<i>Větrná mapa ČR znázorňující průměrnou rychlost větru v 10 m .....</i>	10
3	<i>Hotový betonový základ větrné elektrárny (fundament ve středu betonu) .....</i>	13
4	<i>Dva typy turbín (vlevo HAWT, vpravo VAWT) .....</i>	14
5	<i>Provedení a vnitřek gondoly u Vestas V52 .....</i>	16
6	<i>Výkonová křivka jednotky Vestas V52 .....</i>	20
7	<i>Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti .....</i>	22
8	<i>Četnost výskytu rychlostí větru pro mojí elektrárnu .....</i>	23
9	<i>Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické efektivity investice .....</i>	27
10	<i>Graf znázorňující hluk pro různé rychlosti větru u jednotky V52 .....</i>	33

### Tabulky:

1	<i>Beaufortova stupnice síly větru .....</i>	7
2	<i>Hodnota Hellmannova exponentu pro různý charakter krajiny .....</i>	12
3	<i>Četnost výskytu jednotlivých rychlostí větru v průběhu roku .....</i>	23
4	<i>Výpočet celkové roční vyrobené energie .....</i>	24





## Seznam zkratek

AV ČR, v.v.i. - Akademie věd České republiky, vědecko-výzkumná instituce

ČR - Česká republika

dB - decibel

DPH - daň z přidané hodnoty

EIA - (*Environmental impact assessment*), vyhodnocení vlivů na životní prostředí

ERÚ - Energetický regulační úřad

EU - Evropská unie

Hz - hertz

CHKO - Chráněná krajinná oblast

Kč - koruna česká

kg - kilogram

km - kilometr

kV - kilovolt

kW - kilowatt

m - metr

min - minuta

MW - megawatt

MWh - megawatthodina

NP - národní park

OPEC - (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*), Organizace zemí  
vyvážejících ropu

ot - otáčky

s - sekunda

Sb. - Sbírka zákonů

t - tuna

USA - (*United States of America*), Spojené státy americké

ÚFA - Ústav fyziky atmosféry



V - volt

VtE - větrná elektrárna

WASP - (*Wind Atlas Analysis and Application Program*), Analýza větrných charakteristik a jejich výpočet

WTP - (*willingness to pay*), ochota platit



# Obsah

Úvod .....	1
<b>1. Větrná energie .....</b>	<b>3</b>
1.1. Historie .....	3
1.2. Větrná energie ve světě.....	4
1.3. Větrná energie v ČR.....	5
1.4. Princip větrné elektrárny .....	6
1.5. Vítr jako zdroj elektrické energie.....	7
<b>2. Popis návrhu .....</b>	<b>8</b>
2.1. Větrná jednotka V52.....	8
2.2. Místo, ideální lokalita .....	10
2.3. Sloup, základy, konstrukční řešení .....	12
2.4. Turbína - rotor .....	14
2.5. Gondola, vnitřek elektrárny.....	16
2.6. Přifázování .....	18
2.7. Výkon, výroba.....	18
2.7.1. Výkonová křivka jednotky Vestas V52 .....	19
2.7.2. Četnost výskytu rychlostí větru odpovídající Weibullovu rozdělení.....	20
2.7.3. Výpočet roční vyrobené energie na základě výkonové křivky a četnosti rychlostí větru, efektivnost větrných elektráren.....	24
<b>3. Ekonomické vyhodnocení .....</b>	<b>26</b>
3.1. Prostá doba návratnosti.....	28
3.2. Reálná doba návratnosti.....	28
3.3. Doba návratnosti při uvažování zelených bonusů .....	29
3.4. Čistá současná hodnota .....	30
3.5. Vnitřní výnosové procento .....	30
<b>4. Ekologické hledisko a dopad na životní prostředí .....</b>	<b>31</b>
4.1. Výpočet rozdílu emisí oproti spalovací elektrárně.....	31
4.2. Hluk.....	32
4.3. Dopad na estetickou hodnotu krajiny.....	33



4.4. Vliv na živočichy a přírodu .....	34
4.5. Rušení a blokáce elektromagnetických vln .....	35
4.6. Další vlivy .....	35
<b>5. Shrnutí návrhu a zhodnocení.....</b>	<b>36</b>
5.1. Shrnutí návrhu Vestas V52/850 v Jizerských horách .....	36
5.1.1. Doporučení .....	36
<b>Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>Použitá literatura .....</b>	<b>39</b>





## Úvod

V dnešní moderní době je stále častější využívání alternativních a obnovitelných zdrojů energie. Díky technologickému pokroku jsou podmínky a možnosti realizace efektivního čerpání elektrické energie z obnovitelných zdrojů více než možné. Vítr jako obnovitelný zdroj se v ČR začíná seriózně využívat od 90. let. Výkon instalovaný ve VtE trvale stoupá už dlouhou dobu nejen ve světě, ale i u nás.

Následující práce se pokouší o komplexnější pohled na větrnou energii a její využití u nás jak teď, tak v blízké budoucnosti. Zahrnuje popis větrné energie jako celku, historii větrné energie a základní princip získávání energie z větru.

Hlavním bodem celé práce je pak konkrétní teoretický návrh VtE tvořené jednou samostatnou jednotkou. Při navrhování se budu zabývat a pokusím se, alespoň do určité míry, obsáhnout všechny body, které jsou s výstavbou a provozem VtE spojené. Stejně jako teoretickým určením množství energie, kterou bude VtE schopna vyrábět a dodávat do sítě.

Na závěr práce budu hodnotit celou výstavbu, provoz a také budoucnost větrné energetiky z ekonomického a ekologického hlediska. Dopadů VtE na okolní prostředí a život, ať už lidí nebo zvířat v okolí, je mnoho a bývají často probírány v souvislosti s využíváním větru jako se zdrojem energie. Výhodnost investice do výstavby VtE závisí především na podpoře energie z obnovitelných zdrojů poskytované vládou a EU.

Obě tyto kapitoly se musí zvážit při vyhodnocování, zda-li se investice, výstavba a následný provoz VtE vyplatí. To je předmětem poslední kapitoly této práce.





# 1 Větrná energie

Větrnou energii ve formě větru umíme dnes převést na mechanickou pomocí rotujících lopatek (mlýn, rotor větrné elektrárny) a tu následně umíme převést na energii elektrickou.

VtE využívají neomezenou zásobu kinetické energie větru, která je zdarma a proto nepodléhá inflaci. Vítr je všude a je to čistý zdroj - nulová produkce skleníkových plynů. Při stavbě VtE se zároveň využívá jen malá pracovní plocha a při případné demotáži nezanechává VtE v oblasti skoro žádné následky. Toto umožňuje i nadále využívat zemědělskou plochu, na které je VtE vystavěna, ve skoro plném rozsahu. V neposlední řadě jsou VtE maximálně vlídné k životnímu prostředí v porovnání s jinými elektrárnami.

Je ale potřeba uvést i často zmiňované nevýhody a argumenty proti VtE. Jsou závislé na tom, jak fouká vítr, což je ve většině oblastí značně nekonzistentní (akumulace energie je velmi náročná, tudíž větrné elektrárny špatně reagují na rychlé změny a potřeby sítě - odběratelů). Jako nevýhody či dopady VtE jsou často uváděny hluk, který může ovlivnit zdraví pracovníků nebo veřejnosti. Dále je často diskutován dopad na krajinu z hlediska estetiky, protože VtE často ční z krajiny do výšky a jsou vidět již z velkých vzdáleností. VtE mohou zároveň ovlivnit živočichy žijící v okolní přírodě a výstavba VtE může dokonce i ovlivnit ceny nemovitostí v okolí.

## 1.1 Historie

Počátky větrných elektráren jsou rozporuplné, dá se říci, že princip větrné elektrárny je znám přibližně 110 let. První zmínky o větrném zařízení v Evropě (v tomto případě mlýnu) pochází z roku 833. Kromě mlýnů je nutné také zmínit větrná čerpadla. Tyto dvě zařízení se dají považovat za předky VtE<sup>1</sup>.

První VtE je připisována dvěma jedincům. Roku 1887 sestrojil první VtE američan Charles F. Brush s rotorem o průměru 17 metrů a o výkonu přibližně 12 kW. Druhým jedincem, kterému je vynález první VtE připisován je Dánský profesor Poul la Cour, který sestrojil VtE připomínající mlýn roku 1891<sup>2</sup>.

Na začátku 20. století docházelo k pokusům o využití VtE pro napájení dynam, generátorů a i jiných strojů. V Dánsku i díky energetické krizi způsobené první světovou válkou došlo snad k největšímu ustálenému vývoji a roku 1919 zde byla sestrojena první

---

<sup>1</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 15.

<sup>2</sup> Z historie větrných elektráren. *Elektro, časopis pro elektrotechniku* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-vetrnych-elektaren--13364>



modernější větrná elektrárna. Ironicky další důležitý rozvoj nastal znovu za dob války - druhé světové války. V letech 1940 až 1945 bylo postaveno na 70 VtE o výkonu 35 kW.

Velkým pobídnutím pro rozvoj větrné energetiky v Evropě byla energetická krize roku 1979. Ta byla vyvolána embargem zemí OPEC na vývoz ropy. V této době začalo mnoho států po náhlém zvýšení cen ropy hledat možnosti využití obnovitelných zdrojů, včetně energie větru. Hlavním průkopníkem větrných elektráren se stalo Dánsko, tam se začali stavět první větrné elektrárny v 80. letech.

## 1.2 Větrná energie ve světě

O systematictější vývoji lze na poli větrné energie mluvit od 70. let. Ropná krize v roce 1979 donutila mnoho zemí hledat alternativu ke klasickým zdrojům. Počátky technologie využití větru nebyly jednoduché. V 80. letech byly hlavně díky silné podpoře větrné energie v Kalifornii stavěny oblasti malých VtE, označovány jako lesy. Další Důležitý rozvoj nastal hlavně v Dánsku, kde byla také systematická a velkorysá podpora větrné energie ze strany státu. Okolo této doby se základní technologický princip už moc neměnil, ale docházelo k trvalému vylepšování spolehlivosti, efektivity a i velikosti VtE<sup>3</sup>.

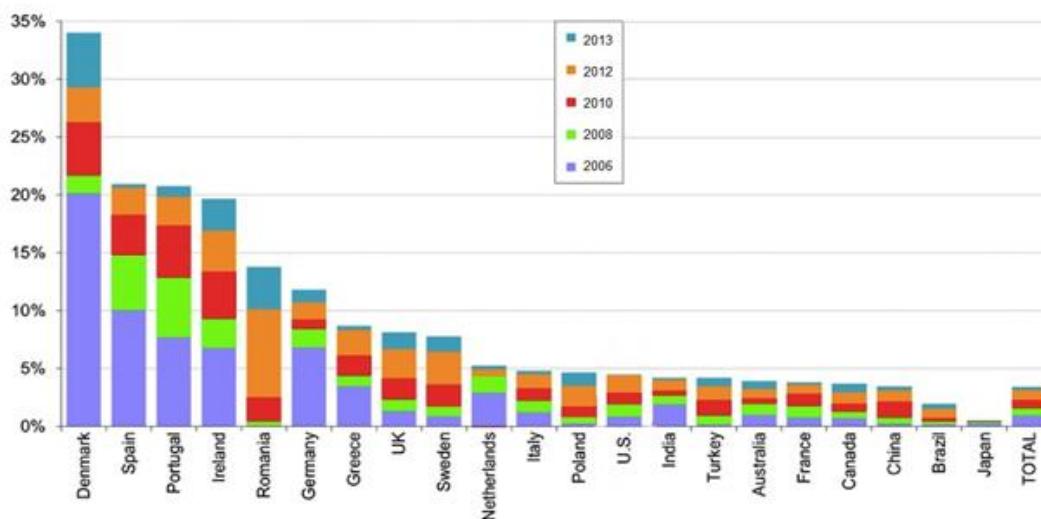
Vedle států jako je Dánsko tak postupně začínají využívat energii větru i jiné státy. Dochází k rozvoji a stavbě VtE i na méně prominentních místech. Zároveň se zavádějí příznivé podmínky pro výkup větrné energie a pro výstavbu VtE. V prvních letech 21. století dochází k vrcholu výstavby VtE.

Podíl větrné energie na celkové spotřebě elektřiny v dané zemi se dnes pro každou zemi výrazně liší. V České republice je podíl větrných elektráren na celkové spotřebě přibližně 0,6 % k roku 2014. Země s největším podílem větrné energie je Dánsko, které v roce 2014 dosáhlo rekordních 39,5 % podílu větrné energie na celkové spotřebě země.

Větrná energetika prudce roste ve světě přibližně od roku 1995. Hlavní podíl na větrném výkonu v Evropě má Německo (přes 25 000 MW). Mezi další významné země patří například již zmiňované Dánsko nebo třeba Španělsko, Nizozemsko a Portugalsko.

---

<sup>3</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 17.



Obr. 1 - Podíl větrné energie jednotlivých zemí v % (z celkové spotřeby energie dané země)<sup>4</sup>

### 1.3 Větrná energie v ČR

Českou republiku bohužel nemůžeme dnes zařadit mezi státy s významným využitím větrné energie i přes to, že se větrnou energetikou zabýváme již dlouho. O vývoji se dá hovořit od roku 1990, kdy bylo vybudováno v průběhu pěti let 24 VtE s celkovým instalovaným nominálním výkonem 8,22 MW. Hlavními důvody pro tento relativně prudký rozvoj byly inspirace v Dánsku a Německu a předpoklad, že výkupní ceny elektřiny budou obdobné jako v těchto dvou státech<sup>5</sup>.

Bohužel v následujících letech až do roku 2002 byla řada těchto VtE demontována. Výkupní ceny elektřiny se pohybovaly moc nízko a neumožňovaly udržet provoz VtE. Dalším velkým problémem byl fakt, že VtE od domácích výrobců vykazovaly značnou poruchovost a celý rozvíjející se obor okolo VtE neměl potřebné znalosti a ani legislativní zázemí. To způsobilo propad zájmu o VtE.

Okolo roku 2002 ERÚ stanovil minimální výkupní cenu elektřiny na 3 000 Kč za MWh (včetně DPH). Od té doby výstavba VtE opět narůstá, protože díky minimální ceně za výkup lze na VtE vydělávat. VtE se v ČR nacházejí převážně v hraničních hornatých oblastech jako jsou například Krušné hory.

<sup>4</sup> Souhrn trendů na trhu větrné energetiky USA [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/SustainableEnergyAut/aaron-smith-nrel> Str. 12/32.

<sup>5</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 19.



## 1.4 Princip větrné elektrárny

Vítr je forma solární energie a je výsledkem nerovnoměrného ohřívání atmosféry Země, rotací Země, nerovnoměrného povrchu Země a rozdíly tlaku vzduchu na Zemi. Kinetická energie větru je předávána lopatkám rotoru VtE (větrné turbíně) - ten se roztáčí. Rotor je připojen na hřídeli, na které je zároveň připojen i elektrický generátor. Podle plochy S, kterou opisují rotující lopatky se VtE dělí na malé, střední a velké VtE.

Malé VtE mají rotor o průměru maximálně 16 metrů a výkonem nepřesahují 60 kW. S malými VtE se můžeme setkat například u televizních či radiových přijímačů nebo při napájení jistých domácích spotřebičů. Střední VtE mají průměr rotoru od 16 do 44 metrů a výkonem nepřesahují 750 kW. Střední VtE byly dříve stavěny jako největší VtE, ale díky rychlému vývoji a prudkému rozvoji rozměrů máme dnes ještě třetí kategorii. Rotory velkých VtE mohou mít až 128 metrů v průměru a dosahují výkonů až 3 MW<sup>6</sup>.

Nejdůležitější součástí VtE je rotor s listy. V dnešní době se používají převážně třílisté rotory pro jejich relativně dobrou aerodynamickou vyváženost. Díky možnosti natáčení listů rotoru většiny moderních elektráren lze dobře regulovat výkon, který VtE dodává. Při rostoucích rychlostech větru se výkon VtE sice zvyšuje, ale často se můžeme dostat do moc velkých a pro VtE nebezpečných hodnot - hrozí poškození VtE. Proto je jistá forma regulace výkonu nezbytně důležitá.

Otáčky lopatek se pohybují mezi 10 a 20 m.s<sup>-1</sup>. Pomocí převodovky jsou transformovány na vyšší rychlosti a těmito otáčkami se následně točí generátor. V současné době existují i bezpřevodkové VtE, které stojí na principu nízkorychlostních generátorů.

Rotor je umístěn na gondole, kterou je možno natáčet tak, aby plocha rotoru vždy ležela kolmo na směr foukajícího větru. Bývá poháněna hydraulickým systémem. Gondola s rotorem je pak umístěna na stožáru či sloupu, který může v dnešní době dosahovat až 120 metrů. Stožáry bývají sestaveny z oceli, betonu a nebo kombinace těchto dvou materiálů. Základním požadavkem pro větrnou elektrárnu je samozřejmě stálé (vytrvalé/konzistentní) a silné foukání větru. Větrné turbíny jsou proto umísťovány na vyšší místa, která zaručují minimum větrných turbulencí způsobených překážkami jako jsou budovy, stromy atd..

VtE se dají stavět dohromady (většina velkých VtE), kde máme několik jednotek (větrných turbín) na sloupech v jedné oblasti spojených společně v síti. Těmito oblastem se následně říká větrné farmy.

V mé práci se budu zabývat návrhem jedné samostatné VtE někde v oblasti ČR.

---

<sup>6</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 21.



## 1.5 Vítr jako zdroj elektrické energie

Je obecně známo, že energie obsažená ve větru roste s třetí mocninou rychlosti větru (viz kapitola výkon, výroba). Tento teoretický výkon ale předpokládá, že se vítr zcela zabrzdí. Ani nejmodernější VtE samozřejmě nedokážou převést všechny výkon obsažený ve větru. Vítr vždy předá část své energie lopatkám rotoru a za VtE proudí dál nižší rychlostí. Teoretická optimální hodnota, kterou jsme schopni dostat z proudícího vzduchu, je přibližně 60% (nebo dvě třetiny) teoretického výkonu větru. Hodnota 60 % procent je číslo, ke kterému se snaží většina výrobců rotorů VtE přiblížit. Pro dosažení této hodnoty by rotor musel být ideální. Většina dnešních moderních VtE dosahuje přeměny asi 40 % celkové teoretické energie obsažené ve větru<sup>7</sup>.

Pro představu o rychlostech větru byla irským fyzikem Francisem Beaufortem v 19. století vytvořena takzvaná Beaufortova stupnice pro odhad síly větru. Tabulka slouží k odhadu rychlosti větru na základě okem sledovatelných projevů na souši či na moři a má celkem 12 stupňů včetně nuly. Tabulka obsahuje číslo stupně, odpovídající rychlost větru, slovní označení (těch existuje více) a potom znaky na souši a znaky na moři (v uvedené tabulce jsem vynechal znaky na moři)<sup>8</sup>.

Tab. 1 - Beaufortova stupnice síly větru

stupeň	označení	m.s <sup>-1</sup>	znaky na souši
0	bezvětrí	0 - 0,2	Kouř stoupá přímě nahoru.
1	vánek	0-3 - 1,5	Podle kouře lze určit směr větru.
2	větrík	1,6 - 3,3	Šelestění listů stromů.
3	slabý vítr	3,4 - 5,4	Listy stromů a prapory se pohybují.
4	mírný vítr	5,5 - 7,9	Vítr hýbe papíry či malými větvíčkami.
5	čerstvý vítr	8 - 10,7	Vítr hýbe keří a ohybá menší stromky.
6	silný vítr	10,8 - 13,8	Vítr hýbe telegrafním vedením.
7	mírný vichr	13,9 - 17,1	Vítr hýbe stromy, obtížná chůze proti větru.
8	čerstvý vichr	17,2 - 20,7	Vítr ulamuje větve a chůze nemožná.
9	silný vichr	20,8 - 24,4	Vítr způsobuje menší škody na obydlích.
10	plný vichr	24,5 - 28,4	Vítr vyvracuje stromy a ničí budovy.
11	vichřice	28,5 - 32,6	Zpustošení plochy ve velkém rozsahu.
12	orkán	32,7 - 36,9	Pohyb i těžkých hmot.

<sup>7</sup> CROME, Horst. *Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení*. Ostrava: HEL, 2002. ISBN 80-86167-19-4. Str. 17-18.

<sup>8</sup> CROME, Horst. *Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení*. Ostrava: HEL, 2002. ISBN 80-86167-19-4. Str. 136.



## 2 Popis návrhu

V mé práci se budu zabývat návrhem samostatné VtE (tvořené jednou jednotkou - jedna větrná turbína). V průběhu celého návrhu budu používat mnoho zjednodušených teoretických podmínek, pomocí kterých se pokusím přiblížit a obsáhnout vše, co k návrhu VtE patří.

Pro můj návrh jsem zvolil turbínu s axiálním stupněm, která dominuje ve světě i u nás a je používána u většiny VtE a větrných farem. Konkrétní použitá jednotka bude od firmy Vestas, typ V52 (tato jednotka je například použita u VtE v Březanech v okrese Znojmo). Dánská firma Vestas je globální energetická firma zabývající se exkluzivně větrnou energií. Jednotka V52 je používána na mnoha místech nejen v Evropě, ale i na jiných kontinentech. Je známá pro svou jednoduchost a spolehlivost - z tohoto důvodu jich firma Vestas postavila například 58 i v Číně<sup>9</sup>.

### 2.1 Větrná jednotka V52

Shrnutí:

Jednotka V52 je tvořena sloupem vysokým okolo 75 metrů. Rotor motoru je tvořen vrtulí o třech lopatkách. Průměr rotoru je 52 metrů. Jednotka má jmenovitý výkon 850 kW. Následující informace jsou poskytnuty přímo výrobcem větrné jednotky<sup>10</sup>.

Celkové informace:

Výrobce: Dánská firma Vestas

Jmenovitý výkon: 850 kW

Průměr rotoru (vrtule): 52 m

Výška stožáru: 65 - 86 m

Váha: 109 až 143 tun

Minimální rychlost rotoru: 14 ot.min<sup>-1</sup>

Maximální rychlost rotoru: 31,4 ot.min<sup>-1</sup>

Rozběhová rychlost větru: 4 m.s<sup>-1</sup>

---

<sup>9</sup> Vestas: Dánská firma zabývající se větrnou energetikou [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://www.vestas.com/>

<sup>10</sup> V52/850. Trh pro větrnou energetiku [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: [http://www.thewindpower.net/turbine\\_en\\_27\\_vestas\\_v52-850.php](http://www.thewindpower.net/turbine_en_27_vestas_v52-850.php)





Jmenovitá rychlost větru:  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Maximální rychlost větru:  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Převodovka: 3 rychlosti

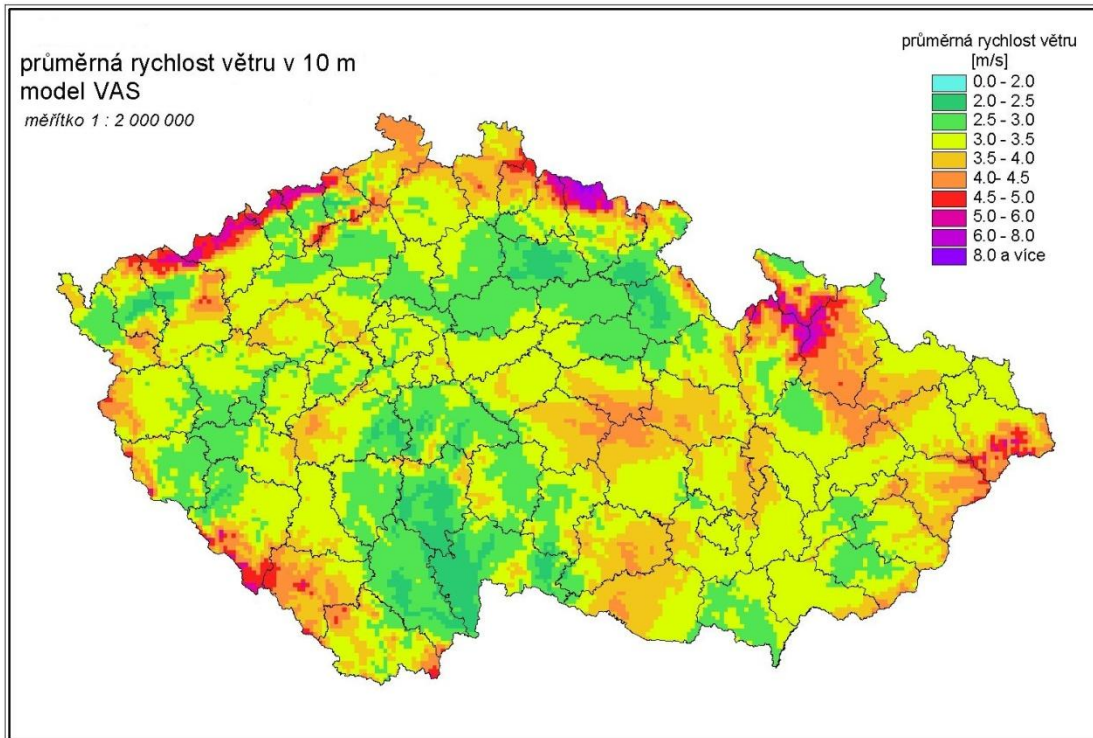
Generátor: asynchronní s vinutím na rotoru, které je vyvedeno na kroužky



## 2.2 Místo, ideální lokalita

Při posuzování místa a ideální lokality pro výstavbu VtE je důležité zohlednit mnoho faktorů. Lokalita musí odpovídat legislativním omezením a pravidlům a stejně tak musí být zajištěno, že VtE nebude mít rozsáhlé negativní vlivy na spokojenost a pohodlí lidí v okolí stavby.

Úspěšný provoz VtE bude samozřejmě předně záviset na dostatečně silném (a ideálně stálém) větru v lokalitě stavby. Jak již bylo zmíněno, v České republice tvoří větrné elektrárny z celkové vyrobené a využití energie jen velmi malé procento. Jeden z hlavních důvodů, proč tomu tak je, jsou velmi slabé povětrnostní podmínky. Následující obrázek znázorňuje sílu větru v různých místech České republiky. Větrná mapa byla vypracována ÚFA AV ČR, v.v.i..



Obr. 2 - Větrná mapa ČR znázorňující průměrnou rychlost větru v 10 m<sup>11</sup>

Obecně se dá říci, že pro relativně efektivní provoz větrné elektrárny je potřeba rychlost větru vyšší než  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rozběhová rychlost naší turbíny je  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a jmenovitá je

<sup>11</sup> Větrná mapa ČR: průměrná rychlost větru v 10 m. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, V.V.I. [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/web-old/vetrna-energie/doc/vav/priloha02.jpg>



16 m.s<sup>-1</sup>. Jasně lze vidět, že nejlepší podmínky pro výstavbu větrné elektrárny jsou v horských oblastech České republiky (zde je nejsilnější vítr).

Přímořské země mají narozdíl od České republiky značnou výhodu. Vítr na moři či oceánu není tolik blokován jako je na zemi (stromy, budovy, hory, nerovný terén, atd.). Toto způsobuje dělení větrných elektráren na onshore a offshore elektrárny (onshore z anglického: na břehu a offshore z anglického: mimo břeh). Pokud vezmeme celkovou vyrobenou větrnou elektrickou energii ve světě, tak větší podíl budou mít větrné elektrárny mimo břeh.

Pro můj teoretický návrh zvolíme místem stavby Jizerské hory, konkrétně místo poblíž vesnice Sklenařice (konkrétně vyvýšená planina či louka) u Špindlerova mlýnu. Z údajů ÚFA AV ČR, v.v.i., který měřil a modeloval průměrné rychlosti větru v ČR metodami VAS a WASP (hybridní model těchto dvou metod) víme, že průměrná rychlost větru v naší lokalitě je přibližně 5 m.s<sup>-1</sup>. Metoda VAS využívá meteorologická měření z míst spolu se souřadnicemi daného místa. To jsou pak hodnoty jisté funkce, pomocí které dopočítáme hodnoty v jiných místech. Metoda WASP modeluje proudění vzduchu v atmosféře. Zároveň jsem sám v dané lokalitě provedl ve třech dnech měření pomocí anemometru a danou hodnotu ověřil (rychlost větru v těchto třech dnech byla 3,5 m.s<sup>-1</sup>, 4,8 m.s<sup>-1</sup> a 4,6 m.s<sup>-1</sup>, což by mohlo odpovídat průměrné rychlosti 5 m.s<sup>-1</sup>). Mnou provedené měření samozřejmě nebylo provedeno po dostatečně dlouhou dobu a dostatečně přesnými přístroji, aby mohlo být bráno jako relevantní. Všechny použité rychlosti větru budou tedy vycházet z dat ÚFA AV ČR, v.v.i. a z teoretických zidealizovaných předpokladů. Důležité je také podotknout, že všechna měření jsou prováděna v teoretické výšce 10 metrů.

Pro zjednodušení celého návrhu budeme uvažovat rychlost větru jako 5 m.s<sup>-1</sup> ve výšce 10 m.

Tuto rychlost větru je nyní nutné přepočítat. Je nutné zjistit, jaká bude rychlost větru ve výšce rotoru mé elektrárny. K tomuto výpočtu slouží vzorec 1.0<sup>12</sup>.

$$v_w(h) = v_{10} \left( \frac{h}{h_{10}} \right)^a \quad [\text{m.s}^{-1}; \text{metr}; -] \quad (1.0)$$

kde:

$v_w(h)$  = rychlost větru ve výšce rotoru (výška h)

$v_{10}$  = rychlost větru ve výšce 10 metrů

$h_{10}$  = 10 metrů

---

<sup>12</sup> RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01563-7. Str. 21.



$\alpha$  = třída drsnosti povrchu země nebo také Hellmannův exponent, který určuje následující tabulka:

Tab. 2 - Hodnota Hellmannova exponentu pro různý charakter krajiny

třída drsnosti	charakter krajiny	a
0	otevřené pobřeží bez jakýkoliv překážek s větrem směřujícím k pobřeží	0,12
1	otevřená krajina s ojedinělými volně stojícími keři a stromy (pobřeží, prémie)	0,15
2	zemědělská krajina s rozptýlenými budovami a křovinami	0,18
3	uzavřená krajina s porostem stromů, mnoha křovinami a sousedícími budovami	0,24

Lokalitu pro stavbu jsme zařadili do třídy drsnosti 2 - zemědělská krajina s rozptýlenými budovami a křovinami. Sloup bude mít výšku 86 metrů. Pro tyto parametry vychází průměrná rychlost větru ve výšce rotoru  $7,37 \text{ m.s}^{-1}$ .

Dalším důležitým faktorem pro výstavbu bude zajištění přístupu k pozemku. Veškeré přístupové cesty budou muset být vybudovány a započítány do nákladů. VtE se zároveň musí nacházet alespoň 0,5 km od nejbližšího obydlí a pozemek nesmí být umístěn na chráněném území jako jsou CHKO nebo NP. Mezi další faktory pro výběr lokality stavby patří také například ohrožení bleskem a nízká teplota - v takových případech hrozí námraza, která může způsobit nerovnoměrné zatížení lopatek rotoru. Zároveň by se měly zohledňovat přelety ptactva či hluk, který může elektrárna způsobit v obydlených oblastech (tyto body dále viz ekologické hledisko a dopad na životní prostředí).

## 2.3 Sloup, základy, konstrukční řešení

Před samotným začátkem stavby se musí prozkoumat zemina, která pozemek tvoří. VtE bude mít výšku 86 metrů a proto je velmi citlivá na jakékoliv vychýlení od svislice. V případě mého pozemku budu předpokládat zidealizované podmínky a možnost vychýlení způsobené zeminou zanedbám.

Na pozemku, kde se bude stavět, se v první fázi musí, jak již bylo zmíněno, vybudovat přístupové cesty (v případě mé elektrárny štěrkovaná cesta), které umožňují přístup těžší technice jako jsou nákladní auta či jeřáb. Zároveň budou tyto cesty v budoucnu zajišťovat přístup pro údržbu či opravy VtE. V této fázi se také upravuje a připravuje pozemek tak, aby bylo možné umístit základy a následně samotnou VtE.

V druhé fázi stavby se bude budovat základ VtE, který je tvořen betonovým podstavcem. Ten má čtvercový půdorys o rozměrech přibližně 15 na 15 m a výšku



přibližně 2 m. Slouží nejenom jako základ pro VtE, ale také jako zarovnání povrchu. Je vyztužen ocelovými pruty a jsou v něm vyvrtány díry pro umístění a vedení rozvodných kabelů. V jeho středu je usazen ocelový kruh – fundament. V něm jsou samozřejmě také otvory pro kabely a pro ocelové pruty. Fundament musí být osazen s přesností na několik milimetrů. Pro zajištění vodorovné polohy se u fundamentu používají speciální šrouby<sup>13</sup>.



*Obr. 3 - Hotový betonový základ větrné elektrárny (fundament ve středu betonu)<sup>14</sup>*

Poslední fáze stavby bude vztyčení sloupu samotné VtE a jeho osazení gondolou s třílistovým rotorem. Samotný sloup je klasicky rozdělen na několik částí. Pro moji jednotku jsou to tři části. Spodní část se nazývá základna a tvoří půlku hmotnosti celého sloupu, což je přibližně 100 t. Všechny tři části se postupně po jedné staví na sebe pomocí vysokozdvížného jeřábu. I přes to, že tato fáze práce zabere většinou jen asi 4 dny, často u ní vznikají problémy. Asi hlavním problémem je, že sloup se nedá stavět za silného

---

<sup>13</sup> Betonový základ. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/Betonovy-zaklad/305>

<sup>14</sup> Hotový železobetonový základ. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/Betonovy-zaklad/305>

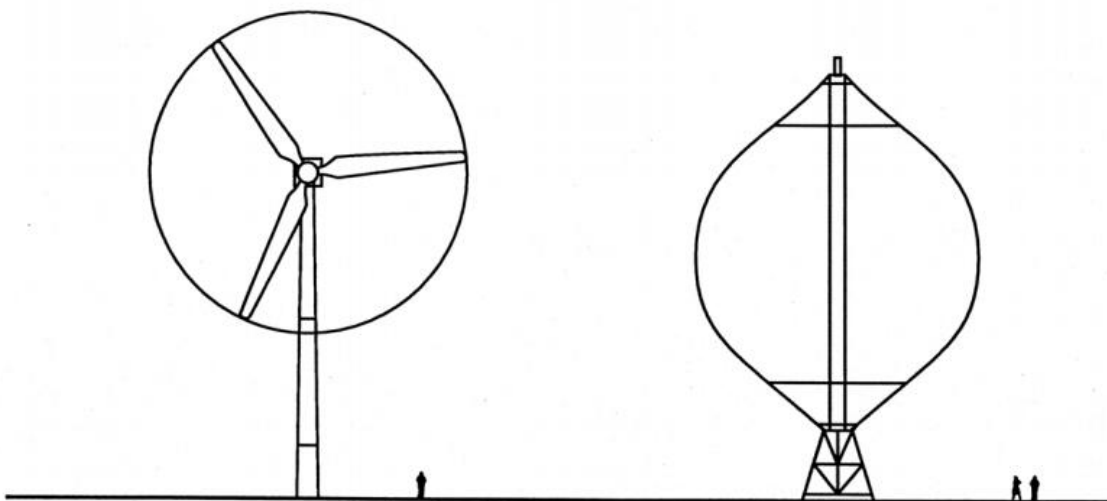


větru. Dalším problémem může být například déšť. Po vztyčení sloupu se na vrchol umístí gondola a na tu se připevní rotor. Rotor bude nejprve osazen na zemi listy a až poté následně vyzdvižen do výšky a připevněn.

Celá VtE bude řízena a monitorována řídicí jednotkou, která je realizována pomocí mikroprocesorů. Je umístěna v gondole a řídicí panel je uvnitř dole u základů. Vnitřek sloupu bude zároveň dutý a bude se skrz něj moci lézt nahoru ke gondole. K té bude nutný přístup kvůli údržbě. Rozvodné kabely budou umístěny pod řídicím panelem.

## 2.4 Turbína - rotor

Hlavní část větrné elektrárny (či konkrétně větrného generátoru) tvoří větrná turbína. V principu jsou známy dva základní druhy turbín: vertikální a horizontální. Název vyplývá z polohy osy otáčení dané turbíny. Vertikální turbíně se ve zkratce říká VAWT (vertical axis wind turbine) a horizontální se říká HAWT (horizontal axis wind turbine).



Obr. 4 - Dva typy turbín (vlevo HAWT, vpravo VAWT)<sup>15</sup>

V mém návrhu používáme již zmiňovaný vertikální stupeň turbíny (ta se používá ve většině případů u větších větrných elektrárn).

Výhodou horizontálního stupně elektrárny je, že dokáže využít vítr ze všech stran, zatímco vertikální elektrárna používá vítr pouze z jednoho směru. To ji činí ideální pro místa s velmi proměnlivými směry foukání. Další výhodou je její menší velikost, často je

<sup>15</sup> Technologie větru. *Online archiv článků o větrné energetice* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: [http://www.wind-works.org/cms/fileadmin/user\\_upload/Files/presentations/Wind-101/Wind\\_101-half-6\\_Technology\\_01.pdf](http://www.wind-works.org/cms/fileadmin/user_upload/Files/presentations/Wind-101/Wind_101-half-6_Technology_01.pdf)



využívána na střechách budov a v obydenějších oblastech. Její účinnost ale bohužel kolísá za horizontální elektrárnou, protože ať už vítr fouká z kteréhokoliv směru, do roztáčení rotoru se nikdy nezapojí všechny lopatky rotoru jako je tomu u horizontální elektrárny. Poslední důležitá výhoda, která je spojena s její menší velikostí, je finanční - ušetří se za materiál. Všechny tyto faktory vyústily k dnešní situaci, kde se u většiny větších větrných elektráren či farem kdekoliv ve světě používá horizontální typ větrných generátorů.

Rotor větrné elektrárny Vestas V52 je tvořen vrtulí o průměru 52 metrů, která má tři listy (nazývané také lopatky). V dnešní době se preferuje trojlístá konstrukce větrných rotorů oproti dvěma listům využívaným dříve. Nutnost použití pouze dvou listů u rotorů vyplývalo z velké hmotnosti zastaralejších rotorů. Obecně platí, že čím více listů, tím více ploch, do kterých se může opřít vítr a lépe rotor roztočit, musíme ale zároveň uvažovat, že listy blokují proudění vzduchu, což způsobuje ztráty. Čtyři listy by opravdu byly o něco více účinnější než tři, ale kvůli zvýšení hmotnosti a nákladů za materiály nebo stavbu se nevyplatí.

Z těchto důvodů se univerzálně došlo k používání třílístého rotoru u většiny dnešních větrných elektráren.

Rotor o třech listech je při stavbě složen na zemi, v celku potom zdvihnut jeřábem a následně připevněn ke gondole. Pro lepší přepravu se každý list dá rozložit na dva díly.

Rotor elektrárny V52 je vybaven jednotkou OptiTip (jednotka, kterou má každá elektrárna firmy Vestas). Toto zařízení umožňuje lépe natáčet listy rotoru. Tím je možno regulovat otáčky elektrárny (při silném větru brání tento systém poškození elektrárny). Samotná regulace natočení je prováděna pomocí hydraulického systému zabudovaného v gondole elektrárny. Systém OptiTip představuje mikroprocesory, které samy dokáží dle potřeby natáčet listy rotoru, aby byl vždy zajištěn optimální výkon.

Další funkcí, kterou jednotka V52 disponuje, je OptiSpeed. Tento systém umožňuje celé VtE lépe ovládat a řídit otáčky rotoru. OptiSpeed je funkce, kterou je vybaven čtyřpólový asynchronní generátor, kterým je jednotka V52 vybavena<sup>16</sup>.

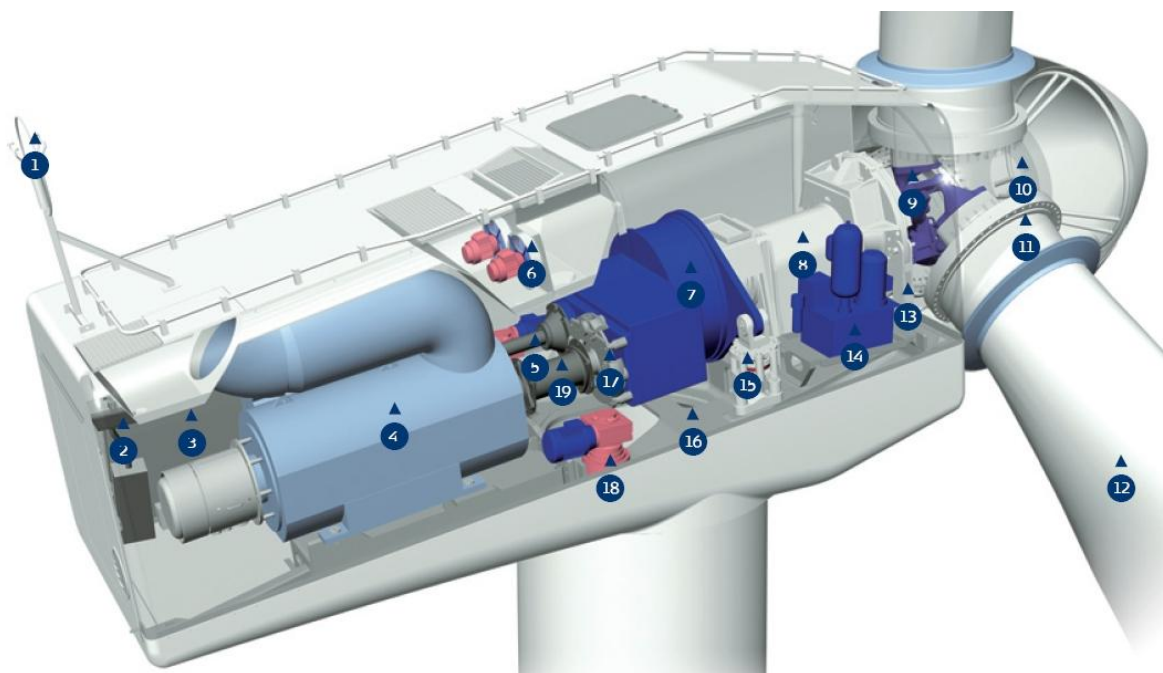
---

<sup>16</sup> Katalog poskytnutý výrobcem Vesta k elektrárně V52/850 kW. *Stránky Čínské vlády* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: [http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_1242006/html/EIA\\_Report/Annex%20A3.3.pdf](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/EIA_Report/Annex%20A3.3.pdf)



## 2.5 Gondola, vnitřek elektrárny

Gondola elektrárny je horní část větrné elektrárny (obrazně řečeno je to konec sloupu). Je k ní připojen rotor (turbína). Následný schématický obrázek gondoly pro elektrárnu V52/850 kW byl převzat z katalogu výrobce Vestas<sup>17</sup>.



Obr. 5 - Provedení a vnitřek gondoly u Vestas V52<sup>18</sup>

1. Anemometr fungující na principu ultrazvuku (starší typy větrných elektráren mají mechanické anemometry)
2. Jeřáb pro údržbu
3. Kontrolní a řídicí jednotka
4. Generátor větrné elektrárny - asynchronní generátor s vinutím na rotoru vyvedeným na kroužky
5. Válec pro natáčení jednotlivých listů rotoru
6. Olejové a vodní chladiče

<sup>17</sup> Vestas: Dánská firma zabývající se větrnou energetikou [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://www.vestas.com/>

<sup>18</sup> Katalog poskytnutý výrobcem Vesta k elektrárně V52/850 kW. Stránky Čínské vlády [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: [http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_1242006/html/EIA\\_Report/Annex%20A3.3.pdf](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/EIA_Report/Annex%20A3.3.pdf)





7. Převodovka o 3 rychlostech
8. Hlavní otáčecí hřídel
9. Systém natáčení listů rotoru pro regulaci rychlosti a pro zabránění poškození při velkých rychlostech větru
10. Rozbočka pro listy (základna rotoru)
11. Uložení listu (ložisko)
12. List (lopatka, čepel)
13. Systém pro zamknutí a znehybnění rotoru
14. Hydraulický systém
15. Rameno pro točivý moment
16. Základ celého zařízení
17. Mechanická kotoučová brzda
18. Zde je umožněno otáčet celou gondolu i s rotorem dokola v plném kruhu 360 stupňů, díky čemuž fouká vítr vždy kolmo na listy rotoru.
19. Spojka převodovky, disky z kompozitního materiálu na sobě

Je vidět, že gondola Vestas V52 neobsahuje pouze základní části jako je rotor, generátor a převodovka, ale spoustu dalších kontrolních, chladících a bezpečnostních prvků.

Jednou z nejdůležitějších částí je generátor, pro elektrárnu Vestas V52 je to asynchronní generátor s vinutím na rotoru, které je vyvedeno na kroužky. Generátor je, jak již bylo zmíněno, vybaven speciálním systémem OptiSpeed. Kombinací této funkce společně se systémem OptiTip (které jsou obsaženy ve většině elektráren od firmy Vestas) můžeme lépe kontrolovat a ovládat otáčky rotoru a natočení listů, což umožňuje celkově zvednout účinnost VtE.

U starších typů elektráren se moment rotoru předával na generátor přímo bez převodovky, což způsobovalo generování střídavého proudu o velmi vysoké frekvenci. To mělo za následek, že bylo třeba převést tento střídavý proud na stejnosměrný a pak opět na střídavý již o správné frekvenci 50 Hz. Pro představu je níže schématický obrázek. Elektrárna Vestas V52 má zabudovanou třístupňovou planetovou převodovku, což umožňuje přímou výrobu proudu o frekvenci 50 Hz bez použití měničů.

Firma Vestas udává pro elektrárnu V52 operační data 690 V a frekvenci 50 Hz nebo 60 Hz (elektrárna je dovážena i do USA - tam ale není možné instalovat systém OptiSpeed umožňující lepší kontrolu otáček)<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Katalog poskytnutý výrobcem Vesta k elektrárně V52/850 kW. *Stránky Čínské vlády* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: [http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_1242006/html/EIA\\_Report/Annex%20A3.3.pdf](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/EIA_Report/Annex%20A3.3.pdf)



## 2.6 Přifázování

Moje elektrárna bude vyrábět elektřinu pro napájení sítě. Proto je jedním z klíčových předpokladů připojení VtE k distribuční soustavě. Je nutné podat žádost o připojení k distribuční soustavě. Na tu potom odpovídá provozovatel distribuční sítě a vydává stanovisko o připojení VtE k elektrizační soustavě. Budu předpokládat obdržení daného stanoviska, který mi zajistí rezervovaný výkon odpovídající výkonu mojí elektrárny.

Provozovatel distribuční soustavy se musí ujistit, že daná VtE je připojitelná. V dnešní době je běžné, že na jednu linku 22 kV je možné napojit maximálně 6 MW instalovaného výkonu VtE. Tím je linka obsazená. Jedna linka 22 kV měří běžně 20 km. Tento problém je velmi patrný v lokalitách, které jsou ideální a známé pro možnost výstavby VtE. V mém teoretické návrhu budu předpokládat dostatečné místo na lince pro připojení mé VtE<sup>20</sup>.

Pro připojení na přenosovou soustavu v ČR musí elektrárna dodržovat napětí 230 V a frekvenci 50 Hz. To má za následek udržování konstantní rychlosti otáček i přes proměnlivý vítr. To je u modelu V52 umožněno pomocí nastavitelného natočení lopatek, funkcí OptiSpeed, OptiTip a pomocí převodovky.

Elektrárna bude napojena na vysoké napětí (22 kV), které bude vedeno v zemi. Napětí z asynchronního generátoru bude mít správnou frekvenci 50 Hz a zároveň bude uvnitř elektrárny transformováno na 22 kV.

## 2.7 Výkon, výroba

Žádný energetický zdroj není tak nestálý a proměnlivý jako právě vítr. To je dnes jedním z hlavních problémů pro inženýry, kteří navrhují VtE. Kolísání větru způsobuje, že se rychlost neustále mění a to mnohdy ve velmi krátkých časových intervalech. Rychlost větru a její kolísání v průběhu roku je nutné určit pomocí měření a matematických modelů.

Po celé ČR jsou umístěny stanice, které měří rychlosti větru v průběhu roku (většinou v intervalech vždy po jedné hodině – 8 760 údajů za rok). Na základě těchto údajů lze potom pomocí matematických modelů určit a sestavit četnost výskytu jednotlivých rychlostí větru v průběhu roku v různých lokalitách. Pro přesnější měření lze provádět měření rychlosti větru po dobu alespoň jednoho roku přímo v lokalitě dané stavby<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> ZAJÍČEK, Miroslav a Karel ZEMAN. *Ekonomické dopady výstavby fotovoltaických a větrných elektráren v ČR: odborná studie*. Praha: Oeconomica, 2010. ISBN 978-80-245-1687-5. Str. 21.

<sup>21</sup> RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01563-7. Str. 15.



Při použití získané četnosti výskytu rychlostí větru v dané lokalitě spolu s výkonovou křivkou dané elektrárny mohou přibližně určit roční výrobu této elektrárny. Zatím vím, že průměrná rychlost větru ve výšce rotoru (86 m) v dané lokalitě je  $7,37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 2.7.1 Výkonová křivka jednotky Vestas V52

V roce 1919 publikoval Albert Betz takzvané Betzovo pravidlo, které určuje, jaká maximální energie lze získat z větru pomocí točivého mechanického stroje. Díky tomuto pravidlu víme a obecně lze říci, že práce předaná větrné elektrárně je úměrná třetí mocnině rychlosti větru a hustotě vzduchu. Z Betzova pravidla vyplývá z rovnice 2.0.

$$E = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad [\text{J}; \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}; \text{m}^2; \text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (2.0)$$

kde:

$E$  = energie, kterou vítr předá rotoru, v Joulech

$S$  = průřez pomyslného rotoru v  $\text{m}^2$

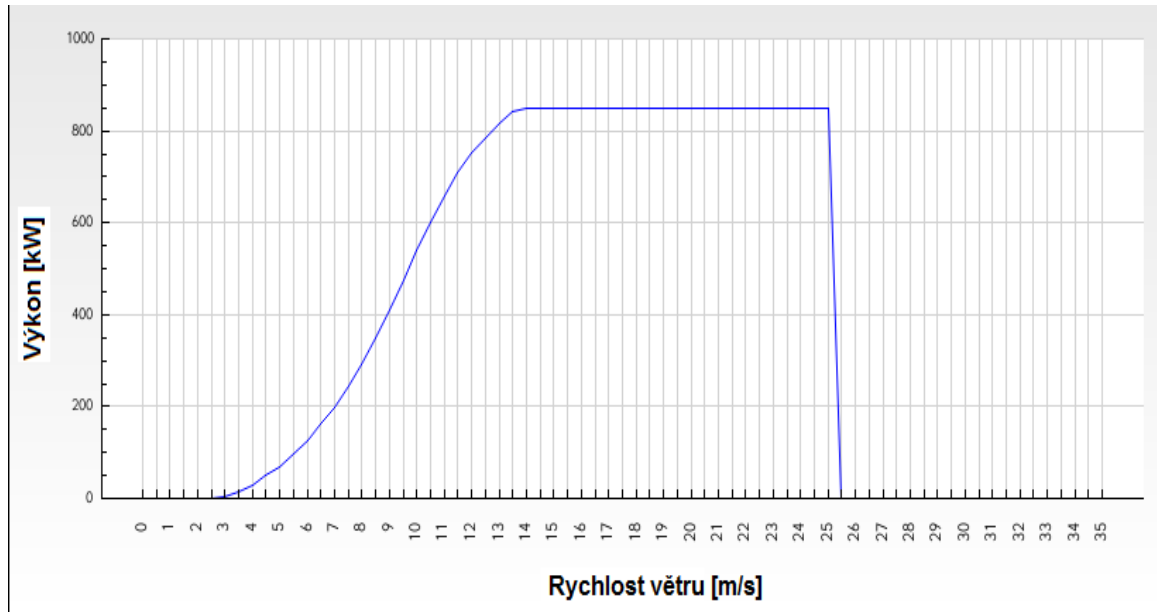
$\rho$  = hustota vzduchu v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

$v$  = rychlost větru v  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Betzovo pravidlo je jedna ze základních rovnic používána pro výpočty u větrných elektráren. Je důležité zdůraznit, že takto vypočtená energie je pouze teoretická a předpokládá úplné zastavení větru a předání veškeré jeho energie lopatkám rotoru  $VtE$ . Reálně se samozřejmě vítr pouze zpomalí po průchodu přes lopatky rotoru a nezastaví.



Pro můj návrh je důležitá výkonová křivka samotné elektrárny Vestas V52, která je poskytnuta Dánskou firmou Vestas (a která vychází z Betzova pravidla).



Obr. 6 - Výkonová křivka jednotky Vestas V52<sup>22</sup>

Z grafu lze vidět, jaký je výkon elektrárny V52 v závislosti na momentální rychlosti větru (jasně lze zde vidět rozběhovou rychlost větru  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a maximální rychlost větru  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

## 2.7.2 Četnost výskytu rychlostí větru odpovídající Weibullovu rozdělení

Naměřené četnostní rozdělení rychlostí větru bývá často ve větrné energetice nahrazováno takzvaným Weibullovým rozdělením pravděpodobnosti. Pro potřeby mé práce a z důvodu nedostatku dat použiji ve své práci při návrhu mé VtE odhadnutou četnost rozdělení rychlostí větru v průběhu roku, která bude vycházet z Weibullova rozdělení pravděpodobnosti a přibližně z mnou určené průměrné rychlosti větru  $7,37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ve výšce rotoru (86 m) v mé lokalitě (viz kapitola 2.2).

<sup>22</sup> V52/850. *Trh pro větrnou energetiku* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: [http://www.thewindpower.net/turbine\\_en\\_27\\_vestas\\_v52-850.php](http://www.thewindpower.net/turbine_en_27_vestas_v52-850.php)



Hustotu pravděpodobnosti Weibullova rozdělení lze vyjádřit rovnicí 2.1<sup>23</sup>.

$$f(x) = \frac{bx^{b-1}}{a^b} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right] \quad [-] \quad (2.1)$$

kde:

$b$  = bezrozměrný tvarový součinitel (nabývá obvykle hodnot mezi 1,5 a 3)

$a$  = bezrozměrný součinitel určující polohu maxima, který souvisí s průměrnou rychlostí rovnicí 2.2.

$$v^p = 0,88 a \quad [\text{m.s}^{-1}; -] \quad (2.2)$$

kde:

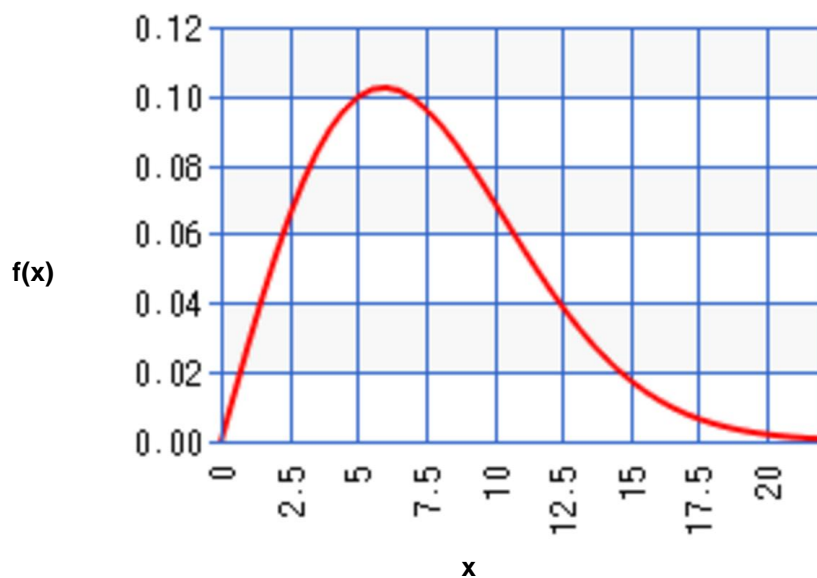
$v^p$  = průměrná rychlost větru v mojí lokalitě v  $\text{m.s}^{-1}$

---

<sup>23</sup> RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01563-7. Str. 19.



Po dosažení průměrné rychlosti větru  $7,37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  vychází součinitel  $a = 8,375$ . Pro tuto hodnotu součinitele  $a$  a pro zvolenou hodnotu součinitele  $b = 2$  můžeme pozorovat Weibullovo rozdělení na obrázku 7.

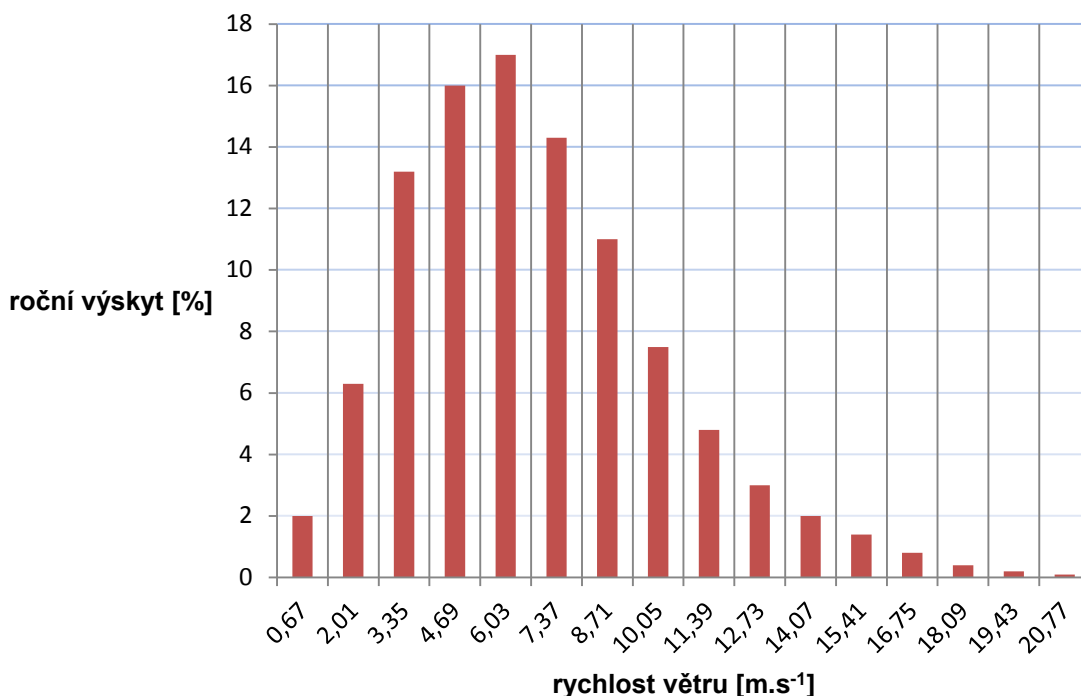


Obr. 7 - Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Online kalkulačka keisan pro výpočet Weibullova rozdělení pravděpodobnosti [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://keisan.casio.com/exec/system/1180573173>



Přechodzímu Weibullovu rozdělení z obrázku 7 bude nyní přibližně odpovídat odhadnuté četnostní rozdělení rychlostí větru pro mou elektrárnu na obrázku 8.



Obr. 8 - Četnost výskytu rychlostí větru pro moji elektrárnu

Z grafu četností výskytu rychlostí větru jasně vidím, jak bude foukat v průběhu roku, z čehož bude možné následně vypočítat ročně vyrobenou energii mojí VtE. Prozatím sestavím tabulku výskytu jednotlivých rychlostí větru v průběhu roku, viz tabulka 3.

Tab. 3 - Četnost výskytu jednotlivých rychlostí větru v průběhu roku

<b>výskyt větru [dny]</b>	7,3	22,995	48,18	58,4	62,05	52,195	40,15	27,375
<b>rychlost větru [m.s<sup>-1</sup>]</b>	0,67	2,01	3,35	4,69	6,03	7,37	8,71	10,05
	17,52	10,95	7,3	5,11	2,92	1,46	0,73	0,365
	11,39	12,73	14,07	15,41	16,75	18,09	19,43	20,77

Je nutné podotknout, že Weibullovo rozdělení pravděpodobností nepočítá doby bezvětrí neboť při nulové rychlosti větru je četnost rovněž nula. Z tohoto důvodu je celé určení výskytu různých rychlostí větru v průběhu roku v mé lokalitě zatíženo značnou chybou.



### 2.7.3 Výpočet roční vyrobené energie na základě výkonové křivky a četnosti rychlostí větru, efektivnost větrných elektráren

Pomocí výsledků z předchozích dvou kapitol můžu nyní sestavit tabulku a vypočítat roční vyrobenou energii mé VtE. Víím, jak silně a jak často fouká v průběhu roku a díky výkonové křivce mohu každé rychlosti větru přiřadit výkon. Kvůli rozběhové rychlosti jednotky V52, která je  $4 \text{ m.s}^{-1}$ , musím ve výpočtu vynechat všechny rychlosti větru pod a okolo této hodnoty. V následující tabulce uvažuji rychlosti od  $6 \text{ m.s}^{-1}$  a výše a pomocí rovnice 2.3 spočítám vyrobenou energii pro různé rychlosti větru.

$$E = T_v * P \quad [\text{MWh}; \text{rok}; \text{MW}] \quad (2.3)$$

kde:

$E$  = vyrobená energie v MWh

$T_v$  = výskyt dané rychlosti větru v průběhu roku v hodinách

$P$  = výkon VtE V52 při dané rychlosti větru v MW

Tab. 4 - Výpočet celkové roční vyrobené energie

výskyt [dny]	rychlost [ $\text{m.s}^{-1}$ ]	výkon [kW]	energie [MWh]
62,05	6,03	123	183,2
52,195	7,37	204	255,5
40,15	8,71	338	325,7
27,375	10,05	510	335,1
17,52	11,39	623	262,0
10,95	12,73	740	194,5
7,3	14,07	805	141,0
5,11	15,41	850	104,2
2,92	16,75	850	59,6
1,46	18,09	850	29,8
0,73	19,43	850	14,9
0,365	20,77	850	7,4
<b>Roční vyrobená energie [MWh]</b>			<b>1912,9</b>





Roční elektrická energie vyrobená mou jednotkou V52 je asi 1 912,9 MWh. Toto číslo je pravděpodobně zatíženo značnou chybou v důsledku mnoha předpokladů a zjednodušení při jeho výpočtu.

Pro představu o efektivnosti VtE se dnes používá a počítá takzvané využití výkonu větrných elektráren. K jeho vypočtení slouží rovnice 2.4.

$$k_r = \frac{E_r}{P_{inst}t_r} \quad [ - ; \text{MWh}; \text{MW}; \text{hodina} ] \quad (2.4)$$

kde:

$k_r$  = koeficient ročního využití výkonu

$E_r$  = roční vyrobená energie VtE v MWh

$P_{inst}$  = instalovaný výkon VtE v MW

$t_r$  = délka roku v hodinách

Po dosazení 1912,9 MWh za roční vyrobenou energii a 0,850 MW za instalovaný výkon vychází koeficient ročního využití výkonu přibližně 0,257, čili 25,7 %.

Tento koeficient se u většiny elektráren pohybuje okolo 20 % nebo mírně nad touto hodnotou. U mnoho modernějších VtE se potom pohybuje okolo 25 %, což je číslo, které odpovídá přibližně i mému výsledku<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> Roční využití výkonu větrných elektráren v ČR. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetna-energie/11077-rocni-vyuziti-vykonu-vetnych-elektraren-v-ceske-republice>



### 3 Ekonomické vyhodnocení

V současné době se v ČR nedá mluvit o konkurenceschopnosti VtE proti klasickým zdrojům. Hlavní příčinou je pravděpodobně nízké využití instalovaného výkonu VtE kvůli nízkým rychlostem větru, které se na území ČR vyskytují. Nízké využití instalovaného výkonu lze vidět i na mém návrhu jednotky V52.

Vyšší konkurenceschopnosti se v ČR dosahuje pomocí povinných výkupních cen elektřiny z obnovitelných zdrojů stanovené ERÚ a pomocí zelených bonusů. Ty v posledních letech klesají. Takže zatímco pro rok 2015 byla výkupní cena stanovena na 1 980 Kč za MWh, tak v roce 2016 byla navržena na 1930 Kč za MWh (včetně DPH). Roční zelený bonus pro rok 2016 byl navržen na 1430 Kč za MWh<sup>26</sup>.

Při vypracovávání ekonomického vyhodnocení budou důležité tyto následující základní parametry: instalovaný výkon VtE 850 kW, roční výroba VtE 1912,9 MWh a roční spotřeba paliva, což je u mé VtE samozřejmě 0 (viz kapitola 4.1 - výpočet rozdílu emisí oproti spalovací elektrárně).

---

<sup>26</sup> Návrh cenového rozhodnutí ERÚ: Podpora pro obnovitelné zdroje. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462896/CR\\_X\\_2015\\_n%C3%A1vrh/3d31b437-0b1f-431c-b12e-4c79be45138d](https://www.eru.cz/documents/10540/462896/CR_X_2015_n%C3%A1vrh/3d31b437-0b1f-431c-b12e-4c79be45138d)



Při výpočtu reálné doby návratnosti (kapitola 3.2), čisté současné hodnoty (kapitola 3.4) a vnitřního výnosového procenta byl použit finanční kalkulátor:

Základní parametry investice										
Doba životnosti projektu	15 [počet let] ???									
Celková investice do zařízení	30000000 [Kč] ???									
Úvěr nutný pro pořízení zařízení ???										
Úvěr (vypůjčená částka)	0 [Kč]									
Úroková sazba	0 [%]									
Doba splácení úvěru	0 [počet let]									
Roční výnos z provozovaného zařízení ???										
Roční výnos z pořízovaného zařízení	3691897 [Kč]									
Roční změna výnosu z pořízovaného zařízení	0 [%]									
Roční náklady na provoz pořízovaného zařízení ???										
	<table border="1"><thead><tr><th></th><th>Roční náklady [Kč]</th><th>Roční změna nákladů [%]</th></tr></thead><tbody><tr><td>č. 1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>č. 2</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>		Roční náklady [Kč]	Roční změna nákladů [%]	č. 1	0	0	č. 2	0	0
	Roční náklady [Kč]	Roční změna nákladů [%]								
č. 1	0	0								
č. 2	0	0								
Doplňkové parametry investice										
Diskont - výnos alternativní investice	1 % ???									
Bude se danit zisk z projektu? ???	<input checked="" type="radio"/> Ne <input type="radio"/> Ano									

Obr. 9 - Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické efektivnosti investice<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financi-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>



### 3.1 Prostá doba návratnosti

Při výpočtu prosté doby návratnosti budu určovat dobu splacení investice. Celkové náklady na výstavbu, dopravu a zřízení větrné elektrárny Vestas V52 v oblasti Sklenařice lze stanovit na hrubou částku 30 milionů korun (bez DPH).

Aniž bychom uvažovali zelené bonusy, tak výkupní cena stanovená Energetickým regulačním úřadem pro rok 2016 je 1930 Kč za MWh. Při výrobě 1 912,9 MWh za rok, výkupní ceně 1930 Kč za MWh (včetně DPH) a počáteční investici 30 000 000 Kč (bez DPH) můžeme prostou dobu návratnosti spočítat dle vzorců 3.0 a 3.1 (viz vyhláška 420/2012)<sup>28</sup>.

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad [\text{rok}; \text{Kč}; \text{Kč.rok}^{-1}] \quad (3.0)$$

kde:

$IN$  = počáteční investice v Kč

$CF$  = roční přínosy projektu v Kč.rok<sup>-1</sup>

$$CF = 1930 * 1912,9 \quad [\text{Kč.rok}^{-1}; \text{Kč.MWh}^{-1}; \text{MWh}] \quad (3.1)$$

Po dosazení čísel do rovnic vychází prostá doba návratnosti po zaokrouhlení  $T_s = 8 \text{ let.}$

### 3.2 Reálná doba návratnosti

Když se mluví o reálné době návratnosti, myslí se tím doba splacení investice při uvažování diskontní sazby. Diskontní sazba v mém případě zvažuje cenu ušlé příležitosti - co by se s investicí dalo provést, pokud by se nepoužila na výstavbu VtE.

Při stanovení diskontní sazby se podívám na úroky, které obecně poskytují banky při uložení peněz na spořicí účet. Zároveň by diskontní sazba měla obsahovat míru rizika, kterou výstavbou VtE investor podstupuje. Po zvážení těchto dvou faktorů jsem se rozhodl stanovit diskontní sazbu na 0,01 čili 1%.

---

<sup>28</sup> Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2012, číslo 420. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>



Pro výpočet reálné doby návratnosti slouží vzorec 3.2<sup>29</sup>.

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t (1+r)^{-t} - IN = 0 \quad [\text{rok}; \text{Kč.rok}^{-1}; -; \text{Kč}] \quad (3.2)$$

kde:

$r$  = diskontní sazba

$T_{sd}$  = reálná doba návratnosti v počtu let

Po dosazení a zaokrouhlení vychází diskontní doba návratnosti (reálná doba návratnosti)  $T_{sd} = 9 \text{ let}$ <sup>30</sup>.

### 3.3 Doba návratnosti při uvažování zelených bonusů

Zelený bonus za rok 2016 byl ERÚ navržen na 1430 Kč za MWh. Při uvážení výkupní ceny 1930 Kč za MWh (včetně DPH) a zeleného bonusu je dohromady roční výnos elektrárny vypočten z rovnice 3.3<sup>31</sup>.

$$CF_{szb} = 3360 * 1912,9 \quad [\text{Kč.rok}^{-1}; \text{Kč.MWh}^{-1}; \text{MWh}] \quad (3.3)$$

Následnou dobu návratnosti při uvažování zelených bonusů  $T_{szb}$  můžu spočítat z rovnice 3.4.

$$T_{szb} = \frac{IN}{CF_{szb}} \quad [\text{rok}; \text{Kč}; \text{Kč.rok}^{-1}] \quad (3.4)$$

Po dosazení čísel a zaokrouhlení vychází doba návratnosti při uvažování zelených bonusů  $T_{szb} = 4,7 \text{ let}$ .

<sup>29</sup> Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2012, číslo 420. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>

<sup>30</sup> Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>

<sup>31</sup> Návrh cenového rozhodnutí ERÚ: Podpora pro obnovitelné zdroje. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462896/CR\\_X\\_2015\\_n%C3%A1vrh/3d31b437-0b1f-431c-b12e-4c79be45138d](https://www.eru.cz/documents/10540/462896/CR_X_2015_n%C3%A1vrh/3d31b437-0b1f-431c-b12e-4c79be45138d)



### 3.4 Čistá současná hodnota

Při zvažování výnosnosti celého projektu a investice se používá čistá současná hodnota, která uvažuje i životnost celého projektu. Moje VtE má dle výrobce předpokládanou životnost 15 let. Pro výpočet čisté současné hodnoty se používá vzorec 3.5<sup>32</sup>.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} CF_t (1 + r)^{-t} - IN \quad [\text{Kč; rok; Kč.rok}^{-1}; -; \text{Kč}] \quad (3.5)$$

kde:

$NPV$  = čistá současná hodnota v Kč

$T_{\dot{z}}$  = doba životnosti projektu v počtu let

Po dosazení čísel vychází čistá současná hodnota stavby  $NPV = 21\ 188\ 346$  Kč<sup>33</sup>.

### 3.5 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento IRR (anglicky Internal Rate of Return) je v podstatě roční stálý výnos investice a uvádí se v procentech. Vypočítá se z rovnice 3.6<sup>34</sup>.

$$\sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} CF_t (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad [\text{rok; Kč.rok}^{-1}; -; \text{Kč}] \quad (3.6)$$

Po dosazení čísel a zaokrouhlení vychází vnitřní výnosové procento  $IRR = 9\ \%$ <sup>35</sup>.

---

<sup>32</sup> Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2012, číslo 420. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>

<sup>33</sup> Finanční kalkulačtor pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>

<sup>34</sup> Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2012, číslo 420. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>

<sup>35</sup> Finanční kalkulačtor pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>



## 4 Ekologické hledisko a dopad na životní prostředí

Jak již bylo naznačeno v předchozích kapitolách, s výstavbou a následným provozem VtE je spojeno mnoho dopadů jak na životní prostředí v okolí, tak na kvalitu a pohodlí života lidí žijících v okolí. V této kapitole budu popisovat hlavní dopady VtE a zabývat se jejich řešením v souvislosti s mojí elektrárnou. Mezi hlavní dopady lze zařadit: hluk, vliv na estetickou hodnotu krajiny a vliv na živočichy žijící v okolí VtE. Existuje samozřejmě i mnoho dalších vlivů a dopadů VtE, ty se pokusím shrnout do jedné obecné podkapitoly<sup>36</sup>.

### 4.1 Výpočet rozdílu emisí oproti spalovací elektrárně

Jedním z nejdůležitějších vlivů VtE je ušetření na emisích oproti spalovací elektrárně, která by vyráběla stejné množství energie. Pro představu o výhodě mé VtE bude v této kapitole uvedeno, o kolik se teoreticky sníží produkce znečišťujících látek při jejím provozu (kdyby daná výroba nahradila obecnou spalovací elektrárnu). Celý výpočet bude proveden dle vyhlášky 420/2012 Sb.<sup>37</sup>.

Pro tento výpočet budu uvažovat všeobecný emisní faktor hnědého uhlí, který je 0,36 t CO<sub>2</sub> na MWh výhřevnosti paliva. Pro výpočet emisí slouží rovnice 4.0.

$$Mn_{CO_2} = Ef_{hu} * E \quad [\text{tuna}; \text{CO}_2.\text{t.MWh}^{-1}; \text{MWh}] \quad (4.0)$$

kde:

$Mn_{CO_2}$  = množství emisí CO<sub>2</sub> v tunách

$Ef_{hu}$  = emisní faktor hnědého uhlí v tunách CO<sub>2</sub> na MWh vyrobené energie

$E$  = roční vyrobená energie VtE v MWh

Po dosazení 0,36 za emisní faktor a 1912,9 za roční vyrobenou energii VtE vychází množství emisí CO<sub>2</sub>  $Mn_{CO_2} = 688,644 \text{ t}$ .

<sup>36</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 86-95.

<sup>37</sup> Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2012, číslo 420. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>



Spalovací elektrárna, používající hnědé uhlí jako palivo, vyrábějící 1912,9 MWh energie ročně, by vyprodukovala přibližně 688,644 tun CO<sub>2</sub>, zatímco mnou vystavěná VtE vyprodukuje 0.

## 4.2 Hluk

Při zvažování hluku se musí posuzovat důležitý faktor - hygienický limit. Hygienické limity jsou hodnoty, které musí hluk splňovat, aby neměl významné škodlivé účinky na zdraví pracovníků a zaměstnanců VtE, i kdyby mu byli vystaveni po celý život. Kritickým časovým obdobím je noční doba mezi 22:00 a 7:00. V ČR je stanovení limitů hluku o něco přísnější než v EU. Noční limit je stanoven na 40 dB a denní limit je stanoven na 50 dB. Pro zjednodušení budu tedy uvažovat pouze noční přísnější limit a zvažím, zda-li ho má elektrárna překročit<sup>38</sup>.

Elektrárna Vestas V52 bude stát poblíž vesnice Sklenařice (v přibližné vzdálenosti 2 km od nejbližšího obydlí), kde žije okolo 200 obyvatel.

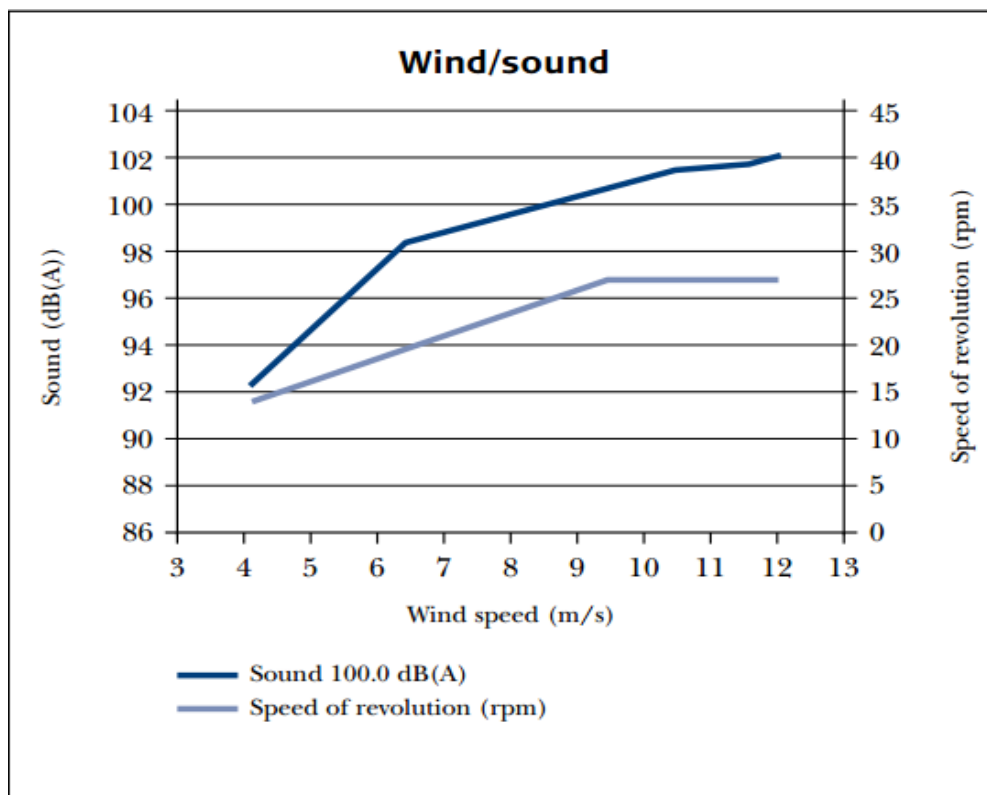
---

<sup>38</sup> Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací: Předpis. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2011, číslo 272. Dostupné také z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=272&r=2011>





Dle parametrů poskytnutých výrobcem (firma Vestas) dosahuje elektrárna V52 takovýchto hodnot hluku pro různé rychlosti větru:



Obr. 10 - Graf znázorňující hluk pro různé rychlosti větru u jednotky V52<sup>39</sup>

Jasně lze vidět, že hluk v decibelech se pohybuje mezi 92 až 104 dB. Existuje mnoho studií a měření o tom, jak klesá hluk se vzdáleností od VtE. Pro zjednodušení použijí matematický model pro snižování hluku se vzdáleností poskytnutého Massachusettskou univerzitou<sup>40</sup> lze předpokládat a odhadnout dostatečný pokles (pod 40 dB) pro naši konkrétní stavbu, pokud bude splňovat vzdálenost od obydlí alespoň 1 km (pro můj návrh je vzdálenost přibližně 2 km od nejbližšího obydlí).

### 4.3 Dopad na estetickou hodnotu krajiny

Určení dopadu a vlivu VtE na estetiku krajiny v okolí je značně subjektivní. Pro jeho kvantifikování se většinou bere určitý vzorek populace, ať už v okolí dané VtE a nebo

<sup>39</sup> Katalog poskytnutý výrobcem Vesta k elektrárně V52/850 kW. *Stránky Čínské vlády* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: [http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_1242006/html/EIA\\_Report/Annex%20A3.3.pdf](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/EIA_Report/Annex%20A3.3.pdf)

<sup>40</sup> Hluk větrných turbín. *Dopady větrné energetiky* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.oddzialywaniawiatrakow.pl/upload/file/443.pdf>



vzorek reprezentující populaci celé ČR. Pro kvantifikování se ve většině dosud provedených studií používala hodnota WTP. Ta vyjadřuje, kolik by daný populační vzorek byl ochoten zaplatit Kč za případné odstranění VtE<sup>41</sup>.

VtE nesmí být vystavěna na pozemku náležícím k CHKO, NP, k různým přírodním rezervacím a nebo k oblastem, kde je chráněn specifický krajinný ráz. VtE jsou vidět již z vzdálenosti několika km a automaticky se stávají dominantou krajiny. Tento argument je nejčastější u odpůrců výstaveb VtE<sup>42</sup>.

Pro můj návrh budu pro zjednodušení uvažovat souhlas okolního obyvatelstva k výstavbě jednotky V52 v blízkosti jejich obydlí.

## 4.4 Vliv na živočichy a přírodu

Pro vliv na živočichy v okolí VtE a vliv na celkový dopad na životní prostředí bude vypracována takzvaná EIA - vyhodnocení vlivů na životní prostředí. Ta nám dá představu, zda - li je vhodné danou VtE realizovat. EIA je zakotvena v zákonu č. 39/2015 Sb., ve kterém je do posuzování uvažována i veřejnost.

Prvním vlivem na živočichy je samotné rušení způsobené VtE, ať už hlukem a nebo jen vizuálně, které může mít za následek přesun jistých druhů a nebo nemožnost migrace přes oblast, kde VtE stojí. U vizuálního rušení se často mluví o stroboskopickém jevu a nebo o nepříjemném střídání světla a stínu, způsobeným rotujícími listy rotoru VtE. Dalším možným faktorem je pak vizuální stránka stavby samotné. Mnoho studií ukázalo, že i to může působit negativně na živočichy v okolí. V otázce hluku se mluví hlavně o hluku způsobeném obtékáním vzduchu okolo listů rotoru, což se ukazuje být problémem hlavně pro ptactvo.

Dalším vlivem může být kolize a následné umrtí některých druhů ptáků nebo netopýrů. Hlavním důvodem pro kolizi je, že živočichové nejsou schopni VtE detekovat. Zvláště vysoké riziko nastává pro ptáky při deštích, mlhách, vysoké rychlosti větru a nebo za noci. Dalším problémem bývá osvětlení umístěné na VtE. Při tažení ptáků je tato světla často lákají, zvláště při zhoršené viditelnosti, což zvyšuje úmrtnost ptactva. Hlavním důvodem, proč ptáci nejsou schopni VtE detekovat je rychlost listů rotoru. Ty často rotují tak rychle, že jsou pro ptactvo nepostřehnutelné. U netopýrů je nebezpečí VtE jasné, zvláště pro druhy, které k přeletům využívají volný prostor<sup>43</sup>.

---

<sup>41</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 90.

<sup>42</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 88.

<sup>43</sup> CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5. Str. 121.



Pro můj návrh budu předpokládat relativně malý vliv na živočichy v okolí VtE, který bude vycházet z vypracovaného teoretického EIA.

## 4.5 Rušení a blokace elektromagnetických vln

Často diskutovaným a probíraným vlivem bývá rušení a blokace elektromagnetických vln. Obyvatelé žijící v okolí mají strach především z rušení televizních a rozhlasových signálů. To by mohlo nastat v případě, že by sloup VtE byl postaven v přímé blízkosti antény a vysílače. Jiná věc je točící se rotor elektrárny - ten může signál periodicky blokovat. Daný signál poté kolísá. U dnešních televizí a rozhlasových zařízení je přítomno automatické vyrovnávání citlivosti, takže by to neměl být problém. Zde je důležité podotknout, že listy rotoru u typu V52 jsou zhotoveny z umělé pryskyřice, stejně jako u většiny moderních VtE, a tudíž se od nich elektromagnetické vlny neodrážejí<sup>44</sup>.

Nejde zde ale pouze o televizní a rozhlasové signály. Je známo, že točící se vrtule může ovlivňovat například vojenské radary - svým pohybem může na radaru vypadat jako nízko letící letadlo. Tento problém se některé firmy, zabývající se větrnou energetikou, snaží vyřešit vybavením VtE podobnou technologií jako mají letadla stealth - nebyly by pak vidět na radaru.

Hlavním problémem u VtE oproti jiným vysokým budovám je proměnlivost rušení vln, kterou způsobuje rotace rotoru (jehož rychlost je ovlivněna silou větru v daný moment).

## 4.6 Další vlivy

Mezi další vlivy může patřit například dopad na ceny nemovitostí v okolí VtE. Již při plánování stavby jsou znatelné poklesy cen nemovitostí v okolí z důvodů budoucího hluku a ovlivnění estetiky krajiny. Tyto a další faktory mohou odradit budoucí potenciální zájemce.

Jiným, ne moc známým, problémem je vliv vibrací, které VtE způsobuje, na zem v blízkosti elektrárny. V té žije mnoho menších živočichů, které mohou vibrace vyhnat či usmrtit. To může mít například negativní vliv na půdu.

Posledním zmíněným vlivem je dopad na přenosovou síť. Kvůli nemožné předvídatelnosti síly i směru větru není dokonale využit instalovaný výkon VtE. To přináší mnoho problémů a vyžadují se podpůrné služby od provozovatele elektrizační soustavy. I přes tyto obtíže ale vláda vyžaduje dle zákona č. 458/2000 Sb. přednostní připojení elektráren, které vyrábí energii z obnovitelných zdrojů.

---

<sup>44</sup> ČEZ obnovitelné zdroje: Otázky a odpovědi k projektu výstavby VtE u města Stříbra. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/argumentar-vte-stribro-fin.pdf>



## 5 Shrnutí návrhu a zhodnocení

Na základě informací z kapitol 2, 3 a 4 nyní provedu vyhodnocení celého návrhu mé elektrárny, která bude stát v Jizerských horách poblíž vesnice Sklenařice. Zároveň provedu i doporučení pro teoretického investora, zda - li se tato elektrárna vyplatí stavět.

### 5.1 Shrnutí návrhu Vestas V52/850 v Jizerských horách

Větrná elektrárna bude stát poblíž vesnice Sklenařice v přibližné vzdálenosti 2 km od nejbližšího obydlí. Bude tvořena jednou jednotkou V52/850 od Dánské firmy Vestas. Průměr rotoru bude 52 m a výška stožáru 86 m. Výstavba bude zahrnovat zbudování přístupových cest k objektu pro usnadnění dopravy materiálů a jednotlivých komponentů elektrárny. Tyto cesty budou v budoucnu umožňovat jednoduchý přístup pro údržbu a zaměstnance elektrárny.

Při uvažování negativních dopadů VtE na okolní prostředí jsem neshledal žádný závažný důvod, proč by VtE neměla být vystavěna. Jediným dopadem, který stojí za zmínku je hluk, který VtE může způsobovat. Ten by ale neměl nikdy překročit povolené meze. Naopak při uvažování pozitivních dopadů jsou nejdůležitější teoretické ušetřené emise CO<sub>2</sub>, které jsou asi 689 tun.

Celá investice včetně dopravy, stavby a následného provozu vyjde přibližně na 30 milionů Kč (bez DPH). Životnost elektrárny se předpokládá na 15 let. Díky zeleným bonusům, i při uvažování podstoupených rizik, které jsou spojeny s výstavbou a provozem VtE, se investice vrátí nejpozději do 6 let od zbudování.

Elektrárna bude připojena k napájecí síti a bude dodávat přibližně 1 912,9 MWh energie ročně.

#### 5.1.1. Doporučení

Při pohledu na Shrnutí návrhu, viz předchozí oddíl, je mé doporučení následující.  
**Stavba VtE V52/850 v Jizerských horách u vesnice Sklenařice se doporučuje.**

Investice se vrátí již po 6 letech a navíc dojde i ke snížení emisí CO<sub>2</sub> v ovzduší.



## Závěr

Vítr je čistý a obnovitelný zdroj energie. První zařízení využívající kinetickou energii větru pro potřeby lidstva se objevuje okolo roku 833. Na konci 19. byla pak vynalezena první VtE a od 70. let 20. století lze hovořit o největším rozvoji větrné energetiky.

Celkový instalovaný výkon VtE v světě je roven asi 430 000 MW. Toto číslo roste. Evropa z tohoto podílu tvoří přibližně třetinu. Největší instalovaný výkon v Evropě má Německo (přes 25 000 MW). Dále stojí za zmínku například Dánsko, tam VtE pokrývají přes 30 % z celkové spotřeby země.

V ČR je podíl VtE na celkové spotřebě pouze asi 0,6 %, i když toto číslo také roste. Podmínky nejsou v ČR ideální a v začátcích rozvoje větrné energetiky zájem u nás značně kolísá. V roce 2002 byla stanovena minimální výkupní cena elektřiny z VtE. Od té doby výstavba VtE neustále roste i přes postupné klesání minimální povinné výkupní ceny. Pro rok 2015 klesla výkupní cena na 1980 za MWh a pro rok 2016 je navrhována na 1930 za MWh (výkupní ceny jsou včetně DPH). Instalovaný výkon se v roce 2014 dostal na 283 MW (v roce 2013 to bylo 269 a v roce 2012 to bylo 260). I přes klesající podporu větrné energetiky jsem přesvědčen, že instalovaný výkon VtE v ČR i nadále poroste. Toto tvrzení vychází z mého návrhu konkrétní teoretické VtE.

V mém teoretickém návrhu jsem se zabýval výstavbou VtE tvořené jednou jednotkou V52/850 od firmy Vestas, která bude stát v Jizerských horách. Pro určení síly větru v dané lokalitě používám údaje poskytnuté ÚFA AV ČR, v.v.i.. Přibližně stanovená průměrná rychlost větru, ze které budu vycházet, je  $7,37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro samotnou výstavbu stanovuji přibližnou cenu (včetně všech nákladů) na 30 milionů korun (bez DPH). Tuto hodnotu jsem stanovil na základě dat z výstaveb jiných podobných elektráren a na základě informací od samotného výrobce - firmy Vestas.

Pro nejdůležitější část návrhu - výpočet roční vyrobené energie - jsem vyšel z již zmíněné průměrné rychlosti větru a z všeobecně známého faktu, že rozdělení rychlostí větru v průběhu roku odpovídá tzv. Weibullovu rozdělení pravděpodobnosti. Z těchto mnou vytvořených dat jsem následně dopočítal roční vyrobenou energii za použití výkonové křivky jednotky V52 poskytnuté firmou Vestas. Tato energie vyšla 1912,9 MWh. Pro kontrolu této hodnoty (zda odpovídá realitě) lze použít například údaje o instalovaném výkonu VtE v ČR za rok 2012 a jimi roční vyrobenou energii (stejně tak lze použít údaje z jiných let nedávných let). Pro rok 2012 je instalovaný výkon VtE v ČR 260 MW a roční vyrobená energie 416 000 MWh. Pomocí jednoduché trojčlenky (instalovaný výkon mé elektrárny je 850 kW) vidím, že hodnota roční vyrobené energie by měla být okolo 1600 MWh. Odchylka lze odůvodnit mými často zidealizovanými podmínkami, ale i tak lze číslo 1912,9 MWh považovat za relativně přesné - odchylka není velká.

S roční vyrobenou energií 1912,9 MWh jsem následně provedl ekonomické vyhodnocení za pomoci známých ekonomických parametrů. Z těch jasně vyplývá, že doba



návratnosti investice je asi 6 let (při životnosti elektrárny stanovené na 15 let). Proto je investice do výstavby doporučena.

Ve 4. kapitole následně shrnuji všechny možné dopady a vlivy VtE na okolí. Zde docházím ke dvěma důležitým faktorům - hluk by měl klesnout pod hygienické limity při vzdálenosti alespoň 1 km od nejbližšího obydlí (což je pro můj návrh splněno) a teoretické ušetření na emisích při výstavbě této VtE bude 682,664 t CO<sub>2</sub> ročně (porovnání s obecnou tepelnou elektrárnou na hnědé uhlí, která bude vyrábět stejné množství energie ročně). K tomu přičtu opět zidealizované podmínky (Skoro žádné nebo minimální ohrožení živočichů, které by mělo vyjít z vypracovaného EIA, v okolí VtE. Žádné markantní rušení elektromagnetických vln. Souhlas lidí, žijících v okolí, s výstavbou VtE) a z kapitoly jasně vyplývá, že není žádný závažný ekologický důvod, proč by VtE neměla být postavena.

Tyto všechny závěry mě vedou k mému originálnímu tvrzení - instalovaný výkon VtE v ČR (a i ve světě) nadále poroste i přes klesající podpory od státu. Dalšími faktory pro toto tvrzení je například ne tak dávná havárie jaderné elektrárny Fukušima a celkový posun světové politiky k obnovitelným zdrojům nebo například možné teoretické zdokonalování způsobů, kterým převádíme kinetickou energii větru na elektrickou.

Celá práce mi umožnila seznámit se se způsoby návrhování a posuzování VtE z mnoha různých hledisek: ekonomická efektivita VtE, legislativa spojená s výstavbou a provozem VtE, dopad a vliv VtE na životní prostředí a její vliv na život lidí (živočichů) v okolí. Stejně tak jsem se seznámil s větrnou energetikou a jejím smyslem v širším a celosvětovém kontextu, díky čemuž sem nyní lépe schopen předvídat či odhadnout budoucí vývoj větrné energetiky.



## Použitá literatura

- [1] Betonový základ. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/Betonovy-zaklad/305>
- [2] CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR, 2010. Studia geographica. ISBN 978-80-86407-84-5.
- [3] CROME, Horst. *Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2002, 144 s. ISBN 80-861-6719-4.
- [4] ČEZ obnovitelné zdroje: Otázky a odpovědi k projektu výstavby VtE u města Stříbro. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/argumentar-vte-stibro-fin.pdf>
- [5] Finanční kalkulační nástroj pro hodnocení ekonomické efektivity investic. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>
- [6] HALLENGA, Uwe. *Malá větrná elektrárna: stavební návod s konstrukčními výkresy*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Ostrava: HEL, 2006. ISBN 80-86167-27-5.
- [7] Hluk větrných turbín. *Dopady větrné energetiky* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.oddzialywaniawiatrakow.pl/upload/file/443.pdf>
- [8] Katalog poskytnutý výrobcem Vesta k elektrárně V52/850 kW. *Stránky Čínské vlády* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: [http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_1242006/html/EIA\\_Report/Annex%20A3.3.pdf](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/EIA_Report/Annex%20A3.3.pdf)
- [9] Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací: Předpis. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2011, číslo 272. Dostupné také z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=272&r=2011>
- [10] Návrh cenového rozhodnutí ERÚ: Podpora pro obnovitelné zdroje. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462896/CR\\_X\\_2015\\_n%C3%A1vrh/3d31b437-0b1f-431c-b12e-4c79be45138d](https://www.eru.cz/documents/10540/462896/CR_X_2015_n%C3%A1vrh/3d31b437-0b1f-431c-b12e-4c79be45138d)



- [11] *Online kalkulačka keisan pro výpočet Weibullova rozdělení pravděpodobnosti* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://keisan.casio.com/exec/system/1180573173>
- [12] Roční využití výkonu větrných elektráren v ČR. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/11077-rocni-vyuziti-vykonu-vetrnych-elektren-v-ceske-republice>
- [13] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01563-7.
- [14] *Souhrn trendů na trhu větrné energetiky USA* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/SustainableEnergyAut/aaron-smith-nrel>
- [15] Technologie větru. *Online archiv článků o větrné energetice* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: [http://www.wind-works.org/cms/fileadmin/user\\_upload/Files/presentations/Wind-101/Wind\\_101-half-6\\_Technology\\_01.pdf](http://www.wind-works.org/cms/fileadmin/user_upload/Files/presentations/Wind-101/Wind_101-half-6_Technology_01.pdf)
- [16] *Vestas: Dánská firma zabývající se větrnou energetikou* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://www.vestas.com/>
- [17] Větrná mapa ČR: průměrná rychlost větru v 10 m. *Ústav fyziky atmosféry AV ČR, V.V.I.* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/web-old/vetrna-energie/doc/vav/priloha02.jpg>
- [18] *V52/850. Trh pro větrnou energetiku* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: [http://www.thewindpower.net/turbine\\_en\\_27\\_vestas\\_v52-850.php](http://www.thewindpower.net/turbine_en_27_vestas_v52-850.php)
- [19] ZAJÍČEK, Miroslav a Karel ZEMAN. *Ekonomické dopady výstavby fotovoltaických a větrných elektráren v ČR: odborná studie*. Praha: Oeconomica, 2010. ISBN 978-80-245-1687-5.
- [20] Z historie větrných elektráren. *Elektro, časopis pro elektrotechniku* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-vetrnych-elektren--13364>