

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektroniky a automatizace

Provozní analýza větrných elektráren

Bakalářská práce

Praha 2019

Vedoucí práce:

Ing. Zbyněk Vondrášek, Ph.D.

Vypracoval:

Josef Gorčík

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Josef Gorčík

Technologická zařízení staveb

Název práce

Provozní analýza větrných elektráren

Název anglicky

Operating analysis of wind power plants

Cíle práce

Souhrnné zpracování podkladů a doporučení pro výstavbu a provozování větrné elektrárny.

Metodika

Literární zpracování podkladů meteorologických o převládajícím vzdušném proudění na různých lokalitách pro případné umístění větrné elektrárny. Analýza vlastností různých větrných motorů a elektrických generátorů a jejich případných interakcí a emisí hluku.

Doporučený rozsah práce

30 – 45 stran

Klíčová slova

větrná elektrárna, větrný motor, generátor elektrického proudu

Doporučené zdroje informací

Balák R., Pauza J. / Elektroenergetika 2; Praha : SNTL 1983, 344 s.

časopisy:

Česká společnost pro větrnou energii: www.csve.cz

ČEZ: www.cez.cz

ELEKTRO ; Praha: FCC Public, ISSN 1210-0889

ENERGETIKA ; Praha: ČSZE, ISSN 0375-8842

Internetové zdroje

Mravec R. / Elektrické stroje a přístroje 1 + 2 ; Praha: SNTL 1979 – 1988, 432 + 260 s.

Rychetník V., Pavelka J., Janoušek J. / Větrné motory a elektrárny; Praha : Vydavatelství ČVUT, 1997 199 s.,

ISBN 80-01-01563-7

Voženílek L./ Kurs elektrotechniky; Praha : SNTL 1988, 368 s.



Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zbyněk Vondrášek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 16. 1. 2014

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen zdroje uvedené v seznamu literatury.

V Praze dne 30. března 2019

.....

Josef Gorčík

Poděkování

Děkuji panu Ing. Zbyňku Vondráškovi, Ph.D. za trpělivost, odborné vedení a rady, které mi poskytl při zpracování této práce.

Abstrakt: Námětem této bakalářské práce je větrná energie jakožto forma obnovitelného zdroje. Konkrétně se zabývám větrnou elektrárnou a její provozní analýzou. Nejprve jsou představeny historické počátky větrné elektrárny a první větrné elektrárny, a také její předchůdci. Posléze je vymezen vítr jako zdroj elektrické energie. Druhá část práce je technického rázu. Jedná se o složení základních částí větrné elektrárny. Těmi jsou základy, stožáry, strojovny a rotory. Popis jednotlivých částí je vždy z pohledu konstrukce. Následně jsou prezentovány vlastnosti a typy větrných motorů a elektrických generátorů. Nakonec se věnuji emisím hluku a vlivu na blízké okolí, potažmo možnosti stavby elektrické elektrárny. V závěru je krátké zamyšlení nad nevyužíváním větrné elektrárny jakožto zdroje elektrické energie v českém prostředí.

Klíčová slova: větrná elektrárna; větrný motor; generátor elektrického proudu

Operating analysis of wind power plants

Summary: The subject of this thesis is wind energy as a form of renewable resource. Specifically, I deal with the wind power plant and its operational analysis. Firstly, the historical beginnings of the wind power plant and the first wind turbines, as well as its predecessors are presented. Finally, the wind is defined as a source of electrical energy. The second part of the thesis is technical. It is the composition of the basic parts of the wind power plant. These are foundations, masts, engine rooms and rotors. The description of individual parts is always from the perspective of construction. Subsequently, the properties and types of wind engines and electric generators are presented. Finally, I deal with noise emissions and the impact on the surrounding area, or the possibility of building an electric power plant. In conclusion, there is a brief reflection on the non-use of wind power as a source of electricity in the Czech environment.

Key words: wind power plant; wind engine; electric generato

Obsah

1. Úvod	8
2. Historie	9
2.1. Větrná energie ve světě	9
2.3. Větrná energie v českých zemích	11
3. Vítr	12
3.1. Jak vzniká vítr	12
3.2. Směr a rychlost větru	13
3.3. Měření směru větru	13
3.4. Měření rychlosti větru	14
4. Povětrnostní podmínky	17
4.1. Ideální lokalita pro instalaci větrných elektráren v ČR	18
5. Základní části větrné elektrárny	20
5.1. Základy větrné elektrárny	20
5.1.1. Základy typu onshore	21
5.1.2. Základy typu offshore	22
5.1.3. Plovoucí větrné elektrárny	22
5.2. Stožár	23
5.3. Strojovna větrné elektrárny	25
5.4. Rotor větrné elektrárny	26
6. Větrné motory	27
6.1. Základní typy větrných motorů	27
6.2. Větrné motory odporové	27
6.3. Větrné motory vztlkové	29

6.4. Darrieův motor	31
7. Elektrické generátory.....	32
7.1. Synchronní generátory.....	32
7.1.1. Hlavní části synchronního generátoru	33
7.2. Asynchronní generátory	34
7.2.1. Hlavní části asynchronního generátoru	34
7.3. Strojovna větrné elektrárny - gondola.....	35
7.3.1. Strojovna VESTAS	35
7.3.2. Strojovna ENERCON	36
7.3.3. Strojovna WIKOV	37
8. Emise větrných elektráren	39
8.1. Hygienické limity hluku	39
8.2. Infrazvuk a nízkofrekvenční hluk	41
8.3. Swishing („svištění, svist“)	41
8.4. Flicker efekt („disko efekt“)	41
9. Závěr	43
10. Seznam použitých zdrojů	44
11. Seznam obrázků.....	46
12. Seznam tabulek	48

1. Úvod

Elektrickou energii používáme denně, aniž bychom si uvědomovali, jak moc jsme na ní závislí. Veškeré dění našeho běžného života je jí podřízeno, např. příprava jídla, osvětlení, sociální komunikace, elektrická zabezpečení, dopravní prostředky a jiné. S vývojem moderní civilizace a zvyšující se spotřeby elektrické energie v každodenním životě každého z nás (domácnosti, kanceláře, na cestách aj.), se čím dál tím častěji dostává toto téma do zájmu veřejných i laických debat, globálních úvah, ale i výzkumů na lokálních i nadnárodních úrovních. Nárůst objemu elektrické energie nutný pro průmysl, dopravu i domácnosti, jak ve světě, tak i u nás, vede nově k intenzivnímu využívání alternativních obnovitelných zdrojů energie.

V důsledku vytěžování zásob fosilních zdrojů (uhlí, ropa, zemní plyn) je tento typ energie nahrazován jinými zdroji, a to energií větrnou, sluneční, vodní, geotermální a biopalivem. Důvodů je hned několik. Zaprvé jde o ekonomický argument – alternativy využívají nižší vstupní náklady, dodávky a distribuce fosilních paliv vede k nárůstu cen. Druhým důvodem je ekologie – téma snižování nebezpečných škodlivin ve vzduchu a ochrany životního prostředí hraje prim v moderních společnostech. A v neposlední řadě jde o obnovitelnost, fosilní paliva mají omezené zásoby.

Z těchto důvodů jsem si vybral právě téma větrné energie, konkrétní podoby obnovitelného zdroje. Konkrétně se budu věnovat větrné elektrárně a jejímu provozu. Cílem této práce je zmapování přeměny energie větru na energii elektrickou v českém prostředí. Nejprve bude představena větrná energie jak z historického, tak současného pohledu, dále budu prezentovat meteorologické údaje na území České republiky. Další částí se zamyslím nad vhodným umístěním větrné elektrárny a v neposlední řadě analýzou větrných motorů, elektrických generátorů a emisí hluku. Tyto hlavní body práce kopírují obsahy jednotlivých kapitol této práce.

2. Historie

Vítr, jakožto jeden z pěti živlů byl v historii lidstva využíván mezi prvními zdroji energie. Přibližně před více než pěti tisíci lety využívali lidé větrnou energii k pohonu plachetnic a právě díky větru mohli rychleji objevovat a dobývat jimi nová nepoznaná území.

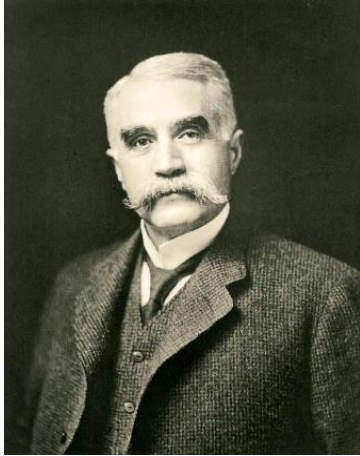
Kolem osmého století našeho letopočtu se objevují první větrné mlýny a čerpadla na území Mezopotámie a Malé Asie - v dnešní době tato území přibližně odpovídají Iráku, jihozápadnímu Íránu, severovýchodní Sýrii a jihovýchodnímu Turecku. Jednalo se o primitivní, ač na tu dobu velmi vyspělá zařízení s šesti, až dvanácti obdélníkovými rámy vyplněných plachtou kolem svislé osy a pomáhaly ke zpracování obilovin, třtiny a čerpání vody.

Větrné mlýny se postupem času objevily v Číně i Evropě. První zmínky z území Čech, Moravy a Slezska sahají do středověku.

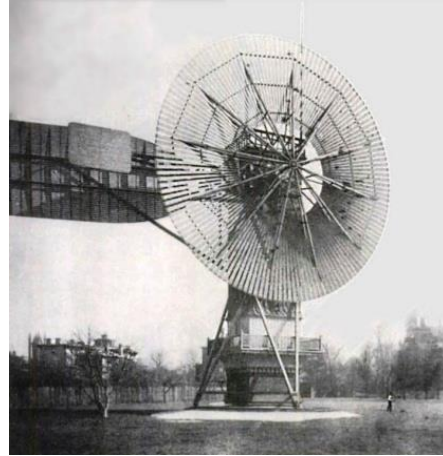
2.1. Větrná energie ve světě

První automaticky poháněnou větrnou turbínu na světě sestrojil americký inženýr, vynálezce, podnikatel a filantrop Charles Francis Brush (Obr. 1) mezi lety 1887 – 1888. [1]

Průměr rotoru byl sedmnáct metrů a výkon generátoru dvanáct kW (Obr. 2). Rotorová hlavice byla tvořena stočtyřicetičtyřmi radiálně řazenými lopatkami z cedrového dřeva. [1]



Obr. 1 Charles F. Brush [1]



Obr. 2 První větrná el. na světě [1]

Na Evropském kontinentu byla poprvé zkonstruována větrná elektrárna dánským vědcem, vynálezcem a pedagogem Poulem la Courem (Obr. 3) roku 1891. [1]

Ta se skládala ze čtyř a šesti lopatek (Obr. 4). V rámu lopatky byla napnuta plachta a celková konstrukce elektrárny, připomínala mlýn tzv. „holandského typu“. [1]



Obr. 3 Poul la Cour [1]



Obr. 4 Větrné elektrárny Poula la Coura [1]

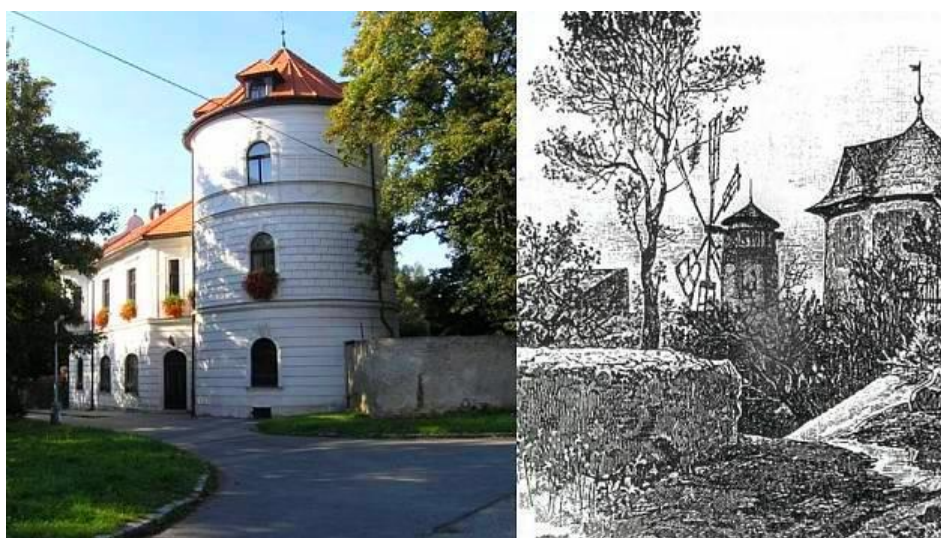
2.3. Větrná energie v českých zemích

Nejstarší spolehlivě doložitelná zpráva o postavení prvního větrného mlýna na území Čech, Moravy a Slezska je z roku 1277 v Praze v zahradě Břevnovského kláštera (Obr. 5). [2]

Podstatný rozmach větrného mlynářství bylo v Čechách ve čtyřicátých letech 19. století. Morava a Slezsko rozkvět zaznamenaly až o něco později. Na území dnešní České republiky bylo historicky ověřeno 879 větrných mlýnů a čerpadel. [2]

Výroba a instalace novodobých větrných elektráren na našem území učinila rozkvět v letech 1990 – 1995, celkem bylo za toto období postaveno 24 větrných elektráren a z toho třetina byla velmi technologicky poruchová, nebo se instalovala v lokalitách s nedostatkem větrné energie. V počátcích tohoto desetiletí byl sklon k importu starých vyřazených strojů, naštěstí tento trend ukončil zákon 180/2005. [2]

Současné moderní větrné elektrárny dosahují běžného výkonu 2 MW, sporadicky i 3 MW. V České republice byl zahájen rozvoj větrné energetiky se zpožděním v porovnání se zeměmi západní Evropy, ale tento handicap z minulosti byl vyrovnán dnešní technickou vyspělostí moderního strojního vybavení větrných elektráren. [2]



Obr. 5 Větrný mlýn v Břevnovském klášteře [10]

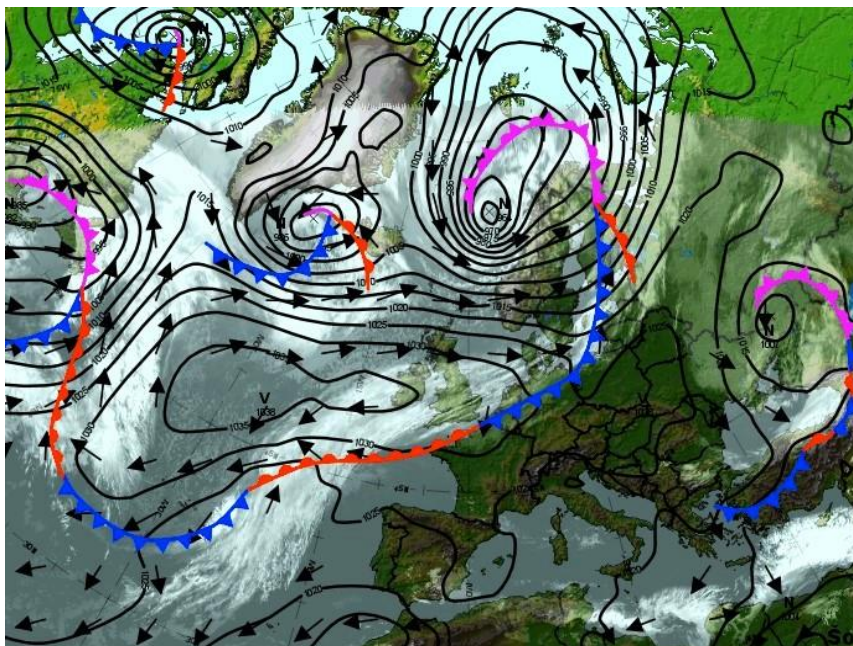
3. Vítr

3.1. Jak vzniká vítr

Vítr je horizontální pohyb vzduchu vznikající v atmosféře na základě rozdílů atmosférických tlaků, které jsou důsledkem různých teplot nepravidelným ohříváním zemského povrchu. [3]

Ohřátý vzduch je lehčí a jeho tlak klesá, proto stoupá vzhůru a jeho místo nahrazuje těžší studený vzduch s vyšším tlakem. Čím větší jsou tlakové rozdíly, tím je vítr silnější. [3]

Dalšími vlivy působící na vzduchovou vrstvu jsou geomorfologie krajiny, velikost vodních ploch, pokrytí pevniny vegetací. Jelikož zeměkoule se otáčí kolem vlastní osy, vzniklé síly způsobují stáčení větrných proudů – na severní polokouli působí vpravo ve směru pohybu a na jižní polokouli vlevo. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou odstředivá síla a tření (Obr. 6). [3]



Obr.6 Předpovědní synoptická mapa Evropy: 10.3.2019 12 UTC [4]

Synoptická mapa se používá k okamžitému zobrazení stavu ovzduší. Červeně je vyznačen průběh teplých front, modře průběh front studených. Čas na mapě je uváděn v UTC (Coordinated Universal Time), tzn. SEČ – 1 hodina. [4]

3.2. Směr a rychlost větru

Jelikož rychlost je vektorová veličina, musíme znát obě její složky – velikost, tak i směr.

Měření směru a rychlosti větru jsou prováděna meteorologickými stanicemi. Tato měření mají své vlastní specifika a pravidla, např. ustálená výška měření směru a rychlosti větru je 10 m nad povrchem země. [5]

3.3. Měření směru větru

Směr větru se udává, od které světové strany vítr vane. Nejčastěji se značí v desítkách úhlových stupňů azimutu. [5]

Severní směr (**N**orth) se značí 36, jižní (**S**outh) 18, východní (**E**ast) 09, západní (**W**est) 27. Celkem tedy 36 směrů větru, hodnota 00 platí bezvětří (Tab. 1). [5]

NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	Calm
02	04	07	09	11	13	16	18	20	22	25	27	29	31	34	36	00

Tab. 1 Číselná stupnice směru větru [5]

Měření směru větru se nejčastěji provádí elektrickým snímačem s korouhví (Obr. 7). Principiálně se jedná o svislou osu, na které je připevněna v určité vzdálenosti svislá

deska, která se otáčí kolem osy. Vzdálenost desky od osy je závislá na velikosti desky (respektive její hmotnosti) a musí být v protisměru vyvážena. [5]

Dalším častým měřícím zařízením je větrný rukáv (Obr. 8), který slouží k nepřesnému hrubému vizuálnímu posouzení – výhodou je viditelnost na relativně velké vzdálenosti. Běžně se tyto větrné rukávy používají na letištích, dálnicích, nebo komerčních plochách pro modeláře a sportovce (Wind Kiting s využitím vodní plochy nebo pevniny). [5]



Obr. 7 Snímač směru větru WD360 [11]



Obr. 8 Větrný rukáv [12]

3.4. Měření rychlosti větru

Rychlost větru se obvykle udává v metrech za sekundu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Někdy se pro odhad síly větru používá Beaufortova stupnice – nevyžaduje použití přístrojů, odhad síly větru je na základě pozorování různých objektů (Tab. 2). Udává se ve stupních Beauforta. [5]

Stupeň	Označení větru a příznaky	Rychlost [m/s]
0	Bezvětrí: kouř stoupá kolmo	0-1
1	Vánek: pohyb kouře	1-2
2	Větrík: šelestění listů	2-4
3	Slabý vítr: pohyb větvíček	4-6
4	Mírný vítr: zdvihá se prach	6-8
5	Čerstvý vítr: ohýbají se keře	8-10
6	Silný vítr: ohýbá větší větve	10-12
7	Prudký vítr: ohýbá stromy	12-14
8	Bouřlivý vítr: ulamuje větve	14-17
9	Vichřice: strhává tašky, láme slabší stromy	17-20
10	Silná vichřice: vyvrací stromy, strhává střechy	20-24
11	Mohutná vichřice: působí rozsáhlé škody	24-30
12	Orkán: ničivé účinky	přes 30

Tab. 2 Beaufortova stupnice [13]

K měření rychlosti se dále používají anemometry různých typů, např.: mechanické, aerodynamické, termické, akustické a další. Prvenství mezi anemometry má mechanický typ, tzv. miskový anemometr (Obr. 9). Energie větru je trojramenným rotorem s miskami přenášena na svislou hřídel, kterou vítr otáčí. Spodní část hřídele je spojena s permanentním magnetem, jako rotor dynama. Vyráběné elektrické napětí proudové soustavy je závislé na rychlosti větru a měří se voltmetrem. [5]



Obr. 9 Miskový anemometr W1 [11]

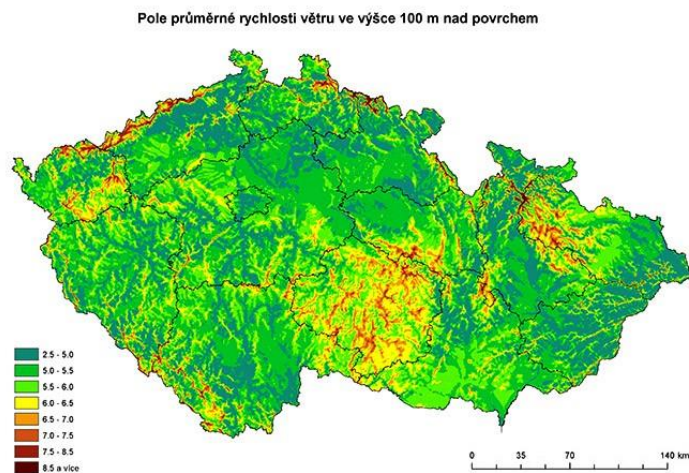


Obr. 10 Ultrazvukový anemometr [11]

4. Povětrnostní podmínky

Výstavba větrných elektráren vyžaduje příznivé geografické podmínky. Proto je velmi důležité znát, co nejpodrobněji větrnou situaci námi zvoleného území. Na základě těchto kritérií je pak možné plánovat vhodné umístění větrných turbín. Mapy větrných podmínek pro Českou republiku vytváří Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. (Obr. 11). [6]

Základním parametrem pro posuzování potenciálu větrné energie v konkrétním místě je hustota výkonu větru, respektive výkon, který bychom dosáhli využitím veškeré kinetické energie větru proudící jednotkovou plochou kolmo na směr proudění. Hlavní význam má rychlost větru, jelikož se při výpočtu výkonu vyskytuje ve třetí mocnině. Rychlost větru je relativní v ose rotoru. U posuzování kvality zvolených míst z hlediska využití pro produkci větrné elektřiny se zavádí několik pojmů. Jedním z nich je teoretický potenciál větrné energie, který je určen pouze hustotou výkonu větru ve výšce osy rotoru větrné turbíny. Území vhodná pro výstavbu se většinou označují tam, kde je hustota výkonu větší než mezní. Vhodným kritériem je překročení mezní hodnoty průměrné roční rychlosti větru ve výšce osy rotoru dnešních běžných turbín, což odpovídá výšce 100 m nad povrchem. K efektivnímu využití pro produkci, je potřeba mít průměrnou rychlost větru alespoň 6 m/s. Oblasti s nižší rychlostí větru se dají také využít, ale mají mnohem horší podmínky v síti pro konkurenci s většími zdroji v místech s větší rychlostí větru. [6]



Obr. 11 Větrná mapa ČR znázorňující průměrnou rychlost větru [6]

Ještě důležitější je technický potenciál větrné energie, který je určován celkovým nominálním výkonem a celkovou roční výrobou elektřiny z větrných turbín, které odpovídají současnému stavu technologií s využitím klimatologického potenciálu. A to s respektem k zákonným a dalším podmínkám pro jejich výstavbu a provoz. Důležité je dodržování stanovených vzdáleností od obytných budov, dopravních a infrastrukturních staveb. Respektování památkových a ochranných omezení. Zde se promítá technologický vývoj, který například může umožnit využívání i míst s menší rychlostí větru. Technický potenciál se tak v čase mění. Pro realističtější odhad se zavádí realizovatelný větrný potenciál, ten se získá redukcí technického potenciálu korekčním faktorem, který však nelze stanovit exaktním postupem. Korekce se snaží zahrnout vliv kapacity distribučních sítí, postoje veřejnosti a zastupitelstev obcí, průběhu územních řízení a stavebních povolení a mnoha dalších okolností. [6]

4.1. Ideální lokalita pro instalaci větrných elektráren v ČR

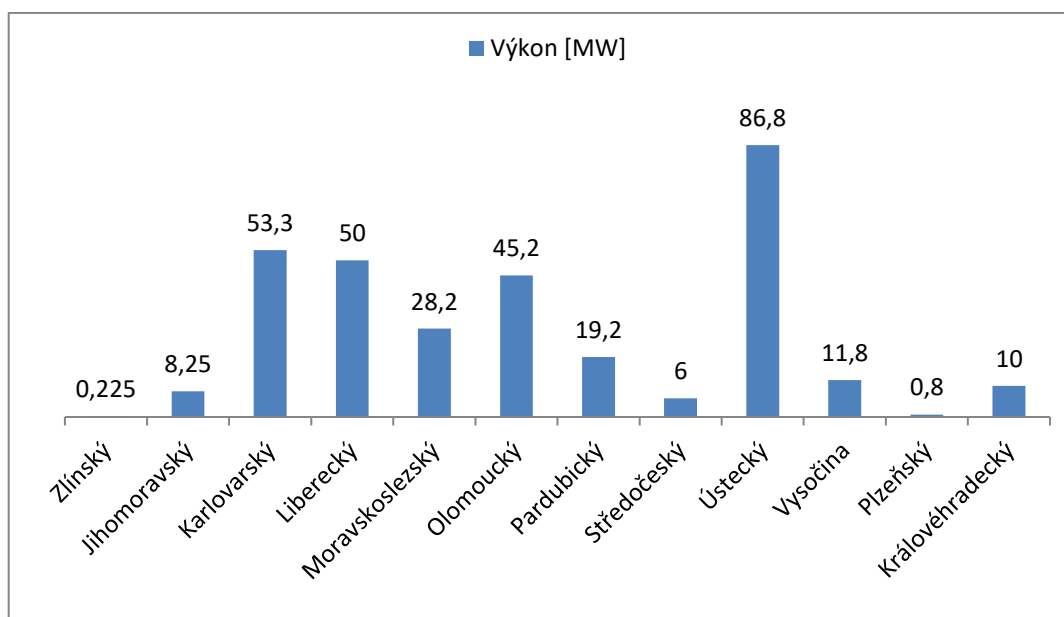
Česká republika sice nemá srovnatelné podmínky týkající se rychlosti větru, jako například státy s mořským pobřežím, ale technologie moderních větrných elektráren jsou přizpůsobeny i našim středoevropským poměrům. Geomorfologické členění Česka je velmi rozmanité, tudíž potenciál větru pro výstavbu větrných elektráren je u nás naprosto vyhovující. [6]

Rychlost větru bývá zpravidla nejvyšší v oblastech, jako je např. moře, horské pustiny a rozlehlé stepi, na druhou stranu nevýhodou těchto míst jsou vyšší ekonomické náklady. Nejedná se pouze o náklady spojené s výstavbou samotné elektrárny, ale také o náklady na vybudování cest, výstavbu elektrického vedení a náklady související s přenosem vyrobené energie z těchto většinou odlehlých lokalit. [6]

Naštěstí Česká republika nespadá do těchto oblastí, proto značná část těchto nákladů zaniká. Větrné elektrárny se budují v místech spotřeby a dopravní i elektrické sítě, nevyžadují nákladné úpravy, což významně snižuje celkový rozpočet na výstavbu.

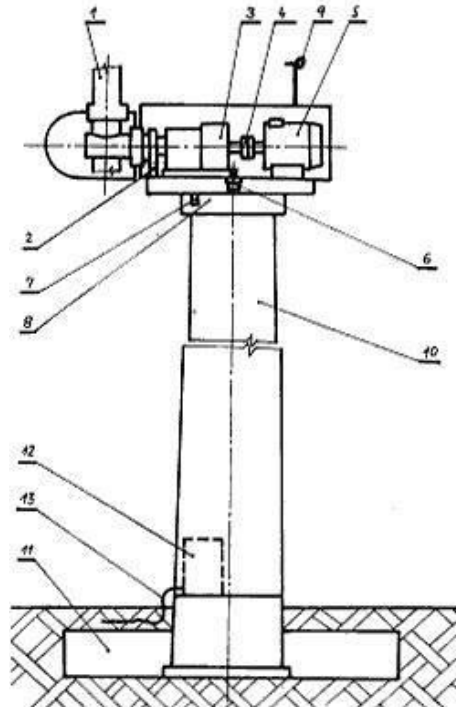
Zásluhou toho má smysl z pohledu na náklady vyrobené elektřiny budovat větrné elektrárny i v našich běžných povětrnostních podmínkách. I po sečtení všech vzniklých nákladů na výstavbu se pořád jedná o nejlevnější obnovitelný zdroj energie. Okolní státy, např. Rakousko, nebo vnitrozemí Německa disponují podobnou strukturou terénu i povětrnostními vlivy stejně jako v Česku. Rozdíl je, že tyto státy využívají větrnou energii v mnohonásobně větší míře. [6]

Oblasti, které jsou v ČR nejvhodnější pro výstavbu větrných elektráren z pohledu povětrnostních podmínek je zřejmé z větrné mapy (Obr. 11). Nejvhodnější lokality jsou v oblasti Krušných hor (v Ústeckém kraji se nachází největší počet instalací - 46), Jeseníků, Krkonoš a Jizerských hor. Rychlost výstavby je zpomalována převážně byrokratickými překážkami. [6]



Obr. 12 Výkon instalovaných větrných elektráren v jednotlivých krajích [zdroj autor]

5. Základní části větrné elektrárny



1. rotor s rotorovou hlaví
2. brzda rotoru
3. Planetová převodovka
4. Spojka
5. Generátor
6. Servopohon natáčení
7. Brzda točny strojovny
8. Ložisko točny strojovny
9. Čidla rychlosti a směru větru
10. Několikadílná věž elektrárny
11. Betonový armovaný základ

Obr. 13 Obecný popis větrné elektrárny [14]

5.1. Základy větrné elektrárny

Jedná se o nejtěžší část větrné elektrárny, která není takřka vidět.

Základní rozdělení je podle typu umístění větrných elektráren:

1. **Onshore** – větrné elektrárny umístěné na pevnině
2. **Offshore** – větrné elektrárny stojící v moři
3. **Plovoucí větrné elektrárny**

5.1.1. Základy typu onshore

Před začátkem stavby je nutné provést podrobný geologický průzkum půdního profilu. Velikost železobetonového základu je závislá, jak na složení podloží, tak i na rozměrech samotné větrné elektrárny. Nejčastějším půdorysovým tvarem základu se kterým se můžeme setkat je čtvercový (Obr. 14), kruhový (Obr. 15), nebo šestiboký (Obr. 16). [7]



Obr. 14 Čtvercový základ [7]



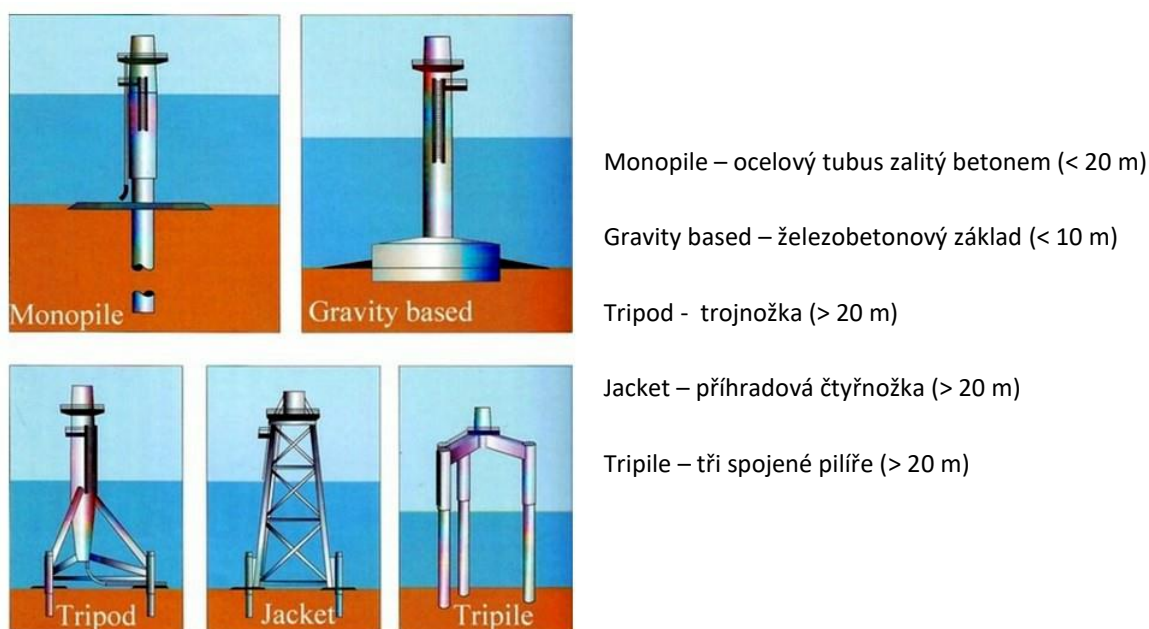
Obr. 15 Kruhový základ [7]



Obr. 16 Šestiboký základ [7]

5.1.2. Základy typu offshore

Výhoda mořské instalace větrných elektráren je především ve využití lepších povětrnostních podmínek, než je na pevnině. Naopak hlavní nevýhodou je mořská voda, která působí velmi korozivně i ve formě slaných aerosolů převážně na elektrické části zařízení (např. rozvoden, kabelových spojů, transformátorů, servomotorů), proto jsou tyto části hermetizovány. Nejběžnější konstrukcí základu pro offshore větrných elektráren je monopile – 80 % instalací. [15]



Obr. 17 Základové konstrukce pro offshore větrných elektráren [15]

5.1.3. Plovoucí větrné elektrárny

Výhodou těchto elektráren je bezesporu využití větších hloubek moře. První instalací tohoto typu byla v roce 2009 elektrárna s názvem WYHIND (Obr. 18) od společnosti Siemens v blízkosti města Stavananger (Norsko) - 120 m vysoký stožár byl odtažena lodí 10 km od pobřeží, kde byl vztyčen a třemi lany v hloubce 220 m ukotven ke dnu (Obr. 19). [15]



Obr. 18 Plovoucí větrná el. Siemens HYWIND [15]



Obr. 19 Schéma ukotvení plovoucích větr. elektráren [15]

5.2. Stožár

Stožár větrné elektrárny zajišťuje, aby rotor byl umístěn do vhodných výšek s příhodnými větrnými podmínkami. Standardní výška stožáru dnešních moderních větrných elektráren je v rozmezí od 40 – 110 m. [7]

Základní rozdělení stožáru je podle typu konstrukce:

1. **Ocelový tubusový stožár** – využití při výškách od 40 – 105 m. Nejčastěji používaným typem stožáru v Evropě. Skládá se z několika segmentů o délce přibližně 20 m, pro snazší přepravu (obr. 20). Tyto díly se vyrábějí z plechových plátů o tloušťce 12 – 45 mm (výjimečně až 70 mm), které jsou skruženy do prstenců a následně k sobě svařeny. Jednotlivé svařené prstence se k sobě sešroubují pomocí příruby, ta se navažuje na čela segmentu. [7]

2. **Příhradový stožár** – využití při výškách nad 100 m (Obr. 21). Výhodou jsou ekonomické aspekty, jako je snadná doprava ocelových profilů a vzpěr, nebo použití menšího množství oceli. [7]

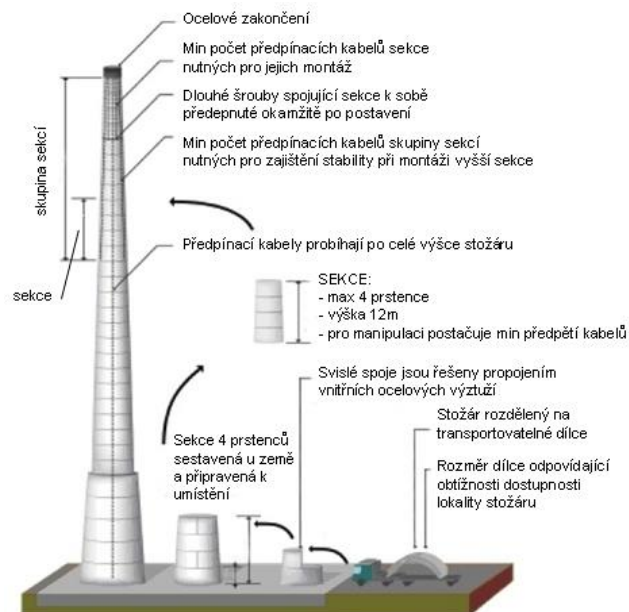
3. **Prefabrikovaný betonový stožár** – tento typ stožáru se v České republice nepoužívá (Obr. 22). Výhodou je snadnější přeprava jednotlivých segmentů a primárně vyniká svou korozní odolností - ideální pro elektrárny na pobřeží. [7]



Obr. 20 Segment ocelového trubkového stožáru [7]



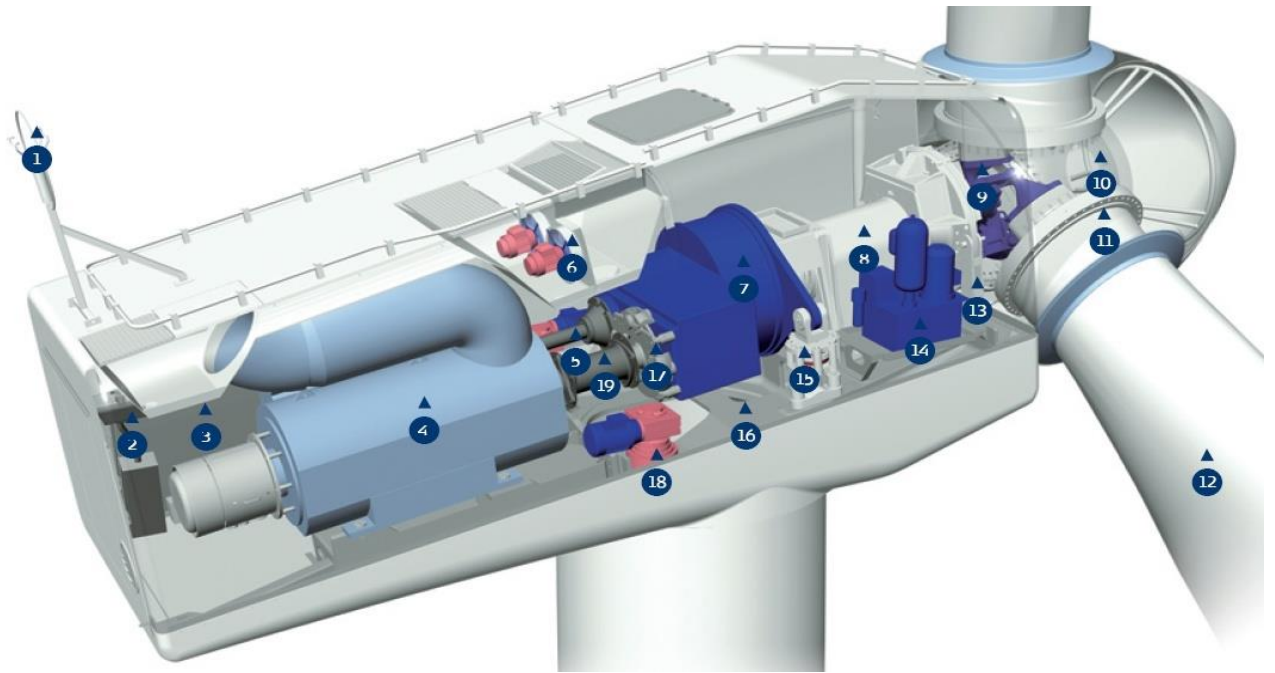
Obr. 21 Větrná el. s příhradovým stožárem [7]



Obr. 22 Popis montáže prefabrikovaného betonového stožáru [7]

5.3. Strojovna větrné elektrárny

Strojovna, nebo také gondola (Obr. 23) tvoří srdce celé větrné elektrárny a je umístěna vždy ve sklolaminátovém pouzdře, ať už se jedná o jakéhokoliv výrobce používající svůj princip soustrojí. [7]



Obr. 23 Schéma strojovny Vestas s asynchronním generátorem a převodovkou [7]

- | | |
|--|--|
| 1. Ultrazvukový anemometr | 11. Ložisko rotorového listu |
| 2. Servisní výtah | 12. Rotorový list |
| 3. VMP regulátor s konvetorem | 13. Systém aretace rotoru (pro servisní účely) |
| 4. Asynchronní generátor | 14. Hydraulický agregát |
| 5. Hydraulický válec natáčení rotorových listů | 15. Držák převodovky zachycující kroutící moment |
| 6. Ventilátory chlazení | 16. Nosným rám strojovny |
| 7. Převodovka | 17. Mechanická kotoučová brzda |
| 8. Hlavní hřídel | 18. Pohon natáčení strojovny větrné elektrárny |
| 9. Systém natáčení rotorových listů | 19. Kompozitová gondola větrné elektrárny |
| 10. Rotorová hlava | |

5.4. Rotor větrné elektrárny

Vývoj v oblasti konstruování rotorů prošel za dobu budování větrných elektráren velkými změnami. Od prvních návrhů a zkoušek různého počtu a typu lopatek se zjistilo, že neoptimálnější je třílistý rotor (Obr. 24, 25) pracující na principu vztlaku. Jeho vlastnosti jsou neoptimálnější v oblasti namáhání od gyroskopických momentů, menšího namáhání z pohledu dynamického zatěžování rotoru a lepšímu vyvážení. Proto jsou v dnešní době rychloběžné třílisté rotory běžně používány. [7]



Obr. 24 Sestavení rotoru na zemi [16]



Obr. 25 Usazení rotoru k ose převodovky [16]

6. Větrné motory

Větrné motory jsou stroje sloužící k transformaci energie. Přeměňování kinetické energie z větru na energii mechanickou, která je pomocí generátoru převedena na energii elektrickou.

6.1. Základní typy větrných motorů

Větrné motory můžeme dělit podle nejrůznějšího kritéria posuzování. Největší význam pro fungování větrného motoru je aerodynamický princip, podle kterého dělíme větrné motory na odporové (např. větrný mlýn, plachetní větrné kolo, Savoniův rotor) a vztlakové (např. vrtule, Darrieův rotor, mnohalopátkový rotor). [5]

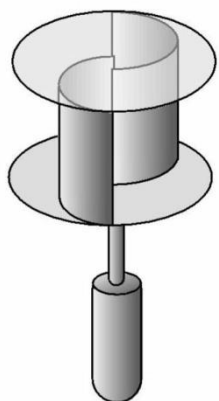
6.2. Větrné motory odporové

Odporové motory jsou z hlediska historie nejstarší a mohou mít, jak vodorovnou, tak i svislou osu otáčení. Jejich princip fungování je jednodušší a teoretická účinnost je maximálně 20 %, proto nejsou vhodné pro použití v energetice. [5]

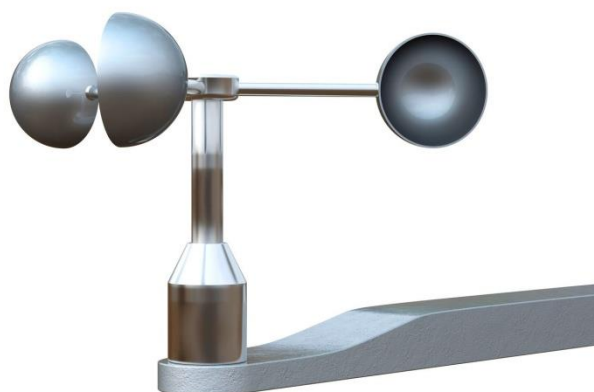
I když se mohou lišit svojí konstrukcí, jejich princip zůstává v tom, že plocha nastavená proti větru klade aerodynamický odpor, následně proud vzduchu je zpomalován a na plochu je vyvozována síla, která je mechanicky transformována na otáčivý pohyb. Tato plocha nastavená proti proudu vzduchu se pohybuje zhruba v jeho směru menší rychlostí, než je rychlost větru. Následně nastává problém, jak otočenou plochu dostat zpět do výchozí polohy. Vzniklý problém lze řešit několika způsoby. [5]

1. Tvar funkční plochy je navržen tak, aby v různých směrech pohybu se lišil i její odpor. Typickým příkladem tohoto provedení je miskový anemometr, který má rotor složený ze tří, až čtyř dutých polokoulí s pravidelným rozmístěním po

obvodu. Podobný princip má i rotor typu Savonius (Obr. 26). Ten je obvykle tvořen dvěma polovinami válcové plochy s kruhovou základnou. [5]

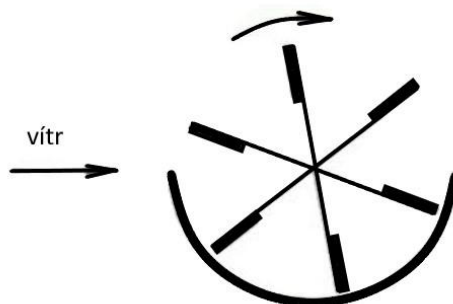


Obr. 26 Rotor Savonius [17]



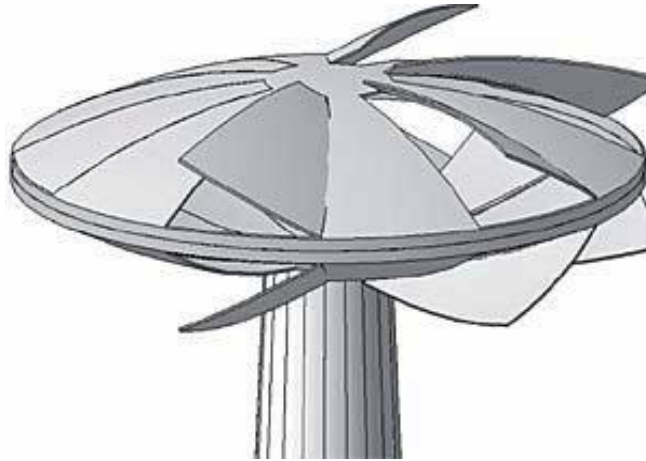
Obr. 27 Miskový anemometr [18]

2. Polovina rotoru pohybující se proti směru větru je zakryta štítem (Obr. 28). Na zakrytou část rotoru proud vzduchu nepůsobí. Podmínkou ale je, aby se štít pohyboval podle směru větru. [5]



Obr. 28 Schéma rotoru s krycím štítem [5]

3. Mění se velikost funkční plochy rotoru v závislosti, kterým směrem vítr proudí. Nutností tohoto řešení jsou pohyblivé lopatky, které se natáčením přizpůsobují aktuálnímu proudění vzduchu (Obr 29). [5]



Obr. 29 Roswell větrná elektrárna [19]

6.3. Větrné motory vztlakové

Vztlakové motory stejně jako motory odporové mohou mít, jak vodorovnou, tak i svislou osu otáčení. [5]

Teoretická účinnost těchto motorů dosahuje maximálně 59,3 %. Výhoda vztlakového motoru je, že není potřeba ho natáčet do směru větru. Využívá síly vznikající při obtékání vzduchu listu rotoru, tzv. aerodynamické vztlakové síly, které vznikají pomocí speciálně tvarovanému profilu listu, podobně je tomu u křídel letadel. [5]

Mezi větrné motory pracující na principu vztlaku patří nejčastěji používané vrtule a větrná kola s vodorovnou osou otáčení. Směr otočení je kolmo ke směru větru. U dnešních, moderních větrných elektráren je nejčastější třílistá vrtule (Obr 30). V minulosti

bylo možno spatřit jednolistové provedení s protizávažím (Obr. 32), dvoulistové (Obr. 31) i čtyřlistové. [5]

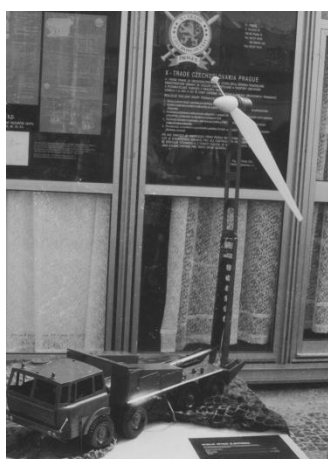
Větrná kola (Obr. 33) nemají vrtulové listy, místo toho disponují větším počtem převážně plechových lopatek. Počet lopatek se pohybuje v rozmezí od čtyř do několika desítek, vše závisí na velikosti větrného kola a požadované rychloběžnosti. Ze zásady platí, že čím větší je počet lopatek, tím se větrný motor snáze rozbíhá a má pomalejší rychlost otáčení, platí i naopak. [5]



Obr. 30 Třílistý rotor [20]



Obr. 31 Dvoulistý rotor [20]



Obr. 32 Jednolistý rotor [20]



Obr. 33 Americké kolo [20]

6.4. Darrieův motor

Jedná se o větrné motory s vertikální osou pracující na principu vztlaku. V roce 1931 je patentoval francouzský inženýr Georges Jean Marie Darrieus. Rotor může tvořit dvou, až čtyřlísté provedení a s listy aerodynamickým tvarem, mohou být profilovány tak, aby bylo minimalizováno jejich namáhání odstředivými silami na ohyb. Rotory mají nejčastěji tvar připomínající řecké písmeno Φ (Obr. 34), nebo tvar písmene H (Obr. 35), ale existuje mnoho jiných variant, např. ve tvaru trojúhelníku. Tento typ větrných motorů pracuje nezávisle na směru větru a jen těžce se rozbíhá bez cizího zdroje (nutností je vyšší rychlost větru, nebo jej roztáčet pomocnou turbínou pracující od nižších rychlostí větru), proto je často v kombinaci se Savoniovou turbínou. [5]



Obr. 34 Rotor Darrieus typu Φ [21]



Obr. 35 Rotor Darrieus typu H [21]

7. Elektrické generátory

Ve větrných elektrárnách se elektrická energie zpravidla vytváří synchronními, nebo asynchronními generátory formou trojfázové proudové soustavy. Základní vlastnosti generátorů se mění podle toho, je-li elektrárna je připojena na rozvodovou elektrickou síť a spolupracuje s dalšími zdroji, nebo dodává elektrickou energii spotřebičům v samostatné síti. [5]

Přímo připojený synchronní generátor na rozvodnou elektrickou síť má konstantní otáčivou rychlost, danou kmitočtem sítě a počtem pólů. Při frekvenci sítě 50 Hz, jsou otáčky 2-pólového stroje $3\,000\text{ min}^{-1}$, 4-pólového $1\,500\text{ min}^{-1}$, 6-pólového $1\,000\text{ min}^{-1}$. [5]

Otáčivá rychlost asynchronního generátoru je takřka konstantní. Jeho rychlost při nulovém zatížení je shodná s otáčivou rychlostí synchronního generátoru s identickým počtem pólů a s nárůstem výkonu dodávaného do sítě se slabě zvyšuje. Pro dosažení jmenovité zatížení se zvýší přibližně o 1 až 2 % nad synchronní otáčky. [5]

7.1. Synchronní generátory

Synchronní generátor – alternátor – je elektrický stroj na výrobu elektrické energie ve formě střídavého napětí a proudu (Obr. 36). Jedná se o nejčastěji používaný typ elektrického generátoru v současných sítích. [5]



*Obr. 36 Synchronní generátor větrné elektrárny o výkonu 2MW.
Generované jmenovité napětí 6,3 kV [7]*

7.1.1. Hlavní části synchronního generátoru

1. **Pracovní vinutí** – neboli indukt, kotva, a taky často nazýváno statorové vinutí. Při práci alternátoru se do něj indukuje napětí a odebírá vyrobená elektrická energie. Toto vinutí se u alternátorů s výkonem nad 10 kVA často nachází na strojící části stroje, ale může být umístěno i na rotoru. [5]
2. **Budící vinutí** – vytváří potřebný magnetický tok uvnitř stroje. Umístění tohoto vinutí je většinou na odlišné části stroje, než je vinutí pracovní, což je u většiny strojů na rotoru. [5]
3. **Magnetický obvod** – vymezuje cestu pro hlavní magnetický tok stroje. Většina délky magnetického obvodu je vyrobena dobře magneticky vodivým materiálem – železem – nachází se na statoru i rotoru stroje. Části magnetického obvodu mezi státorem a rotorem jsou od sebe odděleny mezerou, i když je mezera velká jen pár milimetrů, představuje místo s největším magnetickým odporem. [5]
4. **Konstrukční část stroje** – slouží k uchycení pracovních částí (hřidel, kostra statoru, svorkovnice, mechanická spojka, ventilátor, který je většinou nasazen na hřideli) a vytvoření z nich jeden konstrukční celek. [5]
5. **Příslušenství alternátoru** – elektrický rozvaděč s předepsanými jistěnímí alternátoru, se synchronizační soupravou a spínacími přístroji na rozvodnou síť, nebo ke spotřebičům. Budící souprava s regulovaným zdrojem budícího proudu, regulátorem napětí a dalšími regulátory. Mazací souprava, zajišťující přívod oleje do ložisek k mazání a chlazení. [5]

7.2. Asynchronní generátory

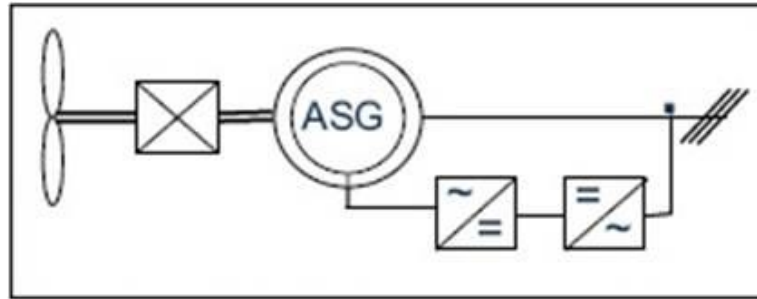
Asynchronní stroje mohou pracovat jako generátory elektrické energie, ale většinou se používají jako poháněcí motory. Díky nízké ceně, jednoduchosti a snadnému připojení k elektrické rozvodné síti se používají i jako generátory větrných elektráren. [5]

7.2.1. Hlavní části asynchronního generátoru

1. **Stator** – pevná část – u většiny elektromotorů je na střídavý proud. Skládá se z nosné kostry motoru, svazku statorových plechů a statorového vinutí. [5]
2. **Rotor** – pohyblivá část – na hřídeli jsou nalisovány rotorové plechy s drážkami.
 - **Kotva na krátko** – v drážkách rotoru jsou nalisovány neizolované tyče (měděné, mosazné, nebo hliníkové), které jsou spojeny zkratovacími kroužky na obou koncích. Tyče spojené s kroužky mají tvar klece (klecový rotor). [5]
 - **Kotva kroužková** – v drážkách rotoru je založeno trojfázové vinutí z izolovaného vodiče (měděného) většinou do hvězdy, alternativně do trojúhelníku, které je vyvedeno na vzájemně izolované kroužky se sběracími kartáči. Ke kartáčům je možno připojit sadu činných odporů pro motorický rozběh stroje nebo pro regulaci tvrdosti charakteristiky. [5]

7.3. Strojovna větrné elektrárny - gondola

7.3.1. Strojovna VESTAS



Obr.37 Schéma strojovny větrné elektrárny s převodovkou výrobce VESTAS [7]

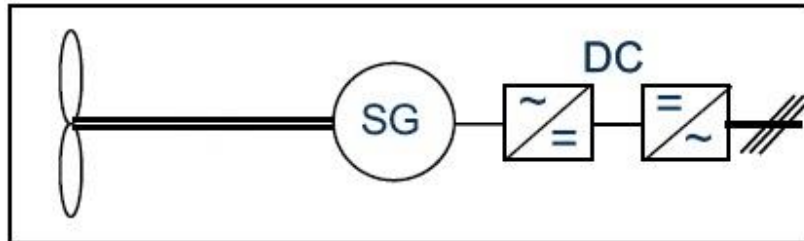
„Největší světový výrobce větrných elektráren, dánská firma VESTAS, používá ve své konstrukci uspořádání rotor - převodovka – asynchronní generátor. Jedná se o spolehlivé konstrukční spojení, kdy asynchronní generátor je schopen činnosti v rozmezí otáček a tedy regulace celého systému je snazší.“ [7]



- 1) Hlavní hřídel větrné elektrárny
- 2) Nosný rám strojovny
- 3) Převodovka větrné elektrárny
- 4) Spojení mezi převodovkou a generátorem
- 5) Generátor větrné elektrárny
- 6) Systém natáčení strojovny
- 7) Hydraulické systémy větrné elektrárny

Obr. 38 Schéma strojovny větrné elektrárny firmy Siemens [7]

7.3.2. Strojovna ENERCON



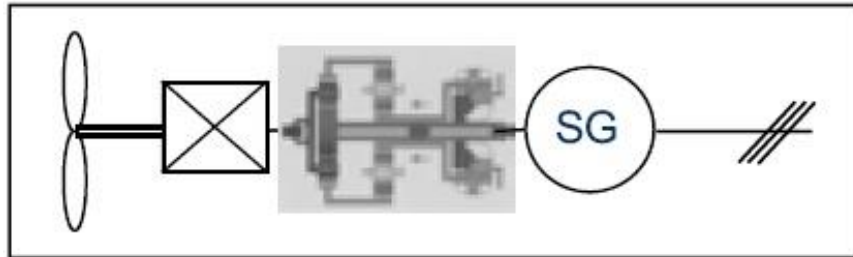
Obr. 39 Schéma strojovny bezpřevodovkové elektrárny od výrobce ENERCON [7]

„Německý výrobce větrných elektráren Enercon od začátku svojí existence používá princip mnohápólového generátoru (Obr. 40). Úplně vynechal převodovku a snížil tak hmotnost, hlukové emise a možnost potenciálních poruch a eliminoval tak ztráty, které vznikají v převodovce. Na rotoru je přímo umístěn jeden prstenec cívek (pólů), druhý prstenec je statorový. Podle síly větru, tedy podle velikosti vyvozeného kroutícího momentu se zapínají jednotlivé pólové dvojice (čím vyšší rychlost větru, tím je zapnuto více pólových dvojic). Vyrobena elektrická energie se ale ještě musí upravovat výkonovou elektronikou, aby mohla být dodána do sítě (zde vznikají určité ztráty).“ [7]



Obr. 40 Schéma strojovny větrné elektrárny firmy Enercon. Zelená část je rotorová hlava. Za ní následují prstence generátoru. Žlutá část je pak nosný rám strojovny s pohony pro natáčení [7]

7.3.3. Strojovna WIKOV

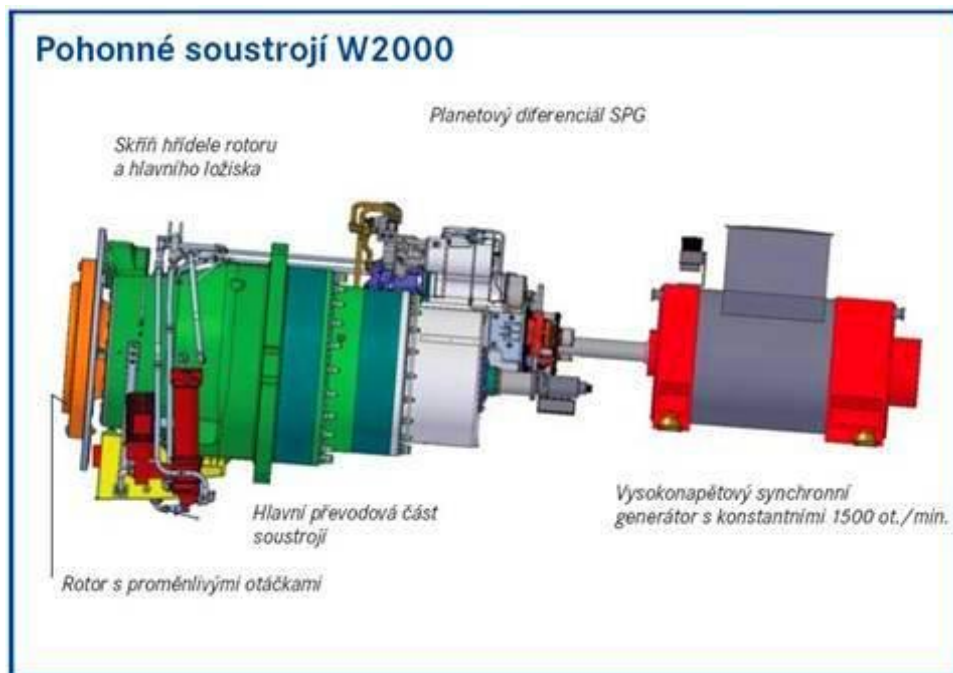


Obr. 41 Schéma strojovny s převodkou a variátorem výrobce WIKOV [7]

„Český výrobce větrných elektráren, firma Wikov, použila systém, který by teoreticky měl mít nejvyšší účinnost ze všech tří představených principů (Obr. 42). Proměnlivé otáčky rotoru větrné elektrárny „zpracovává“ převodka s variátorem (převodka SPG – super positron gear s proměnlivým převodovým poměrem). Její výstupní otáčky jsou stále konstantní. Toho využívá synchronní generátor, který při těchto stálých otáčkách vyrábí elektrickou energii, jenž se již nemusí nijak upravovat a je možné ji přímo dodávat do rozvodné sítě.“ [7]



Obr. 42 Uspořádání strojovny větrné elektrárny Wikov W2000 [7]



Obr. 43 Detail pohonné soustrojí větrné elektrárny Wikov W2000 [7]



Obr. 44 Detail převodovky Wikov. Planetový stupeň s osmi satelity uloženými na pružných čepch [7]

8. Emise větrných elektráren

8.1. Hygienické limity hluku

Rozhodujícím časovým úsekem dne je noční klid, který je stanoven zákonem o ochraně veřejného zdraví, tedy dobou chránící před hlukem a vibracemi v rozmezí od 22:00 hod. do 6:00 hod. ranní. [8]

V České republice máme jedny z nejpřísnějších limitů hluku v porovnání s jinými státy Evropy a světa.

1. Česká republika, Švédsko a Norsko:

- základní limit pro venkovní hluk (např. u obytných domů) je 40 dB
- základní limit pro vnitřní hluk (uvnitř obytných domů) je 30 dB

2. Dánsko, Německo, Nizozemí a Polsko (takřka stejné limity):

- limit pro řídké osídlení 45 ± 1 dB
- limit hustě osídlených míst 40 ± 1 dB

3. Velká Británie, Francie, Nový Zéland a Austrálie (podobné limity):

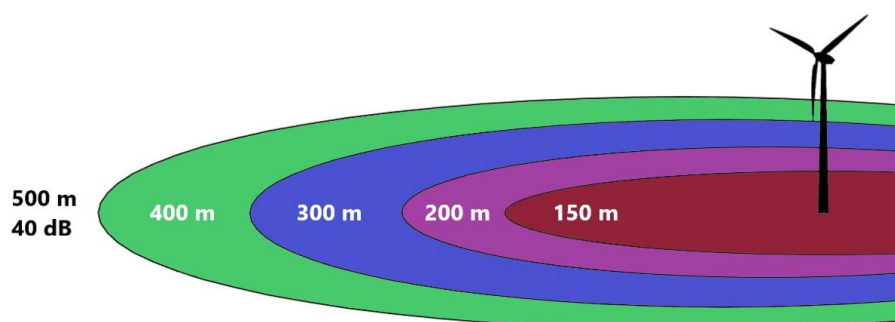
- limit pro venkovní hluk (podle počtu bytů) 43 ± 1 dB
- limit pro vnitřní hluk 40 ± 1 dB

4. Řecko

- limit pro venkovní prostor 50 dB
- limit pro vnitřní prostor s otevřenými okny 45 dB

5. USA nemá stanoveno, jen některé státy:

- Wisconsin – v chráněném vnitřním prostoru staveb 50 dB
- California – v chráněném vnitřním prostoru staveb 55 dB
- Mitchigen – v chráněném vnitřním prostoru staveb 60 dB



Obr. 45 Hluková mapa větrné elektrárny [14]

Dnešní moderní větrné elektrárny jsou natolik konstrukčně vyspělé, že od stožáru ve vzdálenosti 500 m a výkonu 2 MW splňuje hygienické limity hladiny hluku, což je 40 dB (Obr. 45). Problém s hlučností měly větrné elektrárny především staršího typu konstrukce, které byly vybudovány v první polovině 90. let minulého století. [8, 14]

8.2. Infrazvuk a nízkofrekvenční hluk

Česká republika, Evropa, ani jiné státy světa nemají zákonné normy týkající se limitu infrazvuku a nízkofrekvenčního hluku.

Všeobecně známá definice infrazvuku ho popisuje, jako zvuk o kmitočtu 0 – 20 Hz, který není lidským uchem běžně slyšet. Výjimečně může být vnímán při vysokém akustickém tlaku a vysoké frekvenci. Následně vzniklý tón vycházející od VTE nám signalizuje závadu na zařízení, nýbrž VTE nejsou standardním zdrojem infrazvuku. [8]

Studie provedené v posledních letech se zaměřením na emise hluku větrných elektráren, se jednoznačně shodují na to, že hlavním zdrojem hluku je tzv. swishing.

8.3. Swishing („svištění, svist“)

Jedná se o nízkofrekvenční hluk vznikající přerušovaným průchodem listu rotoru okolo stožáru. Swishing se nejvíce projevuje v okamžiku, kdy ve větrném parku nastanou u jednotlivých strojů shodné fáze natočení rotoru. Tato shoda nastává minimálně a velmi rychle mizí. [9]

8.4. Flicker efekt („disko efekt“)

Jev projevující se, když je slunce nízko nad obzorem, ať už při východu, nebo těsně před západem slunce. Míhající stíny se promítají do okolní krajiny a jsou způsobené pohybem lopatek rotoru. [9]



Obr. 46 Stíny větrných elektráren [22]

Vzhledem k vývoji a získávání nových zkušeností s výstavbou VTE se od 90. let konce 20. století konstrukce a hlavně vnímání, zohledňování a začlenění do krajinného rázu s minimálním narušením posunulo kladným směrem. Problémy, jako byl hluk, rušení televizního a rádiového signálu, swishing a flicker efekt takřka vymizely, nebo byly minimalizovány s nulovým vlivem, jak na faunu, tak i flóru, dále i na lidskou populaci žijící v okolí větrných elektráren.

9. Závěr

Tato práce se věnovala představení a analýze provozu větrných elektráren. Větrných elektráren je na našem území poměrně málo ve srovnání se sousedními státy, ale jejich počet se neustále navyšuje a jejich potenciál bude pravděpodobně teprve naplno využit.

V předkládané bakalářské práci jsem nejprve představil počátky větrné elektrárny a její předchůdce, vymezil jsem vítr jakožto zdroj elektrické energie. Zbylá část práce je věnována již technické prezentaci a analýze jednotlivých částí větrné elektrárny – základy, stožáry, strojovny a rotory. V této sekci jsem se věnoval motorům a generátorům větrné elektrárny, hlavní složky přeměny větru na elektrickou energii. Nakonec jsem se zamyslel nad emisemi tohoto typu obnovitelného zdroje elektrické energie a možnosti stavby větrné elektrárny.

Emisní stopa u větrné elektrárny je především ve formě infrazvuku a nízkofrekvenčního hluku. Flicker efekt, vytvářející míhání stínů v krajině, se děje pouze ve výjimečných případech, ale jeho vliv se na člověka neprokázal. Tudiž nejde o emisi v pravém slova smyslu a místo ke stavbě větrných elektráren je legislativně vymezeno. Z hlediska technického nelze stavět větrné elektrárny tam, kde jsou pro ně nejlepší podmínky, tj. ideální povětrnostní podmínky (pravidelnost a rychlost větru nad 6 m/s). Jde se o vysokohorské oblasti, zpravidla chráněny pro svou zachovalost z hlediska ochrany přírody a uchování krajinného rázu. Volba stavby větrné elektrárny je proto kompromisem mezi energetickou společností a územním rozhodnutím katastrů obcí.

V českých podmínkách převažuje fotovoltaická elektrárna nad větrnou, ačkoliv ve vyspělých západních zemích je poměr ve zdrojích energie přesně opačný. U nás k tomuto trendu došlo nejspíše vlivem dotací pro fotovoltaickou elektrárnu. Lze však očekávat, že i u nás se postupně začneme o tento nepříliš využívaný obnovitelný zdroj energie zajímat. Každá domácnost bude jednoho dne využívat vlastní zdroj obnovitelné energie a větrná elektrárna nabízí skladný, ekologický a ve svém důsledku i ekonomický zdroj energie, dostupný i pro jednotlivé domácnosti.

10. Seznam použitých zdrojů

- [1] KOČ, Břetislav. *Z historie elektráren*. In Elektro – časopis pro elektrotechniku [online]. Praha: FCC PUBLIC, s. r. o., (12) 2005. [cit. 11.3.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-vetrnych-elektren--13364>>
- [2] *Z historie využívání energie větru v českých zemích*. ČSVE – Česká společnost pro větrnou energii. [online], (nedatováno). [cit. 4.3.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/clanky/z-historie-vyuzivani-energie-vetru-v-ceskych-zemich/36>>
- [3] *Fungování větrných elektráren*. ČEZ, a. s. [online], (nedatováno). [cit. 7.3.2019]. Dostupné z WWW: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elekrarna.html>>
- [4] HRBEK, Michal. *Synoptická mapa*. [online] (nedatováno). [cit. 7.3.2019]. Dostupné z WWW: <http://www.pocasidomasov.cz/synopticka_mapa.php>
- [5] RYCHETNÍK, Václav. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: ČVUT, 1997, 199 s. ISBN 80-010-1563-7.
- [6] WAGNER, Vladimír. *Větrné elektrárny včera, dnes a zítra (díl 2)*. [online], 13.12.2017. [cit. 25.3.2019]. Dostupné z WWW: <<https://oenergetice.cz/vetrne-elekrarny/vetrne-elekrarny-vcera-dnes-zitra-dil-2/>>
- [7] *Z čeho se skládá větrná elektrárna*. ČSVE – Česká společnost pro větrnou energii. [online], (nedatováno). [cit. 7.3.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/detail-kategorie/z-ceho-se-sklada-vetrna-elekrarna/82>>
- [8] JIRÁSKA, Aleš. *Hluk větrných elektráren*. Zdravotní ústav se sídlem v Pardubicích. 2004. [cit. 11.3.2019]. Dostupné z WWW: <http://www.csve.cz/pdf/cz/Hluk_vetrnych_elektren.pdf>
- [9] JERIE, Ladislav. *Na hranici Voticka a Sedlčanska postaví čtyři obří větrné elektrárny*. [online], 16.2.2015. Dostupné z WWW: <https://benesovsky.denik.cz/zpravy_region/laj-hranici-voticka-a-sedlcanska-postavi-ctyri-obri-vetrne-elekrarny-20150216.html>
- [10] LIŠKOVÁ, Michaela. *Víte, že se v Praze dochoval větrný mlýn? Jmenuje se po něm část města*. [online], 8.11.2018. [cit. 11.3.2019]. Dostupné z WWW: <https://prazsky.denik.cz/zpravy_region/v-praze-se-skryva-jediny-vetrny-mlyn-najdete-ho-kousek-od-brevnovskeho-klastera-20181108.html>
- [11] *Ultrazvukový anemometr*. Fiedler – elektronika pro ekologii. [online]. FIEDLER AMS s.r.o., 2017. [cit. 11.3.2019]. Dostupné z WWW:

- <https://www.fiedler.company/cs/produkty/snimace-cidla-senzory/rychlost-smer-vetru/ultrazvukovy-anemometr>>
- [12] *Větrný rukáv*. [online], poslední aktualizace 24. 8. 2017. [cit. 28.2.2019]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9Btrn%C3%BD_ruk%C3%A1v>
- [13] BERANOVSKÝ, Jiří; TRUXA, Jan. *Alternativní zdroje energie pro váš dům*. 2. vyd. Brno: EkoWATT – ERA, 2004. 125 s. ISBN 80-86517-89-6.
- [14] *Víte, jak funguje větrná elektrárna?* Proelektrotechniky.cz, obrázky ČEA ČR [online], 4.1.2013. [cit. 18.3.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/4.php>>
- [15] KOČ, Břetislav. *Větrné elektrárny VIII. – Mořské (offshore) větrné elektrárny*. TZB – info. [online], 16.1.2017. Praha: TECHNICKÉ VYDAVATELSTVÍ PRAHA, spol. s r. o. [cit. 25.2.2019]. Dostupné z WWW: <<https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/15249-vetrne-elektrarny-viii-morske-offshore-vetrne-elektrarny>>
- [16] KOČ, Břetislav. *Větrné elektrárny VII. – Jak se staví větrná elektrárna*. TZB – info. [online], 7.11.2017. Praha: TECHNICKÉ VYDAVATELSTVÍ PRAHA, spol. s r. o. [cit. 25.2.2019]. Dostupné z WWW: <<https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14893-jak-se-stavi-vetrna-elektrarna>>
- [17] Základové konstrukce pro offshore větrných elektráren. [online], (nedatováno). [cit. 10.3.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.solar.exclus.com/wind-power/savonius-darrieus-turbine.png>>
- [18] *Anemometr*. [online], poslední aktualizace 9. 11. 2018. [cit. 28.2.2019]. Dostupné z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Anemometr>>
- [19] DOLEŽAL, Martin. *Větrná elektrárna ROSWELL*. [online], 29.8.2010. [cit. 11.3.2019]. Dostupné z WWW: <<https://coptkm.cz/portal/?action=2&doc=7784>>
- [20] KOČ, Břetislav. *Větrné elektrárny III. – větrná energie v ČR do roku 2000*. TZB – info. [online], 25.1.2016. Praha: TECHNICKÉ VYDAVATELSTVÍ PRAHA, spol. s r. o. [cit. 18.2.2019]. Dostupné z WWW: <<https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/13730-vetrne-elektrarny-iii-vetrna-energie-v-cr-do-roku-2000>>
- [21] *Darrieova turbína*. [online], poslední aktualizace 4. 4. 2017. [cit. 22.2.2019]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Darrieova_turb%C3%ADna>
- [22] Redakce Nazeleno.cz. *Větrná energie: Bude hrát v Evropě prim?* Nazeleno.cz – chytrá řešení pro každého. [online], 23.11.2010. Dostupné z WWW: <<https://www.nazeleno.cz/vetrna-energie-bude-hrat-v-evrope-prim/>>

11. Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Charles F. Brush</i>	11
<i>Obr. 2 První větrná el. na světě</i>	11
<i>Obr. 3 Paul la cour</i>	11
<i>Obr. 4 Větrné elektrárny Paula la Coura</i>	11
<i>Obr. 5 Větrný mlýn v Břevnovském klášteře</i>	12
<i>Obr. 6 Předpovědní synoptická mapa Evropy: 10.3.2019 12 UTC</i>	13
<i>Obr. 7 Snímač směru větru WD360</i>	15
<i>Obr. 8 Větrný rukáv</i>	15
<i>Obr. 9 Miskový anemometr W1</i>	17
<i>Obr. 10 Ultrazvukový anemometr</i>	17
<i>Obr. 11 Větrná mapa ČR znázorňující průměrnou rychlost větru</i>	18
<i>Obr. 12 Výkon instalovaných větrných el. v jednotlivých krajích</i>	20
<i>Obr. 13 Obecný popis větrné elektrárny</i>	21
<i>Obr. 14 Čtvercový základ</i>	22
<i>Obr. 15 kruhový základ</i>	22
<i>Obr. 16 Šestiboký základ</i>	22
<i>Obr. 17 Základové konstrukce pro offshore větrných. el.</i>	23
<i>Obr. 18 Plovoucí větrná el. Siemens HYWIND</i>	24
<i>Obr. 19 Schéma ukotvení plovoucí větrné el.</i>	24
<i>Obr. 20 Segment ocelového trubkového stožáru</i>	25
<i>Obr. 21 Větrná el. s příhradovým stožárem</i>	25
<i>Obr. 22 Popis montáže prefabrikovaného betonového stožáru</i>	25
<i>Obr. 23 Schéma stroje Vestas s asyn. gener. a převodovkou</i>	26

<i>Obr. 24 Sestavení rotoru na zemi</i>	27
<i>Obr. 25 Usazení rotoru k ose převodovky</i>	27
<i>Obr. 26 Rotor Savonius</i>	29
<i>Obr. 27 Miskový anemometr</i>	29
<i>Obr. 28 Schéma rotoru s krycím štítem</i>	29
<i>Obr. 29 Roswell větrná elektrárna</i>	30
<i>Obr. 30 Třílístý rotor</i>	31
<i>Obr. 31 Dvoulístý rotor</i>	31
<i>Obr. 32 Jednolístý rotor</i>	31
<i>Obr. 33 Americké kolo</i>	31
<i>Obr. 34 Rotor Darrieus typu Φ</i>	32
<i>Obr. 35 Rotor Darrieus typu H</i>	32
<i>Obr. 36 Synchronní generátor větrné el. o výkonu 2MW</i>	33
<i>Obr. 37 Schéma strojovny větrné el. s převodovkou výrobce VESTAS</i>	36
<i>Obr. 38 Schéma strojovny větrné el. s převodovkou výrobce VESTAS</i>	36
<i>Obr. 39 Schéma strojovny bezpřevodkové el. od výrobce ENERCON</i>	37
<i>Obr. 40 Schéma strojovny větrné elektrárny firmy Enercon</i>	37
<i>Obr. 41 Schéma strojovny s převodovkou a variátorem výrobce WIKOV</i>	38
<i>Obr. 42 Uspořádání strojovny větrné el. Wikov W2000</i>	38
<i>Obr. 43 Detail pohonné soustrojí větrné el. Wikov W2000</i>	39
<i>Obr. 44 Detail převodovky Wikov</i>	39
<i>Obr. 45 Hluková mapa větrné elektrárny</i>	41
<i>Obr. 46 Stíny větrných elektráren</i>	43

12. Seznam tabulek

<i>Tab. 1</i> Číselná stupnice směru větru	14
<i>Tab. 2</i> Beaufortova stupnice	16