

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technologie generátorů větrných elektráren

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš POLÁČEK**
Osobní číslo: **E10B0101P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Technologie generátorů pro větrné elektrárny**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Zpracujte přehled vývoje technologií generátorů pro větrné elektrárny

1. Shrňte vývoj postavení větrné energetiky do současné doby.
2. Popište vývoj typů a výkonů větrných elektráren.
3. Zmapujte generátory pro větrné elektrárny podle výkonu, provedení a typů.
4. Popište pravděpodobný vývoj větrné energetiky v nejbližší budoucnosti.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Řezáček, Ph.D.


Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na shrnutí postavení větrné energetiky od jejích počátků až do současnosti a popisuje základní typy, výkony a provedení generátorů větrných elektráren. V první části se tato práce zabývá historií větrných elektráren a vývojem jejich parametrů. V druhé části textu se zabývá typy generátorů větrných elektráren, jejich stručným popisem a je zde také nastíněn vývoj generátorů od 90. let po současnost. Ve třetí části textu jsou rozebrány 3 základní typy generátorů používané ve větrných elektrárnách od společností Enercon, VESTAS a Wikov. V poslední části textu se práce zabývá možností přenesení větrné energetiky z pevniny na moře.

Klíčová slova

Energie větru, generátor, větrné elektrárny, obnovitelné zdroje, generátory větrných elektráren, větrná energetika

Abstract

This bachelor work is focused on historical and technical development of wind turbines and it describes basic types, wattages and designs of wind turbine generators. The first part deals with a historical development of wind turbines. In the second part this work deals with the concrete types of wind turbine generators, it briefly describes them and in this part is also a development of wind turbine generators from the 90s to the present. In the third part, there are three main types of wind turbine generators used by companies Enercon, VESTAS and Wikov, explained. In the last part of the text is briefly explained a possibility of wind turbines being moved from the land to the sea.

Key words

Energy of the wind, generator, wind powerplant, renewable resources, generators of wind powerplant, wind energetics

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 3.6.2013

Jméno příjmení

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Řezáčkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během studia.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1. HISTORICKÝ VÝVOJ	10
1.1 VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE VĚTRU	10
1.2 PRVNÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	11
1.3 RŮST VÝKONU VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	13
2. GENERÁTORY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	16
2.1 SYNCHRONNÍ GENERÁTORY	17
2.2 ASYNCHRONNÍ GENERÁTORY	18
2.3 VÝVOJ POUŽITÍ GENERÁTORŮ OD POLOVINY 90. LET 20. STOLETÍ.....	20
2.4 GENERÁTORY DNES	21
2.5 ZÁVISLOST VELIKOSTI VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY NA JEJÍM VÝKONU	22
3. ZMAPOVÁNÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN PODLE VÝKONŮ A TYPŮ	23
3.1 ENERCON	23
3.2 VESTAS	24
3.3 WIKOV	26
4. VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY NA MOŘI	26
ZÁVĚR	29
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	30

Úvod

Dnes lidé potřebují ke své spokojené existenci ohromné množství elektrické energie. Jelikož se elektrická energie v přírodě nevyskytuje ve formě, ve které ji potřebujeme, musí si ji lidstvo vyrábět. Základem pro vytváření elektrické energie je přeměna jiné formy energie, která je v přírodě dostupná. K tomuto účelu jsou stále využívána převážně fosilní paliva, a to zejména uhlí, ropa a zemní plyn. Jelikož však nároky na množství energie potřebné lidmi rostou závratným tempem, hrozí do budoucna vyčerpání zásob fosilních paliv v horizontu několika desítek let. Především problém se zásobami fosilních paliv nutí lidi vytvářet nové způsoby výroby energie nebo je zdokonalovat. Jako perspektivní se dnes jeví i obnovitelné zdroje energie.

Právě obnovitelné zdroje energie se do budoucna jeví jako nejperspektivnější řešení potenciální energetické krize především proto, že jsou schopny poskytovat dodávky energie i tisíce let, aniž by se vyčerpaly. Obnovitelné zdroje energie na planetě Zemi mají svůj původ zejména v energii slunečního záření, které vzniká termojadernou reakcí v nitru Slunce. Na Zemi pak dochází k jevům, jejichž energie se využívá přímo, nebo je přeměňována na jinou formu energie. Mezi významné obnovitelné zdroje energie patří zejména sluneční energie, vodní energie, přílivová energie, geotermální energie, energie biomasy a energie větrná.

Problém nastává s využíváním obrovského potenciálu obnovitelných zdrojů a jejich přeměnou na energii. Někdy je dokonce potřeba zastavět celé plochy, abychom byli schopni využít jen zlomek celkového potenciálu obnovitelných zdrojů, což přináší nemalé počáteční finanční investice. Výhodou obnovitelných zdrojů energie je však skutečnost, že nic nestojí a přesto nás obklopují na mnoha místech, takže se tyto počáteční investice většinou vyplácí. Důležitým hlediskem je i energetická politika Evropské unie, která prosazuje maximální možné využití obnovitelných zdrojů, což přináší nemalé finanční prostředky do této oblasti. V několika posledních letech získává významnější zastoupení energie větru, která se podílí stále větší částí na celkovém příspěvku obnovitelných zdrojů při přeměně na elektrickou energii.

Seznam symbolů a zkratk

I (A)	Elektrický proud
H [A/m]	Intenzita magnetického pole
F_m (V)	Magnetomotorické napětí (mmn)
Φ [$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$]	Magnetický indukční tok
R_m (Ω)	Magnetický odpor
B [$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$]	Magnetická indukce
n_0 [otáčky za minutu]	Synchronní rychlost
P (W)	Výkon větrné elektrárny
ρ [$kg \cdot m^{-3}$]	Hustota vzduchu
v [$m \cdot s^{-1}$]	Rychlost proudění vzduchu
c_p [%]	Účinnost stroje
S [m^2]	Plocha rotoru
SG	Synchronní generátor
ASG	Asynchronní generátor
VAR	Variátor

1. Historický vývoj

1.1 Využívání energie větru

Využívání větrné energie sahá do daleké minulosti. Například kresby plavidel s plachtou plujících po řece Nil jsou staré více než 5000 let a babylonský král Hammurabi měl v plánu zavlažovat roviny Mezopotámie s využitím větrné energie již v 17. století před naším letopočtem. První zmínky o větrných mlýnech s vertikální osou pochází z Persie a z Číny a jsou staré přibližně 2200 let. Nejstarší zmínka o motoru s vodorovnou osou pochází z Egypta z 3. století před Kristem. Větrné mlýny se rozšířily během 11. století našeho letopočtu nejprve na Středním východě a během 13. století začaly pronikat do Evropy. Nejdříve se objevily v Itálii, Francii a na Pyrenejském poloostrově, později ve Velké Británii, v Německu a Holandsku. Holandsko začalo větrné motory využívat k odvodňování mokřin, ale i k mletí obilí a k pohonu pil. Dokonce i na území České republiky se dosud nachází klasické staré větrné mlýny, nebo jejich zbytky. Klasické větrné mlýny, které můžeme považovat za předchůdce větrných elektráren, tedy nesloužily k výrobě elektrické energie, ale sloužily k přeměně energie větru na mechanickou práci. [1]



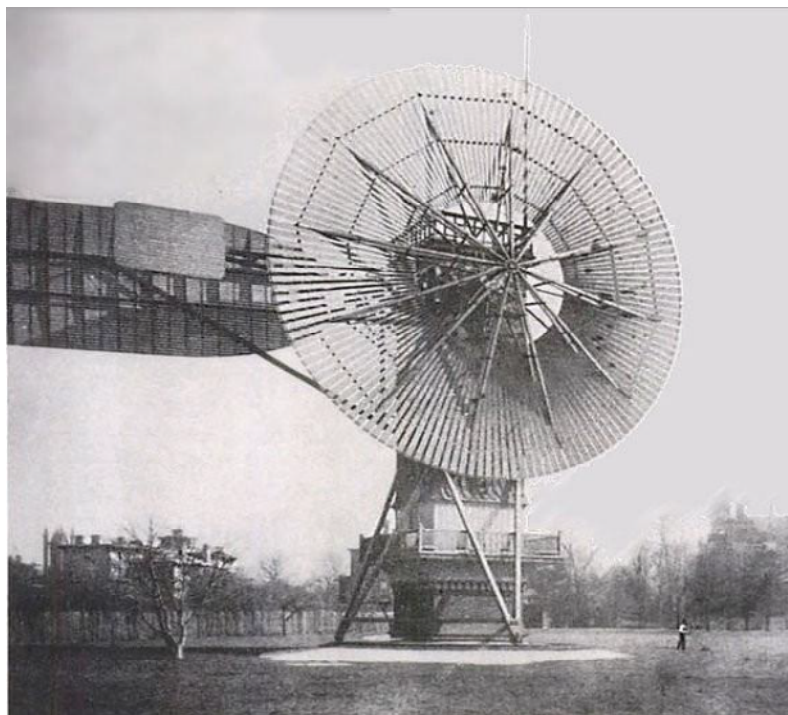
Obr. 1.1 Typické větrné mlýny, Nizozemí, Kinderdijk (převzato z [2])

Pozdější rozvoj prvních malých spalovacích motorů a především rozšíření parního stroje,

jehož vynalezení v roce 1765 se dnes obvykle připisuje Jamesi Wattovi, znamenaly pro větrné motory úpadek. Přesto však na některých místech stále docházelo k vývoji větrných motorů. [1, 3]

1.2 První větrné elektrárny

Podle záznamů první větrnou elektrárnu postavil Američan Charles F. Brush v Clevelandu. Tento muž sestrojil na přelomu let 1887 a 1888 první automatickou větrnou turbínu, která byla napojena na generátor elektrického proudu. Rotor větrného motoru o průměru 17 m, složený ze 144 lopatek z cedrového dřeva, poháněl stejnosměrný generátor, který dosahoval při 500 otáčkách za minutu výkonu 12 kW. [5, 13]



Obr. 1.2 První větrná elektrárna sestrojena Charlesem F. Brushem v Clevelandu (převzato z [4])

V Evropě jako první zkonstruoval roku 1891 větrnou elektrárnu profesor lidové univerzity Poul la Cour v obci Askov v Dánsku. Tato větrná elektrárna se podobala klasickému větrnému mlýnu. Měla čtyři až šest křídel, která byla tvořena plachtami napnutými na rámové konstrukci. [10]

Podnět k rozvoji větrných elektráren přišel s nedostatkem energetických surovin v období první světové války. V roce 1919 patentoval inženýr Povel Vindig z Dánska první moderní větrnou elektrárnu, jejíž rotor pracoval na aerodynamickém principu. Na konci dvacátých let dvacátého století byly v Dánsku poměrně rozšířeny menší větrné elektrárny,

keré se uplatňovaly zejména v místech, kde neexistovalo připojení k elektrické síti. Významným objektem byl ve své době větrný motor postavený u Jalty na Krymu roku 1931 s výkonem 100 kW a především větrný motor Smith – Putnam se synchronním generátorem o výkonu 1250 kW využívaný od roku 1941 do roku 1945 na území státu Vermont v USA. Dvoulistý rotor vyrobený ze železa měl 55 m v průměru a vážil 16 t. Byl umístěn na 40 m vysoké železné konstrukci. Větrný motor Smith – Putnam přesáhl jako první větrný motor na světě hranici 1 MW výkonu. [1, 5, 9, 10, 16]

Roku 1957 postavil dánský inženýr Johannes Juul větrnou elektrárnu na střídavý proud zvanou Gedserský mlýn. Strojovna elektrárny byla umístěna na 24 m vysokém betonovém sloupu. Elektrárna tohoto typu, která již pracovala s třílistým rotorem o průměru 24 m a dosahovala výkonu 200 kW, byla základem ke konstrukci opravdu moderních zařízení. [3, 11, 13]

Šedesátá léta dvacátého století přinesla znatelný útlum všech projektů větrných motorů. To ovlivňovala zejména nízká cena kapalných i jiných paliv a energie vyrobená pomocí větrných elektráren byla značně dražší než energie z tepelných elektráren. Obrat nastal se vzestupem cen paliv během sedmdesátých let. Další podnět k využívání větrných motorů přinesla zvýšená snaha o ochranu životního prostředí a vědomí omezeného množství fosilních zdrojů paliv. [1]

V letech 1975 až 1977 postavili v dánském městečku Tvind studenti a učitelé místní školy větrnou elektrárnu, která znamenala další velký pokrok ve vývoji. Strojovna s vrtulí se třemi 27 m dlouhými lopatkami byla umístěna na betonové věži vysoké 53 m. Tato elektrárna s maximálním výkonem 900 kW a s roční produkcí až 1000 MWh vyprodukovala do dubna roku 2010 18 186 000 kWh elektrické práce. [5, 12]



Obr. 1.3 Větrná elektrárna postavena učiteli a studenty, Tvind, Dánsko (převzato z [6])

1.3 Růst výkonu větrných elektráren

Během 80. let minulého století docházelo k postupnému navyšování výkonů sériově vyráběných elektráren, takže okolo roku 1990 dosahovaly výkony stovek kilowattů a na konci devadesátých let dvacátého století bylo dosahováno hranice megawattu. Vyskytovaly se samozřejmě i experimenty, které svými výsledky překonávaly obvyklou komerční produkci a testovaly možnosti těchto zařízení, které jsou omezeny vlastnostmi konstrukčních materiálů a přírodními a technickými limity. [10]

Důležitým experimentálním projektem byla větrná elektrárna s výkonem 3 MW postavená v roce 1981 u obce Maglarp na jihu Švédska. Byla nazvána WTS-3 (Wind Turbine System 3). Strojovna s hmotností 171 t byla umístěna na ocelovou věž vysokou 77 m. Rotor elektrárny o průměru 78 m byl tvořen dvěma listy, přičemž jeden list měl hmotnost 14 t. Tato větrná elektrárna vyprodukovala ročně až 8 GWh elektrické práce. Její provoz skončil roku 1992. [10, 11]

Výrazným mimoevropským experimentálním projektem byla větrná elektrárna Éole s vertikální osou a výkonem 4 MW postavená v Kanadě. Její rotor typu Darrieus má průměr 64 m a je vysoký 96 m. Tato větrná elektrárna byla provozována v letech 1988 až 1993. [13]



Obr. 1.4 Éole, největší větrná elektrárna se svislým rotorem, oblast Cap-Chat, Quebec, Kanada (převzato z [7])

Na konci dvacátého století také komerčně provozované větrné elektrárny překročily výkon 1 MW na jediném stožáru. Největší zařízení tohoto typu stojí v Německu. V tomto ohledu vyniká větrná elektrárna E – 126 od firmy ENERCON se jmenovitým výkonem

7,5 MW , průměrem rotoru 127 m a celkovou výškou 135 m. [10, 14]



Obr. 1.5 Větrná turbína E – 126, poblíž Emden, Německo (převzato z [8])

Tab. 1.1 Vývoj větrných zařízení

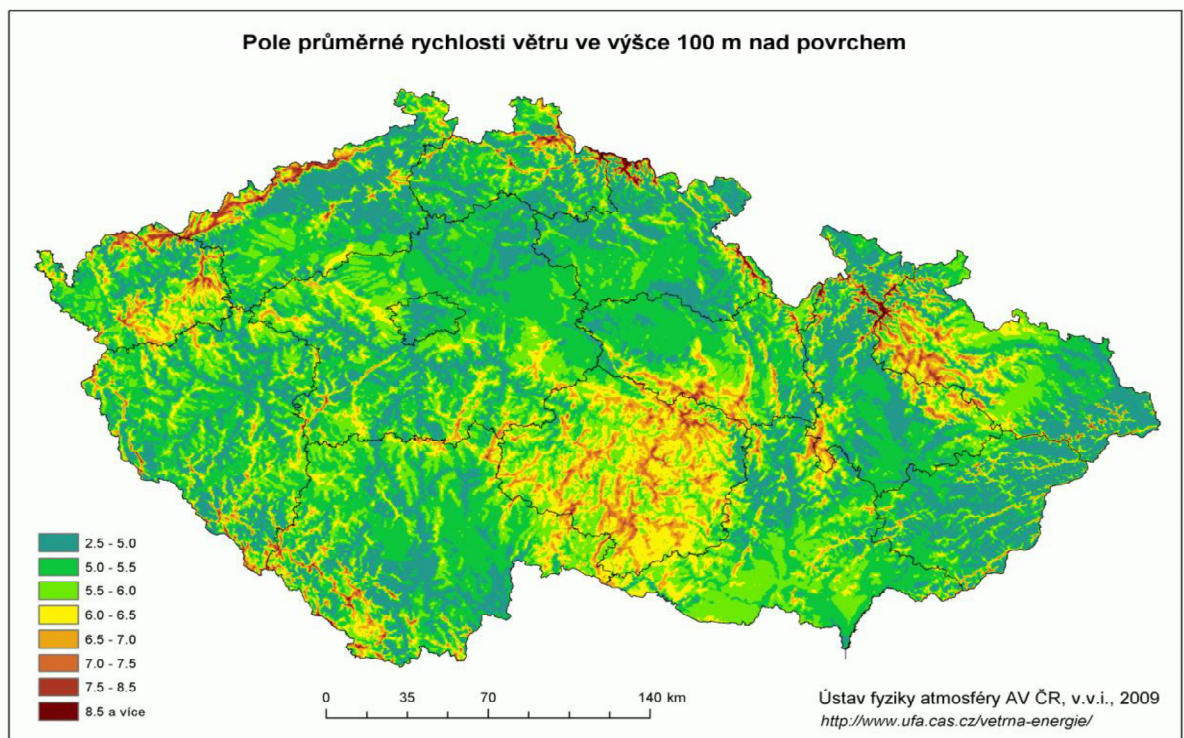
Rok	Typ	Jmenovitý výkon (kW)	Průměr rotoru (m)
16. až 19. století	holandský větrný mlýn	Až 30	Až 25
1888	první větrná elektrárna	12	17
1931	D - 30 (Jalta - Krym)	100	30
1941	Smith - Putnam	1250	55
1950	Gedserský mlýn	200	27
1975	Tvindkraft	960	54
1981	WTS-3 (Maglarp)	3000	78

Tab. 1.2 Vývoj komerčních větrných elektráren od německé firmy ENERCON [14, 15]

Rok	Typ	Jmenovitý výkon (kW)	Průměr rotoru (m)
1984	E-15/16	55	15 nebo 16
1988	E-17	80	17
1988	E-32	300	32
1993	E-40	500	40
1995	E-66	1500	66
2005	E-112	6000	114

V současné době je problematika využívání obnovitelných zdrojů energie stále značně aktuální. To způsobuje, že v mnoha zemích se rozvíjí výroba větrných motorů, které mají za úkol nejčastěji výrobu elektřiny. Tento trend je patrný v zemích s rozvinutým průmyslem a především s vhodnými povětrnostními podmínkami. Z evropského prostředí se toto týká zemí, které leží na pobřeží Severního moře, popřípadě severního pobřeží Atlantického oceánu. Jedná se zejména o Dánsko, Nizozemí, Německo, Francii, Velkou Británii a Španělsko. V přímořských oblastech těchto zemí vanou pravidelné a poměrně silné větry až 80% dní v roce. Z amerického kontinentu jsou důležitými zeměmi z hlediska využívání energie větru především Kanada a USA, kde vhodné větrné podmínky panují v oblastech severního pobřeží Atlantického oceánu, Tichého oceánu a Severního ledového oceánu, nebo také Mexiko, Argentina či Brazílie. Z dalších zemí ve světě je zájem o využívání větrné energie zejména v Číně, Indii, Austrálii a v Rusku. [1]

V České republice nalezneme příhodné větrné podmínky zejména v horských oblastech a na vrchovinách. Vhodné lokality pro výstavbu větrných elektráren z hlediska rychlosti větru zobrazuje větrná mapa České republiky (obr. 1.6), která byla vytvořena pracovníky Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR. [1]



Obr. 1.6 Větrná mapa české republiky (převzato z [11])

2. Generátory větrných elektráren

Elektrická energie se ve větrných elektrárnách většinou vytváří pomocí asynchronních nebo synchronních generátorů trojfázového střídavého proudu. Jejich základní vlastnosti se mění podle toho, zda elektrárna pracuje samostatně a dodává elektrickou energii spotřebičům v samostatné síti, nebo je připojena na rozvodnou elektrickou síť a spolupracuje s dalšími zdroji. [1]

Synchronní generátor přímo připojený na rozvodnou elektrickou síť má otáčivou rychlost konstantní, danou kmitočtem sítě a počtem pólů. Při kmitočtu sítě 50 Hz jsou otáčky dvoupólového stroje 3000 min^{-1} , čtyřpólového 1500 min^{-1} , šestipólového 1000 min^{-1} . [1]

Asynchronní generátor má otáčivou rychlost skoro konstantní. Při nulovém zatížení se jeho rychlost shoduje s otáčivou rychlostí synchronního generátoru o stejném počtu pólů a s nárůstem výkonu dodávaného do sítě se nepatrně zvyšuje. Při jmenovitém zatížení se zvýší přibližně o 1 až 2 procenta. [1]

2.1 Synchronní generátory

Synchronní generátor – alternátor – je elektrický generátor pro výrobu elektrické energie ve formě střídavého napětí a proudu. Díky svým vlastnostem je to nejčastěji používaný typ elektrického generátoru v současných elektrických sítích. Jeho funkce je založena na čtyřech základních zákonech elektrotechniky: [1]

1) Elektrický proud I , který protéká vodičem, vytváří v jeho okolí magnetické pole o intenzitě H . V elektrických strojích se znásobuje magnetický účinek proudu I tím, že z vodiče vytvoříme cívku o N závitěch. Cívka potom vytváří magnetomotorické napětí (mmn):

$$F_m = N I$$

2) Magnetomotorické napětí F_m vytváří v magnetickém obvodu o magnetickém odporu R_m magnetický tok Φ o velikosti:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$$

3) Změna magnetického toku v čase indukuje do cívky s N závitů napětí u o okamžité velikosti:

$$u = N \frac{d\Phi}{dt}$$

4) Na vodič o délce l , umístěný v magnetickém poli o indukci B a protékaný proudem I , působí síla F o velikosti:

$$F = B I l$$

Klasický elektrický alternátor má tyto základní části:

Pracovní vinutí, nazývané také indukt nebo kotva, do kterého se při práci alternátoru indukuje napětí a ze kterého se odebírá vyrobená elektrická energie. Protože u alternátorů na větší výkony (zhruba nad 10 kVA) je toto vinutí umístěno na stojící části stroje, setkáme se často také s názvem statorové vinutí. Principiálně ale může být toto vinutí umístěno i na otáčející se části stroje – rotoru. [1]

Budící vinutí, které slouží k vytvoření potřebného magnetického toku ve stroji. Toto

vinutí je umístěno na opačné straně stroje, než je umístěno vinutí pracovní, tedy u většiny strojů na rotoru. [1]

Magnetický obvod, který vymezuje cestu pro hlavní pracovní magnetický tok stroje Φ . Většina délky magnetického obvodu stroje je vytvořena dobře vodivým materiálem - železem - a nalezneme ho jak na statoru, tak na rotoru. Magnetický obvod mezi rotorem a státorem je oddělen vzduchovou mezerou. Přestože je vzduchová mezera široká pouze několik milimetrů, jedná se o místo s největšími ztrátami R_m . [1]

Konstrukční části stroje, které slouží k uchycení výše uvedených – aktivních – částí a vytvoření z nich jednoho konstrukčního celku (hřidel, kostra statoru, svorkovnice pro elektrické připojení alternátoru k rozvaděči a mechanická spojka pro spojení s motorem nebo převodovkou). [1]

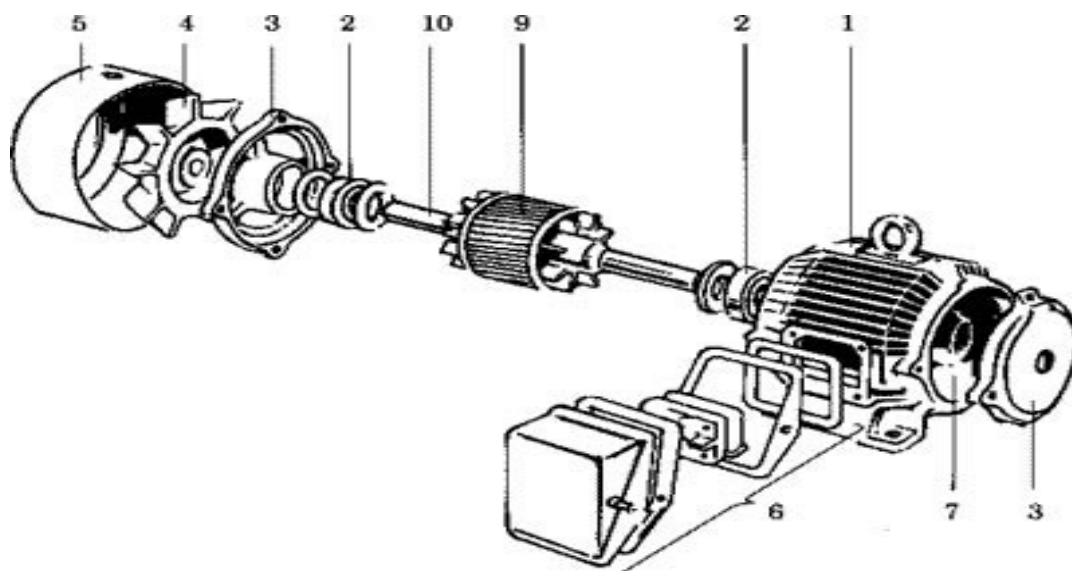
Příslušenství alternátoru. Sem patří elektrický rozvaděč s předepsanými jištěními alternátoru, se synchronizační soupravou a spínacími přístroji pro připojení ke spotřebičům nebo na rozvodnou síť. Dále sem patří budicí soustava s regulovaným zdrojem budicího proudu, regulátorem napětí a dalšími regulátory a automatikami a přípravným zdrojem počátečního nabuzení. V neposlední řadě se sem řadí i mazací souprava, která zajišťuje přívod mazacího oleje do ložisek stroje a jeho chlazení. Některé synchronní generátory jsou chlazeny i ventilátorem, který se nachází na hřideli. [1]

2.2 Asynchronní generátory

Asynchronní stroje se většinou používají jako poháněcí motory, mohou však pracovat i jako generátory elektrické energie. Pro svoji jednoduchost, nízkou cenu a snadné připojení k elektrické rozvodné síti se využívají i jako generátory pro větrné elektrárny. Jedna z jejich velkých výhod je téměř žádná údržba. [1,18]

Princip:

Asynchronní generátor se skládá ze dvou základních částí. Rotor a stator. (viz. obrázek 2.1)



Obr. 2.1 Asynchronní generátor (převzato z [19])

Stator je pevně integrován do stacionární motorové části. Skládá se z tělesa pláště (1), ložiska (2), v němž je uložen rotor (9), (3), ložiskový štít pro uložení ložisek, ventilátor (4) pro chlazení motoru a krytu ventilátoru (5) proti náhodnému kontaktu s rotujícím ventilátorem. Na straně statoru má motor spojovací skříňku (6) pro připojení kabelů. Uvnitř statoru je železný kroužek (7) z tenkých plechů z kovu o tloušťce 0,3 až 0,5 mm. V železných plechách jsou k dispozici dělené drážky, do kterých jsou umístěny tři fáze vinutí. Fázové vinutí statoru generuje magnetické pole. Počet párů pólů určuje rychlost, s jakou se otáčí magnetické pole. Když je motor připojen k nominální frekvenci, nazývá se rychlost magnetického pole *synchronní rychlostí* (n_0). Pro napájecí síť 50 Hz platí : [20]

Tab. 2.1 Závislost pól párů na rychlosti otáček[20]

počet párů pólů (p)	1	2	3	4	5
počet pólů	2	4	6	8	10
n_0 RPM	3000	1500	1000	750	500

Rotor je namontován na ose motoru. Rotor je, stejně jako stator, vyroben z tenkých železných plechů, ve kterých jsou otvory. Rotor je buď typu se sběracími kroužky, nebo kotvou na krátko.

Rotor se sběracími kroužky má stejně jako stator vinuté cívky vložené do drážek. Každá fáze má svoji cívku a ta je pak připojena ke sběracím kroužkům. Pokud se kroužky zkratují, funguje rotor jako tzv. "s kotvou na krátko" nebo klecový rotor. [1]

Zkratovaný rotor má aluminiové tyče zalité do drážek. Na obou koncích jsou tyče zkratovány aluminiovým mezikružím. Používání tohoto rotoru je zcela nejrozšířenější. [1]

2.3 Vývoj použití generátorů větrných elektráren od poloviny 90. let 20.století

Za posledních několik desítek let učinily větrné elektrárny v technice obrovský krok kupředu a kdybychom měli srovnat moderní větrné elektrárny, tak by měly s těmi historickými jen málo věcí společného. [21]

1990 až 1995. V první polovině 90. let se obvyklý instalovaný výkon větrných elektráren pohyboval do hodnoty 1 MW. To představovalo stroje s maximální výškou osy rotoru do 60 m a průměrem vrtule do 70 m. Používaly se dvě technologie omezování výkonu při vyšších rychlostech, tzv. *stall regulated* a *pitch regulated* (tyto regulace rozvedu v textu později). Základním (klasickým) provedením byly strojovny se vstupním hřídelem uloženým na masivních ložiscích. Tato hřídel byla spojena s nábojem vrtulových listů a hřídel byla zaústěna do vícestupňové převodovky. Na rychloběžné straně převodovky byl přes pružnou spojku připojen asynchronní generátor obvykle s dvouotáčkovým vinutím. Revolucí v této oblasti byla koncepce společnosti *Enercon*, která vyvinula bezpřevodkovou větrnou elektrárnu. Vrtule přímo poháněla rotor synchronního generátoru a výstupní napětí z generátoru vstupovalo do měniče se stejnosměrným meziobvodem. Na výstupu měniče byl střídač, který vyráběl střídavé třífázové napětí, jež se pak transformovalo na příslušné napětí vysokonapěťové sítě. Obvyklou součástí tehdejších větrných elektráren byla kiosková trafostanice, která toto napětí transformovala na úroveň vysokého napětí. [21]

Stall regulated:

U tzv. technologie *stall regulated* se omezování výkonu při vyšších rychlostech větru dosahovalo speciálním aerodynamickým návrhem profilu vrtulového listu. Při vyšších rychlostech obtékání se vlivem překročení kritického proudění snižovala účinnost, čímž se také omezil výkon. Na koncích listů vrtule byly otočně uchycené špičky vrtule, které při natočení o 90° fungovaly jako tzv. aerobrzdy. Výhodou tohoto řešení bylo jednoduché uchycení listů vrtule, které představovalo i nižší ekonomické náklady. Nevýhodou byl malý vztlak listů při nízkých rychlostech obtékání vrtulového listu. Tento nedostatek se řešil roztočením vrtule v motorickém režimu asynchronního generátoru tak, až bylo obtékání listů vrtule natolik účinné, že vrtule vytvářela vztlak a nebylo nutné ji dále motoricky urychlovat.

Uvedený systém regulace byl doplňován asynchronním generátorem s dvouotáčkovým vinutím. Při nižších rychlostech větru se používaly nižší otáčky, při vyšších rychlostech větru otáčky vyšší. [21]

Pitch regulated:

U této technologie se omezování výkonu při vyšších rychlostech větru řešilo natáčením listů vrtule pomocí hydraulického systému. S postupným nárůstem výkonu nad hodnotu 1000 kW se již používalo dvojité napájení asynchronního generátoru pomocí měniče kmitočtu, který umožňoval regulaci otáček v rozmezí cca 30 % jmenovitých otáček. Tento systém regulace otáček se používá dodnes. Technologie *pitch regulated* byla výrobně dražší. Výhodou však byla skutečnost, že postupným natáčením listů vrtule umožňovala rozběh elektrárny pouze silou větru, což představovalo úsporu elektrické energie při nižších rychlostech proudění. Natáčení listů vrtule je technologie používaná – v modernější podobě – dodnes. [21]

2.4 Generátory dnes

Typickými představiteli nejsoučasnější technologie jsou větrné elektrárny o výšce osy rotoru 80 nebo 100 m s *pitch regulated* pomocí elektrických vzájemně nezávislých servopohonů s průměrem vrtule 70 až 90 m a výkonem 2 až 3 MW. Transformátory napětí dnes tvoří organickou součást technologie větrné elektrárny a jsou umístěvané buď přímo ve strojovně, nebo ve spodní části tubusu. [21]

Porovnáme-li větrné elektrárny z počátku 90. let minulého století s těmi současnými, dojdeme k několika zajímavým závěrům. Na ploše 1 km² by bylo možné (vzhledem k vzájemnému ovlivňování) umístit 16 větrných elektráren o výkonu 600 kW (typických pro dřívější období). Ty by v součtu mohly ročně vyrobit 24 000 MWh (1500 MWh každá). Na stejné ploše by bylo možné umístit 9 strojů moderních větrných elektráren o výkonu 2 MW s celkovou výrobou 46 800 MWh (5200 MWh každá). To představuje zvýšení energetické výtěžnosti z jednoho km² zastavěné plochy na téměř dvojnásobek při snížení měrných investičních nákladů. Vzhledem ke skutečnosti, že vhodných ploch pro instalaci větrných elektráren ubývá, je hledisko využitelnosti určitého území pro stavbu větrných elektráren velmi významné. [21]

2.5 Závislost velikosti větrné elektrárny na jejím výkonu

V dnešní době se ukazuje, že větší průměr rotoru větrné elektrárny má za následek zvýšení jejího výkonu a to podle vztahu: [22]

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 c_p S$$

P ... výkon větrné elektrárny

ρ ... hustota vzduchu

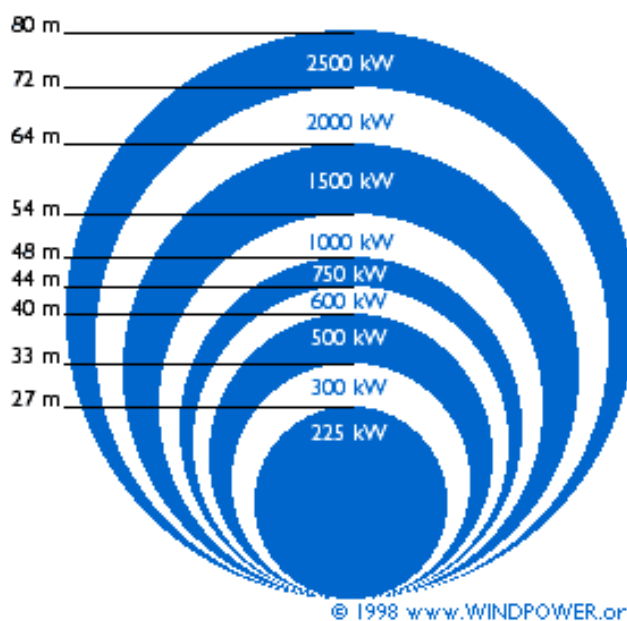
V ... rychlost proudění vzduchu

c_p ... účinnost stroje

S ... plocha rotoru

Z předešlého vztahu vidíme, že výkon větrné elektrárny je závislý na obsahu plochy rotoru. Čím větší průměr, tím větší obsah a tím více výkonu má větrná elektrárna. Ostatní vztahy jako hustotu vzduchu nebo jeho rychlost nelze ovlivnit. [22]

Z obrázku 2.2 je předešlý fakt lépe viditelný. Lze na něm vidět průměrný jmenovitý výkon přiřazený k velikosti rotoru. Průměrný proto, jelikož se konkrétní čísla liší daným výrobcem větrné elektrárny. [22]

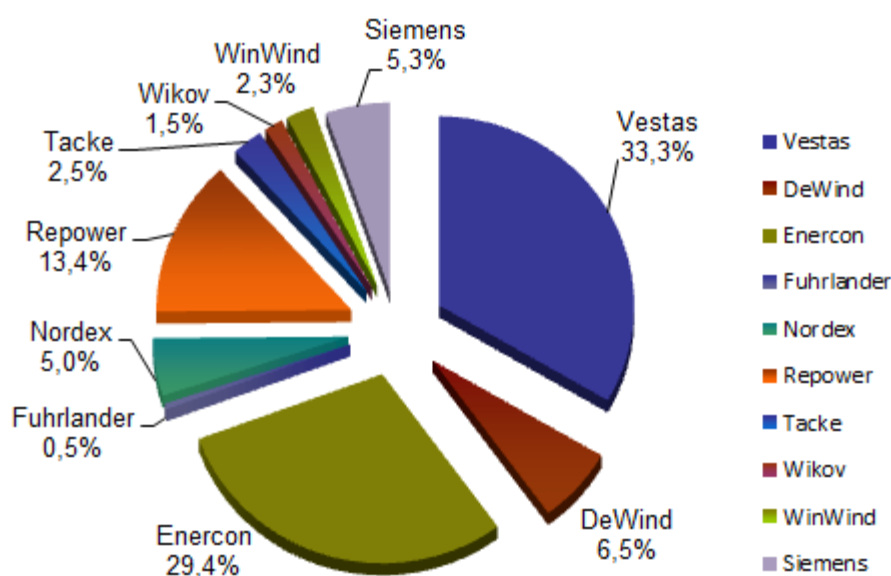


Obr. 2.2 Závislost velikosti větrné elektrárny na jejím výkonu (převzato z [22])

3. Zmapování větrných elektráren podle výkonů a typů

Mezi hlavní výrobce větrných elektráren v Evropě se řadí firmy Enercon, VESTAS, Repower, Siemens a DeWind. Každá firma vyrábí elektrárny trochu jinak. Elektrárny se pak liší v provedení, výkonech, rozměrech a v použití synchronního nebo asynchronního generátoru podle toho, zda-li je elektrárna převodovková, nebo bezpřevodovková. [23]

V této části práce se pokusím nastínit základní typy elektráren podle výrobců.



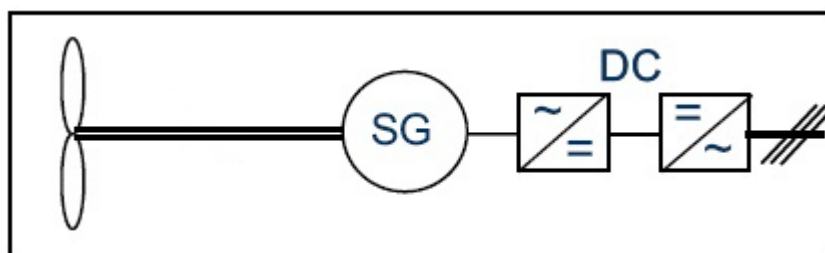
Obr. 3.1 Poměr větrných elektráren v ČR podle instalovaného výkonu na výrobce (převzato z [23])

3.1 Enercon

Německý výrobce větrných elektráren *Enercon* od začátku svojí existence používá princip mnohapólového generátoru. 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 prsteneček cívek (pólů), druhý prsteneček je statorový. Podle síly větru, tedy podle velikosti vyvozeného kroutícího momentu, se zapínají jednotlivé pólové dvojice. Vyrobena elektrická energie se ale ještě musí upravovat výkonovou elektronikou, aby mohla být dodána do sítě (zde vznikají určité ztráty). [24]

Výstupní napětí a frekvence generátoru se mění s rychlostí a jsou přes usměrňovač a střídač vedeny do distribuční soustavy. Parametry sítě jsou sledovány mezi střídačem a transformátorem. Podle toho, jaké síti je elektrárna připojena, musí být regulována

multiprocesorem. [27]



Obr. 3.2 Schéma strojovny bezpřevodkové elektrárny od firmy Enercon (převzato z [27])

Větrné elektrárny pro malý a střední výkonový rozsah 800-900 kW:

Tyto větrné elektrárny jsou vhodné pro nižší rychlost větru (od 4 m/s).

Mezi tyto elektrárny patří typy E-48, E-53, E-44. E-48 a E-53 mají jmenovitý výkon generátoru 800 kW a průměr rotoru okolo 50 m. E-48 má výkon 900 kW a průměr rotoru 44 m. Všechny jsou třílopatkové elektrárny s výškou stožáru od 50-70 m a všechny jsou bezpřevodkové s regulací otáček *pitch*. Rozsah rychlosti otáček rotoru je 12-36 ot./min⁻¹. [24,26]

Větrné elektrárny vyšších výkonů 2000-3050 kW:

Tyto elektrárny jsou určovány pro rychlost větru ideálně nad 5 m/s a výška stožáru je 80-150 m. Regulace pomocí *pitch control* a rychlost otáček rotoru činí 6-18 ot./min⁻¹. Řadí se sem typy: E-70, E72 E1, E-92, E-115 a další. [24]

Větrné elektrárny nad 3050 kW:

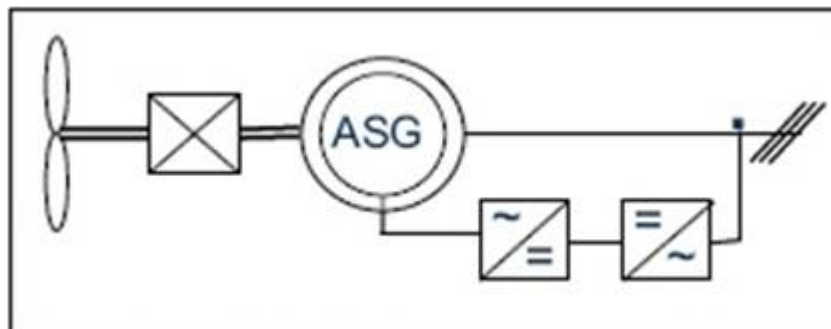
Tyto elektrárny potřebují rychlost vyšší než 6 m/s a průměr rotoru nad 115 m. Výška stožáru se pohybuje nad 120 m. Rychlost otáček rotoru je zhruba 5-11 ot./min⁻¹. Společnost Enercon zatím vyrábí pouze větrnou elektrárnu E-126, která má jmenovitý výkon 7580 kW. Tato elektrárna je také bezpřevodková a používá stejný systém regulace otáček jako předešlé typy. [24]

3.2 VESTAS

Největší světový výrobce větrných elektráren, dánská firma VESTAS, používá ve své konstrukci uspořádání rotor - převodovka - asynchronní generátor. Toto konstrukční uspořádání umožňuje snazší regulaci celého systému a asynchronní generátor je schopen činnosti v rozmezí otáček.

Frekvenční měnič spolupracuje s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou. Systém je kaskádně zapojen, což znamená že stator generátoru je přímo zapojen do elektrizační soustavy (přes nízkonapěťový/vysokonapěťový transformátor) a rotor

generátoru je napájen z frekvenčního měniče. Rotorové vinutí je napájeno přes kroužky z frekvenčního měniče. Zabezpečení je zprostředkováno multiprocesorově. Pro omezení proudových rázů je využito přepínání zapojení generátoru Y-D. [29]



Obr. 3.3 Schéma strojovny větrné elektrárny s převodovkou firmy VESTAS (převzato z [29])

Společnost VESTAS se zaměřuje na výkony u větrných elektráren nad 1.8 MW. Vyrábí dva základní typy elektráren (pro použití na pevnině a pro použití na moři) pro tři rychlosti větru. [30]

Suchozemské větrné elektrárny:

Tyto elektrárny využívají typické schéma strojovny zobrazené na obrázku 3.3. Používané výkony generátorů se pohybují v rozmezí 1.8 – 3 MW. Použití konkrétních typů větrných elektráren záleží na místě, na kterém stojí, jelikož každý typ se hodí do různých povětrnostních podmínek. Většina typů pracuje od rychlosti větru 3 m/s, ale každá už dosahuje maximálního výkonu při odlišných rychlostech větru.

Regulace otáček rotoru je pomocí funkce *pitch* a tyto typy větrných elektráren dosahují maximálního výkonu už kolem 12 m/s. Konkrétní modely, které patří do této skupiny, jsou V112, V117 a V136, kde V112 se prodává i jako suchozemská i jako mořská elektrárna. [30]

Větrné elektrárny používané na moři:

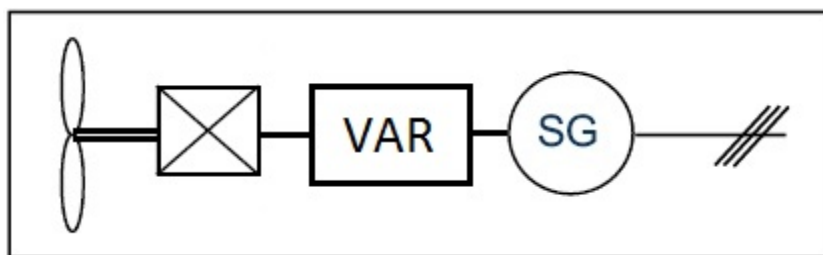
Použití větrných elektráren na moři má spoustu výhod. Omezení rušení okolních obyvatel, na moři vane rychlejší vítr, a proto jsou tyto typy větrných elektráren dimenzovány pro rychlejší větry. I kvůli vyšší rychlosti větru se výkonově tyto elektrárny dostávají nad 3 MW. [31]

Mezi přelomový typ patří elektrárna V164 se jmenovitým výkonem 8 MW. Tato elektrárna má průměr rotoru 164 m a záběrná plocha větru je 21 000 m². Kvůli velkému průměru rotoru pracuje elektrárna jen od 5 m/s. Vzhledem k tomu, že se elektrárna používá na volném moři, musí být navržena tak, aby odstavky byly co nejméně komplikované,

a proto trvaly jen krátkou dobu. Navíc se pravidelné údržby V164 konají za dvakrát delší dobu než u ostatních elektráren. [31]

3.3 Wikov

Český výrobce větrných elektráren, firma Wikov, použila systém, který by teoreticky měl mít nejvyšší účinnost ze všech tří představených principů. Proměnlivé otáčky rotoru větrné elektrárny zpracovává převodovka s variátorem (převodovka 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, jež se již nemusí nijak upravovat a je možné ji přímo dodávat do rozvodné sítě. [32]



Obr. 3.4 Schéma strojovny s převodovkou a variátorem firmy Wikov (převzato z [32])

Díky tomuto principu používá tento typ větrné elektrárny firmy Wikov přímé připojení synchronního generátoru na síť (6,3 kV). Tudíž lze ušetřit na frekvenčních měničích a silnoproudé elektronice. Musí být ale použita převodovka s proměnným převodovým poměrem – SPG – super position gear. Tato převodovka zajišťuje plynulou změnu převodového poměru v celém rozsahu otáček větrné elektrárny a tím udržuje konstantní otáčky pro synchronní generátor. [32]

Typy, které se vyznačují schématem strojovny z obrázku 3.4, jsou W2000 type 93, W2000 type 86 a W2000 type 76. [32,33]

4. Větrné elektrárny na moři

Větrné elektrárny učinily za posledních 30 let obrovský technologický skok kupředu. Byly vyzkoušeny horizontální i vertikální osy hřídelí a metodami “pokus-omyl“ se postupem

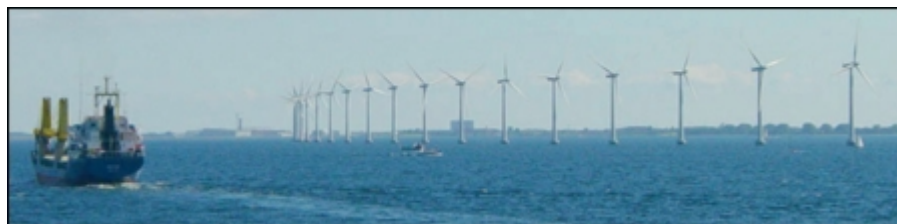
času přišlo i na správný materiál, aby byly rotory pokud možno co nejvíce odlehčeny. Za časový interval 30ti let se jenom rotor odlehčil z devíti tun na tři. [33]

Mohlo by se zdát, že větrná energetika už se nemá v budoucnu kam posunout. Stále se však může větrná energetika posunout kupředu zvýšením účinností, nebo pokud budou používány lehčí a pevnější materiály pro výrobu elektráren.

Vzhledem k tomu, že vhodných ploch pro výstavbu větrných elektráren na pevnině ubývá důsledkem zalidňování, je trend výstaveb elektráren na moři jen více logický. Navíc není vítr na moři ovlivňován nerovnostmi okolního terénu, a proto se nemusí elektrárny stavět tak vysoko. Stejně typy větrných elektráren mají až o 50% větší energetickou výtežnost na moři než na pevnině. [33,34]

Jako další výhoda je rychlost větru, která je na moři mnohem vyšší. Další výhodou je, že elektrárny na moři, které se budou nacházet až několik desítek kilometrů od pobřeží, nebudou mít negativní účinky na okolní prostředí.

Některé země, jako například Dánsko, Holandsko, nebo Velká Británie, se už touto možností zabývají. Třeba Dánsko vlastní největší větrnou farmu na světě, jež je alokována na moři. [34]



Obr. 4.1 areál Horns Rev, Dánsko (převzato z [34])

Velká Británie taktéž schválila projekt asi za 60 miliard korun. Větrný areál má obsahovat přes 340 větrných generátorů s výkonem přes 1000 MW, což je asi jeden blok jaderné elektrárny Temelín. Větrné elektrárny se mají nacházet v ústí řeky Temže asi 20 km od pobřeží a plocha, kterou budou zabírat, je 150 km². Tento projekt bude zajišťovat společnost Shell WindEnergy. [34]

S ohledem na restrukturalizaci zásobování energií s výrazným důrazem na omezení podílu fosilních paliv a na probíhající diskuse o ochraně klimatu zažívá využívání větrné energie v posledních letech také v Německu mimořádný rozmach. Přestože Německu patří s celkovým instalovaným výkonem téměř 20 000 MW první místo ve světě v budování větrných elektráren, výstavba větrných elektráren na volném moři se zde teprve rozbíhá. Spolkové ministerstvo pro životní prostředí však ve svých výhledových plánech předpokládá, že do roku 2030 by mohly větrné elektrárny vybudované u pobřeží krýt až asi 15 % celkové

německé spotřeby elektrické energie. Elektrárny plánuje Německo postavit 20-200 km od pobřeží v Baltském moři s rozlohou 109 km². V Severním moři je to oblast Nördlich Borkum, rozdělená do tří dílčích oblastí, s celkovou rozlohou 542 km². V současné době se u pobřeží Severního moře poblíž Windeseile dokončuje první německá zkušební větrná farma na volném moři s dvanácti větrnými generátory o výkonu 5 MW (tedy o celkovém výkonu 60 MW) a na schválení čeká již nejméně sedm dalších projektů.[34]

Vzhledem k tomu, že větrné elektrárny budou pod stálými vlivy extrémních povětrnostních i mechanických podmínek, je potřeba dbát na kvalitu materiálů používaných při výrobě těchto elektráren. Také je potřeba, aby byly elektrárny schopny fungovat bez závažnějších poruch až 20 let kvůli ekonomickým důvodům. Proto v Německu vzniklo středisko pro větrnou energii a mořskou techniku, CWMT (Center für Windenergie und Meerestechnik). Tato společnost se stará o všechny náležitosti při výrobě větrných elektráren a zkoumá pomocí experimentálních simulací různé škodlivé efekty, které mohou na větrné elektrárny při jejich provozu na moři působit. [34]

Závěr

Větrná energetika patří v současné době mezi nejrychleji se rozvíjející odvětví obnovitelných zdrojů. Rozvoj větrných elektráren závisí na oblasti a na potenciálu větru v dané lokalitě. Bohužel vše také závisí na finanční podpoře garantované zákonem. Investice, které jsou určeny pro větrnou energetiku, by však měly být mnohem vyšší. Jako varovný signál by mohla posloužit skutečnost přerušení dodávek ropy z Ruska do Evropy.

Technické provedení větrných elektráren v současnosti už je na velice vysoké úrovni. Jmenovitý výkon se pohybuje až v jednotkách megawattů a průměr rotoru s výškou sloupu je již tak velký, že další zvýšení by znamenalo neefektivní využití materiálů v poměru financí na výkon. Jako další faktor se musí brát v úvahu cena elektřiny, která se liší podle lokalit.

Směr vývoje větrných elektráren se tedy bude nejpravděpodobněji ubírat ke zvyšování účinností, snižování provozních nákladů a umístování větrných farem na moře.

U větrných elektráren na pevnině se stále musí zohledňovat faktor vlivu na životní prostředí, jako je například hluk. Ten nesmí přesáhnout 40 dB. Mezi další nevýhody větrných elektráren na pevnině by se daly zařadit infrazvuk, estetika, vliv na ptactvo a rušení zvířete.

Další nevýhodou elektrické energie vyrobené pomocí větrných elektráren je nepřizpůsobivost. Elektrická energie z větrné energetiky je značně nestálá kvůli rychlosti větru, a když větrná elektrárna dodává energii do sítě, musí ostatní elektrárny (převážně uhelné elektrárny) omezit výkon. Tento problém by se dal v budoucnu teoreticky odstranit zdokonalením akumulace větrné energie. V současné době jsou známy čtyři hlavní způsoby akumulace větrné energie. Elektrochemická akumulace (baterie), mechanická akumulace (přečerpávací nádrže, stlačený vzduch), tepelná akumulace (přeměny skupenství) a elektrická akumulace (cívky a kondenzátory). Žádný z těchto principů však zatím nefunguje na takové úrovni, aby se dal globálně použít pro akumulaci ve větrné energetice snad kromě přečerpávacích elektráren.

Zatím lidstvo tedy nedokáže odstranit problémy s připojováním větrných elektráren na síť dost efektivně a je tedy zapotřebí při zřizování nových větrných elektráren rozšiřovat a posilovat elektrickou síť.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] RYCHETNÍK, Václav, PAVELKA Jiří a JANOUŠEK Josef. *Větrné motory a elektrárny*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997, 199 s. ISBN 80-010-1563-7.
- [2] AUTOR NEUVEDEN. *www.citypictures.net* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupný na WWW: <http://www.citypictures.net/r-windmills-234-windmills-kinderdijk-netherlands-3026.htm>
- [3] Parní stroj. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_stroj#cite_ref-0
- [4] AUTOR NEUVEDEN. *www.classcreator.com* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupný na WWW: <http://www.classcreator.com/000/9/8/0/10089/userfiles/image/11.jpg>
- [5] KOČ, Břetislav. Z historie větrných elektráren. *ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2012, roč. 2005, č. 12 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26559
- [6] AUTOR NEUVEDEN. *wind turbine models* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupný na WWW: http://data.wind-turbine-models.com/fotos/org/turbine-Tvind_Prototype_283.jpg
- [7] AUTOR NEUVEDEN. *Quebec Maritime* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupný na WWW: <http://www.quebecmaritime.ca/en/company/eole-cap-chat-wind-energy-interpretation-centre/activities>
- [8] AUTOR NEUVEDEN. *Enercon* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupný na WWW: http://www.enercon.de/p/images/ENC_OF_E126_7500_390px.jpg
- [9] RAGHEB, M. *HISTORICAL WIND GENERATORS MACHINES* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Historical%20Wind%20Generators%20Machines.pdf>
- [10] Smith-Putnam wind turbine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Smith-Putnam_wind_turbine
- [11] AUTOR NEUVEDEN. *Ústav fyziky atmosféry ČR* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupný na WWW: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrna-mapa.html>
- [12] Wind turbine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine

- [13] European State Projects 1975 - 1995. *Winds Of Change* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.windsofchange.dk/WOC-eurstat.php>
- [14] *TVINDKRAFT* [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.tvindkraft.dk/eng/default.asp>
- [15] History of Wind Power at Hydro-Québec. *Hydro-Québec* [online]. 1996 - 2012 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.hydroquebec.com/learning/eolienne/historique-eolien-hydro-quebec.html>
- [16] *ENERCON* [online]. 2012 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.enercon.de/de-de/>
- [17] Enercon - Turbines range. *The Wind Power* [online]. 2012 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.enercon.de/en-en/Windenergieanlagen.htm>
- [18] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VĚTRNOU ENERGII. *Generátor větrné elektrárny* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.csve.cz/cz/clanky/generator-vetrne-elektrarny/329>
- [19] AUTOR NEUVEDEN. *Pohonná technika* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/asynchronni-motor/princip-asynch-motoru>
- [20] AUTOR NEUVEDEN. *Pohonná technika* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/asynchronni-motor/princip-asynch-motoru>
- [21] ČESNEK, Vladimír. *Vývoj technologií větrných elektráren* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/vyvoj-technologie-vetnych-elektraren-a-plany-skupiny-cez_13157.html
- [22] AUTOR NEUVEDEN. *Velikost větrné elektrárny a její vývoj* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.csve.cz/clanky/velikost-vetrne-elektrarny-a-jeji-vyvoj/110>
- [23] AUTOR NEUVEDEN. *Větrné elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.csve.cz/clanky/grafy/280>
- [24] AUTOR NEUVEDEN. *Enercon, větrné turbíny nižších výkonů* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.enercon.de/de-de/330-900kW.htm>
- [25] AUTOR NEUVEDEN. *Enercon, větrné turbíny vyšších výkonů* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.enercon.de/de-de/2-3mw.htm>
- [26] AUTOR NEUVEDEN. *Větrné elektrárny* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.spvez.cz/pages/vitr.htm>

- [27] AUTOR NEUVEDEN. *Strojovna větrné elektrárny firmy Enercon* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: [http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-bez-prevodovky-s-multipolovym-synchronnim-generatorem-\(vyrobce-enercon\)/333](http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-bez-prevodovky-s-multipolovym-synchronnim-generatorem-(vyrobce-enercon)/333)
- [28] AUTOR NEUVEDEN. *Větrné turbíny nejvyšších výkonů* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.enercon.de/de-de/megawattklasse.htm>
- [29] AUTOR NEUVEDEN. *Strojovna větrné elektrárny firmy VESTAS* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: [http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-a-asynchronnim-generatorem-\(vyrobce-vestas\)/332](http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-a-asynchronnim-generatorem-(vyrobce-vestas)/332)
- [30] AUTOR NEUVEDEN. *VESTAS, přehledy turbín* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.vestas.com/en/wind-power-plants/procurement/turbine-overview/3-mw-platform.aspx#/vestas-univers>
- [31] AUTOR NEUVEDEN. *VESTAS, V164* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: <http://www.vestas.com/en/wind-power-plants/procurement/turbine-overview/v164-8.0-mw-offshore.aspx#/vestas-univers>
- [32] AUTOR NEUVEDEN. *Wikov, strojovna s variátorem a převodovkou* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: [http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-variátorem-a-synchronnim-generatorem-\(cesky-vyrobce-wikov\)/334](http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-variátorem-a-synchronnim-generatorem-(cesky-vyrobce-wikov)/334)
- [33] AUTOR NEUVEDEN. *Wikov, větrné elektrárny* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: http://www.wikov.com/wind/index_cz.php?page=produkty-vychodiska
- [34] AUTOR NEUVEDEN. *Větrné elektrárny na volném moři mají budoucnost* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupný na WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34656