

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

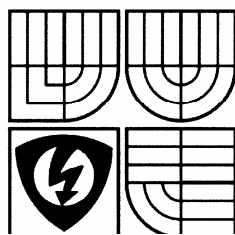
EKONOMIKA PROVOZU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

ALEŠ OSIČKA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Aleš Osička

Ročník: 3

ID: 106686

Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Ekonomika provozu větrné elektrárny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Teoretické posouzení výstavby větrné elektrárny na daném území
2. Výběr vhodných typů VE včetně základní výkonové charakteristiky
3. Návrh připojení VE do ES
4. Ekonomická bilance VE (návrh investice dle zvolených metod včetně servisních nákladů apod.)
5. Závěrečné zhodnocení výsledků

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

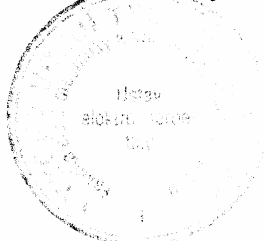
Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Čestmír Ondrušek, CSc.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

OSIČKA, A. *Ekonomika provozu větrné elektrárny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Radil.

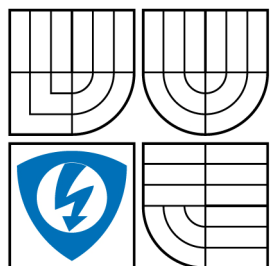
Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Radilovi za cenné rady a připomínky k mé práci a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.


.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

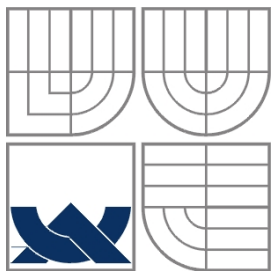
Bakalářská práce

Ekonomika provozu větrné elektrárny

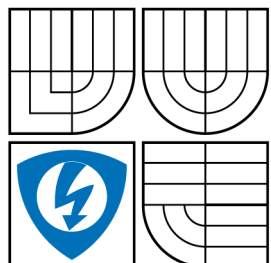
Aleš Osička

vedoucí: Ing. Lukáš Radil
Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2010

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelors's Thesis

Economics operation of Wind Power Plant

**by
Aleš Osička**

**Supervisor: Ing. Lukáš Radil
Brno University of Technology, 2010**

Brno

ABSTRAKT

Cílem práce je seznámit čtenáře s druhy větrných elektráren, s principem jejich fungování, konstrukčním řešením a s podmínkami, které musí plánovaný projekt výstavby větrné elektrárny splnit před započítáním stavby.

V další části jsou popsány vybrané typy elektráren různých výrobců, je provedeno teoretické posouzení vhodnosti výstavby elektrárny na daném území a provedení výběru vhodného typu elektrárny podle ekonomického zhodnocení metodou čisté současné hodnoty, vnitřního výnosového procenta a podle doby návratnosti investice.

V další části práce je proveden návrh připojení elektrárny do distribuční soustavy.

KLÍČOVÁ SLOVA: obnovitelné zdroje elektrické energie; větrná elektrárna; větrný motor; čistá současná hodnota; vnitřní výnosové procento; ekonomické zhodnocení; investiční náklady; provozní náklady; odpisy

ABSTRACT

The aim of this paper is to acquaint the readers with the types of wind turbines, with principle of their operation, construction design and conditions which have to be implement by the planned project of wind turbine construction before the construction is begun.

There are described selected types of power plants from different manufacturers. Theoretical assessment of the adequacy of the power construction on exact place and implementing the selection of a suitable power plant according to economic evaluation method of net present value, internal rate of return and the payback period is also included.

In the last part of the thesis, there is made the proposal of connection of the power into distribution system.

KEY WORDS: renewable energy sources; wind power plant; wind turbine; net present value; internal rate of return; economic evaluation; investment costs; operating costs; financial depreciation

OBSAH

OBSAH	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD	12
2 PRINCIP FUNGOVÁNÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	13
3 KONSTRUKCE VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	14
3.1 PROVEDENÍ VĚTRNÝCH MOTORŮ	15
3.1.1 Větrné motory pracující na odporovém principu	15
3.1.2 Větrné motory pracující na vztlakovém principu.....	16
3.2 ORIENTACE VĚTRNÝCH MOTORŮ	17
3.3 REGULACE OTÁČEK VĚTRNÉHO MOTORU.....	18
3.3.1 Rotory s pevnými lopatkami nebo listy (stall systém)	19
3.3.2 Vrtule s natáčivými listy (pitch systém)	19
3.3.3 Aktivní stall systém	20
3.4 GENERÁTORY	21
3.5 MĚNIČE KMITOČTU	21
4 PODMÍNKY PRO PROVOZ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	23
4.1 PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY	24
5 NÁVRH VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	26
5.1 POLOHA VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	26
5.2 VÝBĚR VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	26
5.2.1 Ekonomické zhodnocení stavby elektrárny	27
5.2.1.1 Výpočet pro elektrárnu Vestas V90.....	27
5.2.1.2 Výpočet pro elektrárnu Enercon E53.....	33
5.2.1.3 Výpočet pro elektrárnu Vestas V80.....	36
5.3 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	39
6 NÁVRH PŘIPOJENÍ ELEKTRÁRNY DO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	40
6.1 VÝPOČET PROUDU KABLEM A VOLBA PRŮŘEZU KABELU	40
6.2 KONTROLA NA ÚBYTEK NAPĚTÍ A VÝKONOVÉ ZTRÁTY.....	40
7 ZÁVĚR.....	42
POUŽITÁ LITERATURA.....	43
PŘÍLOHA A - VĚTRNÁ MAPA ČR	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3-1 Průřez gondolou elektrárny Vestas V82 s asynchronním generátorem[7]</i>	14
<i>Obr. 3-2 Průřez gondolou elektrárny Enercon se synchronním generátorem</i>	14
<i>Obr. 3-3 a) Rotor typu Savonius[1], b) rotor s krycím štítem[1]</i>	15
<i>Obr. 3-4 Řešení rotoru s natáčivými lopatkami[1]</i>	16
<i>Obr. 3-5 a) Rotor moderního větrného čerpadla[1], b) větrné kolo tzv. amerického větrného motoru[1], c) typický rotor větrného mlýna[1]</i>	16
<i>Obr. 3-6 Uspořádání vrtulí větrných motorů a) jednolistá, b) dvoulístá, c) třílístá [1]</i>	16
<i>Obr. 3-7 a) Rotor Darrieus se zakřivenými lopatkami[1] b) rotor Darrieus ve tvaru písmene delta s přímými lopatkami[1]</i>	17
<i>Obr. 3-8 a) Rotor Darrieus podle současných konstrukčních řešení ve tvaru H[1], b) Rotor Darrieus s prizmatickými listy s regulací výkonu změnou sklonu listů [1]</i>	17
<i>Obr. 3-9 Uspořádání rotoru za gondolou [1]</i>	27
<i>Obr. 3-10 Uspořádání rotoru před gondolou [1]</i>	27
<i>Obr. 3-11 Zařízení pro omezení maximálního výkonu s vyoseným rotorem [1]</i>	27
<i>Obr. 3-12 Zařízení pro omezení maximálního výkonu a zabezpečení proti extrémním rychlostem větru s boční deskou [1]</i>	27
<i>Obr. 3-13 Způsob regulace vrtulových listů “na odtržení”[1]</i>	27
<i>Obr. 3-14 Způsob regulace vrtulových listů “do praporu”[1]</i>	27
<i>Obr. 5-1 Závislost výkonu na rychlosti větru Vestas V90[6]</i>	27
<i>Obr. 5-2 Závislost výkonu na rychlosti větru Enercon E53[8]</i>	33
<i>Obr. 5-3 Závislost výkonu na rychlosti větru Vestas V80[7]</i>	36

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 5-1 Seznam výrobců VE podle instalovaného výkonu v ČR [4]</i>	26
<i>Tab. 5-2 Tabulka pro výpočet ročního množství vyrobené energie</i>	28
<i>Tab. 5-3 Provozní náklady</i>	29
<i>Tab. 5-4 Investiční náklady</i>	29
<i>Tab. 5-5 Vstupní ekonomické parametry</i>	29
<i>Tab. 5-6 Výpočet aktualizovaného peněžního příjmu pro každý rok</i>	29
<i>Tab. 5-7 Provozní náklady</i>	33
<i>Tab. 5-8 Investiční náklady</i>	33
<i>Tab. 5-9 Tabulka pro výpočet ročního množství vyrobené energie</i>	34
<i>Tab. 5-10 Vstupní ekonomické parametry</i>	35
<i>Tab. 5-11 Tabulka pro výpočet aktualizovaného peněžního příjmu pro každý rok</i>	35
<i>Tab. 5-12 Tabulka pro výpočet ročního množství vyrobené energie</i>	37
<i>Tab. 5-13 Provozní náklady</i>	37
<i>Tab. 5-14 Investiční náklady</i>	37
<i>Tab. 5-15 Vstupní ekonomické parametry</i>	38
<i>Tab. 5-16 Tabulka pro výpočet aktualizovaného peněžního příjmu pro každý rok</i>	38
<i>Tab. 5-17 Výsledky ekonomického vyhodnocení všech variant</i>	39

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

C	Cena vykupované energie	Kč/MWh
$\cos\varphi$	Účinník	-
d	Daň ze zisku	%
I	Proud	A
IRR	Vnitřní výnosové procento	Kč
K_i	Investiční náklady	Kč
l	Délka	m
N_1	Celkové roční náklady	Kč
N_{odp1}	Náklady za odpisy	Kč
N_{p1}	Provozní náklady za jeden rok	Kč
NPV	Čistá současná hodnota	Kč
ODP	Roční odpisová sazba v dalších letech	%
ODP_1	Roční odpisová sazba v prvním roce	%
P	Činný výkon	W
P_j	Peněžní příjem	Kč
P_j^A	Aktualizovaný peněžní příjem	Kč
R	Odpor	Ω
S	Průřez	mm^2
T	Tržby	Kč
U	Napětí	V
VE	Vyrobená elektrická energie za rok	MWh
X	Reaktance	Ω
x_k	Měrná reaktance	Ωkm^{-1}
Z_1	Zisk	Kč
Z_{T1}	Čistý zisk	Kč
δ	Odchylka osy větrného motoru od směru větru	°
ΔP	Ztráty	W
$\Delta p\%$	Procentuální ztráty výkonu	%
ΔU	Úbytek napětí	V
$\Delta u\%$	Procentuální úbytek napětí	%
ρ	Měrný odpor	$\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$

1 ÚVOD

Lidská společnost si postupem času vybudovala závislost na spolehlivé dodávce elektrické energie a každým rokem se spotřeba elektrické energie zvětšuje. Největší podíl na výrobě elektrické energie mají zdroje využívající fosilní paliva a jadernou energii. Tyto zdroje mají velký vliv na životní prostředí a to značným množstvím odpadu, znečištěním ovzduší a závislostí na nerostném bohatství.

Možným řešením jak snížit dopad těchto vlivů a zmenšit závislost na nalezištích nerostných surovin je využívání obnovitelných zdrojů energie, které zažívají velký rozvoj, ale v současné době nemohou ty „klasické“ zdroje nahradit.

Obnovitelné zdroje energie jsou ty zdroje, které jsou člověku volně k dispozici, jejichž zásoba je nevyčerpatelná nebo se obnovuje v časových měřítcích srovnatelných s jejich využíváním.

Obnovitelné zdroje energie lze rozdělit do tři skupin podle základní energie, na které jsou založeny. Jsou to zdroje založené na rotační a gravitační energii Země a okolních vesmírných těles (přílivová energie), tepelné energii zemského jádra a energii dopadajícího slunečního záření. Největší potenciál využití mají obnovitelné zdroje založené na dopadajícím slunečním záření. Využívá se buď přímo jako energie přímého či rozptýleného slunečního záření nebo v transformovaných formách (energie vody, větru, biomasy atd.) [11].

Evropská unie v těchto letech podporuje rozvoj využívání obnovitelných zdrojů energie ve všech členských státech. Do roku 2020 chce dosáhnout 20% podílu z celkového množství vyrobené energie [10].

V této práci se budeme zabývat možnostmi získávání energie z větru, typy větrných elektráren, jejich regulací, podmínkami, které je nutné splnit pro co nejefektivnější provoz, a ekonomikou provozu těchto elektráren.

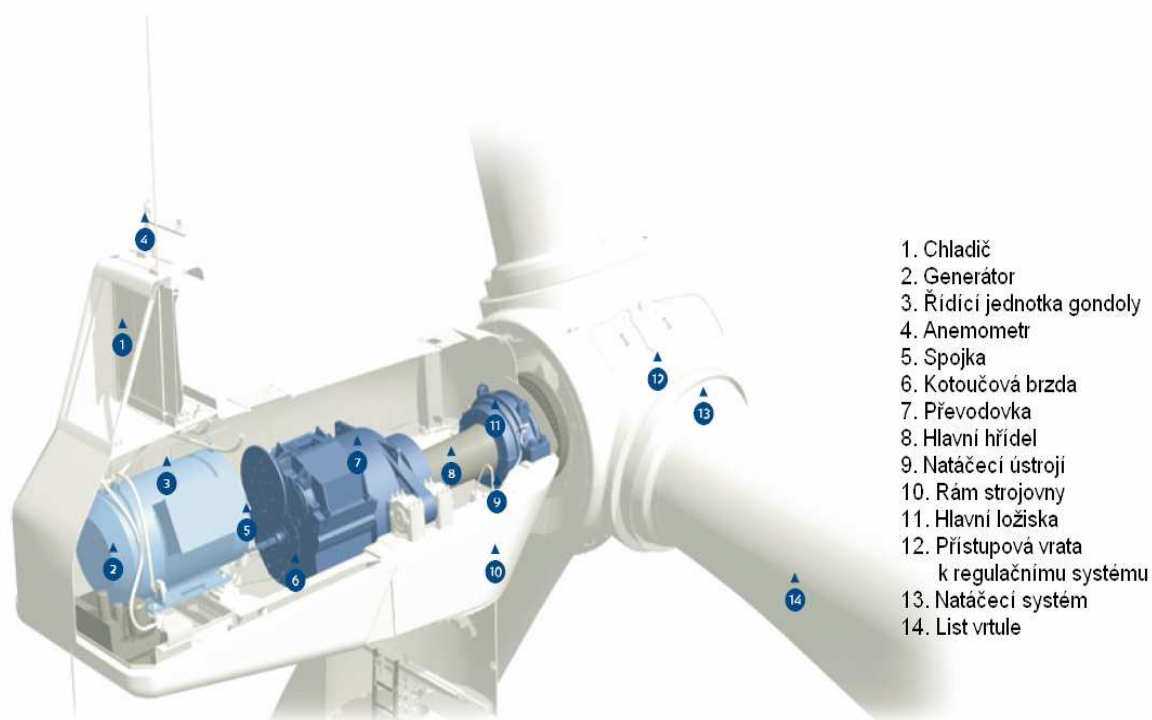
2 PRINCIP FUNGOVÁNÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Vítr vzniká v atmosféře na základě rozdílu atmosférických tlaků jako důsledku nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu. Teplý vzduch stoupá vzhůru, na jeho místo se tlačí vzduch studený. Zemská rotace způsobuje stáčení větrných proudů, jejich další ovlivnění způsobují morfologie krajiny, rostlinný pokryv, vodní plochy [5].

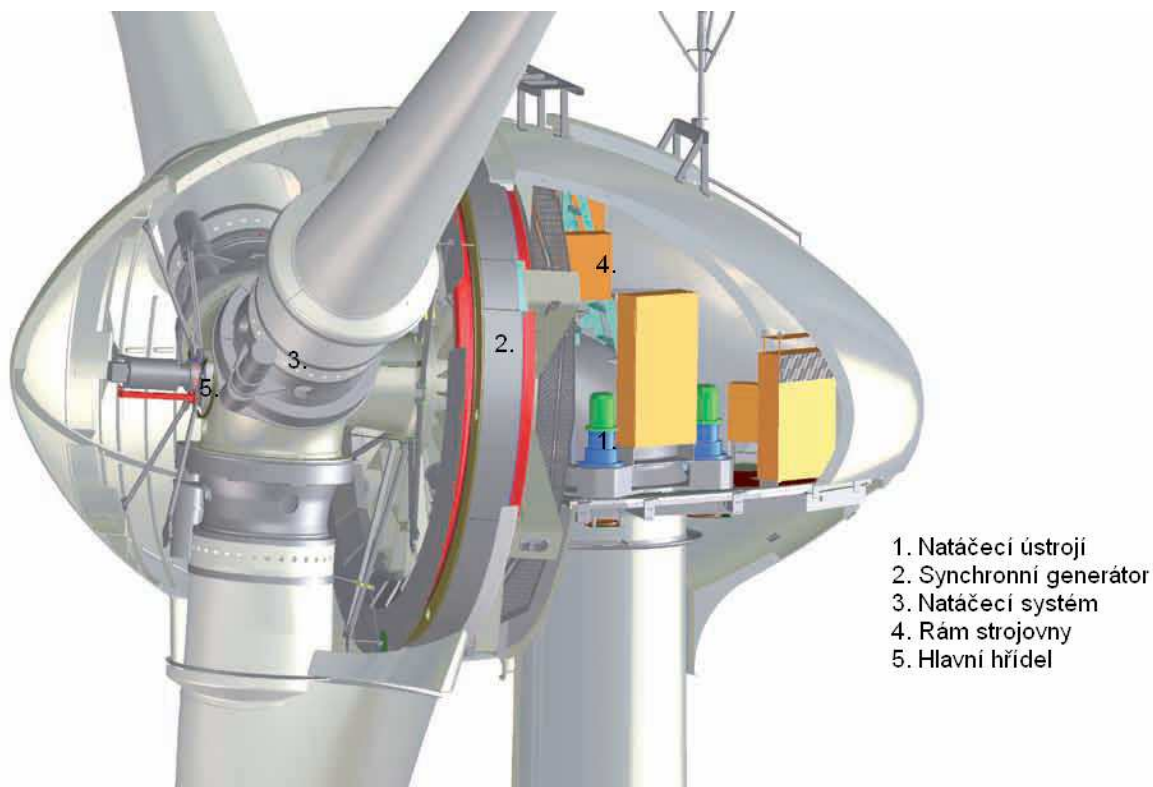
Větrné elektrárny se skládají z větrných motorů, které pohání elektrické generátory o výkonu od desítek kilowattů až do několika megawattů. Ve strojojně, která je umístěna v gondole, je kromě generátoru umístěna převodovka, kotoučová brzda umístěná na vysokootáčkovém hřídeli převodovky, hydraulická jednotka, elektronická větrná korouhvička a řídicí jednotka. Rotor je s asynchronním generátorem spojen převodovkou nebo přímo s využitím synchronního generátoru. Rotory větrných motorů jsou nejčastěji navrhovány s vodorovnou osou jako rychloběžné třílisté vrtule umístěné před stožárem. Regulace otáček rotoru se provádí natáčením listů rotoru okolo jejich podélné osy. Natáčení rotoru proti větru se provádí elektrickými nebo hydraulickými motory. Pracují samostatně v místních sítích nebo dodávají elektrickou energii do rozvodné sítě.

Působením aerodynamických sil na listy rotoru převádí větrná turbína umístěná na stožáru energii větru na rotační energii mechanickou. Ta je poté prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie. Podél rotorových listů vznikají aerodynamické síly, listy proto musejí mít speciálně tvarovaný profil, velmi podobný profilu křídel letadla. Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztahové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Je proto třeba zajistit efektivní a rychle pracující regulaci výkonu rotoru tak, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení větrné elektrárny [5].

3 KONSTRUKCE VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN



Obr. 3-1 Průřez gondolou elektrárny Vestas V82 s asynchronním generátorem[7]



Obr. 3-2 Průřez gondolou elektrárny Enercon se synchronním generátorem

Větrné elektrárny se dají rozdělit do několika skupin například podle:

- provedení větrných motorů
- orientace větrných motorů
- regulace otáček
- použitého generátoru.

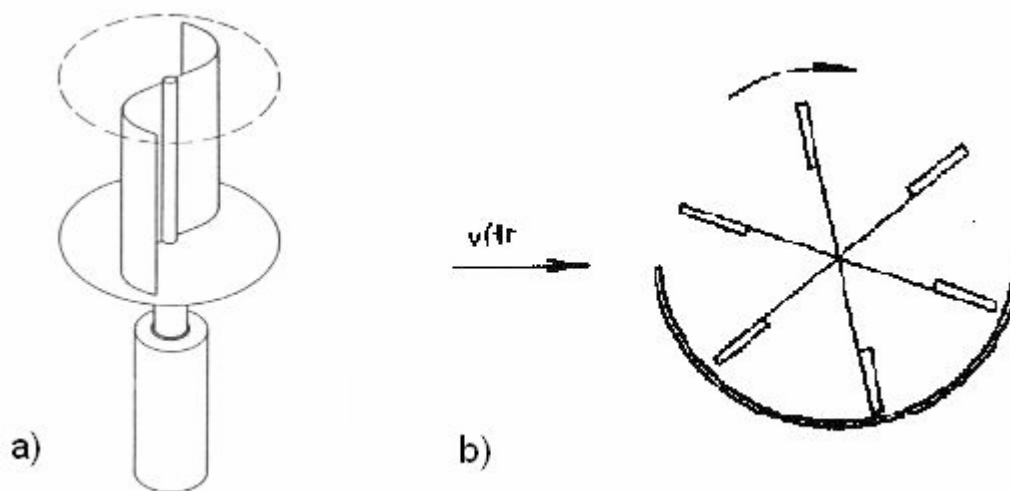
3.1 Provedení větrných motorů

Nejdůležitější dělení větrných motorů je podle aerodynamického principu, který má pro činnost motoru velký význam. Dělíme je na motory vztakové a odporové.

3.1.1 Větrné motory pracující na odporovém principu

Mohou mít vodorovnou i svislou osu otáčení. Jejich podstatou je, že plocha nastavená proti větru mu klade aerodynamický odpor, proud vzduchu zpomaluje a je na ní vyvozována síla, která je mechanicky přeměňována na rotační pohyb. Plocha nastavená proudu vzduchu se pohybuje přibližně v jeho směru menší rychlostí než je rychlost větru. Existuje několik způsobů jak dostat plochu na výchozí místo:

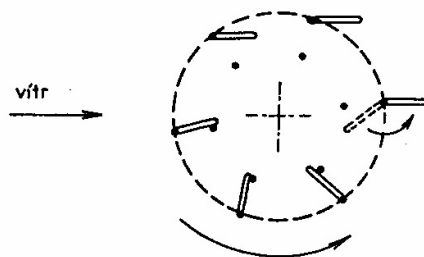
1. Plocha má takový tvar, aby byl její odpor různý při různých směrech. Příkladem je miskový anemometr. Polokoule orientovaná svojí dutinou proti větru mu klade odpor přibližně 3,5krát větší, než polokoule nastavená proti větru svojí vypouklou částí. Síla působící na polokouli je přímo úměrná odporu, takže na rotoru s rovnoměrně rozmístěnými polokoulami vzniká moment sil, který jím otáčí. Na podobném principu funguje i rotor typu Savonius, u kterého jsou kulové plochy nahrazeny plochami válcovými.



Obr. 3-3 a) Rotor typu Savonius[1], b) rotor s krycím štítem[1]

2. Část rotoru, která se pohybuje proti větru, je kryta štítem, který se natáčí podle směru větru.

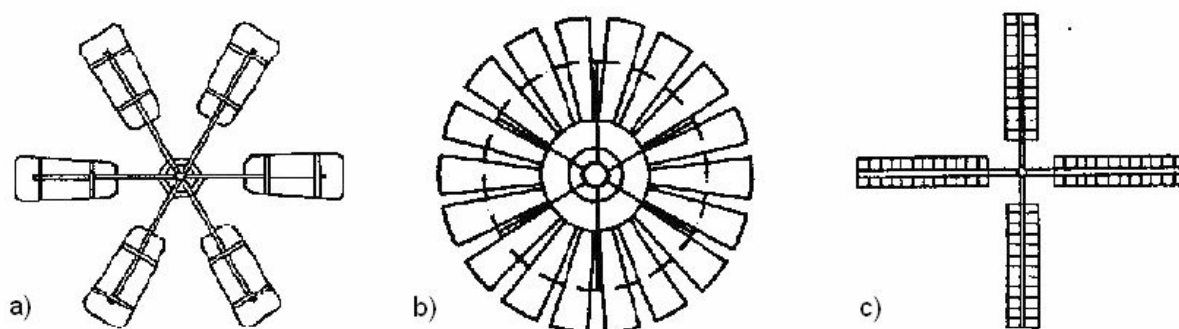
3. Mění se velikost plochy rotoru vystavená větru podle toho, zda se pohybuje v jeho směru nebo ve směru opačném. Rotor obsahuje mechanismus, který umožňuje samočinné natáčení rotoru[1].



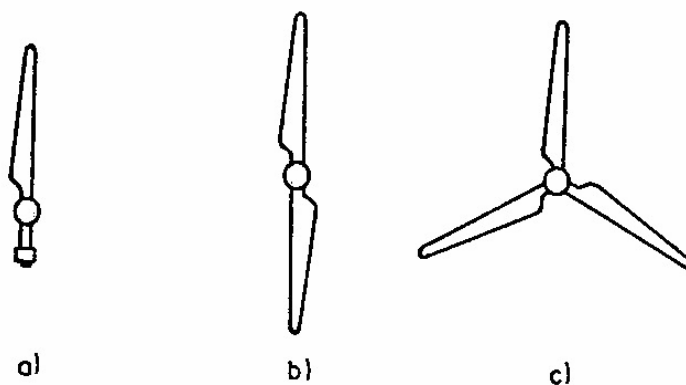
Obr. 3-4 Řešení rotoru s natáčivými lopatkami[1]

3.1.2 Větrné motory pracující na vztlakovém principu

Patří mezi ně vrtule a větrná kola s vodorovnou osou, které jsou orientovány svojí rovinou otáčení kolmo ke směru větru. Nejčastější je dvou nebo třílisté provedení, méně časté je jednolisté s protizávažím nebo s protiběžnými vrtulemi, z nichž jedna je spojena s rotorem a jedna se statorem generátoru [1].

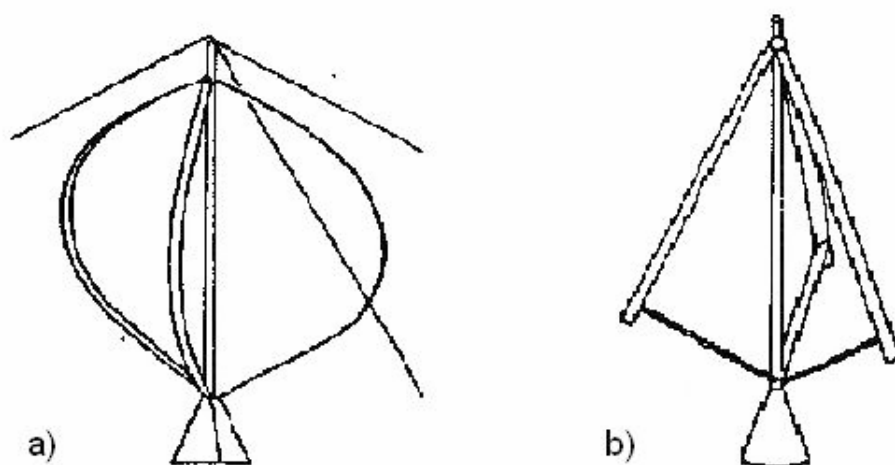


Obr. 3-5 a) Rotor moderního větrného čerpadla[1], b) větrné kolo tzv. amerického větrného motoru[1], c) typický rotor větrného mlýna[1]

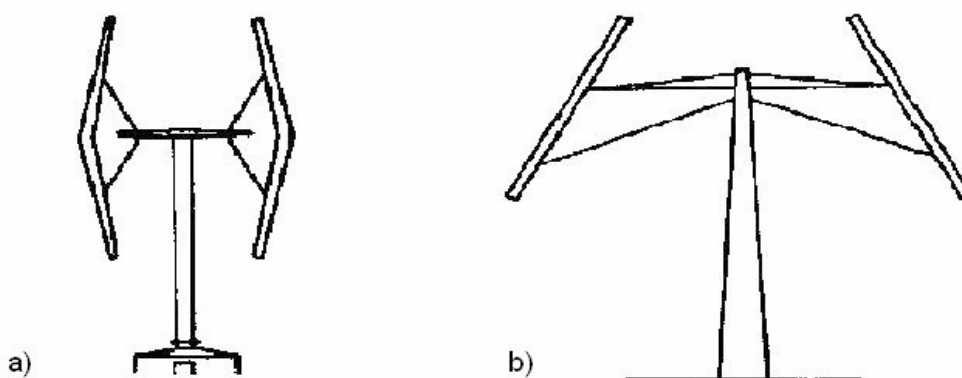


Obr. 3-6 Uspořádání vrtulí větrných motorů a) jednolistá, b) dvoulístá, c) třílístá [1]

Na vztlačovém principu pracují také větrné motory s vertikální osou. Takový motor se nazývá Darrieus, může být v provedení dvoulístém, třílístém i čtyřlístém [1].



Obr. 3-7 a) Rotor Darrieus se zakřivenými lopatkami[1] b) rotor Darrieus ve tvaru písmene delta s přímými lopatkami[1]



Obr. 3-8 a) Rotor Darrieus podle současných konstrukčních řešení ve tvaru H[1], b) Rotor Darrieus s prizmatickými listy s regulací výkonu změnou sklonu listů [1]

3.2 Orientace větrných motorů

Podmínkou pro dosažení maximální účinnosti přeměny energie větru na mechanickou práci, je orientace osy do směru větru. Při nedodržení této podmínky vznikají ztráty ΔP v závislosti na odchylce od směru větru δ . Pro malé odchylky platí

$$\Delta P = 1 - \cos^3 \delta \quad (3.1)$$

Pro odchylku $4,5^\circ$ vychází ztráty asi 1%, při větší odchylce ztráty rychle narůstají.

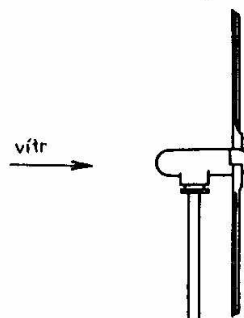
Nejjednodušším způsobem zajištění správné orientace rotoru je umístění roviny vrtule za osou natáčení rotorové gondoly po směru větru. Síla působící na rotor vyvolává moment,

který jej otáčí kolmo na směr větru. Nevýhodou tohoto způsobu je vysoká citlivost a rychlost natáčení, zejména při velkých rychlostech větru a náhlých změnách jeho směru. To vyvolává zvýšené namáhání vrtulových listů, hřídele rotoru a celého jeho uložení. Rychlost natáčení může být omezována například hydraulickým tlumičem [1].

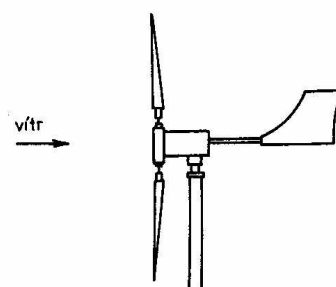
Pokud je rovina vrtule před osou natáčení rotorové gondoly po směru větru, musí mít gondola orientační zařízení. U menších větrných motorů se používá jako orientační zařízení větrné kormidlo. Na rotoru vzniká moment síly, který má snahu otočit rotor z polohy proti větru do polohy po větru za osu natáčení. Na kormidlu musí při vychýlení ze směru větru být větší moment síly než ten, který vzniká vychýlením rotoru [1].

U větších větrných motorů se nevyužívá samovolné orientace kvůli potřebě mohutného hřídele rotoru a jeho uložení a namáhání dalších částí. Používají se natácecí ustrojí, která zajišťují pomalou změnu směru. U větrných čerpadel se využívá jedné nebo dvou větrných růžic se svislou rovinou rotoru, rovnoběžnou s osou hlavního rotoru. Při změně směru větru se začnou otáčet růžice, které přes šnekový převod otáčejí celým větrným motorem [1].

U větrných motorů, které jsou využívány k výrobě elektrické energie, se využívá elektrického pohonu natácecích zařízení. Informace o směru větru se získávají z větrné směrovky umístěné na gondole [1].



Obr. 3-9 Uspořádání rotoru za gondolou [1]



Obr. 3-10 Uspořádání rotoru před gondolou [1]

3.3 Regulace otáček větrného motoru

Větrné motory musí být chráněny proti překročení maximálních bezpečných otáček, jsou pak omezeny otáčky i výkon pracovního stroje. Existují tři skupiny regulačních principů:

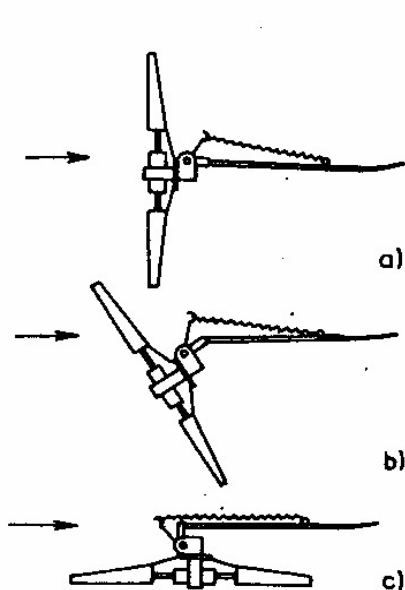
rotory s pevnými lopatkami nebo listy (stall systém)

vrtule s natáčivými listy (pitch systém)

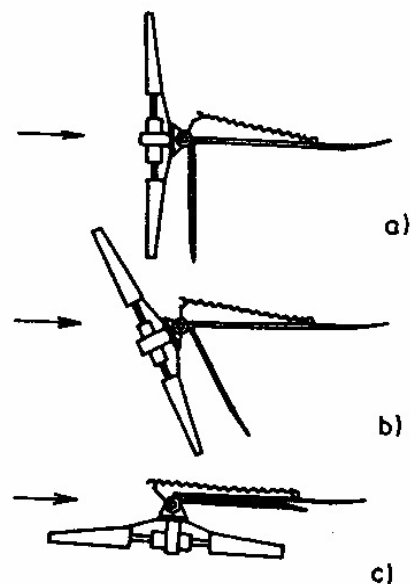
aktivní stall systém.

3.3.1 Rotory s pevnými lopatkami nebo listy (stall systém)

Tohoto systému se využívá u rotorů s velkým počtem lopatek nebo u malých vrtulí. Rotor není pevně spojen s kormidlem, ale pomocí čepu, který umožňuje nastavit rovinu rotoru až do polohy rovnoběžné s osou kormidla. Při normálním chodu brání natočení rotoru z optimální polohy pružina. Při velké rychlosti větru je vyvolána síla, která překoná pružinu a vychýlí rovinu rotoru. Tato síla je vyvolána buď pomocí postranní desky umístěné vedle rotoru plochou proti větru nebo rotorem vyoseným vzhledem k čepu, který umožňuje jeho natáčení. Výkon se natáčením zmenšuje, až se rotor otočí rovnoběžně se směrem větru a zastaví se [1].



Obr. 3-11 Zařízení pro omezení maximálního výkonu s vyoseným rotorem:
a) normální poloha, b) omezení výkonu,
c) zastavení rotoru při extrémních rychlostech větru[1]



Obr. 3-12 Zařízení pro omezení maximálního výkonu a zabezpečení proti extrémním rychlostem větru s boční deskou: a) normální poloha, b) omezení výkonu, c) zastavení rotoru při extrémních rychlostech větru[1]

3.3.2 Vrtule s natáčivými listy (pitch systém)

Systém s natáčivými listy dokáže zajistit konstantní otáčky ve velkém rozsahu rychlostí větru, aniž by se výrazně měnila jeho účinnost. Umožňuje také snadnější rozběh stojícího rotoru.

Existují dva způsoby natáčení listů:

U prvního způsobu (na odražení) jsou listy u zastaveného rotoru náběžnou hranou proti směru větru tak, aby na nich nevznikala síla, která by rotor roztáčela. Tento způsob je výhodný za extrémních podmínek, protože nevznikají velké síly, které by působily na listy a na celou konstrukci motoru[1].

Nevýhodou tohoto principu je, že se listy rotoru musí natáčet mezi jednotlivými pracovními režimy. Z polohy pro rozběh rotoru se list musí natočit o několik desítek stupňů do polohy pro jmenovité otáčky. Kvůli zabránění dalšímu růstu otáček se musí změnit smysl natáčení profilu, list se vrací s rostoucí rychlostí větru do rozběhové polohy a přetáčí se do polohy, kdy má výsledná vztlaková síla na něm nulovou hodnotu. Tento způsob regulace má velké nároky na konstrukční provedení kvůli změně smyslu natáčení a velkému rozsahu, který je asi 120° [1].

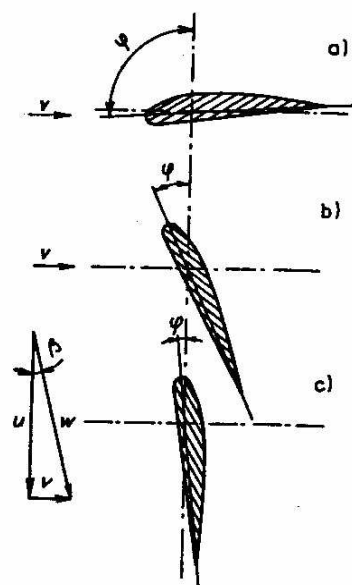
Druhý způsob regulace (do praporu) tuto nevýhodu nemá, po dosažení jmenovitých otáček nemění list smysl natáčení. List se natáčí stejným směrem až do polohy, kdy tětíva listu je téměř rovnoběžná s rovinou vrtule. Roste vztlaková síla i odpor profilu se zvětšujícím se úhlem náběhu. Změnou směru výsledné síly na vrtulovém listu se udržuje přibližně konstantní nebo mírně klesající moment síly na rotoru. V krajní poloze při zastaveném rotoru nevytváří proud vzduchu moment síly, při otáčejícím se rotoru vzniká moment, který působí proti otáčení rotoru a rotor brzdí [1].

Při tomto způsobu kladou listy proti větru velký odpor a síla přenášena na konstrukci je větší, výhodou je výrazně menší úhel natáčení listu.

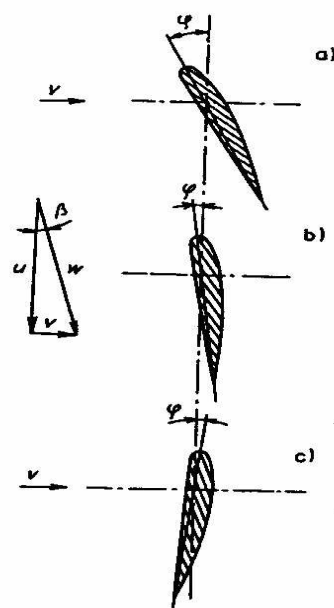
Natáčení může být zajišťováno hydraulicky, pneumaticky nebo elektricky. Při poruše regulačního a ovládacího zařízení musí být zajištěno automatické zastavení, aby nedošlo k havárii [1].

3.3.3 Aktivní stall systém

Listy rotoru jsou představitelné jako u regulace Pitch. Na rozdíl od ní se ale listy při dosažení jmenovitého výkonu otočí do protilehlého směru, takže se úhel nastavení zvýší a zesílí se odtržení proudu. Tím lze odrazit přebytečnou energii větru. Výhoda aktivní regulace Stall spočívá v tom, že výkon lze regulovat přesněji než u pasivní regulace Stall. Tím nedochází k přetížení generátoru při poryvech větru. Zařízení lze provozovat při všech vysokých rychlostech větru s jmenovitým výkonem, což u pasivní regulace Stall



Obr. 3-13 Způsob regulace vrtulových listů "do praporu": a) stojící rotor, b) nastavení listů pro rozběh, c) pracovní režim rotoru [1]



Obr. 3-14 Způsob regulace vrtulových listů "na odtržení": a) nastavení listů pro rozběh, b) pracovní režim rotoru, c) brzdící režim rotoru a poloh při stojícím rotoru [1]

není možné, protože tam vyšší odtržení proudu způsobí silnější pokles výkonu. Aktivní regulace Stall se používá především u velkých větrných elektráren (1 MW a více) [19].

3.4 Generátory

Elektrická energie se ve větrných elektrárnách vytváří v synchronních nebo asynchronních generátorech trojfázového střídavého proudu. Nejpoužívanější jsou generátory asynchronní přímo připojené k síti a dvojitě napájené s měničem v rotorovém obvodu. Další používané typy generátorů, jsou synchronní a asynchronní stroj s měničem nebo dvojitě napájený stroj s dvěma měniči. Jejich vlastnosti závisí na tom, jestli elektrárna pracuje do sítě s dalšími zdroji nebo v samostatné síti. Synchronní generátor má konstantní otáčivou rychlost, která je závislá na počtu pólů. Otáčky pro 50 Hz jsou u dvoupólového stroje 3000 min^{-1} , čtyřpólového 1500 min^{-1} a šestipólového 1000 min^{-1} [1].

U elektráren s malým výkonem se používají vícepólové synchronní generátory, protože jsou jejich větrné motory dostatečně rychloběžné.

Většina větrných elektráren v ČR je vybavena asynchronními generátory, které mohou mít rotor s vinutím klecovým nebo kroužkovým. Asynchronní generátory s klecovým vinutím s přepínáním počtu pólů se používají u malých větrných elektráren a u starších typů. Při nízkých rychlostech větru a tedy i nízkých rychlostech větrného motoru je připojeno 6tipólové vinutí a dodávaný výkon je maximálně 1/3 instalovaného výkonu. Při vyšších rychlostech větru dochází k přepojení na 4 póly generátoru. Připojování k distribuční síti je provedeno jako přímé doplněné softstartem, případně je celé zařízení řízeno frekvenčním měničem. Asynchronní motor má otáčky téměř konstantní. Nezatížený má otáčky stejné jako synchronní motor, při zatížení se otáčky nepatrně zvyšují [12].

Moderní větrné elektrárny jsou vybavené speciálním asynchronním generátorem s vinutou kotvou, zapojeným v synchronní kaskádě. Toto zapojení doplněné regulací natáčení lopatek, vhodným tvarem listu VE a multiprocessorového řídicího systému jsou schopny dodávat elektrickou energii se zanedbatelnou mírou všech nežádoucích vlivů na elektrickou síť [12].

3.5 Měniče kmitočtu

Vlastností rozvodných sítí je konstantní kmitočet jejich napětí. Vlastností větrných motorů jsou proměnné otáčky. Mezi sítí s konstantním kmitočtem a alternátor s proměnným kmitočtem se řadí elektronický měnič kmitočtu a tak lze obě zařízení propojit.

Pro větrné elektrárny velkých výkonů jsou nejvíce používány systémy kaskádního zapojení (asynchronní generátory s vinutým (kroužkovým) rotorem, které spolupracují s měničem frekvence s rekuperační jednotkou). Pomocí řídicího systému větrné elektrárny s měničem frekvence je možné lépe využít energii větrného proudění, a zajistit tak stabilnější dodávku elektrické energie do distribuční soustavy [13].

Pracuje-li systém v kaskádě, je stator generátoru přímo připojen do elektrizační soustavy (přes transformátor nn/vn) a vinutý rotor generátoru je napájen z měniče frekvence. Chod tohoto zařízení je zabezpečován víceprocesorově. Systém řízení vyhodnocuje rychlost větru a

otáčky větrného motoru a tomu je přizpůsobována momentová charakteristika stroje. Průběh napětí a proudu na rotoru generátoru je tedy řízen tak, aby docházelo k maximálnímu využití větrné energie za předpokladu minimálních negativních vlivů na distribuční soustavu. Výkon řízený měničem frekvence je vzhledem k výkonu generátoru zlomkový, a proto mohou být jeho vlivy na distribuční síť nepatrné. Řídicí systém dále zabezpečuje připojování do sítě s minimálním proudovým rázem v generátorickém chodu a bez výrazných přepětových dějů [13].

Speciální rotorové vinutí je napájeno přes kroužky z rekuperačního měniče frekvence. Pro vyhlazení průběhů napětí a proudu jsou mezi měničem a rotorovým vinutím umístěny tlumivka a sinusový filtr [13].

Provoz větrné elektrárny má nežádoucí vlivy na distribuční soustavu, prioritou pro provozovatele distribuční soustavy je odstranění těchto vlivů. Tyto vlivy jsou dány především způsobem připojení generátoru větrné elektrárny k distribuční soustavě, parametry přípojného bodu distribuční soustavy (zkratový výkon) a volbou měřicího a řídicího zařízení. Způsob připojení k síti stanoví příslušný provozovatel distribuční soustavy na základě daných síťových poměrů, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby. Důležitá je vhodná volba samotného spínacího zařízení. Pro větrné elektrárny s asynchronními generátory může při připojování dojít vlivem vnitřních přechodných dějů ke krátkodobým poklesům [13].

Generátor musí být schopen dodávat výkon v rozmezí hodnot účinníku 0,85 až 0,95 při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru a při frekvenci v rozsahu 48,5 až 50,5 Hz. U kompenzačního zařízení zdrojů je třeba přihlížet ke způsobu provozu vlastní výroby a z něj vyplývajících zpětných vlivů na napětí soustavy. Při silně kolísajícím výkonu pohonu větrné elektrárny musí být kompenzace jalového výkonu regulována automaticky a dostatečně rychle. Uvedenou nevýhodu řeší využití měniče frekvence, který umožňuje čtyřkvadrantový provoz. U strojů napájených z měničů frekvence s vektorově orientovaným řízením je tedy možné dosáhnout optimálního řízení magnetického toku a snížení potřebné jalové energie [13].

4 PODMÍNKY PRO PROVOZ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Nejvýznamnější podmínkou pro provoz větrné elektrárny je průměrná rychlost větru v dané oblasti. Rychlost je zásadní parametr, protože energie větru roste se třetí mocninou rychlosti větru. To znamená, že i malá odchylka v rychlosti větru se výrazně projeví na získaném množství elektřiny. Zjišťuje se buď dlouhodobým měřením ve výšce, ve které bude větrná turbína umístěna nebo z větrné mapy. Pro větrné elektrárny se pokládá za spodní hranici efektivnosti rychlost větru asi $4,5 \text{ m.s}^{-1}$. Ve vnitrozemí jsou výhodnější lokality ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 500 m.n.m. [1].

Elektrárna začíná dodávat energii do sítě při rychlosti větru $3 \text{ až } 5,5 \text{ m.s}^{-1}$. Jmenovitého výkonu dosahuje při rychlosti větru $13 \text{ až } 15 \text{ m.s}^{-1}$. Nad touto rychlostí již výkon nestoupá a při rychlostech větru nad 25 m.s^{-1} se větrný motor zabrzdí a odstaví. Stojící elektrárna musí odolávat rychlosti větru až 60 m.s^{-1} [1].

Před rozhodnutím o stavbě elektrárny podle [2] je třeba získat:

- měřené průměrné rychlosti větru včetně četnosti směru, ideálně roční měření
- množství a parametry překážek, které způsobují turbulenci a brání laminárnímu proudění větru (porosty, stromy, stavby, budovy),
- chod ročních venkovních teplot, či jiných nepříznivých meteorologických jevů (např. námrazy způsobují odstávky),
- nadmořská výška (hustota vzduchu),
- možnost umístění vhodné technologie:
 - únosnost podloží, kvalita podkladu a seismická situace, geologické podmínky pro základy elektrárny,
 - dostupnost lokality pro těžké mechanismy, možnosti pro vybudování potřebné zpevněné komunikace,
 - vzdálenost od přípojky VN nebo VVN s dostatečnou kapacitou,
 - vzdálenost od obydlí, která by měla být dostatečná kvůli minimalizaci možného rušení obyvatel hlukem (nejvyšší přípustná hladina hluku ve venkovním prostoru na obytném území je ve dne 50 dB a v noci 40 dB).
 - míra zásahu do okolní přírody - zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním elektrické přípojky, zásah do vzhledu krajiny (umístění lokality v CHKO velmi komplikuje povolovací řízení),
 - majetkoprávní vztahy k pozemku, postoj místních úřadů, občanů, vlastnictví či dlouhodobý pronájem pozemků.

Pro stavbu je nutné získat územní rozhodnutí a stavební povolení, pokud je potřeba tak změnit územní plán příslušné obce nebo území. Stavební úřad bude v souladu se zákonem vyžadovat stanoviska různých dotčených orgánů státní správy, zejména státní ochrany přírody, ale třeba i Armády ČR. Pokud přípojka nepovede pouze po pozemcích investora, je nutné získat povolení pro instalaci a vedení po všech soukromých a veřejných pozemcích. Před stavbou se musí zpracovat studie vlivu na životní prostředí. Sleduje se hlavně mechanický hluk, který způsobuje převodovka, a aerodynamický hluk, který vzniká obtékáním listů elektrárny [2].

Chceme-li dodávat elektřinu do sítě, je třeba mimo jiné:

- Získat licenci k výrobě elektřiny (případně k přenosu) podle energetického zákona 458/2000 Sb.
- Splnit technické podmínky pro připojení k síti a získat souhlas příslušného provozovatele distribuční soustavy (veřejné sítě) [2].

4.1 Podmínky pro připojení větrné elektrárny do distribuční soustavy

Podmínkami pro připojení větrné elektrárny přenosové nebo distribuční soustavě jsou:

- podání žádosti o připojení, která musí obsahovat souhlas vlastníků nemovitostí dotčených výstavbou výroby, souhlas obce a příslušného stavebního úřadu s realizací výroby, požadovaná hodnota rezervovaného výkonu stávající hodnota rezervovaného příkonu a výkonu a studie připojitelnosti výroby k distribuční soustavě,
- dále je pro přihlášení zapotřebí dodat:
 - situační plán, na kterém jsou vyznačeny hranice pozemku a místo výstavby včetně širších vztahů
 - přehledové schéma celého elektrického zařízení s jmenovitými hodnotami použitých zařízení (jednopolové schéma postačí) vč. údajů o vlastních přípojných vedeních a rozvodném zařízení výrobce elektřiny
 - údaje o zkratové odolnosti předávací stanice
 - elektrická data napájecího transformátoru, tzn. výkon, převod, napětí nakrátko, spojení vinutí, ztráty naprázdno a nakrátko atd.
 - popis ochrany s přesnými údaji o druhu, výrobci, zapojení a funkci
 - příspěvek vlastní výroby k počátečnímu zkratovému proudu v místě připojení k síti
 - popis druhu a způsobu provozu pohonu, generátoru a případně střídače stejně jako způsob připojení k síti včetně technických dat a zkušebních protokolů
 - u střídačů, měničů frekvence a synchronních generátorů s buzením napájeným usměrňovači: zkušební protokoly k očekávaným proudům harmonických a mezipharmonických
 - u větrných elektráren: osvědčení a zkušební protokol k očekávaným zpětným vlivům (jmenovitý výkon, činitel flikru, kolísání činného a jalového výkonu, vnitřní úhel zdroje, meze pro řízení účinníku - kapacitní/induktivní, emitované harmonické a mezipharmonické proudy a náhradní schéma pro určení příspěvku do zkratu a vlivu na úroveň signálu HDO, vybavení ochranami a jejich vypínací časy).
- souhlasné stanovisko provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy k žádosti o připojení, vydané postupem podle § 5, a
- uzavření smlouvy o připojení mezi žadatelem a provozovatelem přenosové nebo distribuční soustavy nebo změna stávající smlouvy o připojení [14].

Žádost o připojení zařízení žadatele k přenosové nebo distribuční soustavě se podává před výstavbou nebo připojením nového zařízení, před zvýšením rezervovaného příkonu,

popřípadě výkonu stávajícího připojeného zařízení nebo před zásadní změnou charakteru odběru. Žádost se podává za každé odběrné nebo předávací místo zvlášť [14].

Způsob a místo připojení na síť stanoví provozovatel distribuční soustavy s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby, stejně jako k oprávněným zájmům výrobce [14].

Zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben nesmí v nejnepríznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro výroby s přípojným místem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení [14].

Změny napětí ve společném napájecím bodě, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů nebo zařízení, nevyvolávají nepřípustné zpětné vlivy, pokud největší změna napětí pro výroby s předávacím místem v síti vn nepřekročí 2 %. Pro výroby v síti 110 kV platí pro změnu napětí mez 2 % za předpokladu, že četnost spínání není větší než desetkrát za hodinu, pro větší počet sepnutí je dovolená mezní změna 1,5 % [14].

Při připojování synchronních generátorů na síť musí být dodrženy podmínky pro synchronizaci (rozdíl napětí musí být menší než $\pm 10\%$ jmenovitého napětí, rozdíl frekvence musí být menší než ± 5 Hz a rozdíl fáze musí být menší než $\pm 10^\circ$). Asynchronní motory musí být připojeny bez napětí při otáčkách v mezích 95 % až 105 % synchronních otáček.. Střídače smějí být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí [14].

5 NÁVRH VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

5.1 Poloha větrné elektrárny

Elektrárna bude umístěna v katastru obce Velké Bílovice v oblasti vrcholu kopce Zadní kopec. Na tomto místě je podle větrné mapy ČR[9] průměrná rychlost větru ve výšce 100 metrů nad povrchem $5,5\text{--}6\text{ m.s}^{-1}$. Kvůli malé průměrné rychlosti větru budeme volit větrnou turbínu s menší jmenovitou rychlostí větru.

5.2 Výběr větrné elektrárny

Pro výběr modelu větrné elektrárny je nejdůležitější cena elektrárny a ekonomické zhodnocení jejího provozu.

Největší zastoupení má v České Republice k 31.12.2009 firma německá Vestas a to 62,95 MW, na druhém místě jsou elektrárny dánské firmy Enercon 61,86 MW a na třetím Repower 18 MW [4].

Tab. 5-1 Seznam výrobců VE podle instalovaného výkonu v ČR [4]

Seznam výrobců podle instalovaného výkonu	
Vestas	62,95 MW
Enercon	61,86 MW
Repower	18 MW
de Wind	16,95 MW
Nordex	12,85 MW
Tacke	6,6 MW
WinWind	6 MW
Wikov	4 MW
Fuhrlander	1,35 MW

Nabízené výkony se pohybují od stovek kilowatt až po 3 megawatty. Největší větrná elektrárna instalovaná v Evropě je od firmy Enercon, má výkon 6MW, je postavena v Německu[3].

Pro porovnání zvolíme 3 elektrárny různých výkonů : Vestas V80, Vestas V90 a Enercon E53. Všechny 3 elektrárny mají nižší rychlost větru, při které dosahují jmenovitého výkonu, jsou tedy vhodné pro umístění do lokality s nižší průměrnou rychlostí větru. Elektrárny Vestas mají asynchronní generátory, Enercon má generátor synchronní. Vestas V80 má rychlost větru potřebnou pro rozjezd 4 m.s^{-1} a rychlost, při které se rotor zastavuje, je 25 m.s^{-1} . Má jmenovitý výkon 2MW, kterého dosahuje při rychlosti větru 16 m.s^{-1} , průměr rotoru 80m, výška stožáru je 78m. Vestas V90 má rychlost větru potřebnou pro rozjezd 4 m.s^{-1} a rychlost, při které se rotor zastavuje, je 25 m.s^{-1} . Jmenovitý výkon je 2MW, kterého dosahuje při rychlosti větru 12 m.s^{-1} , průměr rotoru 90m, výška stožáru 105m. U elektrárny Enercon E53 rychlost větru potřebnou pro rozjezd neznáme a rychlost větru při které se rotor zastavuje je

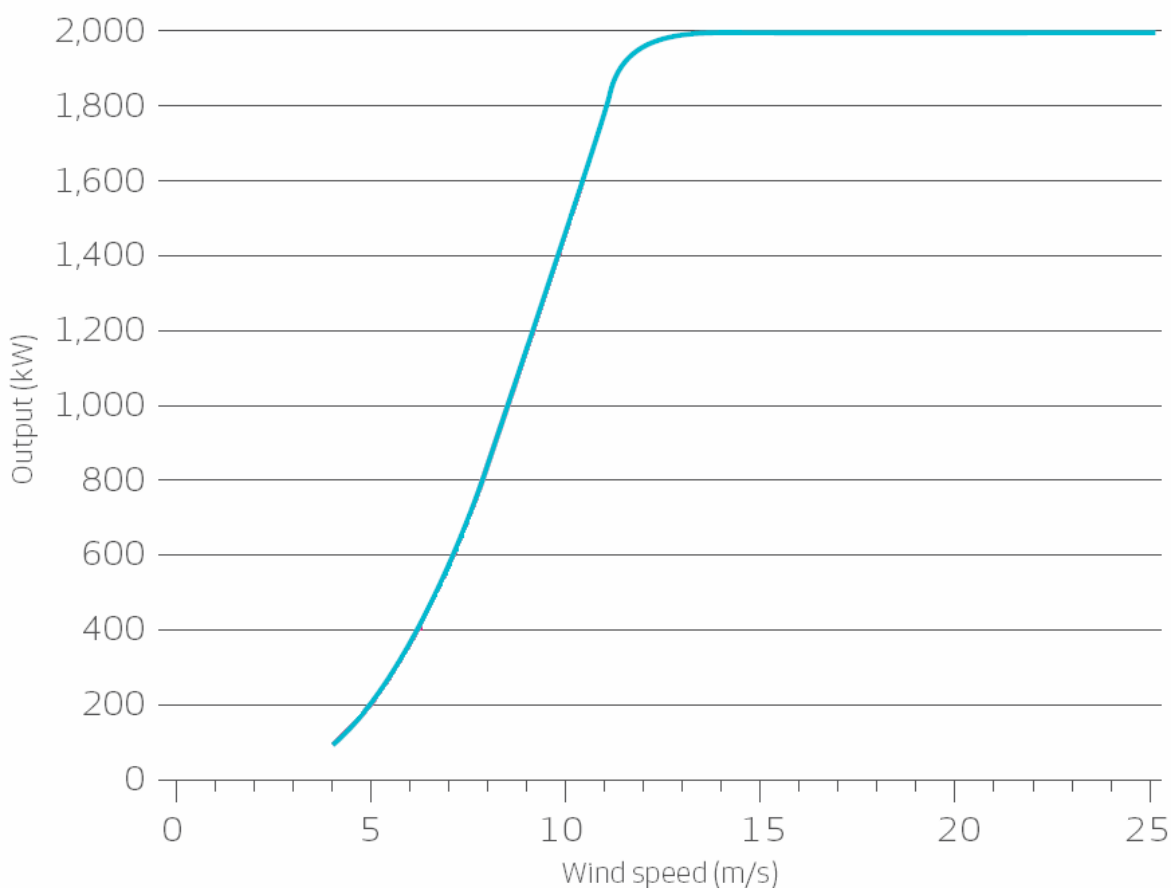
$28-34\text{m.s}^{-1}$. Jmenovitý výkon je 800kW , kterého dosahuje při rychlosti větru 13m.s^{-1} , průměr rotoru $52,9\text{m}$, výška stožáru 60m [6][7][8].

5.2.1 Ekonomické zhodnocení stavby elektrárny

Pro výpočet ročního množství vyrobené energie potřebujeme znát závislost výkonu větrného motoru na rychlosti větru, dále potřebujeme znát četnost výskytu rychlostí větru v procentech. Pokud nemáme k dispozici údaje z měření, použijeme hodnoty pro danou průměrnou roční rychlost větru z tabulky [1].

Pro ekonomické zhodnocení potřebujeme znát velikost provozních a investičních nákladů, tyto ceny vychází z cen obvyklých na trhu z roku 2006.

5.2.1.1 Výpočet pro elektrárnu Vestas V90



Obr. 5-1 Závislost výkonu na rychlosti větru Vestas V90[6]

Z grafu odečteme hodnoty výkonu, které odpovídají rychlostem od 1 m.s^{-1} až do hodnoty 25 m.s^{-1} s krokem 1. Zjištěné hodnoty zapíšeme do tabulky a přiřadíme k nim hodnoty četnosti výskytu větru pro danou průměrnou rychlost větru.

Tab. 5-2 Tabulka pro výpočet ročního množství vyrobené energie

1	2	3	4
Rychlost větru (m.s ⁻¹)	Výkon větrné elektrárny(kW)	Četnost výskytu rychlostí větru pro v=6m.s ⁻¹	(2).(3)
0	0	1,96	0
1	0	7,2	0
2	0	10,6	0
3	0	11,9	0
4	100	11,6	1160
5	200	10,6	2120
6	370	9,25	3422,5
7	570	7,75	4417,5
8	820	6,4	5248
9	1150	5,13	5899,5
10	1450	4,1	5945
11	1750	3,2	5600
12	1950	2,5	4875
13	1990	1,9	3781
14	2000	1,6	3200
15	2000	1,14	2280
16	2000	0,8	1600
17	2000	0,68	1360
18	2000	0,45	900
19	2000	0,34	680
20	2000	0,23	460
21	2000	0,2	400
22	2000	0,17	340
23	2000	0,11	220
24	2000	0,05	100
25	2000	-	-
Σ(2).(3)			54008,5

Vynásobením výkonu větrné elektrárny (sloupec 2) a četnosti výskytu rychlosti větru (sloupec 3) pro jednotlivé rychlosti větru získáme sloupec 4. Energie vyrobená za rok v kilowatthodinách je dle vztahu:

$$E_{r(v=6)} = \frac{[\sum_4^{24} (2).(3)]t}{100} \text{ (kWh;kW,h),} \quad (5.1)$$

kde:

t je čas

$\sum_4^{24} (2).(3)$ je součet hodnot ve čtvrtém sloupci.

Potom vychází:

$$E_{r(v=6)} = \frac{54008,5 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h}}{100} = 4731144,6 \text{ kWh}$$

Tab. 5-3 Provozní náklady

Mzdy a pojištění	230000 Kč
Opravy	200000 Kč
Údržba	500000 Kč
Pojištění VE 0,5%	405889 Kč
Režie	50000 Kč
Energie	90000 Kč
Celkem	1475899 Kč

Tab. 5-4 Investiční náklady

Větrná elektrárna	68862600 Kč
Připojení k síti	2200000 Kč
Stavební část	10295250 Kč
Režie	180000 Kč
Energetický audit	35000 Kč
Celkem	81392850 Kč

Tab. 5-5 Vstupní ekonomické parametry

Investiční náklady (K_i)	81 392 850 Kč
Provozní náklady	1 475 899 Kč
Energie vyrobená za rok (VE)	4731,14 MWh
Daň ze zisku	19%
Cena vykupované energie (C)	2 230 Kč
Požadovaná výnosnost investice	7%
Životnost	20 let
Doba osvobození od daně z příjmu	5 let
Roční odpisová sazba v prvním roce (ODP_1)	2,15%
Roční odpisová sazba v dalších letech (ODP)	5,15%

Tab. 5-6 Výpočet aktualizovaného peněžního příjmu pro každý rok

Rok provozu	Tržby	Provozní náklady	Náklady na odpisy	celkové roční náklady	Zisk	Čistý zisk	Peněžní příjem	Aktualizovaný peněžní příjem
	T	N_{p1}	N_{odp1}	N_1	Z_1	Z_{T1}	P_j	P_j^A
1	10550442,20	1475899	1749946,28	3225845,28	7324596,93	7324596,93	9074543,20	8480881,50
2	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	4882811,43	9074543,20	7926057,47
3	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	4882811,43	9074543,20	7407530,35
4	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	4882811,43	9074543,20	6922925,56
5	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	4882811,43	9074543,20	6470023,89
6	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	5428562,85
7	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	5073423,22
8	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	4741517,03
9	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	4431324,33
10	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	4141424,60
11	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	3870490,28
12	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	3617280,64
13	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	3380636,11
14	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	3159473,00
15	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	2952778,51
16	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	2759606,08
17	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	2579071,10
18	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	2410346,82
19	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	2252660,58
20	10550442,20	1475899	4191731,78	5667630,78	4882811,43	3955077,25	8146809,03	2105290,27
							$\sum_{j=1}^{20} P_j^A$	90111304,18

Tržby vypočítáme pomocí vztahu:

$$T = VE.C \text{ (Kč;MWh,Kč/MWh),} \quad (5.2)$$

kde

T – tržby

VE – vyrobená elektrická energie za rok

C – cena vykupované elektrické energie.

Potom:

$$T = 4731,1 \text{ MWh} \cdot 2230 \text{ Kč / MWh} = 10550442 \text{ Kč}$$

Náklady na odpisy získáme pomocí vztahu:

$$N_{odp1} = K_i \cdot ODP \text{ (Kč;Kč,-),} \quad (5.3)$$

kde

N_{odp1} – náklady na odpisy

K_i – investiční náklady

ODP – roční odpisová sazba.

Při dosazení roční odpisové sazby pro první rok získáme:

$$N_{odp1} = \frac{81392850 \text{ Kč} \cdot 2,15}{100} = 1749946 \text{ Kč}$$

Náklady na odpisy v dalších letech vypočítáme pomocí vztahu 11.3, do kterého dosadíme roční odpisovou sazbu pro další roky :

$$N_{odp1} = \frac{81392850 \text{ Kč} \cdot 5,15}{100} = 4191732 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady jsou dle vztahu:

$$N_1 = N_{p1} + N_{odp1} \text{ (Kč;Kč,Kč),} \quad (5.4)$$

kde

N_1 – celkové roční náklady

N_{p1} – provozní náklady na jeden rok

N_{odp1} – náklady na odpisy.

Pak:

$$N_1 = 1475899 \text{ Kč} + 1749946 \text{ Kč} = 3225845 \text{ Kč}$$

Zisk se vypočítá vztahem:

$$Z_1 = T - N_1 \text{ (Kč;Kč,Kč),} \quad (5.5)$$

kde

Z_1 – zisk

T – tržby

N_1 – Celkové roční náklady.

Potom:

$$Z_1 = 10550442Kč - 3225845Kč = 7324597Kč$$

Čistý zisk v šestém a dalším roce je dle vztahu:

$$Z_{T1} = Z_1 \cdot (1 - d) \quad (Kč; Kč, -), \quad (5.6)$$

kde

Z_{T1} – čistý zisk

Z_1 – zisk

d – daň ze zisku.

Pak:

$$Z_{T1} = 4882881Kč \cdot (1 - 0,19) = 3955077Kč$$

Peněžní příjem získáme ze vzorce:

$$P_j = N_{odp1} + Z_{T1} \quad (Kč; Kč, Kč), \quad (5.7)$$

kde

P_j - peněžní příjem

N_{odp1} – náklady na odpisy

Z_{T1} – čistý zisk.

Pak:

$$P_j = 1749946Kč + 7324597Kč = 9074543Kč$$

Aktualizovaný peněžní příjem je dle vztahu:

$$P_j^A = \frac{P_j}{(1+i)^j} \quad (Kč; Kč, -, -), \quad (5.8)$$

kde

P_j^A - aktualizovaný peněžní příjem

P_j – peněžní příjem

i – požadovaná výnosnost

j – rok provozu.

Potom pro první rok:

$$P_j^A = \frac{9074543Kč}{(1+0,07)^1} = 8480881,49Kč$$

Čistá současná hodnota:

$$NPV = \sum_{j=1}^{20} P_j^A - K_i \text{ (Kč; Kč, Kč),} \quad (5.9)$$

kde

NPV – čistá současná hodnota

P_j^A - aktualizovaný peněžní příjem

K_i – investiční náklady.

Potom:

$$NPV = 90111304,18 \text{ Kč} - 81392850 \text{ Kč} = 8718454,18 \text{ Kč}$$

Vnitřní výnosové procento se získá ze vztahu:

$$\sum_{j=1}^{20} \frac{P_j}{(1+IRR)^j} = K_i \text{ (Kč, -, -; Kč),} \quad (5.10)$$

kde

P_j – peněžní příjem

K_i – investiční náklady

j – rok provozu

IRR - vnitřní výnosové procent

Použitím funkce míra výnosnosti v programu Microsoft Excel jsme získali hodnotu:

$$IRR = 8,3885\%$$

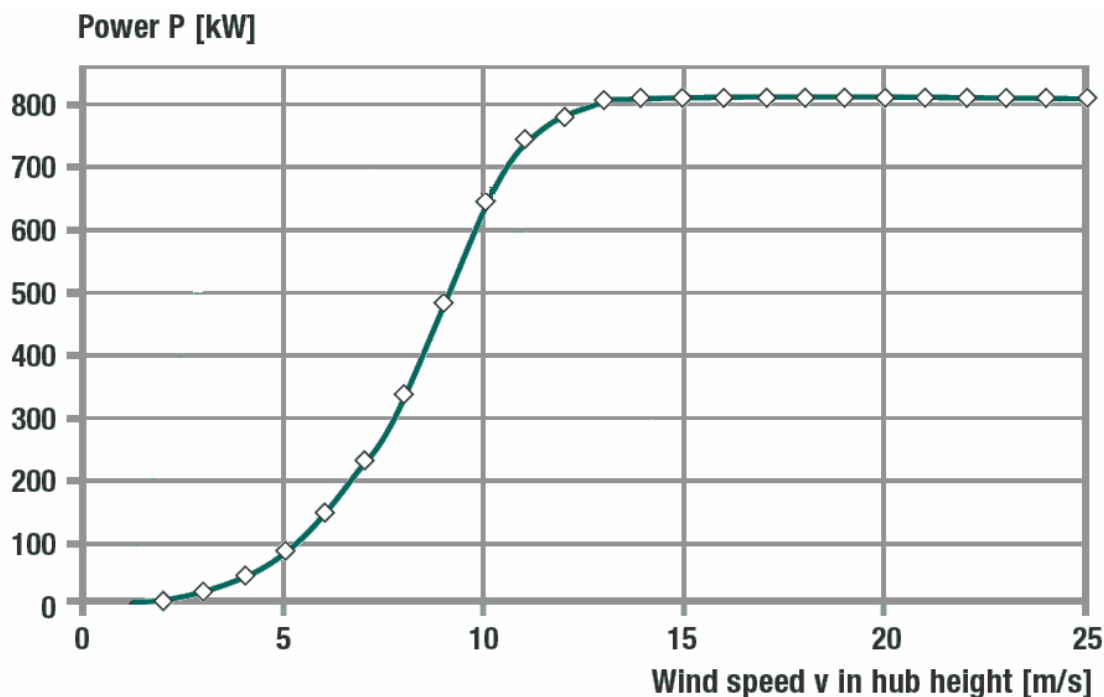
Uvažujeme, že investor bude projekt financovat z vlastních prostředků a nebude zatížen úroky z případných úvěrů. Ceny investic a elektřiny jsou uvažovány bez DPH, vychází z cen obvyklých na trhu. Ve výpočtu se uvažoval kurs 25,6 Kč/€. Větrná elektrárna spadá do odpisové skupiny 4, doba odepisování 20 let. Podle zákona § 19 odst. d) zákona č. 586/1999Sb. se platba daně z příjmu uvažuje až po 5 letech, sazba daně z příjmu pro rok 2010 je podle § 21 odst. d) zákona č. 586/1999Sb 19%.

Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2009 stanovuje výkupní cenu pro větrnou elektrárnu uvedenou do provozu po 1. lednu 2010 na 2230 Kč/MWh [15].

Požadovanou výnosnost investice uvažujeme 7%.

Čistá současná hodnota je 8718454,18 Kč při požadované výnosnosti investice 7%. Vnitřní výnosové procento u varianty s elektrárnou V80 je 8,3885%. Doba splacení je 10 let a diskontovaná doba splacení je 17 let.

5.2.1.2 Výpočet pro elektrárnu Enercon E53



Obr. 5-2 Závislost výkonu na rychlosti větru Enercon E53[8]

Při výpočtech postupujeme stejným způsobem jako u elektrárny Vestas V90.

Investiční náklady zůstávají kromě změny ceny za samotnou větrnou elektrárnu nezměněné, u provozních nákladů se změní cena za pojištění elektrárny, která je 0,5% investičních nákladů [16].

Tab. 5-7 Provozní náklady

Mzdy a pojištění	230000 Kč
Opravy	200000 Kč
Údržba	500000 Kč
Pojištění VE 0,5%	206386,3 Kč
Režie	50000 Kč
Energie	90000 Kč
Celkem	1276386 Kč

Tab. 5-8 Investiční náklady

Větrná elektrárna	28567000 Kč
Připojení k síti	2200000 Kč
Stavební část	10295250 Kč
Režie	180000 Kč
Energetický audit	35000 Kč
Celkem	41277250 Kč

Tab. 5-9 Tabulka pro výpočet ročního množství vyrobené energie

1	2	3	4
Rychlost větru (m.s ⁻¹)	Výkon větrné elektrárny(kW)	Četnost výskytu rychlostí větru pro v=6m.s ⁻¹	(2).(3)
do 0,5	0	1,96	0
1	0	7,2	0
2	0	10,6	0
3	0	11,9	0
4	38	11,6	440,8
5	77	10,6	816,2
6	141	9,25	1304,25
7	228	7,75	1767
8	336	6,4	2150,4
9	480	5,13	2462,4
10	645	4,1	2644,5
11	744	3,2	2380,8
12	780	2,5	1950
13	810	1,9	1539
14	810	1,6	1296
15	810	1,14	923,4
16	810	0,8	648
17	810	0,68	550,8
18	810	0,45	364,5
19	810	0,34	275,4
20	810	0,23	186,3
21	810	0,2	162
22	810	0,17	137,7
23	810	0,11	89,1
24	810	0,05	40,5
25	810	-	-
Σ(2).(3)			22129,05

Tabulka byla sestavena stejným způsobem jako tab. 5-2. Sloupec 4 je součinem sloupců 2 a 3 pro každou rychlost větru. Celkovou vyrobenou energii získáme použitím vztahu 5.1

$$E_{r(v=6)} = \frac{22129,05kW \cdot 8760h}{100} = 1938504,78 kWh$$

Tab. 5-10 Vstupní ekonomické parametry

Investiční náklady (K_i)	41 277 250 Kč
Provozní náklady	1 276 386,25 Kč
Energie vyrobená za rok	1938,5 MWh
Daň ze zisku	19%
Cena vykupované energie	2 230 Kč
Požadovaná výnosnost investice	7%
Životnost	20let
Doba osvobození od daně z příjmu	5 let
Roční odpisová sazba v prvním roce	2,15%
Roční odpisová sazba v dalších letech	5,15%

Tab. 5-11 Tabulka pro výpočet aktualizovaného peněžního příjmu pro každý rok

Rok provozu	Tržby	Provozní náklady	Náklady na odpisy	Celkové roční náklady	Zisk	Čistý zisk	Peněžní příjem	Aktualizovaný peněžní příjem
j	T	N_{P1}	N_{odp1}	N_1	Z_1	Z_{T1}	P_j	P_j^A
1	4322863,92	1276386,25	887460,88	2163847,13	2159016,80	2159016,80	3046477,67	2847175,39
2	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	920699,30	3046477,67	2660911,58
3	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	920699,30	3046477,67	2486833,25
4	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	920699,30	3046477,67	2324143,23
5	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	920699,30	3046477,67	2172096,47
6	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1913431,55
7	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1788253,79
8	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1671265,22
9	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1561930,11
10	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1459747,77
11	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1364250,25
12	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1275000,23
13	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1191589,00
14	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1113634,58
15	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	1040779,98
16	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	972691,57
17	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	909057,55
18	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	849586,49
19	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	794006,07
20	4322863,92	1276386,25	2125778,38	3402164,63	920699,30	745766,43	2871544,80	742061,74
							$\sum_{j=1}^{20} P_j^A$	31138445,85

Čistou současnou hodnotu získáme dosazením do rovnice 5.9

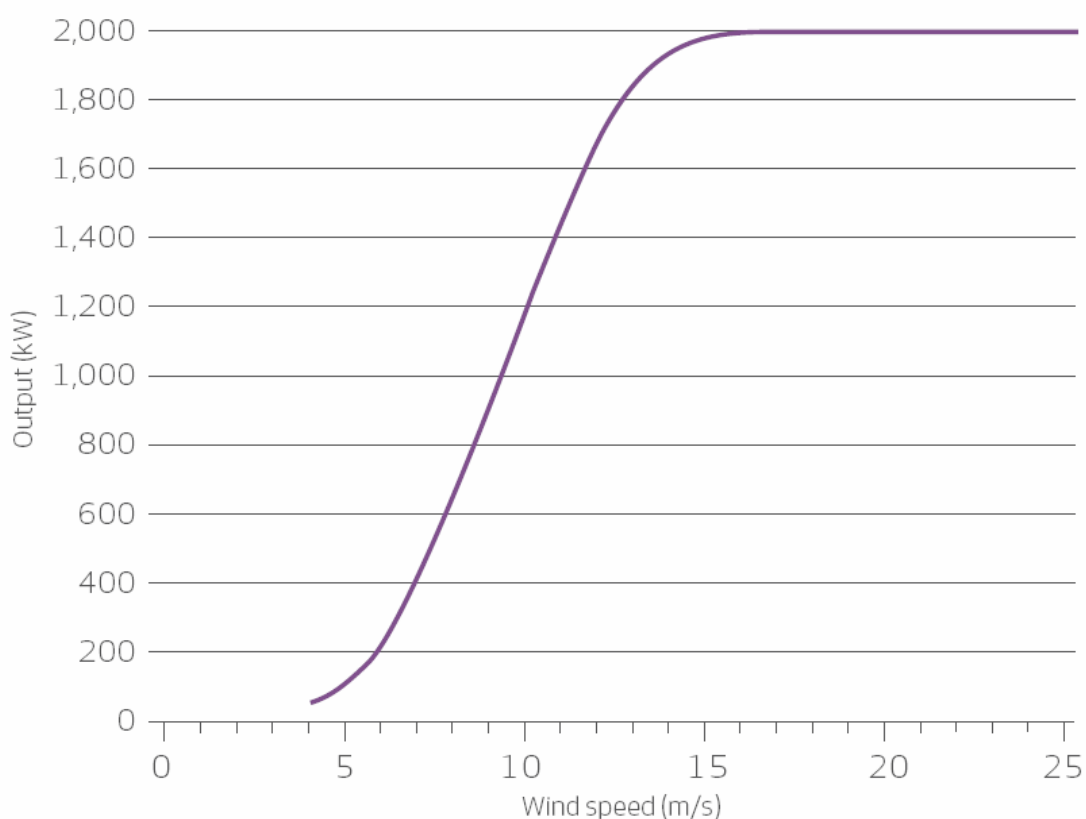
$$NPV = 31138445,85 \text{ Kč} - 41277250 \text{ Kč} = -10138804,15 \text{ Kč}$$

Výpočet vnitřního výnosového procenta vychází z rovnice 5.10, použitím funkce míra výnosnosti v programu Microsoft Excel jsme získali hodnotu:

$$IRR = 3,5878\%$$

Čistá současná hodnota je -10138804,15 Kč při požadované výnosnosti investice 7%. Vnitřní výnosové procento u varianty s elektrárnou E53 je 3,5878%. Doba splacení je 15 let a diskontovaná doba splacení je větší než doba životnosti.

5.2.1.3 Výpočet pro elektrárnu Vestas V80



Obr. 5-3 Závislost výkonu na rychlosti větru Vestas V80[7]

Výpočet provedeme stejně jako u elektrárny Vestas V90. Výkon pro jednotlivé rychlosti větru odečítáme z charakteristiky.

Tab. 5-12 Tabulka pro výpočet ročního množství vyrobené energie

1	2	3	4
Rychlost větru (m.s-1)	Výkon větrné elektrárny(kW)	Četnost výskytu rychlostí větru pro v=6m.s-1	(2).(3)
0	0	1,96	0
1	0	7,2	0
2	0	10,6	0
3	0	11,9	0
4	50	11,6	580
5	100	10,6	1060
6	220	9,25	2035
7	410	7,75	3177,5
8	630	6,4	4032
9	900	5,13	4617
10	1170	4,1	4797
11	1420	3,2	4544
12	1660	2,5	4150
13	1850	1,9	3515
14	1900	1,6	3040
15	1970	1,14	2245,8
16	2000	0,8	1600
17	2000	0,68	1360
18	2000	0,45	900
19	2000	0,34	680
20	2000	0,23	460
21	2000	0,2	400
22	2000	0,17	340
23	2000	0,11	220
24	2000	0,05	100
25	2000	-	-
$\Sigma(2).(3)$			43853,3

Požitím rovnice 5.1 vypočítáme celkovou energii vyrobenou za rok

$$E_{r(v=6)} = \frac{43853,3 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h}}{100} = 3841549,08 \text{ kWh}$$

Investiční náklady zůstávají kromě změny ceny za samotnou větrnou elektrárnu nezměněné, u provozních nákladů se změní cena za pojištění elektrárny, která je 0,5% investičních nákladů [16].

Tab. 5-13 Provozní náklady

Mzdy a pojištění	230000
Opravy	200000
Údržba	500000
Pojištění VE 0,5%	338281,7
Režie	50000
Energie	90000
Celkem	1408282

Tab. 5-14 Investiční náklady

Větrná elektrárna	54946080
Připojení k síti	2200000
Stavební část	10295250
Režie	180000
Energetický audit	35000
Celkem	67656330

Tab. 5-15 Vstupní ekonomické parametry

Investiční náklady	67 656 330 Kč
Provozní náklady	1 408 282 Kč
Energie vyrobená za rok	3841,5MWh
Daň ze zisku	19%
Cena vykupované energie	2 230 Kč
Požadovaná výnosnost investice	7%
Životnost	20let
Doba osvobození od daně z příjmu	5 let
Roční odpisová sazba v prvním roce	2,15%
Roční odpisová sazba v dalších letech	5,15%

Tab. 5-16 Tabulka pro výpočet aktualizovaného peněžního příjmu pro každý rok

Rok provozu	Tržby	Provozní náklady	Náklady na odpisy	Celkové roční náklady	Zisk	Čistý zisk	Peněžní příjem	Aktualizovaný peněžní příjem
	T	N _{P1}	N _{odp1}	N ₁	Z ₁	Z _{T1}	P _j	P _j ^A
1	8566545	1408281,65	1454611	2862892,75	5703652,26	5703652,26	7158263,35	6689965,75
2	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	3673962,36	7158263,35	6252304,44
3	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	3673962,36	7158263,35	5843275,17
4	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	3673962,36	7158263,35	5461004,84
5	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	3673962,36	7158263,35	5103742,84
6	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	4304711,03
7	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	4023094,42
8	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	3759901,33
9	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	3513926,48
10	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	3284043,44
11	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	3069199,47
12	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	2868410,72
13	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	2680757,68
14	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	2505381,01
15	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	2341477,58
16	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	2188296,81
17	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	2045137,20
18	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	1911343,18
19	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	1786302,04
20	8566545	1408281,65	3484301	4892582,65	3673962,36	2975909,51	6460210,50	1669441,16
							$\sum_{j=1}^{20} P_j^A$	71301716,59

Čistou současnou hodnotu získáme dosazením do rovnice 5.9

$$NPV = 71301716,59 \text{ Kč} - 67656330 \text{ Kč} = 3645386,58 \text{ Kč}$$

Výpočet vnitřního výnosového procenta vychází z rovnice 5.10, použitím funkce míra výnosnosti v programu Microsoft Excel jsme získali hodnotu:

$$IRR = 7,7044\%$$

Čistá současná hodnota je 3645386,58 Kč při požadované výnosnosti investice 7%. Vnitřní výnosové procento u varianty s elektrárnou V80 je 7,7044%. Doba splacení je 10 let a diskontovaná doba splacení je 18 let.

5.3 Zhodnocení výsledků

	Vestas V90	Enercon E53	Vestas V80
Investiční náklady	81 392 850 Kč	41 277 250 Kč	67 656 330 Kč
Čistá současná hodnota	8 718 454,18 Kč	-10 138 804,15 Kč	3 645 386,588 Kč
Vnitřní výnosové procento	8,3885%	3,5878%	7,7044%
Doba splacení	10 let	15 let	10 let
Diskontovaná doba splacení	17 let	>20 let	18 let
Požadovaná výnosnost	7%	7%	7%

Tab. 5-17 Výsledky ekonomického vyhodnocení všech variant

Z tabulky 13-1 vyplývá, že nejvýhodnější variantou je elektrárna Vestas V90. Díky většímu průměru rotoru ročně vyrobí větší množství elektrické energie. Z dalších dvou variant je výhodnější Vestas V80, protože elektrárna Enercon E53 má diskontovanou dobu splacení větší než je životnost elektrárny a čistá současná hodnota je záporná.

Při rozhodování mezi V80 a V90 by mohly hrát velkou roli investiční náklady, které má V80 bezmála o 14 milionů korun menší.

Projekt je díky zákonem stanoveným podmínkám a cenám výkupu velice stabilní.

6 NÁVRH PŘIPOJENÍ ELEKTRÁRNY DO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

Návrh připojení provedeme pouze pro ekonomicky nejvýhodnější variantu (Vestas V90 – 2 MW) pro připojení do napěťové hladiny 22 kV.

Pro tuto napěťovou hladinu použijeme kabel NA2XSY 12/20 kV s měděným jádrem s izolací ze zesíleného polyetylenu, vnější polovodivou vrstvou, polovodivou páskou, stíněním(pancéřováním) z měděných drátů a jedné nebo dvou protisměrně vinutých Cu pásek, nevodivé pásky a vnějšího pláště z PVC [20].

Pro připojení použijeme tři jednožilové kabely uložené přímo v zemi, tomu odpovídá podle [18] referenční způsob uložení D.

6.1 Výpočet proudu kabelem a volba průřezu kabelu

Proud, který bude procházet vodičem vypočítáme pomocí vzorce

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (\text{A}; \text{W}, \text{V}, -) \quad (6.1)$$

kde:

P - činný výkon

U – sdružené napětí

$\cos \varphi$ - účinník.

Účinník ve výpočtu uvažujeme 0,85. Po dosazení:

$$I = \frac{2 \cdot 10^6 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 0,85} = 61,75 \text{ A}$$

tomuto proudu podle tabulky 31 v [18] odpovídá kabel 3x16mm² s jmenovitým proudem 79 A. Nejmenší průřez kabelu NA2XSY 12/20 kV nabízený firmou allkabel s.r.o. podle [20] je 50mm² s proudovou zatížitelností 173A v zemi při třech vodičích ve svazku.

6.2 Kontrola na úbytek napětí a výkonové ztráty

Odpor vodiče získáme pomocí vztahu:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (\Omega; \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}, \text{m}, \text{mm}^2), \quad (6.2)$$

kde

ρ – měrný odpor vodiče

l – délka vodiče

S – průřez vodiče.

Délku vodiče uvažujeme 200m, měrný odpor mědi je 0,018 $\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$, potom:

$$R = 0,018 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1} \cdot \frac{200 \text{ m}}{50 \text{ mm}^2} = 0,072 \Omega$$

Reaktance vodiče:

$$X = x_k \cdot l \quad (\Omega; \Omega \text{km}^{-1}, \text{km}), \quad (6.3)$$

kde

x_k – měrná reaktance vodiče

l – délka vodiče.

Měrná reaktance se uvažuje $0,06 \Omega \text{km}^{-1}$, potom:

$$X = 0,06 \Omega \text{km}^{-1} \cdot 0,2 \text{km} = 0,012 \Omega$$

Úbytek napětí se vypočte podle vztahu:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (\text{V}; \Omega, \text{A}, -, \Omega, \text{A}, -), \quad (6.4)$$

kde

R – odpor vodiče

I – proud vodičem

$\cos \varphi$ – účinník

X – reaktance vodiče.

Potom:

$$\Delta U = 0,072 \Omega \cdot 61,75 \text{A} \cdot 0,85 + 0,012 \Omega \cdot 61,75 \text{A} \cdot 0,527 = 4,1696 \text{V}$$

Procentuální úbytek napětí je dle vztahu:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_n} \cdot \sqrt{3} \quad (\%; \text{V}, \text{V}), \quad (6.5)$$

kde

ΔU – úbytek napětí

U_n – jmenovité napětí.

Potom:

$$\Delta u_{\%} = \frac{4,1696 \text{V} \cdot 100}{22 \cdot 10^3 \text{V}} \cdot \sqrt{3} = 0,03282\%$$

Třífázové ztráty získáme pomocí vztahu:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad (\text{W}; \Omega, \text{A}), \quad (6.6)$$

kde

R – odpor vodiče

I – proud vodičem.

Pak:

$$\Delta P = 3 \cdot 0,072 \Omega \cdot 61,75^2 \text{A} = 823,62 \text{W}$$

Procentuální ztráty výkonu:

$$\Delta p_{\%} = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{823,62 \text{W}}{2000000 \text{W}} \cdot 100 = 0,0412\%$$

7 ZÁVĚR

V roce 1980 přijaly země Evropských společenství program rozvoje větrné energetiky. Evropská unie se rozhodla v roce 2030 dosáhnout 100 000 MW instalovaných ve větrných elektrárnách. To je výkon, který má pokrývat 20 % celkové západoevropské spotřeby elektrické energie. Možností jak dosáhnout takového instalovaného výkonu je výstavba velkých větrných parků v přímořských oblastech ve státech jako je Německo, Dánsko, Nizozemsko a Španělsko.

Nyní je v ČR instalovaný výkon větrných elektráren 191 MW. Za rok 2009 bylo vyrobeno ve větrných elektrárnách 289888 MWh, což je asi 0,4% z celkového množství vyrobené elektrické energie. V ČR podporuje stát výrobu z obnovitelných zdrojů tak, že pravidelně určuje výkupní cenu elektřiny vyrobené v daném typu elektrárny. V posledních letech tato cena pravidelně klesá a tím se prodlužuje doba návratnosti investic do větrných elektráren.

V první části práce jsme se seznámili s různými možnostmi provedení rotorů větrných elektráren, s generátory, které se používají ve větrných elektrárnách a s celkovou konstrukcí elektráren. Popsali jsme si systémy regulace a orientace rotorů, které zaručují maximální možnou účinnost a bezpečný provoz elektrárny. Byly shrnuty požadavky na umístění stavby a pravidla pro připojení elektrárny do distribuční sítě.

V další části práce jsme vybrali tři typy elektráren různých výkonů a výrobců, vypočetli jsme množství energie kterou elektrárny vyrobí za rok v dané poloze.

Provedli jsme ekonomické zhodnocení u všech tří typů elektráren, jako nejvýhodnější se jeví elektrárna Vestas V90, metoda čisté současné hodnoty u této elektrárny měla výsledek 8 718 454,18 Kč při požadované výnosnosti 7%. Tento výsledek při porovnání s investičními náklady není nijak velký a záleží na investorovi jestli by se rozhodl do projektu investovat.

Možná cesta jak zlepšit ekonomický výsledek je volba lokality s větší průměrnou rychlostí větru, při které by elektrárna vyrobila výrazně více elektrické energie. Průměrná rychlost větru by měla dosahovat víc jak 6 m.s^{-1} . V České republice se tato místa vyskytují hlavně ve výšce nad 700 m nad mořem, které se nachází převážně v chráněných krajinných oblastech, kde není umožněna výstavba elektráren. Další možností je zvolit vhodnější typ elektrárny, například s větším průměrem rotoru.

Připojení elektrárny by bylo provedeno svazkem tří kabelů NA2XSY 12/20 kV s měděným jádrem o průřezu 50 mm^2 . Úbytek napětí i ztráty výkonu na délce 200 metrů jsou téměř zanedbatelné, nepřesahují 0,05% jmenovitých hodnot.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] RYCHETNÍK, V., PAVELKA, J., JANOUŠEK J. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, 199 stran. ISBN 80-01-01563-7
- [2] BERANOVSKÝ, J., KAŠPAROVÁ, M., MACHOLDA, F., SRDEČNÝ, K., TRUXA, J. *Energie Větru* [on line]. cit. 9.11.2009. <http://www.energetika.cz/index.php?id=170>.
- [3] Růžička, V. *6MW nejvýkonnější stroj v Evropě - Enercon Německo - Cuxhaven* [on line]. cit. 1.12.2009. http://www.vetrneelektrarny.bestweb.cz/info_6mw_nemecko.html.
- [4] Tabulka aktuálních instalací k 31.12.2009. ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. 10.01.2010, [cit. 19.05.2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.csve.cz/clanky/detail/120>>
- [5] ČEZ, a.s.. *Fungování větrných elektráren* [online]. c2009 [cit. 2009-10-28]. Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elektrarna.html>.
- [6] VESTAS V90-1.8 and 2.0 MW brochure [online]. c2007 [cit. 2009-11-09]. Dostupný z WWW: http://www.vestas.com/Admin/Public/Download.aspx?file=Files%2fFiler%2fEN%2fBrochures%2f090821_Product-brochure-V90-1.8-2.0MW-06-09-EN.pdf.
- [7] VESTAS V80-2.0 MW brochure [online]. c2007 [cit. 2009-11-09]. Dostupný z WWW: http://www.vestas.com/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2fFiles%2fFiler%2fEN%2fBrochures%2f090821_Product-brochure-V80-2.0MW-06-09-EN.pdf.
- [8] ENERCON GMBH *ENERCON Wind Turbines Product Overview* [online]. 2009 [cit. 2009-11-09]. Dostupný z WWW: [http://www.enercon.de/www/en/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/15686F537B20CA13C125719400261D37/\\$FILE/ENE_Produktuebersicht_eng_0309.pdf](http://www.enercon.de/www/en/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/15686F537B20CA13C125719400261D37/$FILE/ENE_Produktuebersicht_eng_0309.pdf).
- [9] ÚSTAV FYZIKY ATMOSFÉRY AVČR *Větrná mapa* [online]. 2009. Dostupný z WWW: <http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/vetrna-mapa/>
- [10] *Plán obnovitelných zdrojů energie : Příprava cesty k dosažení 20% podílu obnovitelných energií ve skladbě zdrojů energie v EU do roku 2020* [online]. Brusel : 2007 [cit. 2009-12-16]. Dostupný z WWW: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/13&format=HTML&aged=1&language=CS&guiLanguage=en>.
- [11] JAKUBES, Jaroslav, PIKÁLEK , Josef, PROUZA, Libor. *Příručka Obnovitelné zdroje energie*, 2006. 28 s. 2007 [cit. 2009-12-16] Dostupný z WWW: <http://www.komora.cz/DownloadHandler.aspx?method=GetFileDownload&fileID=259&DontParse=true>.
- [12] KAREL CHMELÍK, STANISLAV MIŠÁK, JAKUB NEVŘALA *Analýza provozu větrné elektrárny s frekvenčním měničem*, 2007, [cit. 2009-12-16] Dostupný z WWW: http://www.litovany.ic.cz/index_soubory/down/s4_10.pdf

- [13] MIŠÁK, Stanislav, et al. Provoz větrných elektráren s měniči frekvence . *Elektro* [online]. 2008 [cit. 2009-12-16]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/.res/pdf/37884.pdf>.
- [14] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, *Pravidla provozování distribučních soustav, Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy*, citace [29.3.2010], dostupné na WWW: http://www.eon.cz/file/cs/distribution/regulations/PPDS_2007_4.pdf
- [15] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2009*, citace [29.3.2010], dostupné na WWW: http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/OZ/ER%20CR%204_2009_OZE_KVET_DZl.pdf
- [16] ZO ČSOP Veronica, *Větrné elektrárny v jihomoravském kraji*, citace [15.4.2010], dostupné na WWW: http://www.veronica.cz/dokumenty/vetrne_elektrarny.pdf
- [17] CHMELA, M. *Ekonomika a řízení*. Brno 2007, 115 stran.
- [18] ORSÁGOVÁ, J. *Rozvodná zařízení*. VUT Brno, 152 stran.
- [19] WEB Větrná energie, s.r.o. *Systémy regulace* [online]. c2009 [cit. 2010-05-24]. Dostupný z WWW: http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrna-energie_9/systemy-regulace_27
- [20] allkabel, s.r.o. *Jednožilový kabel s XLPE-izolací a PVC-pláštěm* [online]. [cit. 2010-05-24]. Dostupný z WWW: http://www.allkabel.cz/cz/download/download/sortiment/g03_n2xsy,na2xsy.pdf

PŘÍLOHA A - VĚTRNÁ MAPA ČR

