

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Řízení činného výkonu větrných elektráren

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou řízení činného výkonu větrných elektráren. Je rozdělena na čtyři části. První část se zabývá řízením činného výkonu v elektrizační soustavě obecně. Druhá část pojednává o technickém řešení moderní větrné elektrárny. Ve třetí části jsou popsány druhy řízení činného výkonu větrných elektráren a v poslední části je rozbor strategie řízení větší skupiny elektráren, což je hlavní část této diplomové práce. Tato část popisuje a navrhuje složité řízení většího počtu větrných parků, které by bylo využitelné ve státech s velkým počtem větrných elektráren. V práci je charakteristika i technické požadavky tohoto druhu řízení.

Klíčová slova

elektrizační soustava, činný výkon, větrná elektrárna, konstrukce, řízení výkonu, větrný park, obnovitelné zdroje energie

Abstract

The master theses is dealing with Energy system control of active output control at wind station. It shows us in the first part the control of the energy flow in electrification system. In the second part there is the construction of the whole modern wind power plant. The third part is about the topic control of active output at wind station and in the last part is described controlling of wind power plant park, which is the main part of my master thesis. This part describes and shows us concept of the complex controlling at the wind parks. This type of controlling can be used in states with a lot of wind stations. There is the characteristics and technical requirements for this type of control.

Key words

electrification system, active output, wind power plant, construction, power control, windpark, renewable energy sources

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 4.5.2015

Jiří Vocelka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval konzultantovi diplomové práce panu Ing. Richardu Habrychovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a poskytnuté podklady k práci.

Poděkování také patří vedoucí diplomové práce paní doc. Ing. Jiřině Mertlové, CSc. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Rád bych také od srdce poděkoval své rodině a přítelkyni, za jejich bezmeznou podporu při mém studiu a trpělivost, kterou se mnou měli.

Obsah

1. Úvod	9
2. Řízení činných výkonů v elektrizační soustavě	10
2.1. Elektrizační soustava	10
2.2. Bilance činných výkonů	11
2.3. Regulace na straně spotřeby	12
2.4. Regulace na straně výroby	14
2.4.1. Primární regulace (PR)	14
2.4.2. Sekundární regulace (SR)	15
2.4.3. Terciární regulace (TR)	16
3. Technické řešení moderní větrné elektrárny	17
3.1. Princip fungování větrné elektrárny	17
3.2. Konstrukce větrné elektrárny	17
3.2.1. Konstrukce základny větrné elektrárny	19
3.2.2. Konstrukce stožáru větrné elektrárny	21
3.2.2.1. Ocelový tubusový stožár	21
3.2.2.2. Příhradový stožár	22
3.2.2.3. Betonový stožár	23
3.2.3. Konstrukce gondoly větrné elektrárny	24
3.2.3.1. Gondola	24
3.2.3.2. Strojovna	24
3.2.3.3. Hlavní hřídel	26
3.2.3.4. Nosný rám strojovny	26
3.2.3.5. Převodovka	27
3.2.3.6. Generátor	28
3.2.3.7. Systém natáčení strojovny	29
3.2.4. Konstrukce rotoru větrné elektrárny	30
4. Řízení činného výkonu větrné elektrárny	31
4.1. Činný výkon větrné elektrárny	31
4.2. Strategie řízení činného výkonu větrné elektrárny	33
4.2.1. Stupňovité řízení	34
4.2.1.1. Charakteristika stupňovitého řízení	34
4.2.1.2. Jednotka RTU7M	36
4.2.1.3. Spínač HDO	37
4.2.1.4. Výhody stupňovitého řízení	37
4.2.1.5. Nevýhody stupňovitého řízení	38
4.2.1.6. Praktické využití	38
4.2.2. Jednoduché přímé řízení	38
4.2.2.1. Charakteristika jednoduchého přímého řízení Rumunsko	38
4.2.2.2. Výhody jednoduchého přímého řízení	39
4.2.2.3. Nevýhody jednoduchého přímého řízení	39
4.2.2.4. Praktické využití	39
4.2.3. Složitě přímé řízení	39

4.2.3.1.	Charakteristika složitého přímého řízení Španělska	39
4.2.3.2.	Výhody složitého přímého řízení.....	40
4.2.3.3.	Nevýhody složitého přímého řízení.....	40
4.2.3.4.	Praktické využití.....	41
4.2.4.	Nepřímé řízení.....	41
4.2.4.1.	Charakteristika nepřímého řízení.....	41
4.2.4.2.	Intervaly zadávání hodnot činného výkonu do databáze	43
4.2.4.3.	Výhody nepřímého řízení.....	44
4.2.4.4.	Nevýhody nepřímého řízení.....	44
4.2.5.	Virtuální elektrárna.....	45
4.2.5.1.	Charakteristika virtuální elektrárny.....	45
4.2.5.2.	Společnost Ampér Market.....	47
4.2.5.3.	Virtuální elektrárna ve Smart-Grids	46
4.2.5.4.	Výhody virtuální elektrárny.....	47
4.2.5.5.	Nevýhody virtuální elektrárny.....	48
5.	Řízení větších skupin větrných elektráren	49
5.1.	Charakteristika provozu s dispečerským řízením	49
5.2.	Důvody vzniku dispečinku obnovitelných zdrojů.....	50
5.3.	Strategické plány dispečinku obnovitelných zdrojů.....	51
5.4.	Zázemí dispečinku.....	52
5.5.	Přenos dat.....	54
5.6.	Úloha dispečinku.....	55
5.7.	Výpočetní systém GEMAS.....	56
6.	Závěr.....	58
7.	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	59

Seznam symbolů a zkratk

DS	Distribuční soustava
CECRE	Controls renewable energy generation
CENTREL	Centro de Control Eléctrico
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
ES	Elektrizační soustava
GEMAS	Generación Eólica Máxima Admisible en el Sistema
GPRS	General Packet Radio Service
HDO	Hromadné dálkové ovládání
ICCP	The Inter-Control Center Communications
MAG	Metal active gas
OZE	Obnovitelné zdroje energie
OTE	Operátor Trhu s Elektřinou
PR	Primární regulace
PXE	Power Exchange Central Europe
REE	Red Eléctrica de España
RTU	Remote terminal unit
SR	Sekundární regulace
TR	Terciární regulace
UCPTE	Union for the coordination of production and transmission of electricity
UCTE	Union for the Coordination of the Transmission of Electricity
VtE	Větrná elektrárna
ViE	Virtuální elektrárna

1. Úvod

Větrná energie, respektive větrné elektrárny, jsou v dnešní době velmi diskutovaným tématem. Mnoho států v Evropě tuto energii využívá velmi hojně a produkce elektřiny zabírá v jejich produkci velké procento výroby. Jedná se převážně o přímořské státy se stálým větrným prouděním. Česká Republika má nyní instalováno 283MW v 75 větrných elektrárnách (rok 2014).

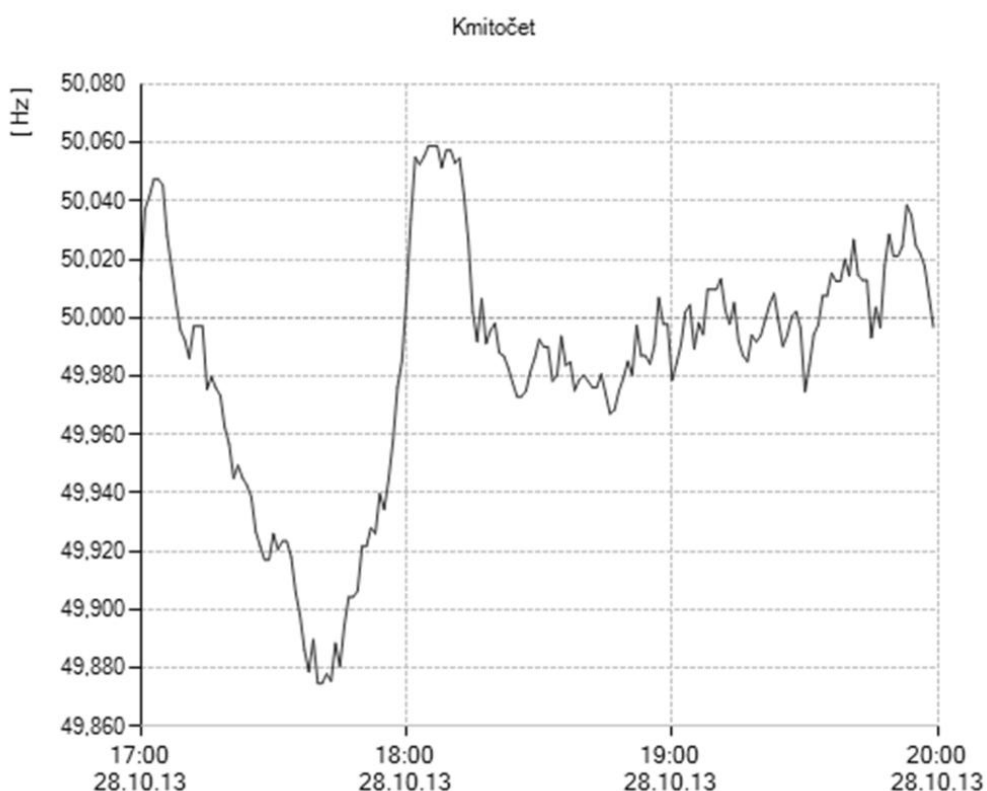
Tato práce se zabývá řízením činného výkonu v elektrizační soustavě obecně, dále konstrukcí moderní větrné elektrárny, kde jsou rozebrány druhy stožárů, ústrojí strojovny a celkové řešení větrné elektrárny.

Hlavní částí diplomové práce je popis řízení činného výkonu větrných elektráren obecně a detailní popis řízení činného výkonu větší skupiny větrných elektráren. Cílem této práce je nastínění propracované a efektivní výroby elektřiny větrnými parky a ukázat, že i větrná energie může být ovládána tak, aby nedocházelo k přetěžování sítě a ke kolísáním frekvence z důvodu využití většího počtu větrných elektráren. Jako vzor bylo použito řízení větrných parků ve Španělsku, které od roku 2007 má specializovaný dispečink pro řízení obnovitelných zdrojů ve Španělsku. Tato země má dle mého názoru nejpropracovanější a nejefektivnější způsob řízení větrných parků, a proto z jejich modelu řešení můžeme vycházet pro použití na dalších místech. V České Republice se nenachází takové množství větrných elektráren a parků, což znamená, že tato práce je pouze teoretické zhodnocení a popis řízení parků. Využití tohoto systému a výstavba kontrolních středisek a dispečinku obnovitelných zdrojů by byla efektivní až při vysokém počtu elektráren. Španělsko má přes 700 větrných parků.

V ČR jsou elektrárny řízeny stupňovitě, což znamená, že dispečer posílá přes systém informace o požadovaném výkonu větrné elektrárny. Toto řízení pracuje se čtyřmi stavy výkonu – 0%, 30%, 60% a plný výkon, z čehož vyplývá, že toto řízení je nepřesné a vznikají velké odchylky mezi reálným využitím a potenciálem větru.

2. Řízení činných výkonů v elektrizační soustavě

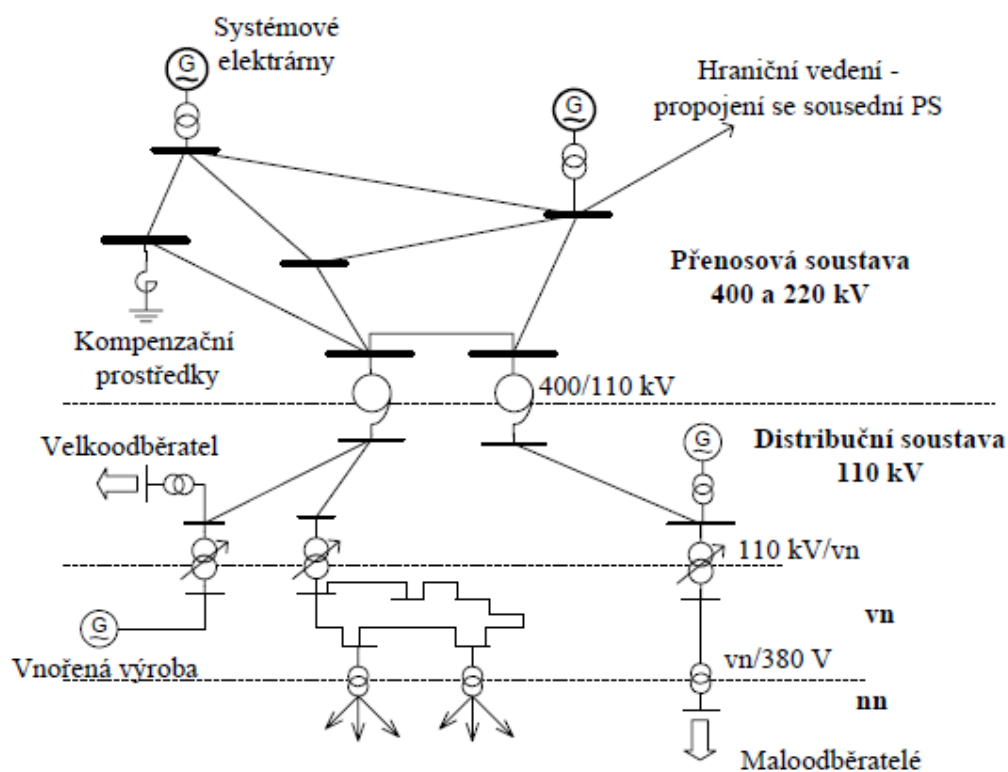
Jako hlavní parametry dodávky elektřiny od výrobce přes přenosovou soustavu ke konečnému odběrateli se bere napětí a frekvence elektřiny. Hlavním problémem, jak udržet frekvenci na požadované úrovni, je vyrovnaní bilance činných výkonů v rámci celé propojené soustavy ENTSO-E. Odchyłka frekvence má nežádoucí účinky na stroje a zařízení, které by se mohly v extrémním případě porouchat. Na obrázku č. 1 lze vidět kolísání frekvence ze dne 28. 10. 2013.



Obr. č. 1 Významné změny frekvence 28. 10. 2013 [18]

2.1. Elektrizační soustava

Elektrizační soustava je definována jako vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny. Zahrnují se do ní i elektrické přípojky a přímé vedení, měřicí systémy, dále ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky. Tato definice pochází z Energetického zákona a neuvažují se v ní zařízení, jež elektřinu spotřebovávají.



Obr. č. 2 Schéma elektrizační soustavy [17]

Propojení elektrizační soustavy, do níž jsou vyvedeny výkony velkých systémových elektráren, tvoří přenosová soustava, kterou můžeme charakterizovat jako smyčkovou síť o napětí 400 a 220 kV, do které jsou vyvedeny výkony velkých systémových elektráren. Elektrizační soustava je propojena se soustavami sousedních států pomocí hraničních vedení.

Na tuto přenosovou soustavu je navázána distribuční soustava, která je charakterizována několika napěťovými úrovněmi od 110 kV až po sítě nn. Sítě jsou řešeny radiálně na úrovni NN a na úrovni VN okružně. Z této sítě je pokryta spotřeba odběratelů.[17]

2.2. Bilance činných výkonů

Jak již bylo řečeno, rovnováha neboli bilance činných výkonů, je základ pro spolehlivý a stabilní provoz propojených elektrizačních soustav. Pokrývání spotřeby výrobou či jejím smluvně domluveným dovozem bylo hlavní částí technických požadavků katalogu opatření z roku 1992. Všechny soustavy sdružené ve společenství CENTREL (sdružení elektroenergetické společnosti zemí Visegrádské čtyřky – ČR, Maďarsko, Polsko a SR, které mělo cíl připravení na připojení k UCPTE) musely

splnit, pokud se chtěly připojit k UCTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity), která byla v roce 2009 transformovaná na ENTSO-E .

Pokud na tuto bilanci hledíme z dlouhodobého hlediska, její rovnováha je zajištěna velkoobchodním trhem se silovou elektřinou díky dvoustranným smlouvám a organizovaným obchodům.

V propojené elektrizační soustavě vypadá bilanční rovnice takto:

$$\sum P_G = \sum P_S + \sum P_Z$$

$\sum P_G$ – součet činného výkonu dodávaného generátory

$\sum P_S$ - součet činného zatížení elektrizační soustavy, včetně vlastní spotřeby elektráren

$\sum P_Z$ - výsledné celkové ztráty v síti

Tato rovnice je platná pro celou propojenou soustavu. Z rovnice lze zjistit, že systém je možné regulovat z obou stran, a to jak na straně výroby, tak na straně spotřeby. Tyto možnosti budou součástí další částí práce. Celkové činné zatížení a ztráty v síti jsou ovlivňovány dalšími parametry, kterými jsou:

- Špatně predikovaná výroba elektřiny, popř. nemožnost jejího řízení.
- Příliš dlouhý obchodní interval.
- Náhodné fluktuace zatížení.
- Změny v odběru související s tvarem denního diagramu zatížení.
- Nečekané výpadky bloků či jejich plánovaná odstávka.
- Vliv neregulovaných dodávek z OZE zdrojů (solární, větrná).
- Změny dodávek ve zlomech obchodních hodin.
- Připojování do ENTSO-E zemí s menší úrovní dispečerského řízení s větším výskytem poruch.

2.3. Regulace na straně spotřeby

Při této regulaci je základním předpokladem to, že spotřeba není omezována, ale je řízena a usměrňována pomocí:

- technických prostředků – hromadné dálkové ovládání (HDO) – což je snaha o řízení elektrotepelných spotřebičů. Tyto dálkové ovladače optimalizují provoz spotřebičů s ohledem na možnosti ES a ekonomice DS.
- ekonomických nástrojů – použití tarifů elektřiny, což znamená, že cena není jednotná po celý den, ale motivuje využívat elektřinu v době, kdy je to pro ES žádoucí.

Prostředky pro řízení výroby dále dělíme na:

1. Přímé

- HDO
- akumulátory elektřiny
- nouzové prostředky
- regulační plán
- vypínací plán
- automatické frekvenční odlehčování podle frekvenčního plánu

2. Nepřímé:

- programy úspor energie a zlepšení účinnosti elektrických spotřebičů a systémy tarifů za elektřinu

HDO – velmi jednoduchý systém, který spíná akumulační prvky elektrotepelných spotřebičů. Tyto spotřebiče jsou pouštěny ve chvílích menšího využití výkonů, což zlepšuje a zrovnoměrňuje diagram denního zatížení.

Akumulace energie – jedná se o uskladnění energie v různé formě tak, aby ji bylo možné použít ve vhodnější chvíli v požadovaném množství.

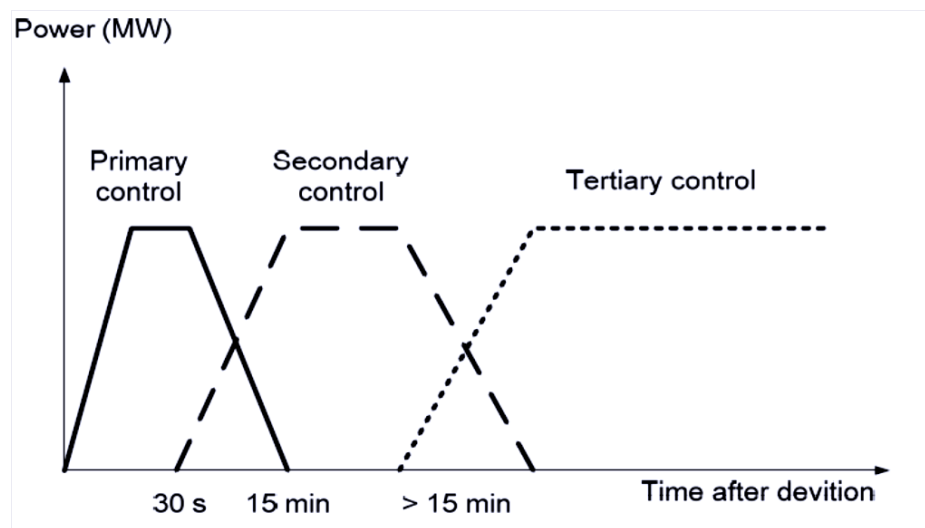
Druhy akumulací použitých v energetice:

- Chemická akumulace – je shromažďování elektřiny v akumulátorech v podobě chemické energie, tuto energii je možno ve vhodnou chvíli transformovat zpět na elektřinu (vybíjení).
- Mechanická akumulace – tato metoda funguje na principu gravitační energie. Zařízení přeměňují elektrickou energii na potenciální, jež může být transformována zpět na elektrickou. Nejpoužívanější metodou je využívání přečerpávacích elektráren, které fungují na principu přebytku elektřiny. Při přebytku elektřiny přečerpávají vodu z níže položené nádrže do výše položené nádrže, kterou poté ve chvíli potřeby přepustí přes

generátor zpět do spodní nádrže a mohou tak krátkodobě vyrovnat bilanční rovnici, například při špičkách spotřeby. [17]

2.4. Regulace na straně výroby

Výkonová rovnice je bilancována zdroji energie. Tyto zdroje podle svých možností RR a RP regulují frekvenci v síti. Celá tato regulace se provádí ve třech stupních, jež na sebe navazují. Tyto stupně se nazývají primární, sekundární a terciární regulace. Na obrázku č. 3 je vidět doba aktivace a doba trvání těchto regulací.



Obr. č. 3 Časové rozdělení regulací [19]

2.4.1. Primární regulace (PR)

Jedná se o případ, kdy nastane například náhlý nárůst zátěže, poruší se pohybová rovnice tak, že se změní pravá strana rovnice. Vznikne záporný rozdíl $P_T - P_g$, který představuje pro motor brzdny moment a celé soustrojí se začíná zpomalovat. Na tento pokles otáček musí zareagovat primární regulace (proporcionální regulátor), která otevře ventily turbíny a začne proporcionálně navyšovat její výkon, viz obrázek č. 4.

$$J\omega_o \frac{d\omega}{dt} = P_T - P_g$$

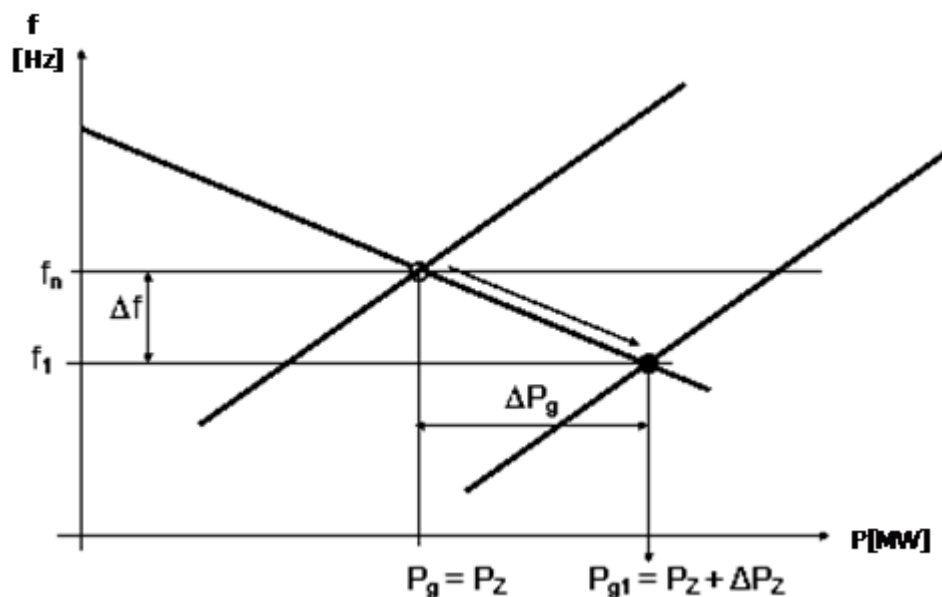
ω - je mechanická úhlová rychlost [rad.s⁻¹]

P_T - mechanický výkon turbíny [MW]

P_g - elektrický výkon svorkový generátoru [MW]

J - moment setrvačnosti soustrojí [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

ω_0 - synchronní úhlová rychlost rotoru [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]



Obr. č. 4 Obnovení bilanční rovnováhy v ES. [19]

Z obrázku č. 4 lze vidět, že generátory zapojené do primární regulace vyrovnají rovnici tak, že rovnováha v soustavě je obnovena, je ale vyrovnána s odlišnou frekvencí Δf , které se říká ACE – area control error. [19]

2.4.2. Sekundární regulace (SR)

Jedná se o sekundární regulátor proporcionálně-integračního charakteru, který zpracovává regulační odchylku G a přerozděluje ji mezi jednotlivé regulační bloky podle participačních koeficientů. Proces sekundární regulace funguje na principu odesílání požadované hodnoty výkonu ze sekundárního regulátoru na regulační bloky. SR má za úkol navrátit hodnotu frekvence do 15 minut od vzniku nerovnováhy bilanční rovnice.

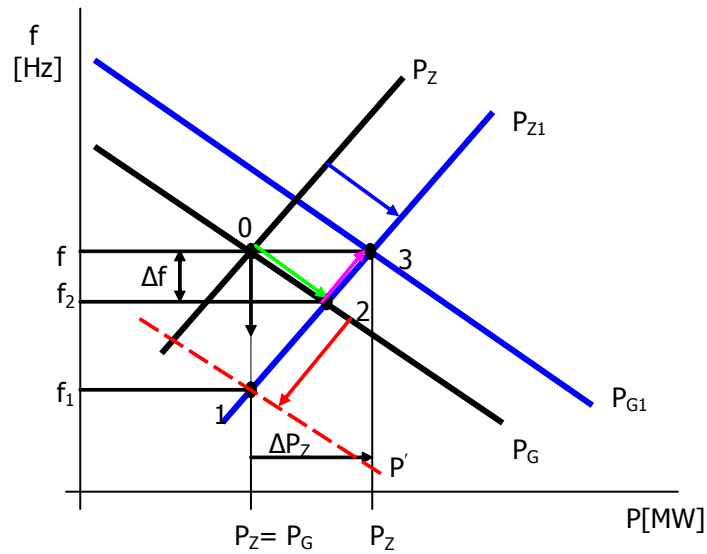
$$\Delta P_d = -k \cdot G \cdot -\frac{1}{T_r} \int G \cdot dt$$

ΔP_d - výstupní hodnota regulátoru, která působí na regulované stroje,

k - proporcionální konstanta regulátoru

T_r - integrační konstanta regulátoru

G - regulační odchylky



Obr. č. 5 Působení primární a sekundární regulace [19]

Z obrázku č. 5 lze vidět, že SR musí na regulovaných blocích zvýšit výkon pro vyrovnání frekvence zpět na požadovanou hodnotu. [17]

2.4.3. Terciární regulace (TR)

TR navazuje na sekundární regulace, slouží k zastoupení použité sekundární regulační zálohy. Jedná se o nahrazení výkonu použitého pro činnost SR. Pro tuto regulaci se využívá točivé rezervy bloků, které poskytují podpůrnou službu terciární regulace. Výkonového rozsahu je možné dosáhnout do 30 minut od vyslání požadavku. Aktivace se provádí automatickým signálem či ručně obsluhou na vyžádání dispečera. [19]

3. Technické řešení moderní větrné elektrárny

3.1. Princip fungování větrné elektrárny

Moderní větrné elektrárny fungují na principu působení aerodynamických sil, které rozpohybují rotor. Tento rotor mění energii větru na rotační pohyb (energie mechanická). Hlavní rotorová osa vede do převodovky, jež je spojkou spojena s generátorem, který tuto mechanickou energii mění na energii elektrickou. Listy elektrárny musí mít speciální profil podobný křídílům letadel. Vztahové síly na listy rostou s druhou mocninou rychlosti větru.

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2$$

E - energie pohybující se hmoty [J]

m - váha hmoty [kg]

v - rychlost vzduchu [m.s⁻¹]

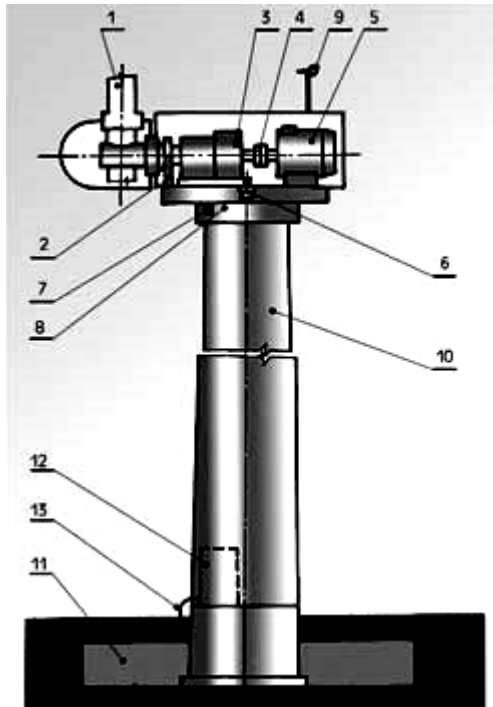
ρ - hustota vzduchu [kg.m⁻³]

V - objem vzduchu [m³]

Dnešní větrné elektrárny s výkonem okolo 2-3 MW mají jmenovitý výkon dle konstrukce při rychlosti větru okolo 10 až 16 m/s. [3]

3.2. Konstrukce větrné elektrárny

Nejpoužívanější větrnou elektrárnou v dnešní době je vodorovná větrná turbína pracující na zmíněném aerodynamickém vztahu. Základní součásti větrné elektrárny budou podrobněji rozepsány v následujících kapitolách práce.



Obr. č. 6 Základní schéma větrné elektrárny s převodovkou [21]

Součásti elektrárny:

- 1) Rotor s rotorovou hlavicí a listy
- 2) Brzda rotoru
- 3) Planetová převodovka
- 4) Spojka
- 5) Generátor
- 6) Servo-pohon natáčecí strojovny
- 7) Brzda točny strojovny
- 8) Ložisko točny strojovny
- 9) Čidla rychlosti a směru větru
- 10) Několikadílná věž elektrárny
- 11) Betonový armovaný
- 12) Základ elektrárny
- 13) Elektrorozvaděče silnoprúdeho a řídicího obvodu
- 14) Elektrické přípojka [21]

3.2.1. Konstrukce základny větrné elektrárny

Moderní větrné elektrárny jsou obrovské ocelovo-betonové kolosy, které musí mít betonovou základnu. Jako příklad lze uvést VESTAS V90, která se v dnešní době považuje za standard mezi VtE.

Parametry elektrárny VESTAS V90:

- Jmenovitý výkon: 2MW
- Hmotnost elektrárny: 331tun
- Hmotnost celé stavby: 1475tun

Gondola a rotor:

- Průměr rotoru: 90m
- Hmotnost gondoly: 68tun
- Hmotnost rotoru: 38tun

Stožár:

- Výška ocelového tubusu: 105m
- Hmotnost stožáru: 225tun

Betonová základna:

- Čtvercový základ 15,9 x 15,9m, výška 1,8 – 2m
- 500m³ betonu = 1104tun betonu
- 40tun ocelové armovací výztuže
- Celková hmotnost základu 1144tun

Při výšce stožáru 105 metrů je stavba velmi náchylná na boční vychýlení, ať už z důvodu silného větru, či kvalitou podloží. Dříve, než se začnou kopat základy pro betonový podstavec, je nutné prozkoumat důkladně podložní půdu, aby byly zmapovány spodní vrstvy zeminy, na kterých základy mají stát. Velmi záleží na materiálu podloží, jelikož jsou vrstvy, které velmi pracují se změnou vlhkosti a teploty. Pokud například podkladový materiál je spraš, je potřeba další složitější úprava tohoto podloží. Touto složitější úpravou se rozumí vytěžení dalších například

50 centimetrů zeminy, která se smíchá s cementem a znovu se vrátí na místo, čímž se podpoří tvrdost podkladu a také sníží jeho reakce na změny teploty či vlhkosti.

Z uvedených parametrů je patrné, že konstrukce elektrárny váží zhruba 23 % z celkové váhy stavby, z čehož vyplývá, jak důležité jsou základy těchto staveb.

Po dokončení základů stavby je třeba zhotovit základní betonovou desku širokou cca 8 cm. Tato deska je nezbytná k vyrovnání podkladu pro ocelový fundament zalitý do betonu.

Základy elektrárny tvoří vybetonovaný čtverec o rozměrech 15,9 x 15,9 m, široký 1,8 m na kraji a ve středu 2 m. Po vytvrdnutí betonu se na základní desku položí základní ocelový kruh stožáru – fundament, s rozměrem okolo 4 metrů a váhou zhruba 28 tun. Tento fundament se zpevní 40 tuny ocelových výztuží. Tyto výztuže se zalijí 500 m³ betonu, čímž vznikne základna VE, viz obrázek č. 7. Tvrdnutí betonu může trvat klidně 5 týdnů, po vytvrdnutí je potřeba natřít celou základnu asfaltovým penetračním nátěrem. Na místě, kde se dotýká fundament s betonovou základnou, se používá plastický nátěr, který může reagovat na pohyb mezi těmito dvěma prvky a jejich rozdílnou tepelnou roztažnost. Jako poslední následuje zavezení základny zeminou a setí trávy. Proto jsou ve skutečnosti vidět jen tyčící stožáry ze země, základ je totiž skryt v zemi. [20]



Obr. č. 7 Základní fundament s ocelovými výztužemi, připravený na zalití betonem [20]

3.2.2. Konstrukce stožáru větrné elektrárny

Stožár je část, která nese váhu gondoly a rotoru. Standardní velikosti stožárů se dnes pohybují od 40 do 110 metrů.

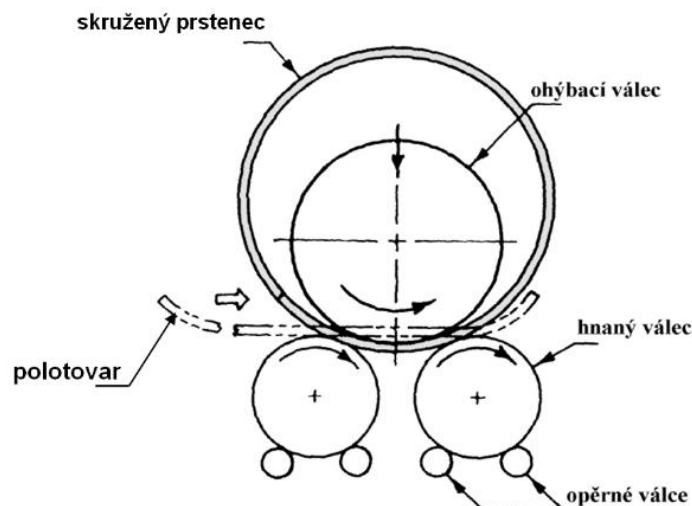
Stožáry rozdělujeme na 3 základní typy:

- Ocelový tubusový stožár
- Příhradový stožár
- Betonový stožár

3.2.2.1. Ocelový tubusový stožár

Tento typ stožáru je asi nejznámější, protože většina větrných elektráren v Evropě má právě tuto konstrukci. Celý tubus je složen z několika segmentů dlouhých cca 25 metrů, aby bylo snadnější přepravit je na místo stavby.

Jednotlivé segmenty jsou ocelové svařence a jejich povrchová úprava je provedena nátěrem barvy. V ČR se stavbou těchto stožárů zabývá firma SIAG sídlící v Chrudimi. Standardní tloušťky plechu jsou 12-45 milimetrů. U paty je to 30-45 milimetrů a u vrcholu minimálně 12 milimetrů. Stožár se vyrábí metodou skružování, viz obrázek č. 8.

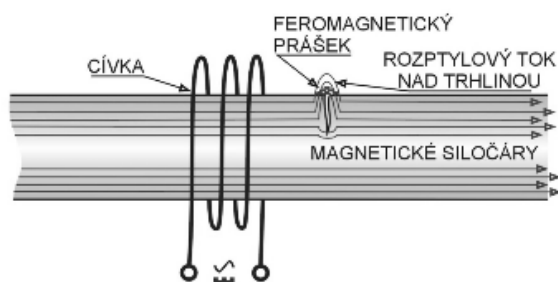


Obr. č. 8 Skružování tubusu [20]

Celý tubus se poté svaří metodou MAG – svařování tavící elektrodou v aktivní ochranné atmosféře (u nás je metoda známa pod lidovým označením CO2). Při výrobě je nutné dbát technických kontrol skládajících se ze 3 částí:

Ultrazvukové testování – tato metoda je nejkvalitnější ze všech nedestruktivních metod, do výrobku se pouštějí zvukové vlny, které po odrazu zpět do přijímače jasně ukážou vnitřní vady. Čím kratší vlny se posílají, tím je měření přesnější. Při těchto zkouškách se používají frekvence od 0,5 MHz do 25 MHz.

- Vizualní testování – metoda kontroly pouhým okem či speciálními zařízeními. Hledání trhlin, pórů a tvarových odchylek.
- Magnetické testování – materiál se zmagnetuje a jakákoliv případná vada v materiálu změní jeho magnetické vlastnosti. Magnetické siločáry jsou zdeformovány a jsou zobrazeny na tzv. feromagnetickém prášku, který se magneticky chytí na povrch, viz obrázek č. 9.



Obr. č. 9 Princip magnetického testování[20]

Na závěr je potřeba tubus osadit výstupovým žebříkem, kabelovým roštem a technologickou plošinou. [20]

3.2.2.2. Příhradový stožár

Klasický stožár z válcovaných „L“ profilů, který je výhodnější při výškách větších než 100 metrů a pro bezproblémovou montáž a dovoz materiálu na místo stavby.

Velmi rozšířený je tento stožár v Číně a Indii, v Evropě jsou jen výjimky. Výhodou tohoto stožáru je jeho výšková možnost a jeho „průhlednost“ v krajině. V poslední době je trendem stavět VtE stále vyšší a vyšší, v této chvíli je ekonomičtější použít příhradový stožár. Je známo, že se zvyšující se výškou vzrůstá i

rychlost větru a tok větrů je méně ovlivněn charakterem krajiny. Díky výpočtům bylo zjištěno, že každý metr výšky navíc mezi 80-100 metry znamená +0,9 % roční vyrobené energie. Pro stožár vysoký 160 metrů činí tento nárůst o 35-45 %, oproti 100 metrovému stožáru, což znamená 0,68 % na každý metr výšky. Z toho důvodu se dle mínění znalců budeme s tímto stožárem setkávat stále častěji.

Nejvyšší větrná elektrárna v Evropě (obrázek č. 10) je v německém Fuehrlanderu, měří 160 metrů a její listy se tyčí do 205 metrů. Má výkon 2,5 MW. [20]



Obr. č. 10 Elektrárna v Fuehrlanderu[20]

3.2.2.3. Betonový stožár

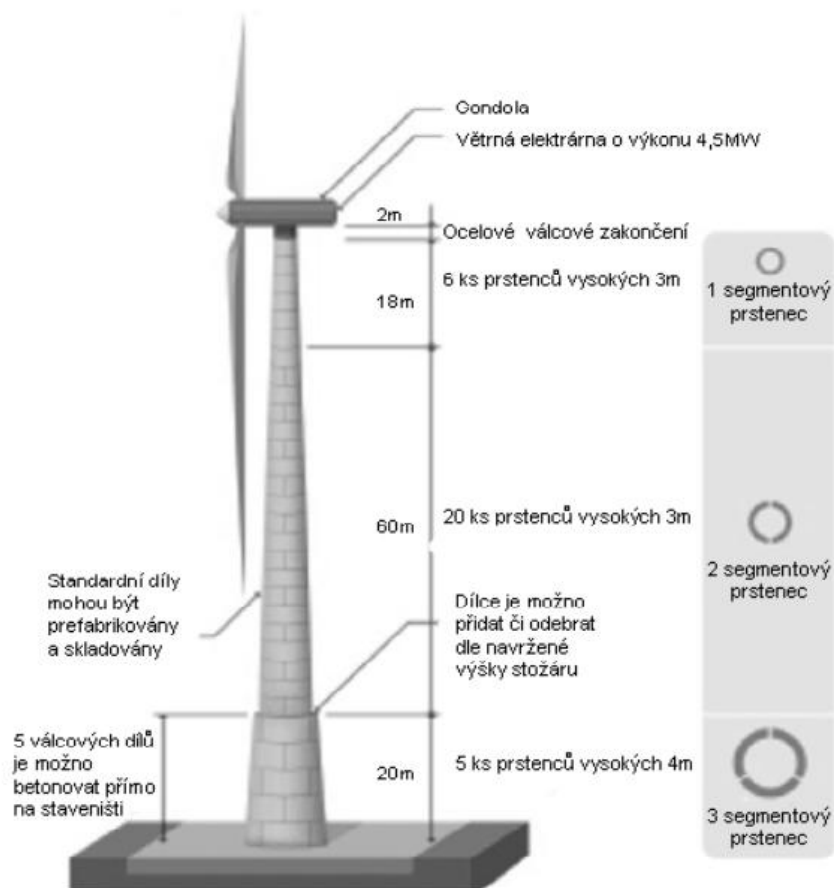
Jedná se o mladou technologii, která se aplikuje v moderních VtE v Evropě. Hlavním důvodem jsou rozměry betonových válců, jejich jednoduché dopravy.

Stožár je složen z betonových skořepin s ocelovou výztuží. Rozměry těchto částí jsou připraveny tak, aby se daly snadno přepravovat na místo stavby. Jeden prstenec bývá složen z různého počtu dílů dle velikosti.

Na místě stavby poté již jen jeřáb na sebe skládá jednotlivé prstence, které jsou do sebe zapasované ocelovou výztuží.

Hlavními výhodami těchto konstrukcí jsou:

- Velmi variabilní velikosti jednotlivých dílů.
- Velká životnost, malá údržba, odolnost korozi.
- Rychlá manipulace a stavba.
- Lepší tlumení vibrace rotoru. [20]



Obr. č. 11 Prefabrikovaný betonový stožár[20]

3.2.3. Konstrukce gondoly větrné elektrárny

3.2.3.1. Gondola

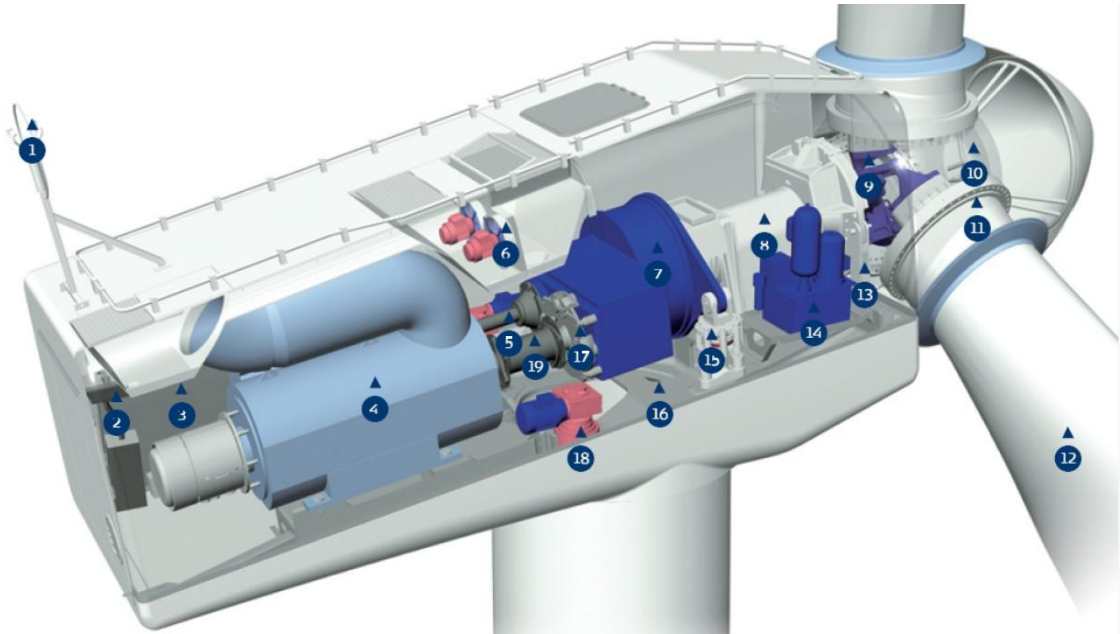
Gondola je sklolaminátové konstrukce, v níž se nachází strojovna elektrárny, což je její „srdce“. Gondola je vlastně kryt celé strojovny, je to pouze obal, který strojovnu chrání před atmosférickými vlivy.

3.2.3.2. Strojovna

Strojovna je prostor v gondole, kde se hlavní hřídel poháněná lopatkami, přenášející rotační energii do převodovky, která je pomocí spojky spojena s generátorem, převádějícím rotační energii na elektrickou.

Výrobci mají každý svůj vlastní typ strojovny, někteří používají převodovky klasické (VESTAS), jiní používají variátor (WIKOV) a někteří nepoužívají

převodovku vůbec a hlavní hřídel je přes spojku přímo spojena s generátorem (ENERCON). V této práci bude použit systém VESTAS, který byl již popsán v předešlých částech práce.



Obr. č. 12 Konstrukce strojovny VESTAS V52 [20]

- 1 – ultrazvukový anemometr
- 2 – servisní výtah
- 3 - VMP regulátor s konvetorem
- 4 – asynchronní generátor OptiSpeed
- 5 – hydraulický válec natáčení rotorových listů
- 6 – ventilátory chlazení
- 7 – převodovka
- 8 – hlavní hřídel
- 9 – systém natáčení rotorových listů
- 10 – rotorová hlava
- 11 – ložisko rotorového listu
- 12 – rotorové listy
- 13 – systém aretace rotoru (pro servisní účely)
- 14 – hydraulický agregát
- 15 – držák převodovky zachycující její otřesy
- 16 – nosným rám strojovny

17 – mechanická kotoučová brzda

18 – pohon natáčení strojovny větrné elektrárny

19 - kompozitová gondola větrné elektrárny

Ve strojovnách se nachází mezi převodovkou a generátorem mechanická kotoučová brzda (17), která umožňuje při odstavení či stavu nouze zastavit elektrárnu v časovém horizontu desítek sekund. Nosný rám strojovny (16) je připevněn na pohyblivém ozubeném rámu, který umožňuje celou strojovnu, respektive gondolu, natáčet ve vodorovném směru dle proudění větru. Toto natáčení umožňují pomocné pohony natáčení strojovny (18). Systém natáčení lopatek (9), mechanická brzda (17) a systém aretace otočení gondoly (18) jsou ovládány hydraulicky, což znamená, že ve strojovně musí být i hydraulický okruh (14) obsahující olejovou nádrž, čerpadlo a hydraulický rozvod. [20]

3.2.3.3. Hlavní hřídel

V České republice jsou světoznámí výrobci těchto hřídelí, jsou to firmy Škoda Plzeň a Vítkovice Steel. Hřídel je vyráběna jako výkovek, který je dále strojně opracován třískovým obráběním (břit nástroje vniká do materiálu a odděluje od něj třísky) na výsledný produkt. [20]

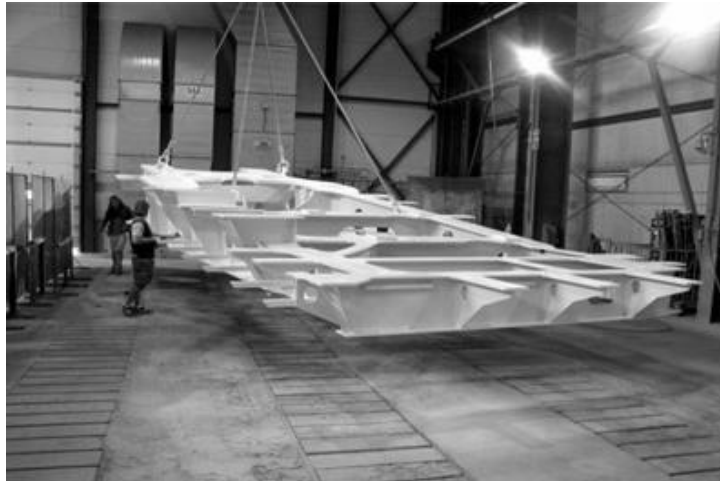


Obr. č. 13 Hřídel firmy Škoda Plzeň [6]

3.2.3.4. Nosný rám strojovny

Nosný rám je velké podélné ocelové těleso, které nese veškeré komponenty strojovny, je svařeno z ocelových plátů. Místa, kam se osazují komponenty strojovny, jsou

obrobeny horizontální frézku. V ČR je známý světový výrobce těchto rámu již zmíněná firma SIAG z Chrudimi, která vyrábí i tubusové stožáry pro větrné elektrárny. [20]



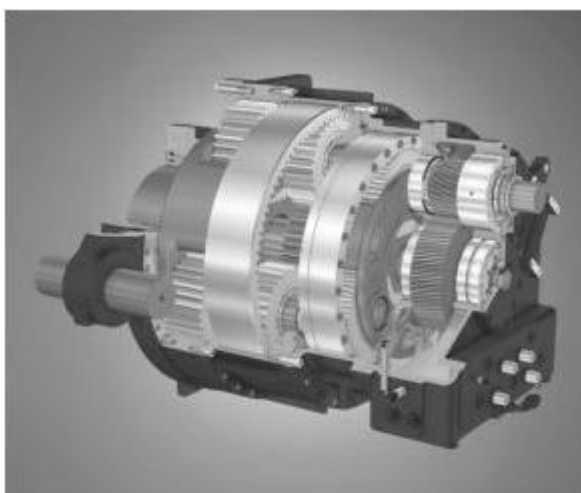
Obr. č. 14 Ocelový rám strojovny firmy SIAG [5]

3.2.3.5. Převodovka

Převodovky, jak již bylo řečeno, mohou být různých konstrukcí, záleží na typu elektrárny. Je to velmi namáhaná část, jelikož rotor ji zatěžuje velmi kolísavě a vznikají na něm velké rázy při kolísání proudů větru. Tyto rázy mohou mít několikanásobně větší hodnotu, než při klasickém ustáleném chodu.

Důležitým charakterem převodovek je jejich hluk, který by měl být co nejmenší, proto se ozubená kola kalí, cementují, nitridují a v poslední řadě brousí.

Převodovky pro výkony nad 500 kW, což jsou dnes klasické VE, jak je známe v Krušných horách a jiných horských lokalitách, pracují s provozními otáčkami rotoru 5-20 otáček za minutu. Tyto převodovky musí tento rotační pohyb převést na pracovní otáčky generátoru, které jsou dle konstrukce 1000, 1500 a 3000 otáček za minutu. Převodové poměry jsou tedy 1:70 – 1:200. Tyto výkony se přenášejí pomocí planetových stupňů a poslední jeden či dva stupně bývají koaxiální. [20]



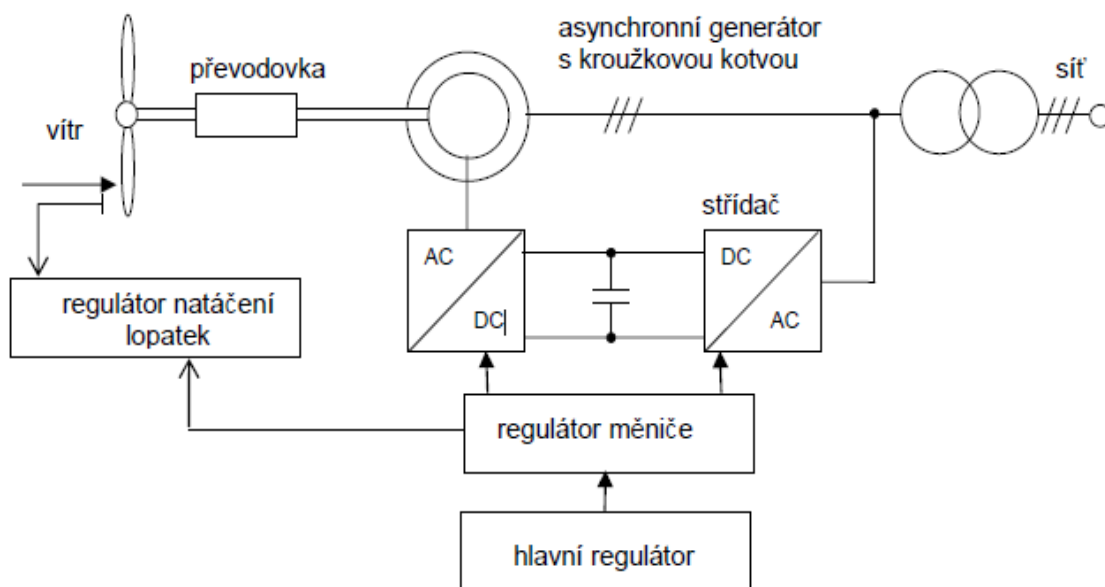
Obr. č. 15 Převodovka Redulus GPV pro výkon 2MW firmy Bosh-Rextroth s dvoustupňovou planetovou a výstupním koaxiálním stupněm a hmotností okolo 15-ti tun [7]

3.2.3.6. Generátor

Většina elektráren je v ČR v dnešní době vybavena asynchronními generátory s vinutím klecovým nebo kroužkovým. Druhé zmíněné jsou používány asi nejvíce a nahrazují postupně generátory s kotvou nakrátko. Jejich výhodou je v možnosti napájení.

Tyto generátory s kroužkovým vinutím jsou použity ve spolupráci s frekvenčním měničem a rekuperační jednotkou. Pomocí frekvenčního měniče je možné využít energii větru lépe a zajistit tak stabilnější dodávku elektřiny do elektrické sítě. Na obrázku č. 16 je vidět blokové schéma zapojení asynchronního generátoru s kroužkovou kotvou, který pracuje v kaskádním zapojení.

Výhodou kaskádního zapojení je, že stator generátoru je zapojen přes transformátor rovnou do elektrizační soustavy a rotorové vinutí je napájeno z frekvenčního měniče, který je řízen mikroprocesorově. Mikroprocesorem jsou vyhodnocovány otáčky motoru, rychlost větru a těmto parametrům je přizpůsobená i momentová charakteristika stroje. Průběh napětí a proudu na rotoru je řízený tak, aby byla maximálně využita větrná energie. Pro lepší průběhy jsou mezi měničem a vinutím umístěny tlumivka a filtr. Výrobce těchto generátorů jsou například Siemens či AvK Cummins. [8]



Obr. č. 16 Blokové schéma systému s frekvenčním měničem a asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou. [8]

3.2.3.7. Systém natáčení strojovny

Celá strojovna včetně rotoru se musí dle směru větru natáčet. Celá strojovna je posazena na otočné kuličkové ložisko. Toto ložisko je přišroubované napevno ke stožáru a na vnější straně je ozubení, na které doléhá pastorek elektropohonu, který natáčí celou strojovnou doprava či doleva. Počet těchto pomocných pohonů se liší podle typu elektrárny, bývají v počtu 2, 4 a 6 kusů.

Tyto elektromotory mají výkony v řádech jednotek kilowatt a jsou přes převodovku přitisknuty pastorkem k ozubení na otočném ložisku. Motory nejsou samozřejmě koncipovány tak, aby vydržely zatížení vznikající měnicím se směrem proudu větru, k tomu slouží čelistové brzdy, které se zamknou v požadované poloze po natočení strojovny pomocnými pohony. [20]

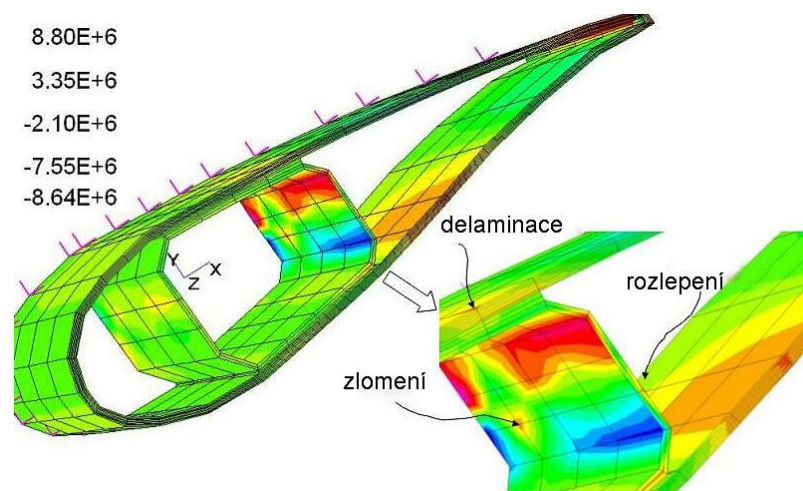


Obr. č. 17 Pohon pro natáčení strojovny [20]

3.2.4. Konstrukce rotoru větrné elektrárny

Listy rotoru jsou z kompozitové skořepiny, která je laminována z několika vrstev skelné tkaniny. Někdy se kromě této tkaniny přidává také kevlar či uhlík. Mezi tyto tkaniny je vkládána vyplňovací pěna, která má za úkol zvyšovat její plošnou tvrdost. Celá tato skořepina je uvnitř vyztužena nosníkem. Pro návrh rotorových listů se používají složité výpočtové metody, které berou v potaz napětí celé konstrukce a její deformaci. Tento výpočetní program rozdělí list na desetitisíce jednoduchých objektů (krychle, jehlany...) a pro každý tento element propočítává napětí a deformaci. Výstup z tohoto procesu může být grafický se zobrazením deformačních a napěťových map (viz obrázek č. 18).

Pro uchycení rotorových listu k hlavě se používají pevnostní šrouby, které jsou zalaminované přímo do stěny rotorového listu.



Obr. č. 18 Napěťová mapa rotorového listu [20]

4. Řízení činného výkonu větrné elektrárny

4.1. Činný výkon větrné elektrárny

Pro výpočet výkonu obecné větrné elektrárny se vychází ze vzorce kinetické energie proudícího vzduchu. Do tohoto vzorce je potřeba vnést výkon větru, který vychází ze všeobecných vztahů. Tyto výpočty a vzorce jsou však jen orientační a pro přesné výpočty dané elektrárny je potřeba dále uvažovat typ rotorových listů (jejich geometrickou charakteristiku), přesně stanovit všechny účinnosti a dále se musí zahrnout rozdílná rychlost větru v dálce před rotorem a přímo v jeho rovině. Přesné výpočty se dnes dělají pomocí specializovaných programů v počítači, které velmi rychle a velmi jednoduše dle zadaných parametrů vypočítají výsledek.

Jak je uvedeno, vychází se ze vztahu pro kinetickou energii proudícího vzduchu:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

E_k – kinetická energie vzduchu [J]

m – hmotnost vzduchu [kg]

v – rychlost větru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Výkon větru se vypočítá dle všeobecného vztahu:

$$P = \frac{E_k}{t}$$

P – výkon vzdušného proudu [W]

t – čas [s]

Hmotnost vzduchu m se dá rozepsat jako násobek jeho hustoty a objemového průtoku:

$$m = \rho V$$

ρ – hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

V – objemový průtok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Po dosazení výkonu větru a hmotnosti vzduchu do vzorce pro kinetickou energii dostaneme obecný vzorec, ve kterém není zohledněna plocha, kterou vítr prochází:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2$$

Protože výkon větrů je funkce jeho rychlosti, hustoty vzduchu a velikosti plochy, kterou proudí, vznikne vzorec:

$$P = \frac{1}{2} \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot S \cdot \rho \cdot v^3$$

S – plocha, kolmá k proudícímu vzduchu [m²]

Ze vzorce je vidět, že výkon větru bude stoupat s třetí mocninou rychlosti, z čehož vyplývá, že průběh funkce bude exponenciální. [4]

V tomto vzorci není ale pořád obsažena velikost rotoru a účinnost stroje, po dosazení těchto dvou parametrů, dostaneme výsledný vzorec:

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

P – výkon VtE [W]

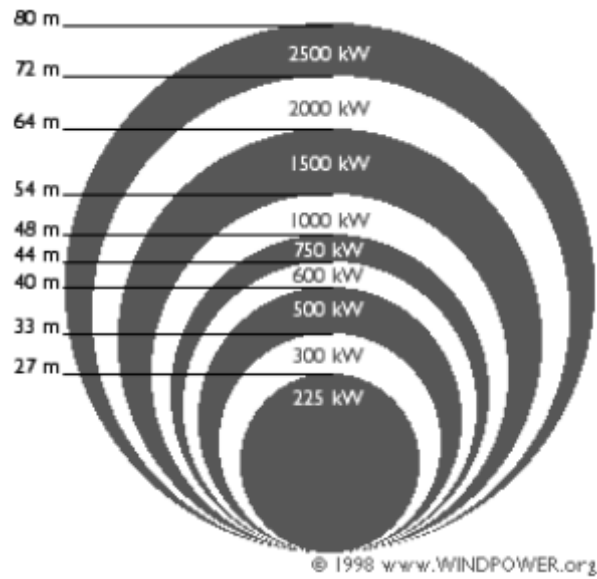
P – hustota vzduchu [kg.m⁻³]

V – rychlost proudění vzduchu [m.s⁻¹]

C_p – účinnost stroje [-]

S – plocha rotoru [m²]

Velmi dobře je možné vidět výkon na diagram závislosti výkonu a velikosti rotoru na obrázku č.19. [20]



Obr. č. 19 Závislost velikosti rotoru a výkonu VtE [20]

Rotory, převodovky a generátory vykazují další energetické ztráty energie, které celkovou účinnost VtE dále snižují:

$$C_P = \eta_R \cdot \eta_P \cdot \eta_G$$

C_P - účinnost soustrojí VtE [-]

η_R - účinnost rotoru [-]

η_G - účinnost generátoru [-]

η_P - účinnost převodovky [-]

Moderní zařízení proto dosahují hodnot C_P v rozsahu 0,4 - 0,5. Je to tedy 70 až 80 % z teoreticky možných 59,3 % využitelnosti energie větru. [20]

4.2. Strategie řízení činného výkonu větrné elektrárny

Strategie řízení činného výkonu větrných elektráren záleží na jejich technických schopnostech, ale i na schopnostech provozovatelů soustav s větrnými elektrárnami jak s těmito zařízeními pracovat, řídit je a celkově je zapojit do systému výroby

energie. K těmto účelům vzniklo v relativně krátké době několik různých strategií řízení, které zahrnují technické a zároveň i obchodní nástroje.

Možné strategie řízení činného výkonu větrných elektráren:

- Stupňovité řízení
- Přímé řízení
- Nepřímé řízení
- Virtuální elektrárny

Všechny tyto strategie lze porovnat dle různých kritérií a požadavků podle využití v konkrétních případech.

Základní kritéria pro posuzování efektivity jednotlivých variant jsou:

- Reálný vliv na běžnou odchylku frekvence v soustavě
- Náklady na vybudování, provoz a modernizaci potřebných technických prostředků.
- Praktická použitelnost v konkrétní národní soustavě. [8]

4.2.1. Stupňovité řízení

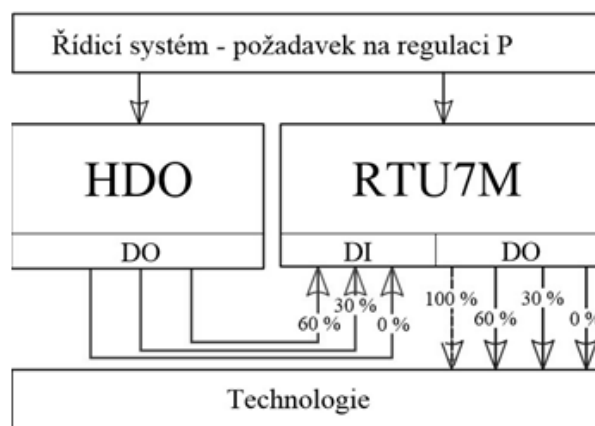
4.2.1.1. Charakteristika stupňovitého řízení

Stupňovité řízení pracuje na principu vypínání a zapínání elektrárny pro malé výkony a pro velké výkony na principu čtyř výkonových stupňů. Je to velmi jednoduché řízení realizované v distribuční soustavě ČR, pro výroby s výkonem od 30 do 100 kW, pomocí hromadného dálkového ovládání, kterým se ovládá spínací prvek zapojení mezi výrobu a distribuční síť. Pokud provozovatel potřebuje udržet stabilitu soustavy, vyšle povel HDO, který sepne klidový kontakt přijímače HDO a rozpojí tím napájecí obvod stykače, čímž dojde k odpojení výroby na dobu nezbytně nutnou pro udržení zmíněné stability provozu soustavy. Další zprávou pak dojde k deaktivaci relé v přijímači a výroba se znova automaticky uvede do provozu. V místech, kde není k dispozici signál HDO, se pro odpojení výroby používá jednotka RTU umístěná na náklady provozovatele soustavy.

Pro výroby nad 100 kW je nutné zdroj vybavit přijímačem HDO s integrovanými 3 přepínacími relé, prostřednictvím kterých bude výroba dostávat povely na omezení činného výkonu v předávacím místě s omezením na 0% / 30% /

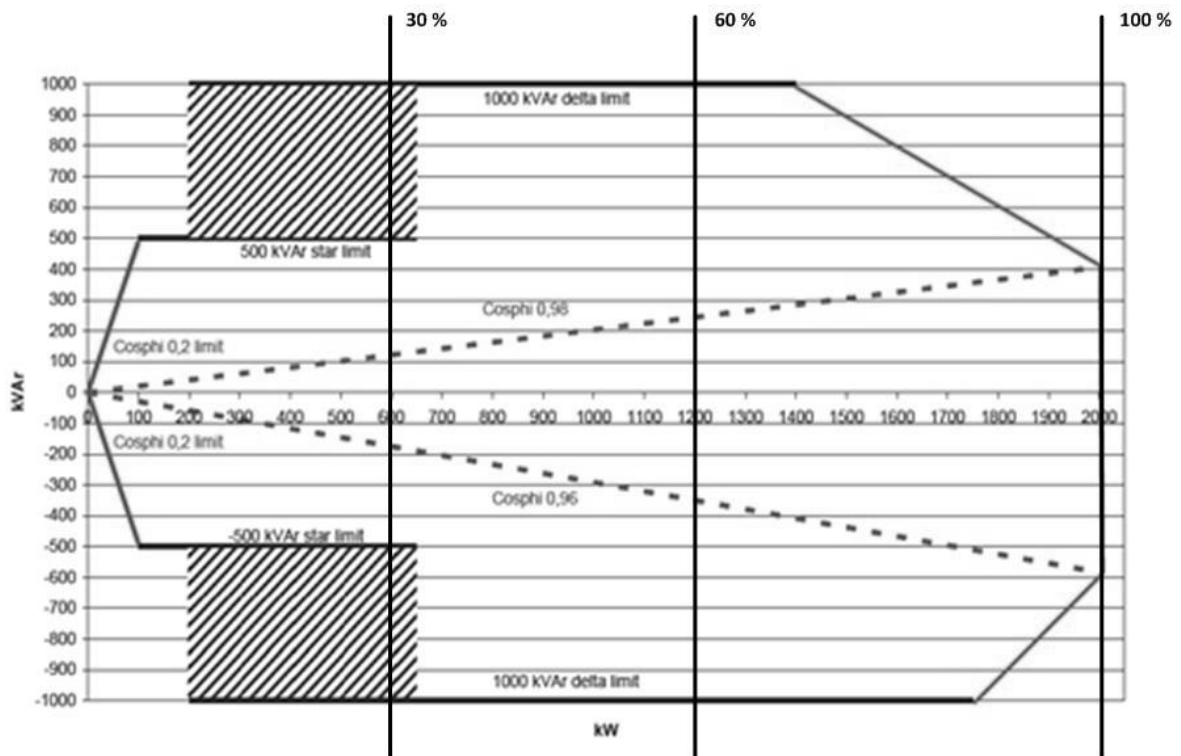
60% jmenovitého výkonu výroby. Pro plný výkon se neaktivuje žádné relé v přijímači a výroba je provozována bez výkonového omezení.

Kromě přijímače HDO může distributor omezovat činnou výrobu také přes jednotku RTU komunikující s centrem řízení pomocí systému GPRS. Tu musí v předávacím místě instalovat investor na své náklady, výjimečně se připouští možnost instalace RTU na náklady distributora, přípravné obvody (napájení apod.) ale zajistí provozovatel výroby. Funkčnost jednotky RTU musí být zajištěna i po výpadku či odpojení výroby od DS.



Obr. č. 20 Stupňovité řízení ČR [14]

Každá elektrárna má svůj provozní diagram, který je závislostí činného a jalového výkonu. V něm lze vyznačit zmiňované stupně, jenž určí nastavené okamžité maximální hodnoty. [8]



Obr. č. 21 Provozní diagram větrné elektrárny [11]

4.2.1.2. Jednotka RTU7M

RTU7M je modulární řídicí jednotka určená k řízení a sběru dat v energetických distribučních sítích. Skládá se z hliníkového šasi, do kterého se zasazují moduly. Výkonné signálové procesory zpracovávají vstupní signály, vybavují požadavky na výstupy a vykonávají automatické a ochranné funkce. Jednotka poskytuje v modulu kompletní soubor funkcí pro dohled a dálkové ovládání úsekových odpínačů, a to včetně automatik opětovného zapínání. [15]



Obr. č. 22 Jednotka RTU7M [15]

4.2.1.3. Spínač HDO

Systém HDO používá pro přenos informace silová vedení energetické sítě. Informace ve tvaru impulsního kódu je vysílána s frekvencí v řádu stovek hertz (až kilohertz) z vysílače HDO a je superponována na základní frekvenci elektrické rozvodné sítě (v České republice a v Evropě 50 Hz).

Signál HDO je vysílán do každé fáze z rozvodů 110/22 kV do distribuční sítě (22 kV). Při vhodně zvolené pracovní frekvenci se informace spolehlivě šíří do všech částí distribuční sítě a přes transformátor se signál HDO dostává i do sítí nízkého napětí (400/230 V) až k místu odběru (spotřeby) elektrické energie. Informaci HDO je tedy možno identifikovat v libovolném místě této energetické sítě. Po vyslání povelu do rozvodné soustavy dojde k zapnutí, respektive vypnutí všech spotřebičů, které jsou přes stykač připojeny k přijímači HDO reagujícího na vyslanou frekvenci. [16]



Obr. č. 23 Přijímač HDO – ZPA [12]

4.2.1.4. Výhody stupňovitého řízení

- V soustavách s existujícím HDO může proběhnout technická instalace tohoto způsobu povelování změny výroby činného výkonu velice rychle. Prakticky stačí připojit přijímač HDO a upravit řídicí systém větrné elektrárny na spolupráci s tímto přijímačem.
- Velmi nízké náklady na údržbu v sítích s HDO, kde se toto řízení provádí společně s fotovoltaickými elektrárnami.
- Minimální zatížení dispečera soustavy.
- Plošné omezení eliminuje možnost zvýhodňování některých výrobců. [8]

4.2.1.5. Nevýhody stupňovitého řízení

- Velice hrubé (nepřesné) řízení činného výkonu.
- Nelze provádět selekci omezovaných větrných elektráren, u nichž se bude omezení provádět. Nejde tak třeba z výkonového omezování vyřadit větrné elektrárny, které jsou zapojené do automatické sekundární regulace napětí v místě s aktuálním rizikem podpětí nebo přepětí. [8]

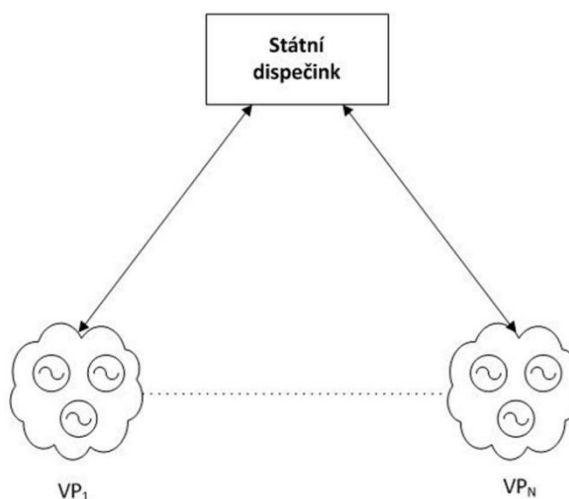
4.2.1.6. Praktické využití

Tato strategie řízení je využita v distribuční soustavě ČR, kdy jsou větrné a fotovoltaické elektrárny řízeny shodným způsobem při stavu nouze. [8]

4.2.2. Přímé řízení - Rumunsko

4.2.2.1. Charakteristika jednoduchého přímého řízení

Přímé řízení VtE znamená, že přímo dispečer nadřazené soustavy nastavuje aktuální maximální velikost výroby činného výkonu větrného parku, a to buď přímo ze svého uživatelského rozhraní, nebo nepřímo pomocí dispečinku distribuční soustavy, který větrný park řídí, což využívají například v rumunské energetice. [8]



Obr. č. 24 Dispečink přenosové soustavy Transelectrica – Rumunsko [8]

4.2.2.2. Výhody jednoduchého přímého řízení

- Omezování výroby elektřiny u větrného parku pouze na nutnou hodnotu.
- Nastavenou omezovací hodnotu je možné průběžně upravovat.
- Možné realizování selektivního omezování vybraných větrných parků dle nastavených kritérií. [8]

4.2.2.3. Nevýhody jednoduchého přímého řízení

- Značná zátěž pro dispečera soustavy (možnost lidské chyby).
- Náklady na zajištění a provoz jsou vyšší než u stupňovitého řízení.
- Rozhodování dispečera může být značně subjektivní (větší omezování některých parků).

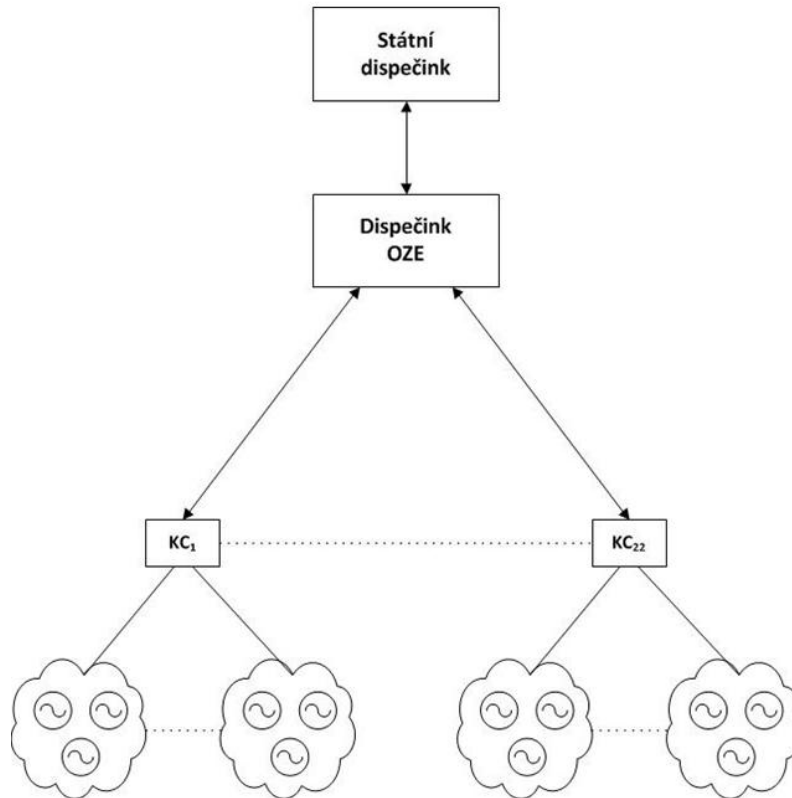
4.2.2.4. Praktické využití

V soustavách, kde je sice vyšší penetrace větrných elektráren, ale je za každého provozního stavu dostatek regulačního výkonu na straně jiných typů zdrojů. V případě Rumunska jsou to především vodní elektrárny. Řízení se tak využívá při řešení anomálních stavů soustavy. [8]

4.2.3. Složitě přímé řízení

4.2.3.1. Charakteristika přímého řízení Španělska

Složitější systém řízení je používán ve větrné velmoci Španělsku, který bude blíže popsán dále. V blízkosti státního dispečinku je zřízen další pomocný dispečink, který má v kompetenci obnovitelné zdroje. Je plně podřízen státnímu dispečinku, pro něhož připravuje podklady o plánované výrobě a jejích změnách a zajišťuje i řízení výroby dle jeho požadavků. Případné změny se snaží optimálně rozdělit mezi podřízené obnovitelné zdroje prostřednictvím lokálních kontrolních center (ve Španělsku jich je 23). Dispečink obnovitelných zdrojů může zajišťovat i regulační výkon pomocí nařízené výkonové rezervy na jednotlivých (případně pouze vybraných) VP. [8]



Obr. č. 25 Dispečink přenosové soustavy Red Eléctrica de España (REE) s nadřazeným řízením – Španělsko [8]

4.2.3.2. Výhody složitého přímého řízení

- Dispečer státní soustavy je jen minimálně vytížen, jelikož regulační činnost výroben OZE zajišťuje dispečink CECRE
- Velmi citlivé nastavování a omezování výroby činného výkonu větrných elektráren dle postupu a technologických znalostí.
- Dispečer soustavy je informován v reálném čase o výhledu výroby VtE. [8]

4.2.3.3. Nevýhody složitého přímého řízení

- Velmi vysoké personální a finanční náklady na stavbu, realizaci a provoz dispečinku OZE. [8]

4.2.3.4. Praktické využití

Toto řešení je velmi nákladné jak na personální požadavky, tak na finanční požadavky. Využití tento systém má smysl pouze v místech s velkým počtem větrných parků, které by pokrývaly významnou část vyráběného výkonu, což znamená, že by bylo nutné je řídit i za normálního provozu soustavy, aby byla neustále vyrovnávána výkonová bilance. Je to nejvyšší, nejkvalitnější a nejcitlivější stupeň řízení větrných elektráren, jenž v současné době existuje. [8]

4.2.4. Nepřímé řízení

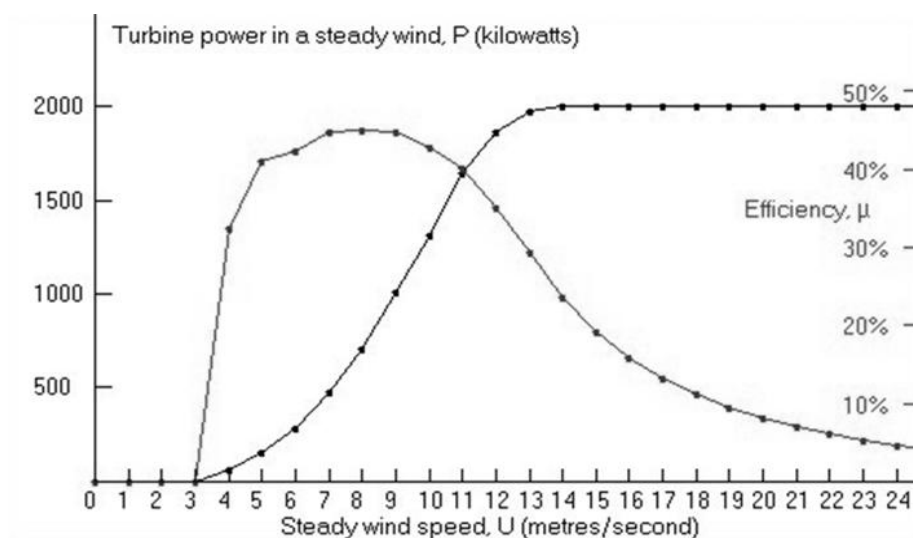
4.2.4.1. Charakteristika nepřímého řízení

V nepřímém řízení se do databáze nastaví hodnoty odhadované potřeby výroby, jejíž kvalita je přímo závislá na kvalitě predikce předpovědi rychlosti větru, která nikdy není 100 %, čímž vzniká i odchylka výroby energie větrných elektráren.

Nejistoty predikce síly větru záleží a vznikají těmito neurčitými parametry:

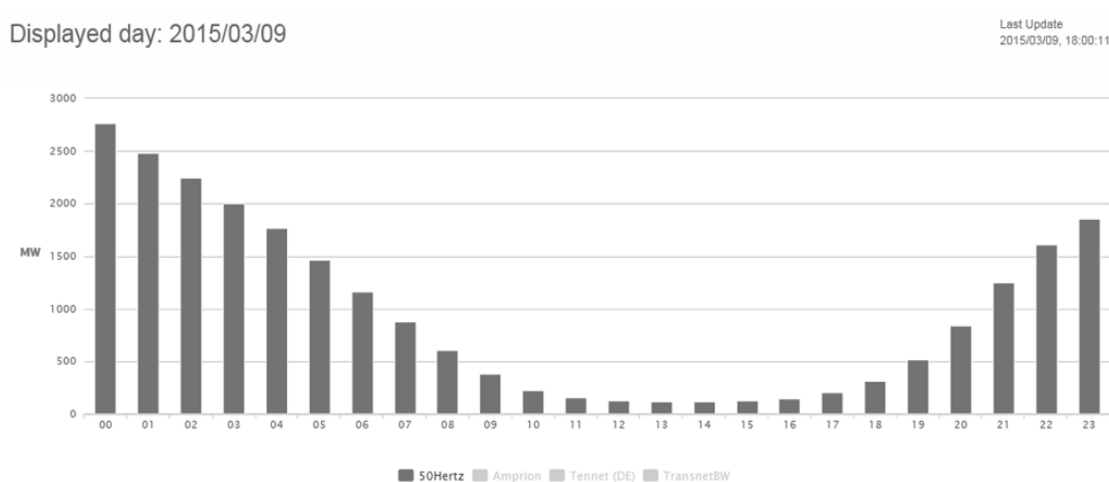
- Nejistota dlouhé předpovědi, která roste s délkou předpovědi.
- Územní rozpojení cílů. Pokud budeme předpovídat vítr pro jeden park, bude nejistota menší, než pro více parků, pro skupinu parků bude nejistota větší, než pro celý region a pro skupinu parků blízkých bude menší, než pro skupinu parků vzdálených.
- Klimatické podmínky sledovaného místa.
- Technické vlastnosti větrného parku.
- Aktuální povětrnostní situace.

Pro predikování výkonu elektrárny je potřeba uvažovat také její výkonovou křivku, která nás omezuje hlavně rychlostí větru – obrázek č. 27. Je na ní vidět závislost rychlosti větru na účinnosti elektrárny a na získaném výkonu. Moderní větrné elektrárny jsou schopny již od rychlosti větru zhruba $6-8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dosahovat své maximální účinnosti. Svůj jmenovitý výkon jsou schopny udržet při rychlostech $10-16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. S dalším nárůstem rychlosti se snižuje jejich účinnost, jelikož nedokážou využít celý potenciál energie větru, při nárůstu nad kritickou hranici (obvykle cca $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), je potřeba elektrárnu odstavit, sklopit lopatky, aby nedošlo pod nápozem větru k poškození konstrukce. To má za následek ztrátu 100 % dodávaného výkonu VtE do sítě. V případě větrných parků i stovky megawatt.

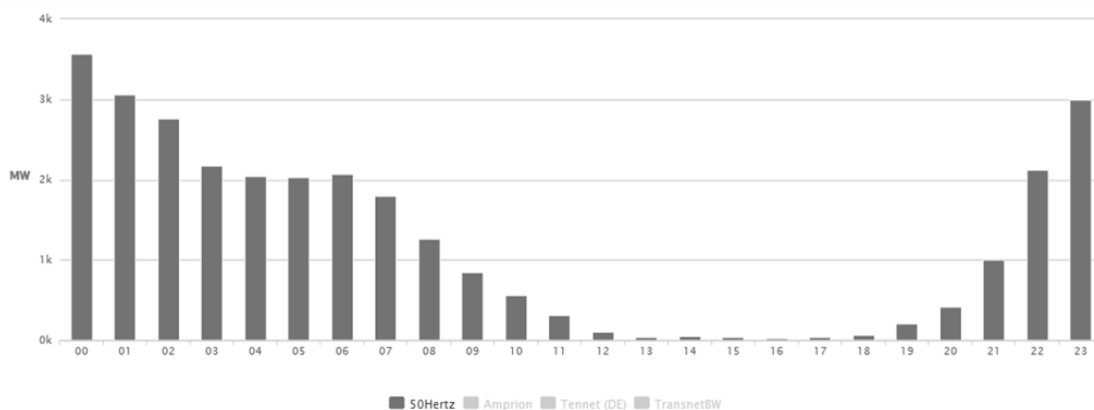


Obr. č. 27 Typická výkonová křivka větrné elektrárny [8]

Velmi kvalitní nepřímé řízení používá část Německa připojená do soustavy 50Hz (bývalá NDR). Na webových stránkách <http://www.eex-transparency.com/> se dá přesně zobrazit v reálném čase aktuální výkon větrných elektráren a zároveň i zobrazit jejich predikce na další dny. V následujícím obrázku č. 28 jsem vyhledal předpokládané nepřímé řízení pro 9. 3. 2015 a na druhém obrázku č. 29 lze vidět reálnou výrobu, kterou lze porovnat s jejich predikcí. [8]



Obr. č. 28 Očekávaný výkon 9.3.2015 [10]



Obr. č. 29 Produkováný výkon 9.3.2015 [10]

4.2.4.2. Intervaly zadávání hodnot činného výkonu do databáze

Tyto intervaly by měly být co nejmenší, jelikož čím větší bude interval, tím větší bude jeho nepřesnost a zbytečně se bude omezovat výroba větrného parku. Jako dostatečně citlivé zadání se dá považovat 15-ti minutové intervaly.

Na obrázcích č. 30 a č. 31 si můžeme jasně ukázat rozdíl mezi použitím 15-ti a 60-ti minutových intervalů. Z rozdílu obrázku je jasně vidět, že při menším intervalu zadávání, se zjemní výkonová křivka větrných elektráren a zároveň se zvětší využití těchto větrných parků, což má za následek zefektivnění jejich práce. [8]



Obr. č. 30 Zadávání hodnot činného výkonu po 60 minutách [8]



Obr. č. 31 Zadávání hodnot činného výkonu po 15 minutách. [8]

4.2.4.3. Výhody nepřímého řízení

- Nižší náklady na pořízení podpůrných služeb v soustavě.
- Eliminace dopadů skokových změn výroby větrných elektráren na provoz soustavy (průběh frekvence).
- Není nutný nadřazený a složitý dispečink obnovitelných zdrojů u provozovatele soustavy jako je tomu u přímého řízení.
- Pozitivní vliv na obchodování s elektřinou vyrobenou větrnými elektrárnami.
- Nedochozí ke skokovému omezení výroby činného výkonu větrné elektrárny, jako je tomu u stupňovitého řízení. [8]

4.2.4.4. Nevýhody nepřímého řízení

- Kvalita řízení je velmi silně závislá na přesnosti predikce větru a je velmi citlivá na nepřesnosti.
- Výroba elektřiny větrných elektráren je neustále řízena, takže snižuje jejich efektivitu výroby elektřiny. [8]

4.2.5. Virtuální elektrárna

4.2.5.1. Charakteristika virtuální elektrárny

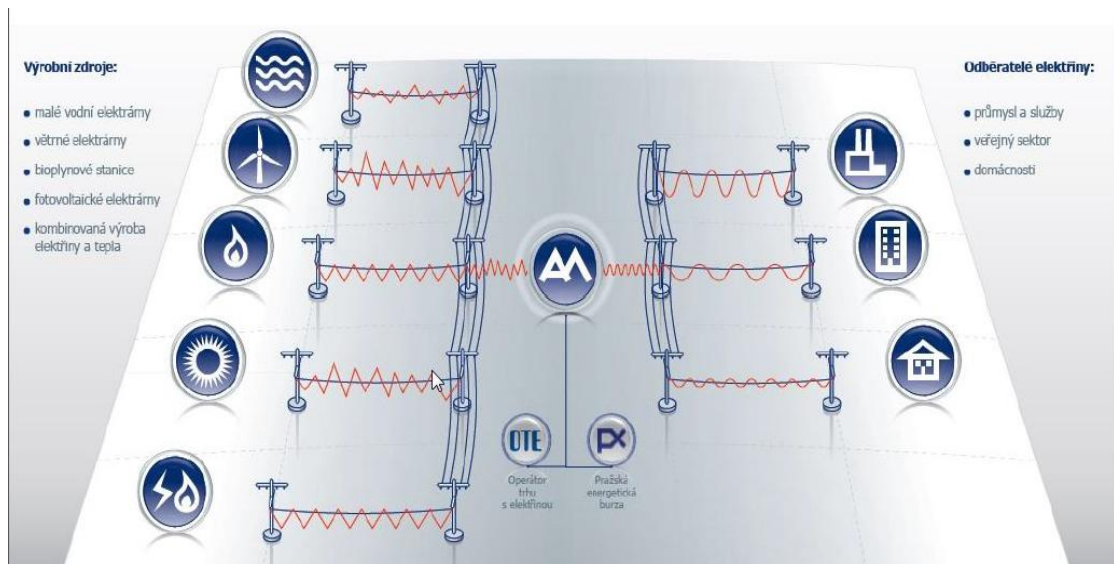
System fungování virtuální elektrárny funguje na principu uplatnění elektřiny s decentralizovaných, ve větší míře obnovitelných zdrojů na trhu s elektřinou, což by mělo mít za následek nižší ceny pro koncové zákazníky a jejich stabilní ceny. System virtuálních elektráren je velmi mladý, a proto je tento system řízení teprve v počátcích. Výroba elektřiny je dnes, dá se říci, monopolní business velkých uhelných a jaderných elektráren, kterému sekundují obnovitelné zdroje, jež vznikají hlavně z podpory s ohledem na životní prostředí. Tato část výroby je často provozována soukromými subjekty a obecně se na ní pohlíží jako na zátěž pro přenosovou soustavu.

Tyto decentralizované zdroje mají většinou proměnným výkonem, závislejícím na povětrnostních či slunečních podmínkách, proto jsou brány jako zátěž. Rozvodná a přenosová síť v ČR byla budována hlavně pro přenos a distribuci z malého počtu zdrojů jednosměrně k zákazníkovi.

V České republice funguje již několik virtuálních elektráren, například firma E.ON má svůj system virtuální elektrárny (ViE) již zaveden. Virtuální elektrárna funguje jako jednoduchá aplikace, která je složena z technické a obchodní části. První část představuje získávání dat z jednotlivých zdrojů a jejich převod do centrálního serveru, dále jejich zobrazení v podobě jednoduchého dispečinku. Obchodní část je databázová aplikace, která pomocí webového rozhraní dovoluje energii nabízet, objednávat, vyhodnocovat a fakturovat. Aplikace je dle možností co technicky nejjednodušší, aby k jejímu běhu stačil jen internet a webový prohlížeč. [8]

4.2.5.2. Společnost Ampér Market

Ampér Market je část společnosti Amper Holding, která provozuje virtuální elektrárnu. Tato společnost „vykupuje“ elektřinu od decentralizovaných soukromých výrobců a zbytek elektřiny (chybějící) dokupuje na burze (PXE) a na denním trhu (OTE). Snaží se ve velké míře využít obnovitelné zdroje, ale využívá i neobnovitelné. Společnost tím, že se zajímá o problematiku obnovitelných zdrojů a zná jejich technické možnosti, může zákazníkům nabídnout stabilní a nízké ceny. Firma rozlišuje výrobní do 30 kW a nad 30 kW. Výkupní cena k dnešnímu datu je 500 Kč/MWh bez DPH, pokud se zákazník stane zároveň odběratelem elektřiny od a.s. Amper Market a 250 Kč/MWh pro ostatní samovýrobce. [9]



Obr. č. 32 Virtuální elektrárna společnosti Ampér Market[9]

4.2.5.3. Virtuální elektrárna ve Smart Grids

Toto řešení by mělo být realizované ve městě Bornholm s 42 tisíci obyvateli v Baltském moři. Název tohoto projektu je EcoGrid a je sponzorován Evropskou unií. Jedná se o stavbu jejich vlastní virtuální elektrárny. V dnešní době je na tomto ostrově vytvářeno přes 50 % spotřebované elektřiny z obnovitelných zdrojů. Ve městě by měla být postavena rozsáhlá rozvodná síť typu smart-grid. Tímto projektem by se měla demonstrovat možnost chodu výroby elektřiny s velkým množstvím malých různých zdrojů energie.

Tato síť by měla pokrýt asi 28 tisíc zákazníků. Každý dům by měl být vybaven speciálním zařízením, které pozná špičku spotřeby elektřiny a podle ní by měl upravovat spotřeby domácností – změnit hodnotu termostatu či minimalizovat funkci některých spotřebičů.

Větrné elektrárny v těchto sítích mohou fungovat jako záložní zdroje napájení Smart Grids při jejím odpojení od rozvodné sítě (město Bornholm je připojení 60 kV kabelem k švédské rozvodné síti).



Obr. č. 33 Virtuální elektrárna jako součást Smart Grids [13]

V Německu například Siemens provozuje virtuální elektrárny s výkonem 1,45GWm, které jsou záložní zdroje pro komerční budovy, nemocnice a továrny. Celosvětová kapacita virtuálních elektráren na světě byla v roce 2011 45 GW a do roku 2017 by podle předpokladu měla vyrůst na 105 GW.

V síti Smart Grids jsou všechny malé zdroje s výkonem v řádech jednotek MW propojeny pomocí hardwaru a softwaru a celá tato propojená síť poté pracuje jako jedna velká výrobná. [13]

4.2.5.4. Výhody virtuální elektrárny

- Virtuálními elektrárnami se mohou eliminovat známé negativní vlastnosti větrných elektráren, a lze je tímto systémem efektivně zapojit do obchodování s elektřinou.
- Metodou Smart Grid může obchodník efektivním nakupováním a prodejem snížit odchylku mezi výrobou a spotřebou.
- V tomto systému je možno zapojit mnoho technologicky různých a rozdílně výkonných výroben. [8]

4.2.5.5. Nevýhody virtuální elektrárny

- Někdy je potřeba v systému virtuální elektrárny některé výroby zastavit či odstavit, což je v případě větrných elektráren velmi omezeno. [8]

5. Řízení větších skupin větrných elektráren

5.1. Charakteristika provozu s dispečerským řízením

Pro větší skupinu větrných elektráren je potřeba predikovat jejich výrobu co nejpřesněji, jelikož čím více větrných elektráren je instalováno, tím větší může být ztráta energie nevyužitím jejich potenciálu, pokud budeme špatně předpovídat vítr a ony nebudou využity na maximum.

V praktické části diplomové práce bychom se měli vrátit ke složitému přímému řízení Španělů, kteří tento problém řeší již desítky let a od června 2006 byl u nich ustanoven první dispečink speciálně pro zdroje OZE, první svého druhu na světě (dispečink obnovitelných zdrojů Controls renewable energy generation - CECRE). Tento dispečink je podřízený centrálnímu dispečinku CECOEL (Centro de Control Eléctrico). Provozovatel španělské přenosové soustavy Red Eléctrica de España (REE) uvedl, že v roce 2013 bylo z celkové vyrobené elektřiny ve Španělsku vyrobeno 21,1% větrnými parky, které tak převýšily o 0,1 % výrobu v jaderných elektrárnách.

Pro Českou Republiku je toto řešení samozřejmě nereálné a zbytečné, jelikož má smysl až od řízení opravdu velkého počtu větrných elektráren / parků. Španělsko dnes má přes 700 větrných parků s instalovaným výkonem 22 986 MW (rok 2014), což ve srovnání s Českou Republikou, kde je instalováno 283 MW (rok 2014) v zhruba 75 větrných elektrárnách, z čehož je jen 42 parků (které mají klidně jen 2 turbíny). Samotné Španělsko má 23 kontrolních center, jejichž vybudování stálo stovky milionů korun, což by pro počet VtE v ČR nemělo smysl.

Dispečink OZE CECRE byl založen provozovatelem přenosové soustavy Španělska (Red Eléctrica de España) z důvodů:

- Možné integrace OZE do stávající elektrizační soustavy.
- Uvedení do souladu výroby elektrické energie ve „zvláštním režimu“ a požadavek na bezpečnost ES.

Španělská výroba elektrické energie se dělí na dva režimy:

a) běžný režim (61 229 MW - tepelné elektrárny, jaderné elektrárny, paroplynové elektrárny, některé hydroelektrárny).

b) zvláštní režim (35 615 MW - větrné elektrárny, sluneční elektrárny všech typů, některé vodní elektrárny, elektrárny na biomasu; + některé neobnovitelné zdroje).

Zvláštní režim zahrnuje nestálou výrobu závislou na atmosférických podmínkách. Zejména o větrnou energii, která ve zvláštním režimu zaujímá zhruba 60 % (20 797 MW), na celkové instalované kapacitě pak 21,5 %.

CECRE tudíž v souladu s pokyny centrálního dispečinku CECOEL usiluje o přednostní a co největší výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů, bez újmy na bezpečnosti ES. Umožňuje řídit výrobu ve zvláštním režimu v reálném čase. Toho se dosahuje získáváním údajů z OZE v reálném čase a dispečerským řízením schopným omezovat výrobu z OZE (větrnou energii, solární termální energii, kogeneraci). [8]

5.2. Důvody vzniku dispečinku obnovitelných zdrojů

Pokud použijeme příklad Španělska, tak při narůstajícím počtu větrných elektráren a parků, vzniknou problémy, které Španělé museli řešit před roky, jejich výzkum je použit v této práci. Tyto problémy by musela řešit každá země, která by plánovala velkou výstavbu větrných parků s jejich efektivním řízením.

Ve Španělsku byli nuceni založit speciální dispečink z důvodu nárůstu instalovaného výkonu v OZE, v jejich případě jmenovitě ve větrné energii, který s sebou přinesl problémy, se kterými se REE musel vypořádat.

- Španělské větrné parky jsou rozmístěny všude po velké části Iberského poloostrova, Španělsko v tuto chvíli provozuje přes 700 větrných parků. Každý z těchto parků může vlastnit jiný majitel, má jiný manipulační řád, tato struktura je velmi nepřehledná. Proto Španělé začali uvažovat a realizovali komunikaci v reálném čase.
- Viz první bod, komunikace byla nedostatečná a pomalá, pro případ nevyhnutelných zásahů a nouzových stavů nepřijatelná. Nutnost přímého zásahu operátora prodlžovala dobu každého výkonu.
- Tato zdlouhavost by vyžadovala dlouhodobější plánování, které by znesnadnilo podmínky pro stavění nových OZE.
- Výroba z OZE je velmi nestálá kvůli atmosférickým vlivům. Španělé byli nuceni zavést velmi kvalitní předpověď počasí, jelikož výroba při minimálním větru pokrývá okolo 1 % dodávky ve špičce, kdežto výroba v maximu dokáže pokrýt až 50 % spotřeby. Díky této předpovědi jsou španělské větrné parky mnohem efektivněji regulovány.

- Některé (starší) typy turbin jsou náchylné k odpojování od sítě při poklesu napětí pod určitou hodnotu, což může vést k náhlému a současnému odpojení více větrných parků a k ohrožení stability elektrizační soustavy. Citlivá ochrana starších turbin se běžně vypínala při poklesu napětí v přípojovacím bodě o více než 10 % jmenovitého napětí. Následkem toho bývaly výpadky velkého množství elektráren, protože větrné parky jsou ve Španělsku vesměs připojeny k vedení přenosové soustavy (400 kV nebo 220 kV) nebo k VVN distribučních soustav (132 kV nebo 110 kV). Starší turbíny proto dostávají bonusy, pokud splňují přísnější podmínky vyžadované od novějších instalací na bezvýpadkový provoz při poklesu napětí. Přesto stále zhruba 600 MW starých větrných elektráren nemá zařízení pro zajištění nepřerušného provozu při poklesu napětí pod 0,85 jmenovitého napětí po dobu kratší 100 ms.
- Malá kapacita podpůrných služeb, což se zlepšilo výstavbou nových přečerpávacích elektráren a s využitím paroplynových elektráren. [8]

5.3. Strategické plány dispečinku obnovitelných zdrojů

REE mělo a snaží se omezit tyto problémy a rizika na minimum tak, aby se mohly co nejvíce do výroby zapojovat OZE, zejména větrná energie. REE se tedy věnovalo zapojení těchto zdrojů do výroby tak, že připravilo čtyři strategické plány:

- a) Bylo potřeba velmi zlepšit předpověď počasí, a to tak, že vybudovali hustou síť měřicích stanic, použili výkonnější hardware a zlepšili modely pro výpočet předpovědi. Dnes dokáží předpovídat výrobu 24 hodin dopředu s průměrně menší chybou než 5 %. Hodinovou předpověď vyhodnocují s chybou menší než 1,5 %. Použití výpočetního modelu GEMAS, který vypočítává maximální přípustnou výrobu z OZE tak, aby neohrožovala bezpečnost elektrizační soustavy, a aby počítala i s nečekanými výpadky výroby
- b) Příprava pravidel požadavků na větrné parky a jejich připojení. Prvním krokem k novému právnímu rámci pro výrobu z OZE byly přípravné studie založené na vybraných reprezentativních případech. Tyto studie sloužily jako návod pro zainteresované strany, jaká právní opatření zavést.
- c) Monitorování a dohled nad větrnou energií – to znamená opatření na dispečerské úrovni. Tímto opatřením bylo zřízení dispečinku s dohledem výhradně nad OZE. Tento

dispečink se nazývá CECRE (zkratkové slovo pro „Centro de Control de Régimen Especial“)

- d) Posílení přenosové soustavy - Ve Španělsku začala probíhat intenzivní výstavba nových přenosových a distribučních vedení a modernizace a posilování přenosové kapacity řady vedení stávajících. [8].

5.4. Zázemí dispečinku

Dispečink CECRE má sídlo na shodném místě jako hlavní dispečink. V budově má své technické zázemí a jednu místnost s velínem, která se nachází vedle místnosti s velínem centrálního dispečinku. V místnosti je jeden hlavní panel (obrázek č. 35), na kterém se zobrazují všechny hlavní informace a místa pro operátory s monitory počítačů. Jelikož CECRE řídí všechny obnovitelné zdroje energie, tak na hlavním panelu jsou zobrazeny výroby větrné energie, sluneční energie a kogeneračních jednotek. Výroba elektřiny z vodních elektráren se zde nezobrazuje.



Obr. č. 35 Hlavní panel v řídicí místnosti CECRE [8]

Monitor 1 - informace o výrobě větrné energie

Monitor 2 - informace o výrobě sluneční energie

Monitor 3 - informace o okamžité výrobě z kogeneračních jednotek

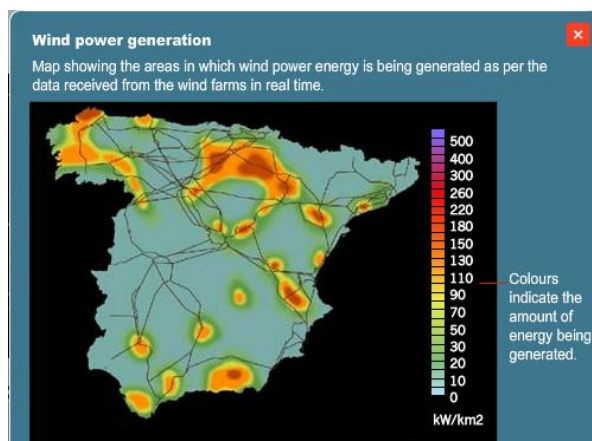
Výroba větrné energie (Monitory 1 na obrázek č. 35) je ve velině CECRE zobrazena na hlavním panelu na pěti monitorech.

První monitor ukazuje datum, čas, současnou výrobu větrné energie v MW (aktualizace každých 12 sekund), podíl výroby větrné energie vůči instalovanému, stanovenou hodnotu maximální přípustné výroby větrné energie v MW, vypočtenou hodnotu maximální přípustné ztráty výroby větrné energie v MW, vypočtenou hodnotu maximální ztráty výroby větrné energie v MW. Dvě poslední zmíněné hodnoty počítá aplikace GEMAS.

Druhý monitor zobrazuje graf s třemi hodnotami: předpokládané výroby větrné energie, množství větrné energie předem smlouvané a prodané výrobcí na trhu s elektřinou, skutečnou výrobu elektrické energie.

Třetí monitor je detailním výřezem grafu z druhého monitoru v hodinových cyklech.

Na čtvrtém monitoru (obrázek č. 36) je mapa Španělska s vybarvenými místy výroby větrné energie v kW/km² v reálném čase. Na této mapě lze také zobrazit simulaci jevu, který by způsobil největší výpadek ve výrobě větrné energie v dané chvíli.



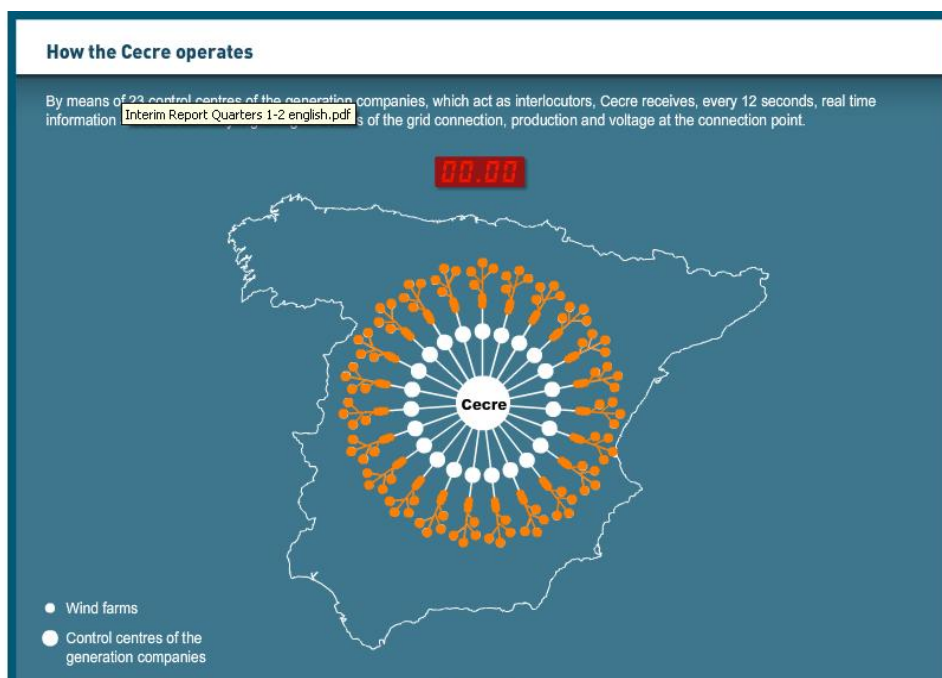
Obr. č. 31: monitorů hlavního panelu v místnosti s dispečinkem CECRE [8]

Na posledním, pátém monitoru, je přehledně zobrazena výroba jednotlivých krajů na sloupcovém diagramu. Každému kraji přísluší jeden sloupec diagramu vybarvený šedivou barvou a značí tedy jeho instalovaný výkon, přičemž ta část sloupce, která odpovídá aktuální výrobě, je vybarvena sytou barvou. Používají se čtyři barvy k odlišení podílu výroby na instalovaném výkonu: zelená (do 25 %), žlutá (25 % až

50 %), oranžová (50 % až 75 %), modrá (nad 75 %). Vlevo od sloupců jsou vyneseny hodnoty (v MW), nad každým sloupcem je uvedena výroba v MW a v procentech instalovaného výkonu. [8]

5.5. Přenos dat

Dalším problémem je otázka přenosu dat mezi dispečinkem pro obnovitelné zdroje, velkým počtem kontrolních středisek a centrálním dispečinkem. Ve Španělsku je tato otázka řešena následovně. Data, která se naměří ve větrných parcích, se posílají primárně do nejbližšího kontrolního střediska, kterých je momentálně 23. Každé takové středisko samozřejmě řídí jeden či více parků. Tato střediska jsou obsluhované dispečery výrobců elektřiny a posílají shromážděná data každých 12 sekund protokolem ICCP na dispečink obnovitelných zdrojů CECRE. Tento dispečink je dále přeposílá na centrální dispečink CECOEL, který je spojen s CECRE také protokolem ICCP. Hlavní slovo v tomto procesu má CECOEL, posílající zpět informace a pokyny, jenž řídí výrobu každého větrného parku zpět na kontrolní střediska. Tyto pokyny se z kontrolních středisek rozesílají zvlášť každému parku, viz obrázek č. 34.



Obr. č. 34 Schéma přenosu dat z větrných parků do CECRE [8]

Hlavní dispečink vydává kontrolním střediskům pokyny v intervalech v řádu minut. Tyto pokyny musí být vykonány do 15-ti minut. Hlavní dispečink používá pro vydávání pokynu speciální výpočetní program GEMAS.

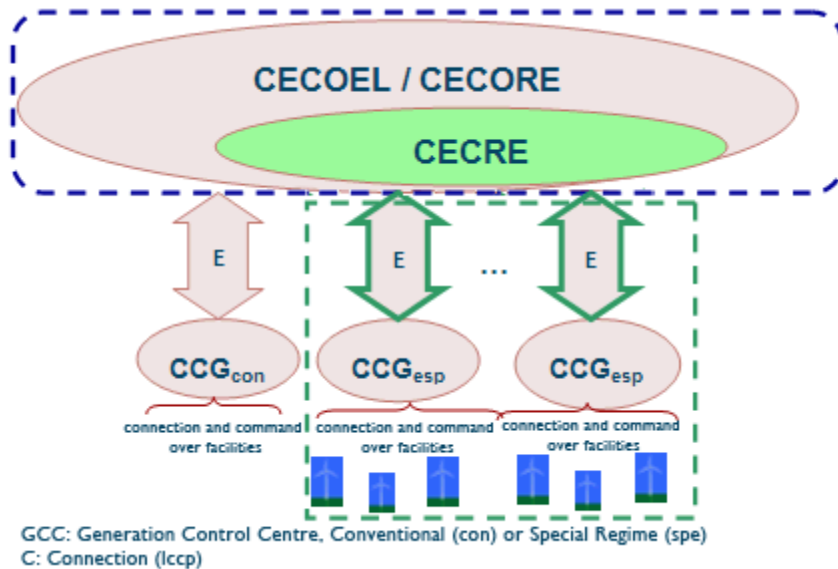
CECRE vysílá dva druhy pokynů:

- Zvýšení výroby (je-li to prakticky možné; spočívá v určení vyššího limitu maximální přípustné výroby z OZE nebo v nastavení bezlimitního režimu výroby),
- Omezení výroby pod stanovený limit (na základě simulací možných nežádoucích událostí, např. když hrozí přetížení sítě, a dále je-li potřeba konvenčních zdrojů, jež nemohou v krátké době zvýšit výkon). [8]

5.6. Úloha dispečinku obnovitelných zdrojů

Dispečink CECRE má za úkol se starat o tyto úkoly:

- Řízení výroby z OZE (s důrazem na větrnou energii) v souladu s potřebami ES.
- Komunikovat v reálném čase jako jediný s komunikačním kanálem CECOEL a s Kontrolními středisky OZE, která řídí přímo výrobu jednotlivých elektráren. Každá elektrárna je povinna těmto střediskům posílat data s výkonem 10 a více MW nebo každá elektrárna, která je připojena na stejném místě a má dohromady výkon 10 nebo více MW.
- Má za úkol posílat limity kontrolním střediskům pro objem výroby větrných parků a stanovovat hodnoty pro přípojnice přenosové soustavy s maximálním intervalem 1 minuty.
- Má za úkol každých 12 vteřin získávat údaje z kontrolních středisek OZE a přeposílat je CECOEL. Tyto informace obsahují: činný výkon, jalový výkon, stav připojení VP, hodnotu napětí, rychlost větru a teplotu.
- Koordinovat a kontrolovat elektrárny tím, že je bude sdružovat v kontrolních střediscích; dohlížet na tyto elektrárny prostřednictvím kontrolních středisek.
- Přispívat k bezpečnosti a účinnosti systému.



Obr. č. 26 Schéma řízení výroby z OZE operátorem přenosové soustavy [8]

CCG_{esp} = kontrolní středisko OZE

E (zeleně) = přenos dat z CCG_{esp} do CECRE a pokynů z CECRE do CCG_{esp}

Na obrázku č. 26 je vidět kooperace kontrolních středisek s CECRE respektive s CECOEL. [8]

5.7. Výpočetní systém GEMAS

GEMAS (zkratka pro „Generación Eólica Máxima Admisible en el Sistema“ neboli „Největší systémově přípustná výroba větrné energie“) je hlavní výpočetní program dispečinku, systém navržený speciálně pro CECRE. GEMAS slouží k přesnějším předpovědím a simulacím nežádoucích jevů a poruch. Hlavním kritériem při výpočtu je maximální výroba z OZE. Tento systém provádí všechny výpočetní operace s daty získanými z kontrolních středisek v reálném čase. Jak bylo zmíněno, tato data přicházejí každých 12 sekund do dispečinku CECRE a GEMAS musí každých 20 minut poskytovat výpočty simulující největší možné a přípustné výpadky větrných parků při poklesu napětí. Určuje také limity výroby pro každý park zvlášť a zároveň také určuje časy pro bezlimitní výrobu. Pro příklad, v roce 2007 dispečerské zásahy omezily výrobu VtE o 0,09 %, což bylo 23,4 GWh.

GEMAS bere v potaz i stabilitu 70 rozvoden. Používá spínací studii a statický model výpočtu chodu sítě. Agregáty jsou převedeny na Nortonův ekvivalent a zátěž na konstantní zdánlivý výkon. Ztráta výkonu se odhaduje srovnáním zbytkového napětí na

připojnicích větrného parku s údaji o typu instalovaných větrných elektráren, neboť data týkající se každé větrné elektrárny, jsou zaznamenána. [8]

6. Závěr

Touto prací jsem se snažil přiblížit problematiku konstrukce a provozu větrných elektráren, vůči kterému se část energetiků staví skepticky. Při vypracování diplomové práce jsem se přesvědčil, že výrobu elektřiny z větru lze řídit tak, aby se minimalizovalo negativní ovlivňování elektrizační soustavy při využití většího počtu větrných elektráren. Pro státy s relativně menším počtem těchto zařízení by bylo vhodné využít nepřímé řízení větrných elektráren, které by využívalo co nejpřesnější predikci výroby a plánovalo by ji dopředu.

V České Republice by byla potřeba udělat ekonomickou bilanci využití nepřímého řízení, což by mohlo být tématem navazujícím na tuto diplomovou práci. Bylo by potřeba vytvořit centralizované ovládání větrných elektráren s predikcí počasí, což by znamenalo investice jak do technologického zázemí, tak do personálního obsazení.

Pro „větrné velmoci“, jako je Španělsko, je výhodné použít složité přímé řízení s vlastním dispečinkem, které popisuji v poslední části této práce. Toto řešení přináší velmi komplexní řešení provozu větrných elektráren, zároveň je ale velmi nákladné na vybudování sítě kontrolních středisek a dispečinku pro obnovitelné zdroje.

Osobně si myslím, že v energii větru je velký potenciál, především v přímořských státech. I ve vnitrozemí se dá větrná energetika využít jako ekologický a bezpečný zdroj energie, který má svá určitá úskalí, např. výkon a účinnost, jenž závisí na aktuálních atmosférických podmínkách či predikci počasí, což je nejistá a ne vždy úplně přesná veličina.

7. Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] RYCHETNÍK, V., *Větrné motory*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 1999, 66stran.
- [2] PATEL, V. Mukund, *Wind and Solar Power Systems*. 2nd ed. New York: CRC Press, 2006, 448stran.
- [3] RYCHETNÍK, V., JANOUŠEK, J. a Pavelka, J., *Větrné motory a elektrárny*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, 199stran.
- [4] MACEK, Josef, *Větrná elektrárna – učební pomůcka*, dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2012/sbornik/71.pdf>
- [5] Společnost SIAG CZ, s.r.o., dostupné z: <http://www.siag.cz/>
- [6] Společnost KV VENTI, dostupné z: <http://www.vetrnaelektrarna.cz/>
- [7] Společnost BOSCH REXROTH, dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/>
- [8] HABRYCH, Richard, *Přednášky a prezentace poskytnuté k tématu*
- [9] Společnost AMPÉR MARKET, dostupné z: <http://www.ampermarket.cz/>
- [10] Společnost EUROPEAN ENERGY EXCHANGE AG, dostupné z: <http://www.eex-transparency.com/>
- [11] Společnost RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, dostupné z: <http://www.ree.es/es/>
- [12] Společnost ZPA SMART ENERGY, dostupné z: <http://www.zpa.cz/>
- [13] Společnost ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, dostupné z: <http://www.epri.com/>
- [14] Společnost ELVAC GROUP, dostupné z: <http://www.elvac.eu/>
- [15] Časopis pro automatizační techniku AUTOMA, dostupný z: <http://automa.cz/>
- [16] <http://wikipedia.org/>
- [17] MÁŠLO, Karel, *Přednášky řízení frekvence*, dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/.../Prednaska_Rizeni_frekvence3_Maslo.pdf

- [18] ČVUT - FEL, *Přednášky Měření a Regulace*, dostupné z https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/MR/_pred_web/
- [19] DVORSKÝ, Emil, *Přednášky Měření a Regulace*, dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dvorsky/>
- [20] Česká společnost pro větrnou energii, dostupné z: <http://www.csve.cz/>
- [21] Větrné elektrárny WODAGREEN, dostupné z: <http://www.wodasound.com/jaknato/wind/wdsvitr.htm>
- [22] Časopis pro elektrotechniku REVUE, dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/>
- [23] HALLENGA, U., *Malá větrná elektrárna*, 2. vyd. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2006, 95 stran, přeložila: MYŠKOVÁ, M
- [24] CENEK, M., *Obnovitelné zdroje energie*, 2. vyd. Praha - FCC PUBLIC, 2001, 201 stran