

Srovnání produkce dvou větrných elektráren

Wind Power Plant production comparison

Lukáš Prokop, Stanislav Mišák

stanislav.misak@vsb.cz, lukas.prokop@vsb.cz

Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB VUT v Brně

Abstrakt: V textu je prezentováno srovnání provozu dvou větrných elektráren v různých lokalitách v České republice. Jedná se o větrnou elektrárnu ve Veselí u Oder a větrnou elektrárnu v Pcherách. Hodnocena jsou data z reálných měření po dobu dvou měsíců.

Abstract: Analysis of two wind power plant production is presented in this paper.

Srovnání produkce dvou větrných elektráren

Lukáš Prokop¹, Stanislav Mišák¹

¹Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB VUT v Brně
Email: stanislav.misak@vsb.cz, lukas.prokop@vsb.cz

Abstrakt – V textu je prezentováno srovnání provozu dvou větrných elektráren v různých lokalitách v České republice. Jedná se o větrnou elektrárnu ve Veselí u Oder a větrnou elektrárnu v Pcherách. Hodnocena jsou data z reálných měření po dobu dvou měsíců.

1 Úvod

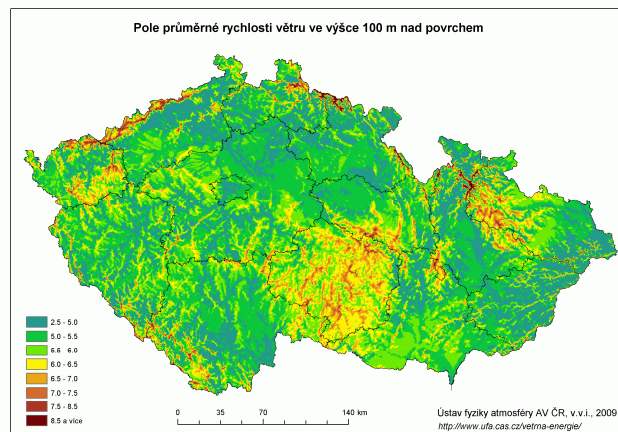
V posledních letech došlo po celém světě k rozmachu využití obnovitelných zdrojů elektrické energie a to spalování biomasy, větrných elektráren a fotovoltaických systémů. Stále zvyšující se instalovaný výkon zejména větrných elektráren a fotovoltaických systémů vede k tomu, že se již ve velké míře projevují negativní důsledky provozu těchto nestabilních obnovitelných zdrojů elektrické energie na distribuční síť, do které jsou připojeny. Stěžejním problémem je obrovská dynamika změn dodávaného výkonu v závislosti na změnách rychlosti větru u větrných elektráren a změna intenzity slunečního záření v případě fotovoltaických systémů.

Velké změny výkonu jsou citelné v hlavní míře u větrných elektráren, jelikož instalovaný výkon jedné větrné elektrárny je podstatně vyšší, než u fotovoltaických systémů a v současné době se pohybuje pro elektrárny postavené ve vnitrozemí mezi dvěma až třemi megawatty.

V případě velkých změn dodávaného výkonu může docházet k tomu, že se několikrát denně změní tok výkonu na vedení. Takové změny směru toku výkonu mají negativní vliv na celý systém chránění soustavy.

Z těchto důvodů je nutné znát toky výkonů z jednotlivých větrných elektráren, ale i z celých větrných farem. Toto se týká i toku jalových výkonů. Na níže analyzovaných větrných farmách jsme proto provedli měření toků výkonů z větrných elektráren s cílem stanovit tyto toky výkonů přímo z jednotlivých větrných elektráren, ale i stanovit tok výkonu z těchto elektráren do rozvodu, do kterých jsou tyto větrné elektrárny připojeny. Stejně tak je nutné provést vyhodnocení provozu větrné elektrárny a stanovit koeficient využití pro jednotlivé elektrárny, jelikož v podmínkách České republiky se tento koeficient pohybuje v rozmezí cca 20-40%. V důsledku této hodnoty koeficientu využití dodává elektrárna pouze zlomek ze svého instalovaného výkonu.

Jelikož je Česká republika vnitrozemský stát, nejsou meteorologické podmínky pro výstavbu větrných elektráren ideální na celém území, lze však nalézt lokality s průměrnými rychlostmi větrů nad hranicí rychlosti větru potřebnou pro start větrné elektrárny, viz. větrná mapa České republiky, která je zobrazena na obr. 1.



Obrázek 1: Větrná mapa České republiky [1]

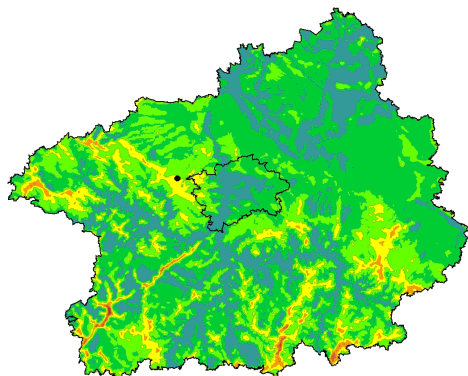
2 Větrná farma Pchery

Větrná farma Pchery se nachází ve středočeském kraji cca 30 km od Prahy mezi městy Kladno a Slaný, viz. obr. 2.



Obrázek 2: Mapa České republiky s vyznačenou lokalitou Pchery [2]

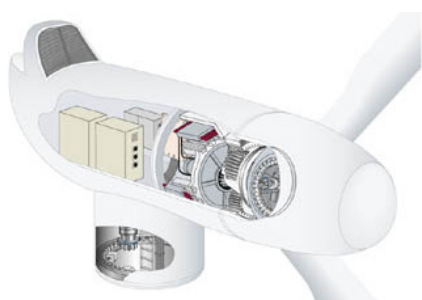
Na obr. 3 je zobrazen středočeský kraj jako část větrné mapy České republiky, přesněji je zde zobrazena poloha větrné farmy Pchery a je zde vidět, dle stupnice z obr. 1, že průměrná rychlost větru v této lokalitě dosahuje hodnot v rozmezí od 6 m/s do 6,5 m/s.



Obrázek 3: Částečná větrná mapa České republiky s vyznačenou lokalitou Pchery [1]

Na této větrné farmě jsou instalovány dvě větrné elektrárny WinWinD o výkonu 3 MW se synchronními generátory s permanentními magnety. Jedná se o větrné elektrárny s v současné době největším instalovaným výkonem na území České republiky. V tab. 1 jsou uvedeny základní parametry těchto elektráren.

Větrná elektrárna v Pcherách používá technologii WinWinD založenou na systému Multibrid, který tvoří 1-st planetová převodovka a pomaloběžný generátor s permanentními magnety. Rotor tvoří 50metrové listy, díky kterým je elektrárna určena především pro vnitrozemské lokality s průměrnými větrnými podmínkami. Jmenovitý výkon 3 MW je dosahován již při rychlosti větru 12,5 m/s. [4]



Obrázek 4: Větrná elektrárna WinWinD – pohled do gondoly [4]

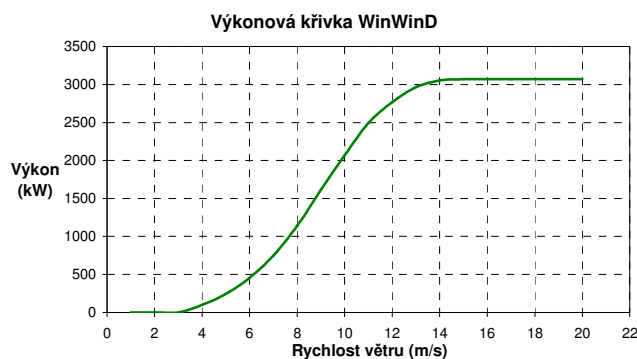
Odlišností větrné elektrárny WinWinD je především konstrukce věže, kterou na rozdíl od jiných tvoří tři válcové tubusy s konstantním průměrem 4,65 m a až poslední díl je kónický zužující se na průměr 3 m pro usazení otočné části gondoly. Odlišnost konstrukce věže je dána především velkou hmotností strojovny, která je cca 123 tun a rozměry 14 × 4,5 × 4,5 metry. Rotor tvořený nábojem a třemi listy váží dalších cca 66 tun, věž tedy musí unést necelých 200 tun.

Výkonová křivka větrné elektrárny WinWinD je zobrazena na obr. 5. Jedná se o výkonovou křivku stanovenou výrobcem, je možné, jako je to u větrné elektrárny VESTAS V-90 instalované ve Veselí u Oder, že skutečná výkonová křivka se od výkonové křivky dané výrobcem mírně odlišuje.

Výkonová křivka byla výrobcem stanovena pro tyto intenzity turbulencí od 8% do 15%, pro hustotu vzduchu 1225 kg/m³. Nebyly uvažovány ztráty transformátoru. Stejně tak je počítáno s čistými listy a horizontálním prouděním vzduchu.

Tabulka 1: Parametry větrné elektrárny v Pcherách [5]

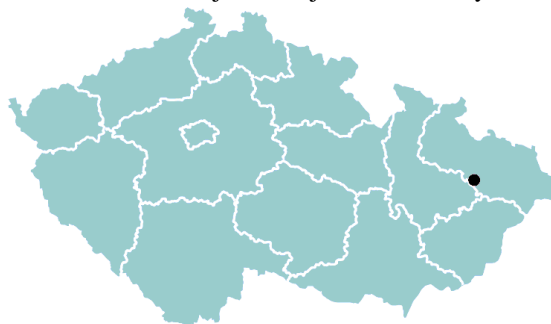
Lokalita	Pchery
Technologie	WinWinD – WWD3
Typ	3 listy, náběžná
Řízení	Pitch, proměnlivá rychlost
Jmenovitý výkon	3000 kW
Průměr rotoru	100 m
Startovací rychlost	4 m/s
Jmenovitá rychlost	12,5 m/s
Vypínací rychlost	20 m/s
Rychlost rotoru	5-15 m/s
Výška stožáru	100 m
Generátor	Synchronní generátor s permanentními magnety



Obrázek 5: Výkonová křivka – větrná elektrárna WinWinD

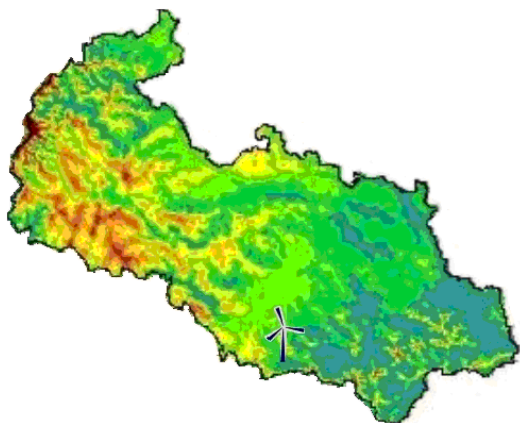
3 Větrná farma Pchery

Větrná farma Veselí u Oder se nachází v Moravskoslezském kraji cca 50 jižně od Ostravy viz. obr. 6.



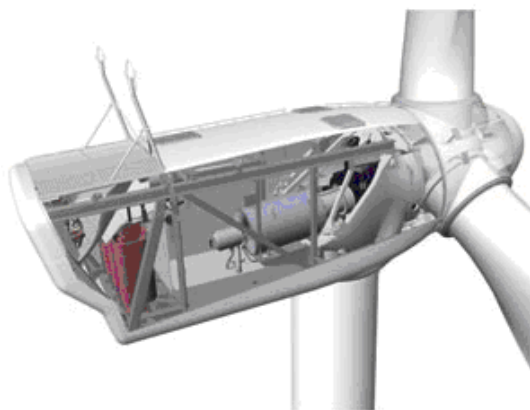
Obrázek 6: Mapa České republiky s vyznačenou lokalitou Veselí u Oder [2]

Stejně jako u větrné farmy v Pcherách je na obr. 7 zobrazen Moravskoslezský kraj jako část větrné mapy České republiky. Dle stupnice z obr. 1 v lokalitě Veselí u Oder se průměrné hodnoty větru pohybují od 5,5 m/s do 6 m/s.



Obrázek 7: Částečná větrná mapa České republiky s vyznačenou lokalitou Veselí u Oder [1]

Na větrné farmě Veselí u Oder jsou instalovány také dvě větrné elektrárny, ovšem jedná se o větrné elektrárny VESTAS typ V 90.



Obrázek 4: Větrná elektrárna VESTAS V90 – pohled do gondoly [4]

Větrná elektrárna VESTAS V-90 je určena zejména pro lokality s nízkými a středními rychlostmi větru, což ji předurčuje k využití ve vnitrozemí.

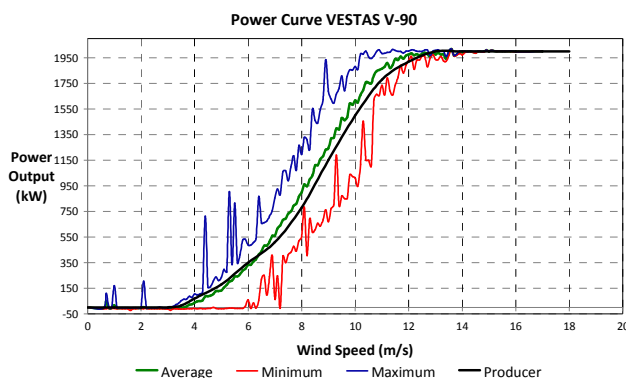
Délka lopatek je 44 metrů a každá lopatka váží 6700 kg, váha gondoly je pak 70 tun věž o délce 80 metrů váží 148 tun. V tabulce 2 jsou uvedeny základní technické parametry větrné elektrárny VESTAS V-90.

Tabulka : Parametry větrné elektrárny ve Veselí u Oder [5]

Lokalita	Veselí u Oder
Technologie	VESTAS V 90
Typ	3 listy, náběžná
Řízení	Pitch, proměnlivá rychlost
Jmenovitý výkon	2000 kW
Průměr rotoru	90 m
Startovací rychlost	4 m/s
Jmenovitá rychlost	12 m/s
Vypínací rychlost	25 m/s

Rychlost rotoru	9,3-16,6 ot/min
Výška stožáru	80 m
Generátor	4 polový asynchronní generátor

Výkonová křivka větrné elektrárny VESTAS V-90 je zobrazena na obr. 9. Černě je zobrazená výkonová křivka, kterou udává výrobce pro podmínky stejné, jaké jsou uvedeny při popisu výkonové křivky u větrné elektrárny WinWinD. Modrá, zelená a červená křivka jsou křivky získané z dlouhodobého měření dodávaného výkonu a rychlosti větru na větrné farmě ve Veselí u Oder. Modrá křivka vznikla jako maximální varianta dodávaných výkonů pro danou rychlost větru, dle stejného principu červeně je zobrazena minimální varianta dodávaných výkonů pro dané rychlosti větru. Zeleně je potom zobrazena tak zvaná průměrná varianta, která vznikla z průměrných hodnot z celého sledovaného období, tato varianta se nejvíce blíží k variantě výkonové křivky, kterou udává výrobce. Z obr. 9 je vidět, že větrná elektrárna pro rychlosti větru do 6,5 m/s dodává průměrně nižší výkon, než jaký udává výrobce, ale od rychlosti větru 6,5 m/s naopak dodává vyšší výkon, než udává výrobce.



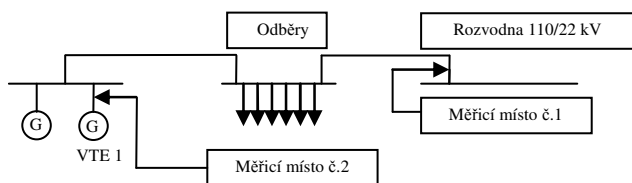
Obrázek 9: Výkonová křivka – Větrná elektrárna VESTAS V 90

4 Vyhodnocení měření

Vyhodnocení jednotlivých měření jsou vždy provedena pro jednu větrnou elektrárnu, i když v obou případech větrné farmy tvoří dvě větrné elektrárny. Takto bylo vyhodnocení koncipováno z důvodu stanovení vlivu jedné konkrétní větrné elektrárny. Celkový instalovaný výkon je tedy pro větrnou farmu Pchery 6 MW a pro větrnou farmu Veselí u Oder 4 MW. Vyhodnocení je provedeno pro měsíce červenec a srpen roku 2009, jelikož kompletní údaje z větrné farmy Pchery máme k dispozici pouze pro tyto dva měsíce.

4.1 Vyhodnocení – větrná elektrárna Pchery

Větrné elektrárny v Pcherách dodávají výkon do distribuční sítě 22kV a jsou každá připojena přes transformátor 0,4/22kV o výkonu 3300kVA k paprsku, který vede z rozvodny Tuchlovice. Zjednodušené schéma připojení je zobrazeno na obr. 10



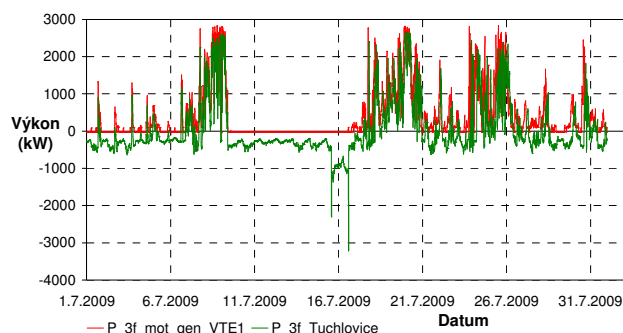
Obrázek 10: Větrná elektrárna Pchery – zjednodušené schéma zapojení

Vzhledem k tomu, že větrné elektrárny jsou připojeny k paprsku, existují tři varianty toku výkonu na tomto vedení. První variantou je směr toku výkonu z rozvodny směrem k větrným elektrárnám, tento případ nastává, když větrná elektrárna stojí, případně dodávají malý výkon, který nestačí pokrýt jejich vlastní spotřebu a odběry připojené k tomuto paprskovému vedení.

Druhá varianta je tak zvaná varianta vyrovnané výkonové bilance, kdy větrné elektrárny pokryjí spotřebu odběrů připojených k paprsku.

Poslední variantou je možnost, kdy větrné elektrárny dodávají velký výkon do sítě a směr toku výkonu je směrem k rozvodně.

V grafu na obr.11 je přímo vidět, která varianta toku výkonu převažuje v jednotlivých obdobích. Pokud větrná elektrárna pracuje v generátorickém stavu, je schopna ve většině případů pokrýt odběry připojené k paprsku, pokud však dojde v výpadku chodu větrné elektrárny, jak je vidět v období zhruba od 11. do 16. 7. tok výkonu se otočí a výkon teče směrem z rozvodny k větrným elektrárnám.



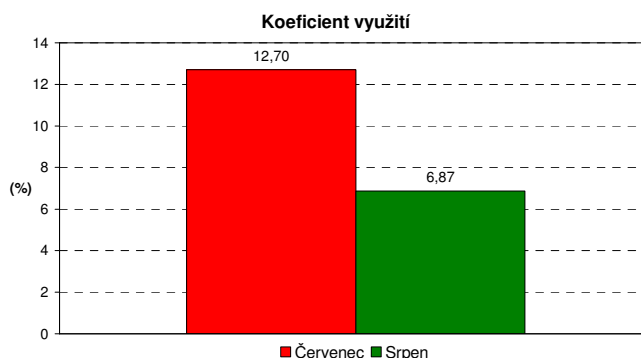
Obrázek 11: Červeně je zobrazen průběh výkonu dodávaného z elektrárny a zeleně je zobrazen průběh výkonu změřený v rozvodně.

Koeficient ročního využití (využitelnosti) k_r je jedním ze základních ukazatelů efektivity zdroje elektrické energie. Jedná se o kritérium, které ukazuje, jak je sledovaný zdroj elektrické energie využíván. Definovat koeficient využití je možné jako poměr mezi skutečnou energií W_r , kterou sledovaný zdroj vyrobil v průběhu sledovaného období h a energií, kterou by vyrobil během sledovaného období h v případě provozu se jmenovitým výkonem P_i . Matematická definice potom je:

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h} \quad (1)$$

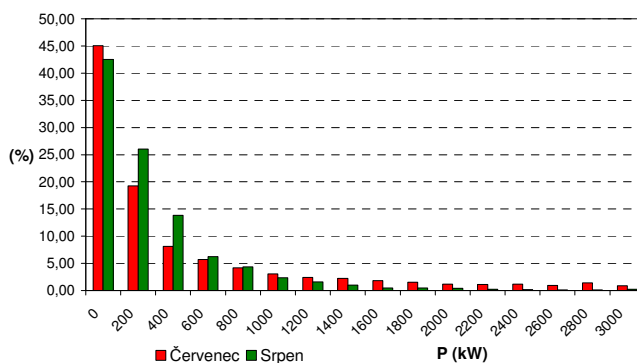
Koeficient využití pro větrnou elektrárnu ve větrné farmě v Pcherách je zobrazen na obr. 12. Hodnoty koeficientu využití

tí dosahují takto malých hodnot z důvodu cca týdenních výpadků v obou sledovaných měsících, touto situací jsou oba koeficienty ovlivněny. Za předpokladu bezporuchového stavu po celý měsíc lze v této lokalitě předpokládat hodnoty přes 30%.



Obrázek 12: Koeficient využití - Pchery

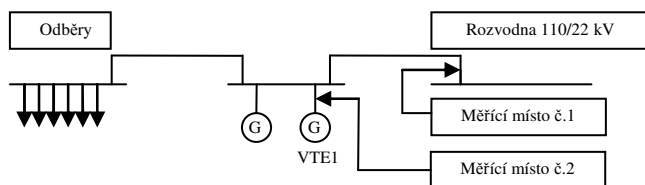
V grafu na obr. 13 je zobrazen histogram četnosti výskytu jednotlivých hodnot dodávaného výkonu z větrné elektrárny v Pcherách. Hodnota 200 kW na vodorovné ose znamená interval hodnot od 0 do 200 kW dodávky. Sloupec s označením na vodorovné ose 0 znamená odběr elektrické energie ze sítě, tzn. tak zvaný režim napájení vlastní spotřeby větrné elektrárny. Vlastní spotřebou větrné elektrárny je myšleno napájení řídicích systémů elektrárny, systému natáčení větrného motoru do směru větru nebo natáčení lopatek vrtule. Do vlastní spotřeby je možné zařadit i další pomocné systémy větrné elektrárny. Z grafu na obr. 13 je lze usoudit, že elektrárna ve více než 40% času odebírala výkon ze sítě, tedy směr toku výkonu byl z rozvodny směrem k elektrárně.



Obrázek 13: Histogram četnosti dodávaného výkonu - Pchery

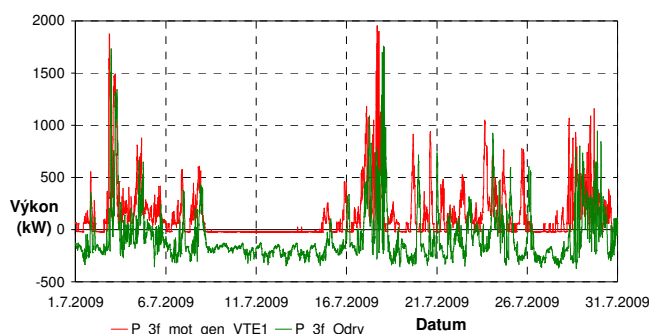
4.2 Vyhodnocení větrná elektrárna Veselí u Oder

Stejně tak jako větrná farma v Pcherách je i větrná farma ve Veselí u Oder připojena do sítě 22 kV přes transformátor 0,4/22 kV do paprsku, které je vyvedeno do rozvodny 22/110 kV v Odrách. Zjednodušené schéma připojení a měřících míst je zobrazeno na obr. 14.



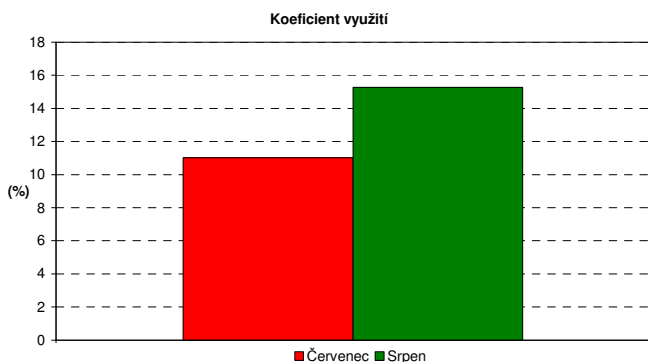
Obrázek 14: Větrná elektrárna Veselí u Oder – zjednodušené schéma zapojení

Opět je situace stejná jako v případě paprsku v Pcherách, také existují tři již výše popsané varianty toku výkonu. Vzhledem k tomu, že i ve Veselí došlo k cca šesti dennímu výpadku dodávky elektrické energie, lze předpokládat, že se jednalo o období s vysokými rychlostmi větru a docházelo k častým poruchám na vedeních 22kV.



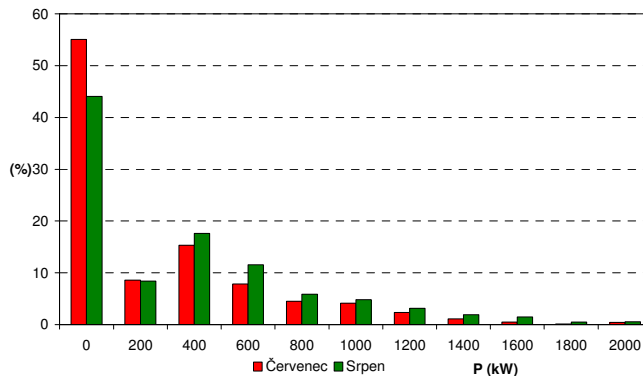
Obrázek 15: Červeně je zobrazen průběh výkonu dodávaného z elektrárny a zeleně je zobrazen průběh výkonu změřený v rozvodně.

Rovněž koeficient využití v grafu na obr. 16 pro lokalitu Veselí u Oder nedosahuje v tomto období předpokládané výše. Také v této lokalitě lze předpokládat koeficient využití okolo 30%. Důvodem snížené hodnoty koeficientu využití jsou již výše zmíněné špatné meteorologické podmínky.



Obrázek 16: Koefficient využití – Veselí u Oder

Histogram zobrazený na obr. 17 vypovídá o poměru mezi režimem napájení vlastní spotřeby VTE a generátorickým režimem chodu větrných elektráren. V červenci se poměr mezi generátorickým a režimem napájení vlastní spotřeby dostal na hodnotu 55:45, to znamená, že větrná elektrárna 55% času dodávala výkon do sítě a 45% času výkon odebírala pro krytí vlastní spotřeby ze sítě.



Obrázek 16: Histogram četnosti dodávaného výkonu – Veselí u Oder

5 Závěr

Větrné elektrárny jsou charakterizovány jako obnovitelné zdroje s nestabilní dodávkou elektrické energie, což negativně působí na provoz elektrizační soustavy je proto potřeba sledovat a vyhodnocovat toky výkonů z těchto obnovitelných zdrojů. Jak je uvedeno v článku může se tok výkonu na vedení s připojenými větrnými elektrárnami měnit několikrát v průběhu dne. Tyto změny mají negativní vliv na systém chránění vedení.

V článku je provedena analýza výsledků měření toků výkonů pro dvě různé větrné elektrárny na dvou lokalitách v České republice. V obou případech je výsledný koeficient využití nižší, než je možné v těchto lokalitách očekávat. Takto nízké hodnoty jsou způsobeny v první řadě obdobím měření, v letních měsících je obecně koeficient využití nižší, ale také nepříznivými meteorologickými podmínkami. V době měření bylo zaznamenáno období s vysokými rychlostmi větru, tím pádem došlo k delším výpadkům na vedeních 22 kV a tím k přerušení dodávky elektrické energie do sítě.

Stejně tak je důležité pro maximální využití potenciálu větru udržet větrné elektrárny v chodu, tzn. provozovatel by měl mít zajištěn nonstop servis, aby bylo zajištěno co nejrychlejší obnovení provozu elektrárny po případné poruše.

6 Poděkování

Tento článek byl zpracován v rámci výzkumu na projektu GACR 102/09/1842.

7 Literatura

- [1] Wind Map [online]. 2010-[cit. 2010-03-31]. Available from: http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/img/vetrna_mapa.gif
- [2] Map of Czech Republic [online]. 2010-[cit. 2010-04-13]. Available from:

- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c9/Map_cz_Odry_kroton.svg/800px-Map_cz_Odry_kroton.svg.png>
- [3] Picture of WPP VESTAS V-90 [online]. 2010-[cit. 2010-04-13]. Available from: <http://www.wind-energy-mar-ket.com/fileadmin/user_upload/bwe_files2007/354_4_4_7_1/picture_file/big/Vestas%20V90%20-%203.0%20MW.jpg>
- [4] Picture of WPP WinWinD [online]. 2010-[cit. 2010-06-11]. Available from: <http://www.winwind.fi/english/tuotteet.html>.
- [5] <http://www.vstepchery.cz/projekt.html>
- [6] <http://www.vestas.com/en/wind-power-plants/procurement/turbine-overview/v90-1.8/2.0-mw.aspx#/vestas-univers>