ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATERDA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Větrné elektrárny Boží Dar - Neklid

vedoucí práce: **Prof. Ing. Jan ŠKORPIL, CSc.**
autor: **Jan KAČMÁR**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2011/2012**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jan KAČMÁR**
Osobní číslo:	**E09B0010P**
Studijní program:	**B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Technická ekologie**
Název tématu:	**Větrné elektrárny Boží Dar - Neklid**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte teoretické základy a možnosti využití energie větru.
2. Proveďte vyhodnocení větrného potenciálu a podmínek pro výstavbu větrných elektráren v lokalitě Neklid.
3. Popište použitou instalovanou technologii větrných elektráren ENERCON.
4. Proveďte energetické, ekonomické a ekologické hodnocení realizovaného projektu v lokalitě Neklid.

Rozsah grafických prací:	**podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy:	**20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce:	**tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:	

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

Vedoucí bakalářské práce:	**Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.** Katedra elektroenergetiky a ekologie
Datum zadání bakalářské práce:	**17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce:	**3. června 2012**

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

L.S.

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na zpracování větrného potenciálu a vyhodnocení energetického potenciálu v lokalitě Boží Dar – Neklid za období 2008 až 2011, kde se nachází postavené tři větrné elektrárny. Dále bude v práci zpracovaná ekonomická výnosnost větrných elektráren za období 2008 až 2011 a ekologická analýza, která nám ukáže ušetřené vyprodukované emise větrnými elektrárnami, které by jinak vyrobila uhelná elektrárna.

Klíčová slova

Větrná elektrárna, větrná energie, Boží Dar, ENERCON, rychlost větru, měsíční výroba, roční výroba

Abstract

The present thesis is focused on processing and evaluation of potential wind energy potential in the area Boží Dar - Neklid in the period 2008 to 2011, where the built three wind power plants. Further work will be treated in the economic profitability of wind farms for the period 2008 to 2011 and environmental analysis, which indicates emissions savings produced by wind farms that would otherwise be produced by coal-fired power plant.

Key words

Wind power plant, wind power, Boží dar, ENERCON, wind speed, monthly production, yearly production

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 1.6.2012 Jan KAČMÁR

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Janu ŠKORPILOVI, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH **8**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **9**

ÚVOD **11**

1 TEORIE O VZNIKU VĚTRNÉ ENERGIE **13**

1.1 PŘÍČINA VZNIKU VĚTRU, ANEB ODKUD VÍTR VANE 13
1.2 VZNIK HLAVNÍCH SMĚRŮ VĚTRNÉHO PROUDĚNÍ NA ZEMI 15
1.3 FYZIKÁLNÍ POHLED NA PROUDĚNÍ VZDUCHU V PŘÍZEMNÍ A MEZNÍ VRSTVĚ ATMOSFÉRY 15
1.4 HISTORIE VYUŽÍVÁNÍ VĚTRNÉ ENERGIE 16
1.5 ENERGIE VĚTRU A BEAUFORTOVA STUPNICE 17
1.6 TEORIE VYUŽITÍ ENERGIE VĚTRU 18
1.7 VÝKON VĚTRNÉHO MOTORU A VÝKONOVÝ SOUČINITEL C_P 20
1.8 MOŽNOSTI VYUŽITÍ V ČESKÉ REPUBLICE 20
1.9 VĚTRNÁ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE V ČÍSLECH A TABULKÁCH 22

2 VYHODNOCENÍ VĚTRNÉHO POTENCIÁLU **25**

2.1 VYHODNOCOVACÍ METODY PRO VĚTRNÝ POTENCIÁL 25
2.2 UMÍSTĚNÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN V LOKALITĚ NEKLID 31
2.3 VYHODNOCENÍ VĚTRNÉHO POTENCIÁLU V ČÍSLECH A GRAFECH 32
2.4 VÝPOČET PŘEDPOKLÁDANÉ VYROBENÉ ENERGIE DANÉ LOKALITY POMOCÍ HISTOGRAMU 35

3 TECHNICKÝ POPIS VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN ENERCON **40**

3.1 ČÁSTI VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY 40
3.2 TECHNICKÁ DATA ENERCON E-33 40
3.3 TECHNICKÁ DATA ENERCON E-48 42
3.4 POHÁNĚCÍ ZAŘÍZENÍ 43
3.5 PRSTENCOVÝ GENERÁTOR 44
3.6 ENERCON-STORM OVLÁDÁNÍ 45
3.7 STOŽÁR VTE 46

4 ENERGETICKÉ, EKONOMICKÉ A EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN **47**

4.1 ENERGETICKÉ VYHODNOCENÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE 47
4.2 EKONOMICKÁ VÝNOSNOST ZA VYROBENOU ELEKTRICKOU ENERGII 53
4.3 EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ 57

ZÁVĚR **63**

SEZNAM POUŽITÉ A CITOVANÉ LITERATURY **65**

SEZNAM PŘÍLOH **68**

PŘÍLOHY **69**

Seznam symbolů a zkratek

A	urychlující síla zemské rotace
AV	akademie věd
C	odstředivá síla
CO	oxid uhelnatý
CO_2	oxid uhličitý
c_p	výkonový součinitel
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
du	element proměnné dvou bodů
du/dt	derivace vektoru větru podle času
dz	element převýšení
E	východ (East)
E	energie světla
E_k	kinetická energie pohybující se hmoty
E_{leden}	vyrobená energie za leden
E_v	větrná energie
F	plocha
f	pravděpodobnost výskytu
G	síla tlakového gradientu
g/kWh_e	gram na kilowatt hodinu elektrickou
GPS	globální polohový systém (Global Positioning System)
GW	gigawatt
GWh	gigawatt hodina
H_2SO_4	kyselina sírová
HNO_3	kyselina dusičná
j.š.	jižní šířka
Kč	koruny české
Kč/kWh	koruny za kilowatt hodinu
Kg	kilogram
Kg/m^3	kilogram na metr krychlový
Km/h	kilometry za hodinu
kW	kilowatt
$kWh/m^2/den$	kilowatt hodin na čtvereční metr za den
kWh_e	kilowatt hodina elektrická
l	vzdálenost

LIDAR	Light Detection And Ranging
m	hmotnost
m	metry
m.n.m	metrů nad mořem
m/s	metry za sekundu
m^2	čtvereční metr
MW	megawatt
N	sever (North)
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (National Aeronautics and Space Administration)
NO_X	oxidy dusíku
^oC	stupeň Celsia
OPEC	Organizace zemí vyvážející ropu (Organization of the Petroleum Exporting Countries)
ot/min	otáčky za minutu
P	výkon
pH	kyselost půdy
př.n.l.	před naším letopočtem
R	síla tření
S	jih (South)
S	plocha
s.š.	severní šířka
SO_2	oxid siřičitý
SODAR	Sonic Detection And Rating
t	tuna
t/rok	tun za rok
u	rychlost větru
V	objem
v	rychlost
VAS	větrný atlas
VtE	větrná elektrárna
V_{storm}	rychlost větru při 25 m/s
W	západ (West)
WAsP	větrný atlas s aplikací více programů (Wind Atlas Analysis and Application Program)
ρ	hustota
Φ	světelný tok

Úvod

Větrná energie byla využívaná po staletí k pohánění větrných mlýnů k mletí obilí, vodních čerpadel nebo pohánění lodí. Až ve dvacátém století s rozvojem technologií v oblasti elektrotechniky napadlo člověka, si větrnou energii podmanit i pro výrobu elektrické energie. Se vznikem environmentálního myšlení v 60. letech začal být vyvíjený tlak na klasické zdroje elektrické energie, které znečišťují naší planetu a ničí životní prostředí. Tento impulz odstartoval podporu výroby elektrické energie z alternativních zdrojů energie. Jedním z těchto zdrojů jsou větrné elektrárny, protože výroba elektrické energie je bez produkce škodlivých emisí. Zdokonalováním technických součástí větrných elektráren rostl nejen jmenovitý výkon, délka listů rotorů ale i jejich výška, která má vliv na větrné poměry v dané oblasti. Tím, jak vítr vane nepravidelně, se mění i energie větru a to má za následek to, že výroba elektrické energie kolísá v závislosti na povětrnostních podmínkách, takže i větrné elektrárny mají své negativní stránky.

V celosvětovém měřítku nachází rozvoj větrné energie pozitivní ohlasy. Větrné elektrárny vídáme převážně v hornatých oblastech s dostatečným větrným prouděním, ale není dnes výjimkou, že se větrné elektrárny instalují i na moře, kde vítr proudí bez větších povětrnostních výkyvů. Dokonce se tento trend začíná více využívat, neboť moře nám nabízí více prostoru než je tomu na pevnině. Česká republika sice nemá přístup k přímořským oblastem, ale i přesto bylo vybudováno několik větrných farem. Nejpočetnější množství se nachází v Krušných horách a Jeseníkách.

Ve své bakalářské práci se budu zabývat vyhodnocením převážně energetického a povětrnostního potenciálu tří větrných elektráren od firmy ENERCON za období 2008-2011, které byly postaveny v lokalitě Boží Dar – Neklid. Větrné elektrárny jsou v současné době buď zmiňovány v souvislostech pozitivních, jako je výroba elektrické energie bez produkce škodlivých emisí, nebo v souvislostech negativních, jako je kolísání výroby elektrické energie v závislosti na rychlosti větru. Větrné elektrárny představují z pohledu investora zajímavé finanční zhodnocení, jenže ke každému takovému záměru je potřeba znát povětrnostní poměry v zamýšlené lokalitě. Tyto poměry jsou nejčastěji zjišťovány měřením v určitém časovém intervalu, třeba i jeden rok a více. Méně obvyklé je vyhodnocování povětrnostního potenciálu pomocí softwaru. Pokud se při celkovém vyhodnocení ukáže lokalita jako dostatečně větrná a tím bude i produktivní na výrobu elektrické energie, představuje toto dobrý ukazatel pro investora, aby se o tuto lokalitu zajímal a investoval zde peníze pro

výstavbu větrných elektráren.

Téma Větrné elektrárny Boží Dar - Neklid jsem si vybral z toho důvodu, že zasahuje do více vědních disciplín, jako je meteorologie, fyzika atmosféry, ekologie, ekonomie a v neposlední řadě energetika. Dále má dané téma ukázat, že existuje hodně zpracovaných studií o povětrnostním potenciálu v České republice, ale málo zpracovaných studií ukazuje na jednotlivé dílčí projekty, které teprve prokážou, jak je daná lokalita reálně efektivní na výrobu elektrické energie větrnými elektrárnami.

Cílem mojí práce je vyhodnotit povětrnostní a energetický potenciál dané lokality a dokázat tím, že daná lokalita byla vhodně zvolena pro výstavbu tří větrných elektráren a díky tomu posílají do naší elektrizační soustavy tisíce *MWh* ročně.

Hypotéza mé bakalářské práce je následující:

- Stavba větrných elektráren v dané lokalitě se ukázala jako velice efektivní z pohledu výroby elektrické energie a finanční z pohledu investora.

Pro potřeby potvrzení (resp. vyvrácení) hypotézy bude nezbytné nalézt odpovědi na následující výzkumné otázky:

- Je zvolená lokalita zajímavá z povětrnostního hlediska?
- Bude zvolená lokalita vhodně pro efektivní výrobu elektrické energie?
- Ukáže se zvolená lokalita jako dostatečně finančně zajímavá pro investora?

Při zpracování mé bakalářské práce budu postupovat metodou rešerše bibliografických odborných zdrojů a vydaných i nevydaných odborných pramenu. Dále jsem byl při zpracování v kontaktu s firmou BENOCO, s.r.o., která je zároveň i investorem větrných elektráren na Neklidu a s Českým hydrometeorologickým úřadem. Od této firmy a instituce jsem dostával data, která jsem poté zpracoval do bakalářské práce.
Bakalářská páce má čtyři kapitoly. V kapitole 1 se soustřeďuji na vznik větrného proudění jeho teoretický popis, využití a geografické podmínky pro Českou republiku. V kapitole 2 popisuji možnosti měření větrného proudění, vyhodnocuji povětrnostní potenciál zvolené lokality a předpokládanou výrobu elektrické energie. V kapitole 3 popisuji technické vybavení větrných elektráren ENERCON. V kapitole 4 vyhodnocuji reálnou energetickou, ekonomickou a ekologickou analýzu z poskytnutých dat.

1 Teorie o vzniku větrné energie

1.1 Příčina vzniku větru, aneb odkud vítr vane

Nejzákladnějším elementem, který stojí za vznikem větru, je samotné Slunce. To vyzařuje směrem k povrchu Země enormní množství energie, způsobenou termonukleární jadernou reakcí[1] a Země tuto vyzařovanou energii přijímá. Na rovník dopadá více sluneční energie, než se vyzáří do kosmu a úplně opačná situace je na pólech Země. Cesta slunečního záření je na ně delší, než je tomu u rovníku a sluneční energie, kterou tam přijímá, je podstatně méně než u rovníku a poměrně větší část je vyzářena do kosmu. Výsledkem tohoto procesu je obrovský kvantitativní přesun energie od rovníku směrem k pólům.[2] Tím vznikají rozdíly atmosférického tlaku, které jsou důsledkem různých teplot vzduchu a tudíž i různých hustot vzduchu. Tedy dochází k proudění vzduchu od nižšího tlaku do míst vyššího tlaku vzduchu a od toho odvíjející se rychlost proudění v závislosti na rozdílu velikosti vyššího a nižšího tlaku vzduchu. Tím vlastně dochází ke vzniku větru, který zle charakterizovat základními parametry jako je:

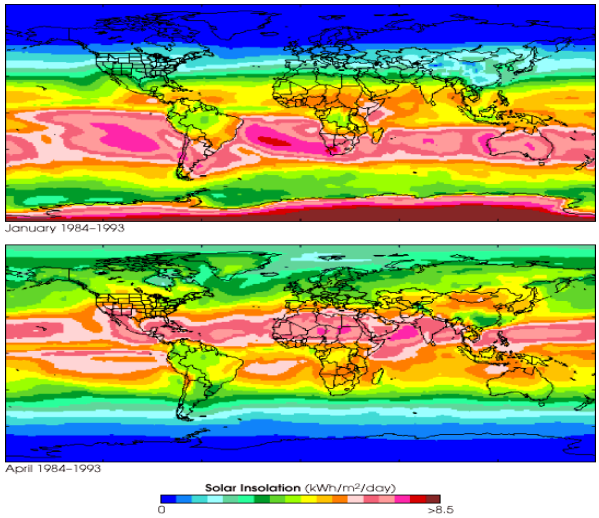
- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu
- kinetická energie vzduchu

Na Obr. 1 je ukázka rozdílné dopadající sluneční energie v kWh/m^2 */den* na povrch planety v závislosti na ročním období. Na Obr. 2 je ukázka rychlosti větru na povrchu planety v *m/s* v závislosti na ročním období.

[1] Při termonukleární reakci se přeměňují jádra vodíku na jádro helia za vysoké teploty a tlaku. Při této reakci se uvolňuje tepelná energie. Více in: ŠOLC, Martin, et al. *Fyzika hvězd a vesmíru: Učebnice pro volitelný předmět seminář a cvičení z fyziky ve 4. roč. gymnázia*. Praha: SPN, 1983. s. 200.

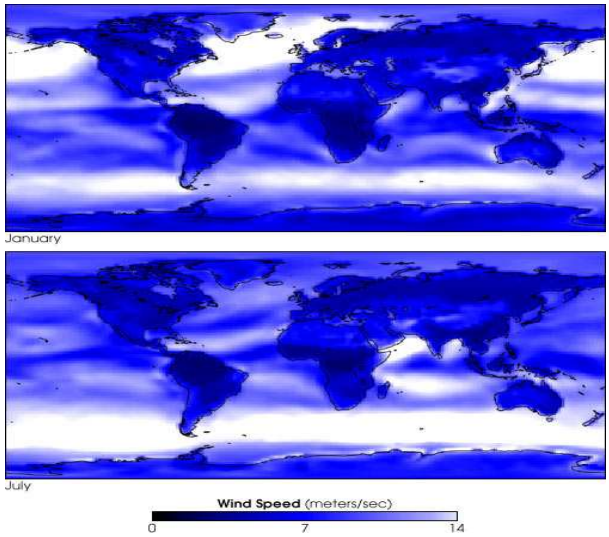
[2] QUASCHING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. s. 166-167.

Obr. 1: Množství dopadající sluneční energie v závislosti na ročním období



Zdroj: *Visible Earth A catalog of NASA* images and animations of our home planet *[online]. 8.6.2006 [cit. 2011-08-29]. Measuring Solar Insolation .*
Dostupné z WWW: <http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=1683>.

Obr. 2: Rychlost větru na povrchu planety v závislosti na ročním období



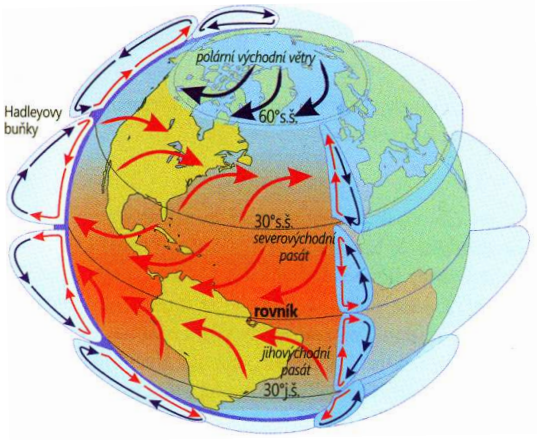
Zdroj: NASA Earth observatory [online]. 9-10-2011 [cit. 2011-09-16]. Global wind speed. Dostupné z WWW: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=1824>.

Z obou obrázků lze vypozorovat interakci mezi dopadající sluneční energií a rychlostí větru, neboť v lednu je na severní polokouli (blíže k pólu) méně dopadající sluneční energie, která by tuto část Země zahřívala a na rovníku je nejvyšší intenzita dopadající sluneční energie. Proto je výskyt vyšší rychlosti větru na severní polokouli mnohokrát větší, než na jižní polokouli. Přesně naopak je tomu v letních měsících. Tak dochází k přesunu energie a vzniku větru, jak jsem vysvětlil výše.

1.2 Vznik hlavních směrů větrného proudění na Zemi

Tímto je způsobena cirkulace větru a ve zjednodušené představě (Obr. 3) by měl teplý vzduch nad rovníkem stoupat a být nahrazován vzduchem studeným, proudícím blízko povrchu Země, který by se měl zase zpět vracet v horní vrstvě atmosféry.[3] Vznikají tak Hadleyovy buňky a jednotlivé větrné proudy se nazývají podle toho, kde se vyskytují. Jsou to tedy polární východní větry na 60^0s.š., severovýchodní pasát na 30^0s.š. a jihovýchodní pasát na 30^0j.š.[4] Vlivem rotace Země ale není tento pohyb rovnoměrně přímočarý. Rychlost se odvíjí od povrchu terénu a směr proudění větru se spíše podobá spirále u tlakové níže a výše.
U tlakové níže na severní polokouli je tento spirální pohyb proti směru hodinových ručiček a u tlakové výše jde o pohyb po směru hodinových ručiček. Opačný případ je na jižní polokouli, kde spirální pohyb uskutečňuje pohyb po směru hodinových ručiček u tlakové níže, proti směru hodinových ručiček u tlakové výše.[5]

Obr. 3: Hadleyovy buňky



Zdroj: QUASCHING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2010. s. 166.

1.3 Fyzikální pohled na proudění vzduchu v přízemní a mezní vrstvě atmosféry

Vítr je vektorovou veličinou, která je charakterizována směrem a rychlostí. Tato vektorová veličina popisuje pohyb dané částice vzduchu v daném místě atmosféry v určitém časovém okamžiku. Pohyb těchto vzduchových částic se děje za působení fyzikálních sil, které jsou

[3] RYCHETNÍK, Václav; JANOUŠEK, Josef; PAVELKA, Jiří. *Větrné motory a elektrárny*. Praha 6: Vydavatelství ČVUT, 1997. s. 11.

[4] QUASCHING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2010. s. 167.

[5] CENEK, Miroslav, et al. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha : FCC PUBLIC, 2001. s. 92.

popsány následující rovnici.

$$\frac{d\vec{u}}{dt} \leq \vec{G} + \vec{A} + \vec{R} + \vec{C}$$

Kde $\frac{d\vec{u}}{dt}$ je derivací vektoru podle času, G je síla tlakového gradientu, A je uchylující síla zemské rotace nebo-li Coriolisova síla[6], R je síla tření a C je odstředivá síla.

Na pohybující se částice vzduchu působí u zemského povrchu třecí síla, která se skládá z tření o zemský povrch, včetně zemských útvarů a vnitřního tření. Tato třecí síla má za následek to, že se vzduchové částice nepohybují ani při ustáleném proudění rovnoběžně s izobarami, ale odklání směr větru k nižšímu tlaku a rychlost větru se zmenšuje.[7]

1.4 Historie využívání větrné energie

Z historických pramenů sahajících do doby 3 000 let př. n. l. se dozvídáme, že větrná energie byla využívána k pohybu lodí, které poháněla síla větru, jenž působila svou energií na plochu lodní plachty.[8] Takto byla energie využívána po staletí. První zmínka o "větrném motoru" postaveném v Čechách se datuje k roku 1277, kdy byl postaven první větrný mlýn.[9] Hlavním vyvrcholením a impulzem pro rozvoj větrné energetiky, byla energetická krize v roce 1973, kdy Organizace zemí vyvážejících ropu (OPEC) zavedla embargo vyvážení ropy do průmyslově vyspělých států kvůli probíhající válce arabských zemí s Izraelem a zvedla cenu ropy za barel až pětkrát, během 14 měsíců na 12 dolarů za barel.[10] Jednotlivé státy tato krize přinutila hledat východisko v jiných alternativních zdrojích energie jako následek prudkého zdražení ropy. Tímto byl nastartován prudký rozvoj větrné energie, který má obrovský

[6] Coriolisova síla, taktéž uchylující se síla zemské rotace, působí kolmo k ose zemské rotace, tak i kolmo ke směru pohybu uvažované částice. Tato síla se projevuje pouze u částic pohybujících se vzhledem k Zemi a jejím působením jsou vzduchové částice uchylovány v horizontální rovině vpravo na severní polokouli, vzhledem ke směru svého pohybu. Více in: BEDNÁŘ, Jan; ZIKMUNDA, Otakar. *Fyzika mezní vrstvy atmosféry*. Praha: Academica, 1985. s. 43.

[7] CETKOVSKÝ, Stanislav, et al. *Větrná energie v České republice: Hodnocení prostorových vztahů, enviromentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Studia Geographica 101, 2010. s. 25-26.

[8] RYCHETNÍK, Václav; JANOUŠEK, Josef; PAVELKA, Jiří. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. s. 7.

[9] *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. 2009 [cit. 2011-03-29]. Z historie využívání energie větru v českých zemích. Dostupné z WWW: <www.csve.cz>.

[10] ČTK. Za dramatickým nárůstem ceny ropy stály většinou konflikty. *Finanční noviny* [online]. 22.02.2011, 1, [cit. 2011-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.financninoviny.cz/zpravy/za-dramatickym-narustem-ceny-ropy-staly-vetsinou-konflikty/599849&id_seznam=86>.

potenciál pro budoucí využití.[11]

1.5 Energie větru a Beaufortova stupnice

Proudění větru se nad povrchem planety ani na zlomek vteřiny nezastaví. Rovnoměrné otáčení naší planety totiž vyvolá pravidelné proudění vzduchu na moři i nad pevninou, dále i nerovnoměrné zahřívání, což má za následek nejrůznější extrémy větrného proudění. Z dopadající sluneční energie na naši planetu se na kinetickou energii větru přemění pouhá 2 %. Jenže i tyto "pouhá" 2 % v sobě nesou uchovaných 3000 *GW* energie, kterou lze pokrýt $^1/_3$ současné spotřeby světa.[12] Jak lze vypozorovat z běžného života, dokáže vítr v letních měsících svěže vát, ale i udeřit silou vichřice a v nejničivější formě jako orkán. Na určení charakteru větru slouží dvanácti stupňová Beaufordova škála (Tab. 1), pojmenována po siru Francise Beauforda, který pozoroval chování plachetnice při různých větrných podmínkách a přiřadil k nim stupeň účinku síly větru na souši.[13]

Tab. 1: Beaufortova stupnice síly větru dle ČHMU

stupeň	Vítr	rychlost		účinky na souši
		m/s	km/h	
0	Bezvětří	< 0,5	< 1,0	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	Vánek	≈ 1,25	1-5	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	Větřík	≈ 3	6-11	listí stromu šelestí
3	slabý vítr	≈ 5	12-19	listy stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	≈ 7	20-28	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	≈ 9,5	29-39	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	≈ 12	40-49	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný vichr	≈ 14,5	50-61	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý vichr	≈ 17,5	62-74	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný vichr	≈ 21	75-88	vítr strhává komíny, tašky a břidlice ze střech
10	plný vichr	≈ 24,5	89-102	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
11	Vichřice	≈ 29	103-114	působí rozsáhlá pustošení
12-17	Orkán	> 30	> 117	ničivé účinky (odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

Zdroj: VAŠÍČEK , J. Odbor letecké meteorologie ČHMÚ [online]. 7.2.2008 [cit. 2011-08-28]. Beaufortova stupnice síly větru. Dostupné z WWW: <http://old.chmi.cz/meteo/olm/Let_met/beaufort/Beaufortova_stupnice.htm>.

[11] MOTLÍK, Jan, et al. *Obnovitelné zdroje energie a její uplatnění v České republice: Větrná energie a její možnosti v ČR*. Praha: CRUX,s.r.o., 2007. s. 79.

[12] TŮMA, Jan. Větrná energie: Vývoj větrné energetiky do konce roku 2009. *Elektro instalatér : Obnovitelné zdroje energie*. 2010, 3, s. 13.

[13] QUASCHING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha 7 : Grada Publishing, a.s., 2010. s. 168.

1.6 Teorie využití energie větru

Jak jsem již uvedl, přeměna kinetické energie na mechanickou byla známa už dlouhá staletí před Kristem. Teprve v 10. až 13. století větrné mlýny získaly pevnou pozici a začali se dostávat do popředí.[14]

Kinetická energie E_k pohybující se hmoty m je podle empirického vzorce dána

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

což platí i pro pohybující se vzduch.

Pokud bude proudící vzduch o objemu V a hustotě ρ, pak je jeho hmotnost rovna

$$m = \rho V$$

a jeho výsledná kinetická energie je

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

Uvažujeme-li plochu F, která je kolmá k proudu vzduchu, proudí jí každou sekundu vzduchu objem vzduchu

$$V = Fv$$

a výkon vzdušného proudu ve wattech bude

$$P = \frac{1}{2} \rho F v^3.$$

Tedy výkon vzdušného proudu bude z velké části záviset na rychlosti větru.[15]

Výkon větru bude při menších rychlostech velmi malý a bude mít značný výkon až při vyšších rychlostech, jak je znázorněno v diagramu na závislosti výkonu větru protékající plochou o 1 m^2 na jeho rychlosti pro teplotu vzduchu 25 ^0C a hustotě vzduchu 1,18 Kg/m^3 (Graf 1).

Protože se výkon i energie mění s časem, pak je jeho větrná energie E_v vyjádřena takto

$$E_V = \int_{t_0}^{t} p \, dt .$$

A pokud se v daném časovém intervalu nemění teplota ani hustota vzduchu, pak

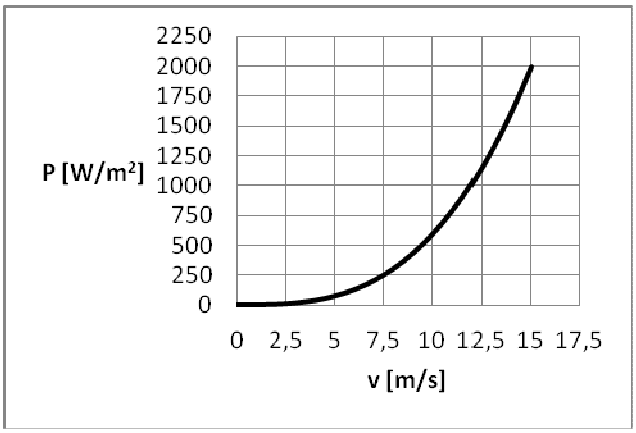
$$E_V = \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^{t} v^3 dt .$$ [16]

---

[14] *Elektro odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2005 [cit. 2011-08-28]. Z historie větrných elektráren. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26559>.

[15] BALÁK, Rudolf; PROKEŠ, Karel. *Nové zdroje energie*. Praha: SNTL, 1984. s. 88.

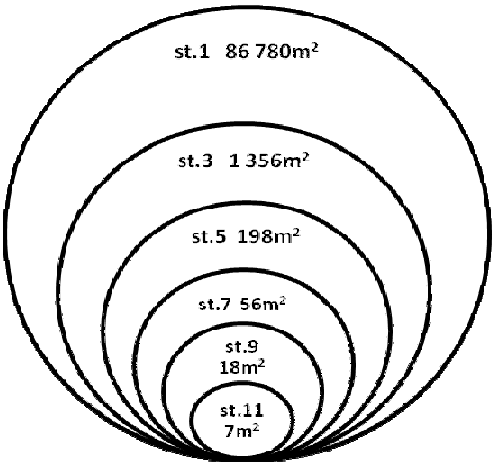
Graf 1: Diagram závislosti výkonu větru protékající plochou 1 m^2



Zdroj: Vlastní zpracování

Plocha potřebná na získání výkonu vzdušného proudu 100 *kW* v závislosti na rychlostech větru odpovídající Beaufortově stupnici pro hustotu vzduchu ρ= 1,18 *Kg/m*^{3} je znázorněna na obrázku 4.

Obr. 4: Grafické znázornění plochy



Tab. 2: Vypočtené hodnoty pro jednotlivé stupně Beaufortovy stupnice

stupeň	rychlost [m/s]	plocha [m^2]
1	1,25	86780
3	5	1356
5	9,5	198
7	14,5	56
9	21	18
11	29	7

Zdroj: Vlastní zpracování dle QUASCHING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2010. s 169.

Při výpočtu plochy se vycházelo ze známého vzorce

$$P = \frac{1}{2}\rho S v^3 \Rightarrow S = \frac{P}{0{,}5 \cdot \rho \cdot v^3} \left[m^2 \right].$$

[16] RYCHETNÍK, Václav; JANOUŠEK, Josef; PAVELKA, Jiří. *Větrné motory a elektrárny*. Praha 6 : Vydavatelství ČVUT, 1997. s. 28-29.

1.7 Výkon větrného motoru a výkonový součinitel c_p

V předchozích odstavcích jsem popsal teoretický výkon větru, který svou kinetickou energií působí na plochu. Při návrhu výkonu větrné elektrárny musíme předem určit, jaký typ a výkon větrného rotoru máme navrhnout, aby to mělo žádaný ekonomický užitek. Zavádí se tzv. bezrozměrný výkonový součinitel c_p. Tento součinitel je závislý na typu použitého rotoru. Pro mnohalopatkový rotor je c_p=0,35, Savonius c_p=0,23 a třílistý rotor c_p=0,18 – 0,39.
Výkon větrného rotoru ve wattech po implementaci c_p do vzorce má tento tvar

$$P = \frac{1}{2} c_p F \rho v^3 .^{17}$$

Jelikož má součinitel výkonu svůj fyzikální limit a nenastane nikdy případ, že by se c_p=1. Toto omezení vysvětluje Betzova teoretická účinnost. Při níž systémy nejsou schopny zachytit a využít celé proudění, protože by to znamenalo zabrzdit větrné proudění natolik, aby se úplně zastavilo, a to není realizovatelné. Podle Betze jde maximální výkon získat za předpokladu, že se původní rychlost proudění sníží na 1/3 a lze tedy získat 59,3 % využitelného výkonu.[18]

1.8 Možnosti využití v České republice

Možností na využití větrné energie v České republice je omezeno, protože naše krajina je z topografického hlediska[19] hodně rozmanitá oblast (Obr. 5). Na většině území převládají nížinaté oblasti. Pohoří, na kterých jsou příznivé povětrnostní podmínky, najdeme převážně po obvodu státních hranic, jak vidíme na obrázku 6.[20] V minulosti se využívala síla větru k pohánění větrných mlynárenských mlýnů. Poté se začal vítr využívat k pohonům vodních čerpadel a v dnešní době je nejrozšířenější především pro výrobu elektrické energie ve větrných elektrárnách.[21]

---

[17] RYCHETNÍK, Václav. *Větrné motory*. Ostrava: Ediční středisko VŠB, 1999. s. 16.

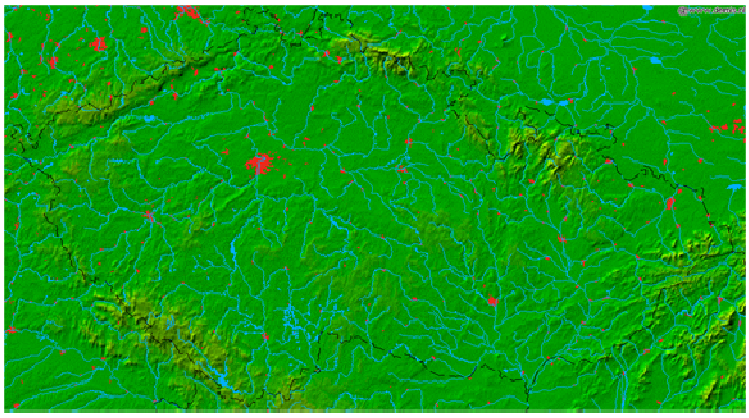
[18] QUASCHING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2010. s. 171.

[19] Topografie je vědní obor zabývající se o tvarech zemského povrchu, který mapuje, popisuje, zobrazuje a měří jeho terén. Více in: *ABZ slovník cizích slov* [online].[cit. 2011-08-20]. Topografie. Dostupné z WWW: <http://slovnik-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/topografie>.

[20] HANSLIAN, David; HOŠEK, Jiří; ŠTEKL, Josef. *Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR*. Praha : Akademie věd ČR,2008. s. 10.

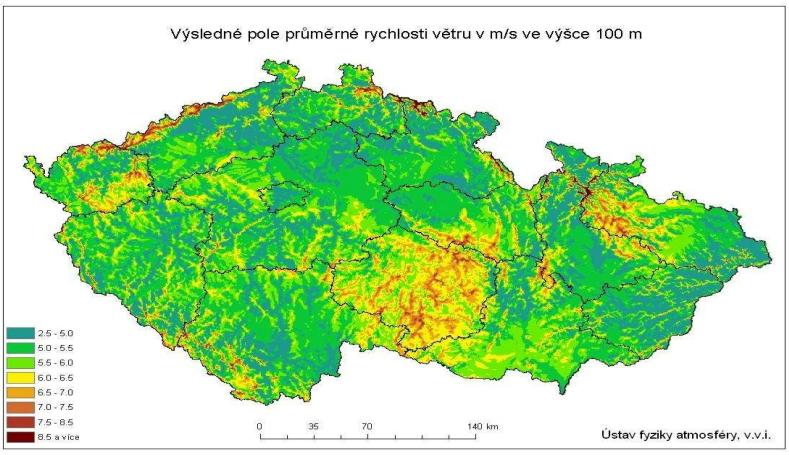
[21] ŠTEKL, Josef. *Obnovitelné zdroje energie a jejich uplatnění v ČR*. Praha: CRUX, s. r. o., 2007. Větrná energie a její možnosti v ČR, s. 85.

Obr.5: Topografie České republiky



Zdroj: Plzeňský kraj [online]. 2011 [cit. 2011-08-28]. Mapy. Dostupné z WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6f/La2-demis-czech.png>.

Obr. 6: Průměrná rychlost větru ve výšce 100 m.n.m.



Zdroj: CETKOVSKÝ, Stanislav, et al. Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, enviromentálních aspektů a socioekonomických souvislostí. Brno : Studia Geographica 101, 2010. s 53.

I přesto, že jsou místa pro výstavbu větrných elektráren omezené, ať už z hlediska chráněných krajinných oblastí, národních parků, ochrany přírodních a kulturních památek nebo nedostatečného vanutí větru, stále je na našem území hodně míst pro využití potenciálu větru. Podle odhadů Ústavu fyziky atmosféry AV zle realizovat až 1 200 staveb VtE o součtu celkového výkonu 2 500 *MW*. Toto číslo představuje 7 % spotřebované elektřiny v České republice.[22] Na tomto místě bych ještě rád připomenul, že podle Směrnice evropského parlamentu a rady o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů z roku 2009 se Česká

[22] Tým autorů ČSVE. *Vítr-energie budoucnosti: Větrné podmínky v České republice*. Praha: ČSVE, 2011. s. 15-16.

republika zavázala, že do roku 2020 bude činit podíl spotřebované energie z obnovitelných zdrojů 13 %.[23]

1.9 Větrná energie v České republice v číslech a tabulkách

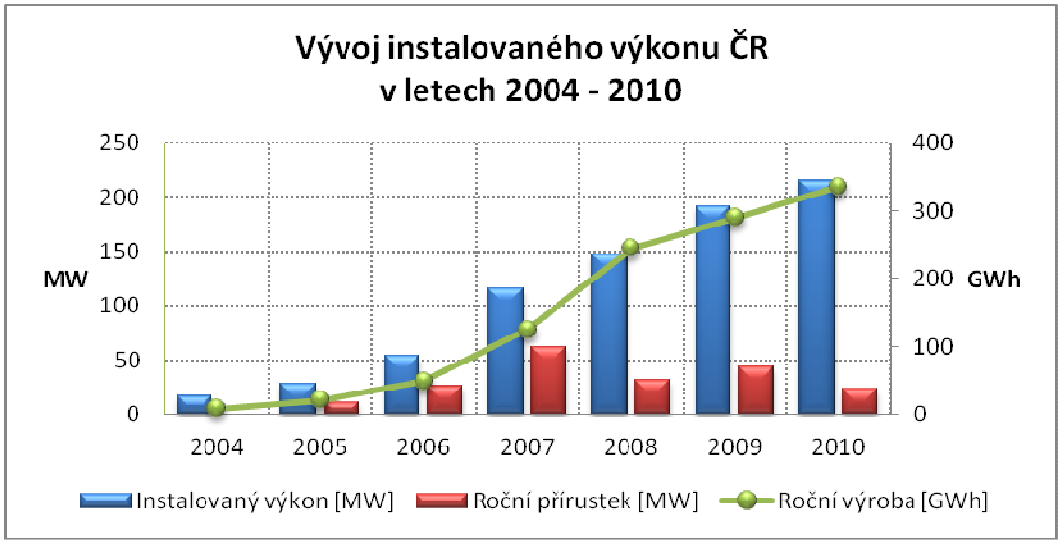
Když se podrobněji podívám na vývoj instalovaného výkonu dle Tab. 3, tak lze jednoznačně vidět, že zlom pro výstavby nových VtE byl rok 2006-2007, kdy čistý roční přírůstek činil 62 *MW*. Celková výroba v roce 2010 z celkového instalovaného výkonu 215 *MW* činila 336 *GWh*. Pro názornější ilustraci zpracovaných dat, jsem vytvořil grafickou podobu, jak lze vidět v Grafu 2.

Tab. 3: Vývoj inst. výkonu v číslech

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Výkon [MW]	17	28	54	116	148	192	215
Roční přírustek [MW]		11	26	62	32	44	23
Výroba [GWh]	8,3	21,3	49,4	125	245	290	336

Zdroj: Vlastní zpracování dle Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2011 [cit. 2011-09-01]. Aktuální instalace. Dostupné z WWW: <http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>

Graf 2: Vývoj instalovaného výkonu ČR v letech 2004 - 2010



Zdroj: Vlastní zpracování

[23] EU. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/E. In *Úřední věstník Evropské unie*. 2009, s. 46.

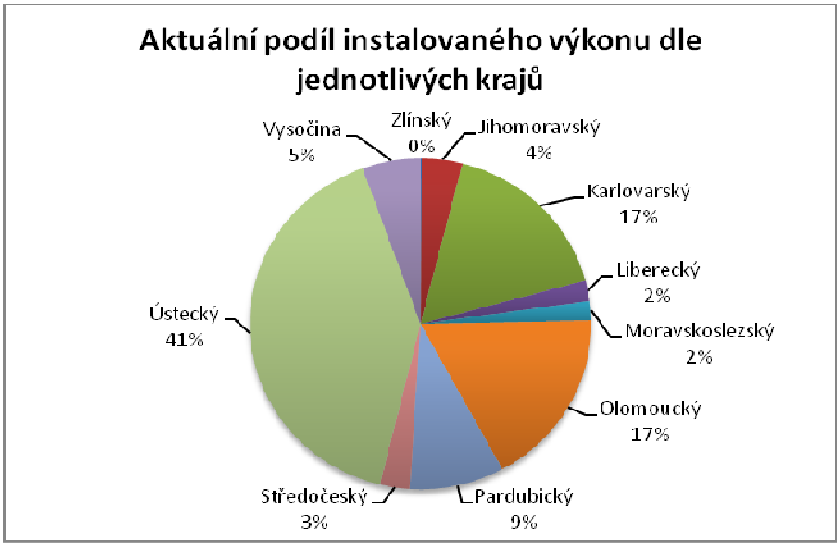
Když se zaměřím podrobněji na instalovaný výkon v jednotlivých krajích, jak lze vidět v Tab. 4, jednoznačně největší instalovaný výkon má Ústecký kraj, a to 87 *MW*, což představuje 41 % z celkového instalovaného výkonu v ČR, jak lze vidět v Grafu 3. Jak jsem uvedl výše, je to dáno tím, že Ústecký kraj je z topografického hlediska tvořen převážně hornatým povrchem, kde je vysoký výskyt větrného potenciálu pro výrobu elektrické energie z větru. Dominujícími horami pro výrobu elektrické energie jsou Krušné hory, kde podle Obr. 7 má vítr ve výšce 100 *m* nad povrchem průměrnou rychlost 7,5 – 8,5 *m/s*. Dalšími kraji, které mají vyšší procentuální zastoupení v instalovaném výkonu, jsou Karlovarský (17 %) a Olomoucký (17 %).

Tab. 4: Rozložení instalovaného výkonu dle krajů aktualizace 10.1.2011

Kraj	Výkon [MW]
Zlínský	0,23
Jihomoravský	8,25
Karlovarský	36
Liberecký	4,3
Moravskoslezský	4
Olomoucký	37,2
Pardubický	19,2
Středočeský	6
Ústecký	87
Vysočina	11,8

Zdroj: Vlastní zpracování dle Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2011 [cit. 2011-09-01]. Aktuální instalace. Dostupné z WWW: <http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>

Graf 3: Aktuální podíl instalovaného výkonu dle jednotlivých krajů



Zdroj: Vlastní zpracování

Ze zpracovaných dat lze shrnout, že Česká republika sice nepředstavuje typického prostředí, u kterého by dominovala výroba elektrické energie z větrných zdrojů, jako tomu je v zemích, které mají přístup k moři a je tam větší výskyt foukání větru při vyšší rychlosti. Přesto lze identifikovat snahu o využití větrného potenciálu z lokalit, které umožňují vyrábět efektivně elektrickou energii z větru, naplno využít a přispívat tím nejen k ochraně klimatu a životního prostředí, ale zároveň vytvářet energetickou nezávislost na tuhých palivech.

2 Vyhodnocení větrného potenciálu

2.1 Vyhodnocovací metody pro větrný potenciál

Pro stavbu větrné elektrárny je rozhodujícím faktorem z klimatického hlediska, dlouhodobé větrné poměry ve výšce osy rotoru VtE v plánovaném místě výstavby. Ty jsou dány četnostním rozdělením větru (Obr.7), které bývá nahrazováno teoretickým Weibullovým rozdělením. Rychlost větru se zrychluje s rostoucí výškou nad zemským povrchem, tedy u povrchu bude rychlost větru nižší a nestálá a v řádu od 40 až 100 *m* bude rychlost větru vyšší a nebude mít tendenci k nestálosti proudění.[24] K účinnému využívání větrné energie je tedy vhodné dosáhnout alespoň výšky od 40 do 100 *m*. V tomto rozmezí je závislost rychlost větru ovlivněna nerovností terénu. Nerovnost se bude projevovat vznikem turbulentního proudění, kdežto hladký povrch nebude klást odpor proudícímu větru a jeho rychlost bude vyšší.[25]

Dále se budu zabývat měřením rychlosti větru, které nám určuje větrný potenciál daného území.

K tomuto existují měřící metody a přístroje, které mají tyto nevýhody

- jsou finančně nákladné;
- časově náročné (cca 1 rok a více);
- mají vysoké nároky na odolnost a přesnost měřicího přístroje.

Provádí se tzv. modelování větru, které má ty výhody, že je

- operativnější na rozdíl od dlouhodobého měření;
- umožňuje výpočet v místě, kde to není možné.

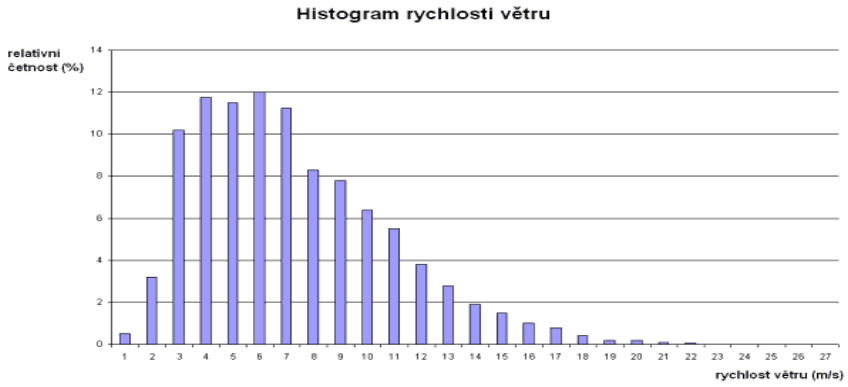
Dále musíme počítat s tím, že do měření bude zanesena chyba, neboť počítačový model je limitován jednak výpočetní kapacitou a složitostí reálných podmínek.[26]

[24] CETKOVSKÝ, Stanislav, et al. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Studia Geographica 101, 2010. s. 39.

[25] BROŽ, Karel; ŠOUREK, Bořivoj. *Alternativní zdroje energie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. s. 144.

[26] HANSLIAN David. *Klimatický potenciál větrné energetiky*. Veronica 2007, sborník příspěvků z odborného semináře Větrné elektrárny v Jihomoravském kraji, s. 23-24.

Obr. 7: Histogram četnostního rozdělení rychlosti větru



Zdroj: Problematika připojování větrných elektráren do distribuční sítě. Tzbinfo [online]. 2007 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0042/004279o3.gif

V další části této kapitoly se budu zabývat jednotlivými vyhodnocovacími metodami pro posouzení charakteru větru, jako jsou:

- **Měření směru větru**

Toto se obvykle provádí směrovkou, která bývá ve spojení s miskovým anemometrem (Obr. 8). V podstatě jde o svislou desku otáčející se kolem svislé osy v dané vzdálenosti od těžiště její plochy. Pro orientační měření zle použít i větrný pytel (Obr. 9), který je k vidění u dálnic a letišť. Směr se udává v desítkách stupňů azimutu. Například východní směr se značí E 09, jižní S 18, západní W 27 a severní N 36. Pro bezvětří je definovaný údaj 00. Celkově lze uvést 36 směrů větru.[27]

Obr. 8: Kombinace miskového anemometru se směrovkou

Zdroj: C. T. M. Praha [online]. 2011 [cit. 2011-10-18]. Rychlost a směr větru. Dostupné z WWW: <http://ctmpraha.cz/content/image/meteorologie/w1_w1t.jpg>.

[27] RYCHETNÍK, Václav; JANOUŠEK, Josef; PAVELKA, Jiří. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. s. 13.

Obr. 9: Větrný pytel

Zdroj: Wolkenstürmer [online]. 2011 [cit. 2011-10-18]. Větrný pytel - Westwind. Dostupné z WWW: <http://www.wolkensturmer.cz/product_images/23/2289/vetrny-pytel-westwind.jpg?1311848829>.

- **Miskový anemometr**

Je z nejčastěji používaných zařízení pro měření rychlosti větru, díky své malé pořizovací ceně oproti jiným zařízením, jako je SODAR nebo LIDAR. Obvykle je to trojramenný rotor s půlovými miskami, který se otáčí na svislém hřídeli. V dolní části bývá s hřídelem spojen permanentní magnet jako rotor dynama. Vygenerované napětí záleží na rychlosti větru a měří se galvanometrem a údaje se převádí na rychlost větru, která se zapisuje v daných intervalech. Jiné anemometry počítají otáčky kříže s miskami a tento údaj je znova převeden na napětí a zaznamenáván. Nevýhodou je, že vlivem setrvačnosti rotujících částí přístroj reaguje s určitým zpožděním na náhlé změny rychlosti. Při dlouhodobé registraci jím bude udávaná průměrná hodnota o něco vyšší, než měřená jiným způsobem a skutečná.[28]

- **Model VAS (větrný atlas)**

Tato metoda je založena na trojrozměrné interpolaci. V tomto modelu musí být zajištěno dostatečné množství vstupních měřících meteorologických stanic a reprezentativnost naměřených dat v širším okolí stanice z hlediska drsnosti povrchu, orografie a dalších vlivů. Postup interpolace do skalární veličiny probíhá tak, že je pro každý bod se vstupními daty vypočten vertikální gradient proměnné. Mezi každou dvojici měření s vertikálním převýšením větším než prahová hodnota je určen poměr *du/dz*, kde *du* je rozdíl počítané proměnné obou bodů a *dz* je jejich převýšení. Pro měření rychlosti větru bylo zavedeno dodatkové kritérium, které vybírá gradienty větší než nula. Z gradientů větších než nula byl vypočítán vážený průměr inverzní vzdálenosti mezi odpovídající dvojicí bodů, které zaručí, aby bližší stanice

[28] RYCHETNÍK, Václav; JANOUŠEK, Josef; PAVELKA, Jiří. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. s. 13.

měli vyšší váhu pro výpočet gradientů. Dalším krokem je dvourozměrná interpolace gradientů. Na základě digitálního modelu terénu je vypočtena výsledná hodnota proměnné v daném bodě za pomocí bodů modelové sítě z interpolovaného gradientu a hodnot na referenční hladině. Výstupními daty jsou pole vypočtených hodnot na základě orografie, pole vertikálních gradientů proměnné a hodnot na referenční hladině.[29]

- **Model WAsP (lineární model)**

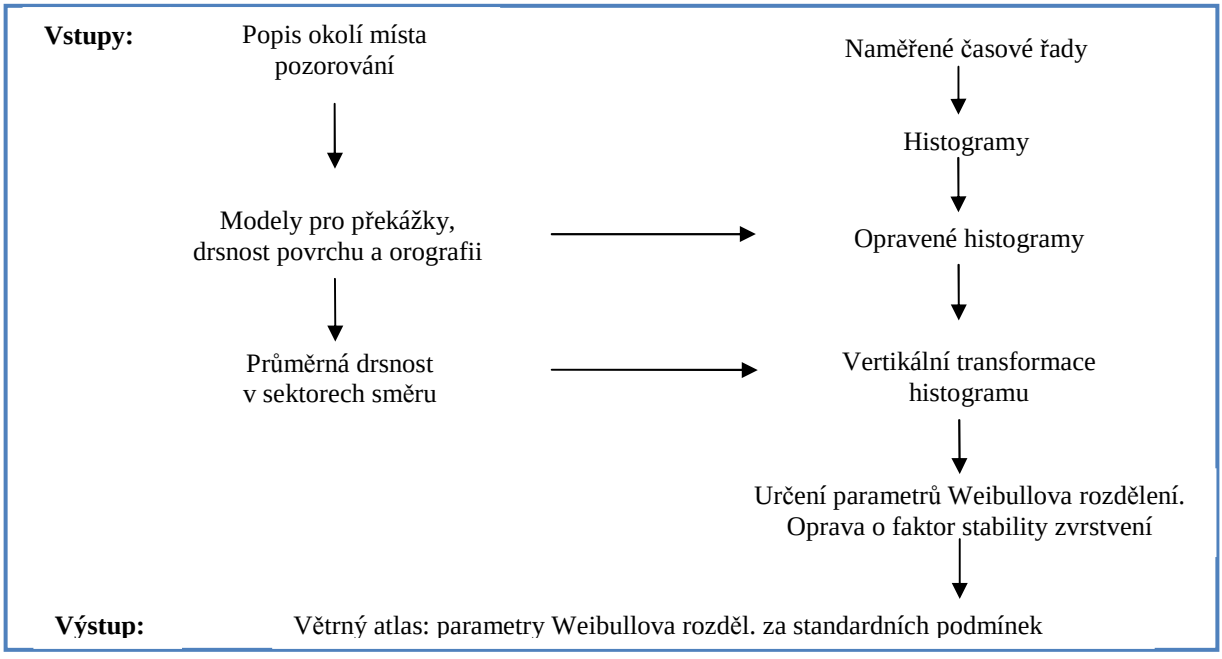
Tento model se využívá pro proudění v přízemní vrstvě atmosféry složených z dílčích modelů popisujících různé účinky zemského povrchu na větrné charakteristiky.

Při určení větrného potenciálu daného místa lze postupovat v následujících krocích:

a) výpočet regionálních klimatologických charakteristik,
b) aplikace regionálních klimatických charakteristik,
c) výpočet roční produkce energie v daném místě.

První případ (Obr. 10) zpracovává naměřená data do histogramů, u nichž jsou jednotlivými modely pro drsnost, orografii a přepážky přepočteny na mezní hodnoty. Nejdříve se provede vertikální posunutí opravených histogramů do standardních hladin (10, 20, 50, 100 a 200 *m*). Potom jsou z nich určovány parametry Weibullova rozdělení.

Obr. 10: Výpočet regionálních klimatických charakteristik

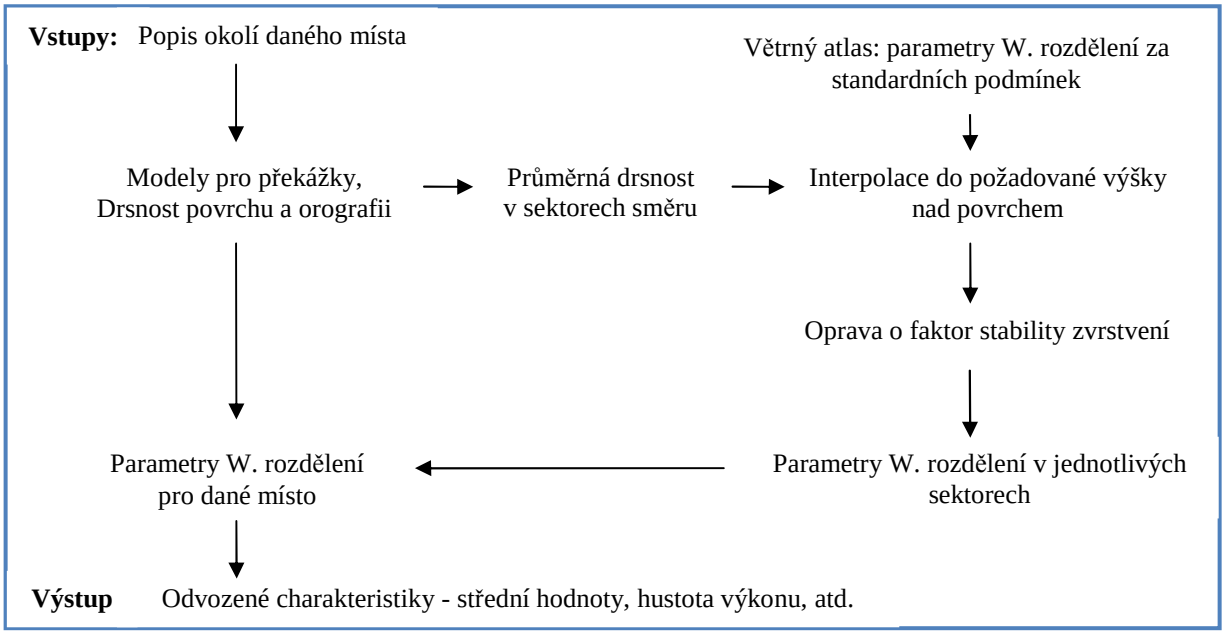


[29] HANSLIAN, David, et al. *Závěrečná zpráva projektu VaV/320/08/03 : Výzkum vhodnosti lokalit v ČR z hlediska zásob větrné energie a zpracování metodiky pro posuzovací a schvalovací řízení při zavádění větrných elektráren*. Praha: Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2004. s. 5-6.

Zdroj: HANSLIAN, David, et al. Závěrečná zpráva projektu VaV/320/08/03 : Výzkum vhodnosti lokalit v ČR z hlediska zásob větrné energie a zpracování metodiky pro posuzovací a schvalovací řízení při zavádění větrných elektráren. Praha : Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2004. 6 s.

Druhý případ (Obr. 11) je rozdílný v tom, že pracuje přímo s parametry Weibullova rozdělení.[30]

Obr. 11: Aplikace regionálních klimatických charakteristik



Zdroj: HANSLIAN, David, et al. Závěrečná zpráva projektu VaV/320/08/03 : Výzkum vhodnosti lokalit v ČR z hlediska zásob větrné energie a zpracování metodiky pro posuzovací a schvalovací řízení při zavádění větrných elektráren. Praha : Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2004. 7 s.

- **SODAR**

SODAR (Sonic Detection And Ranging) metoda je založena na měření vertikální struktury a profilu větru spodní vrstvy atmosféry. Pracuje na stejném principu jako sonary, které jsou určeny pro detekování předmětu pomocí odražených paprsků pod mořskou hladinou.
U SODARU je médiem vzduch. Zařízení (Obr. 12) vyšle akustický signál, který se šíří médiem a sleduje se odražený signál za dobu času.

[30] HANSLIAN, David, et al. *Závěrečná zpráva projektu VaV/320/08/03: Výzkum vhodnosti lokalit v ČR z hlediska zásob větrné energie a zpracování metodiky pro posuzovací a schvalovací řízení při zavádění větrných elektráren*. Praha: Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2004. s. 6-7.

Posunem odraženého signálu se zjišťuje rychlost, směr a turbulentní charakteristika atmosféry (Obr. 13).[31]

Obr. 12: SODAR systém AQ500

Zdroj: *Wikipedia [online]. 2011 [cit. 2011-10-12]. SODAR. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/SODAR>.*

Obr. 13: Princip činnosti

Zdroj: ASG at TRC [online]. 2007 [cit. 2011-10-12]. SODAR/RASS System: Available for Lease. Dostupné z WWW: <http://www.src.com/sodarrass/sodar_rass.html>.

- **LIDAR**

LIDAR, nebo-li Light Detection And Ranging, je metoda, která je založena na vyslání laserového paprsku směrem k objektu, který chceme mapovat. V našem případě jde o 3D model (Obr. 14) znázorňující povětrnostní podmínky dané lokality, kterou sledujeme.[32] Jako editor se používají pevnolátkové rubínové lasery. Na detekci odraženého světla od předmětu

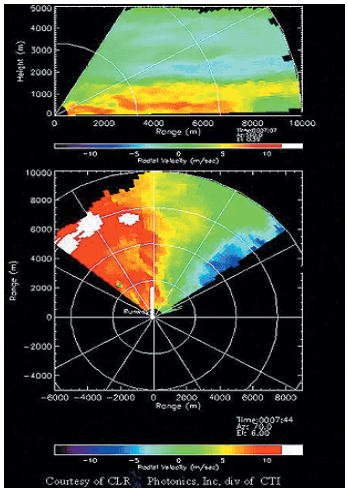
[31] *Atmospheric Research & Technology, LLC* [online]. 2011-02-08 [cit. 2011-10-11]. About SODAR. Dostupné z WWW: <http://www.sodar.com/about_sodar.htm>.

[32] KELLEY, N.D.; JONKMAN, B.J.; SCOTT, G.N. *Comparing Pulsed Doppler LIDAR with SODAR and Direct Measurements for Wind Assessmen*. Colorado: National Technical Information Service, 2007. s. 4.

se používají světlo citlivé diody spektrálně synchronizované na stejnou vlnovou délku, jakou má vyslaný paprsek. Zároveň musí být detektor velmi citlivý, protože svazek paprsků, který byl vyslán od generátoru laserových paprsků směrem k objektu, klesá energie světla *E* druhou mocninou vzdálenosti *l*. Φ je světelný tok.[33]

$$E = \frac{\Phi}{l^2}$$

Obr. 14: 3D model povětrnostní situace



Zdroj: Laser Focus World *[online]. 2002 [cit. 2011-10-17]. Laser gyros, lidars guide air and space craft. Dostupné z WWW: <http://images.pennnet.com/articles/lfw/cap/cap_89934.gif>.*

2.2 Umístění větrných elektráren v lokalitě Neklid

VtE se nachází na hřebenech Krušných hor na hranicích mezi Českou republikou a Německem, v blízkosti obce Boží Dar. VtE jsou postaveny v nadmořské výšce cca 1 150 *m* nad mořem v lokalitě nazývané Neklid (Obr. 15). V roce 2006 byly postaveny dvě VtE ENERGON E-33 o výkonu 330 *kW* a v roce 2010 byla uvedena do provozu třetí VtE ENERGON E-48 o výkonu 800 *kW*.[34]

[33] KEDER, Josef; ENGST, Pavel. *Vyhodnocení připravenosti České republiky splnit požadavky na kvalitu ovzduší podle směrnice EU a Konvence LRTAP*. Praha: ČHMU ÚOČO, 2000. Provedení testovacích lidarových měření na základě odsouhlasených scénářů a ve vazbě na povětrnostní podmínky, s. 5.

[34] Boží Dar - realizace. *BENOCO* [online]. 2011 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: http://elektrarny.benoco.cz/bozi-dar-realizace

Obr. 15: Mapa umístění VtE

Obr. 16: Fyzické umístění VtE

1 - ENERCON E-33/330 kW

2 - ENERCON E-33/330 kW

3 - ENERCON E-48/ 800 kW

4 - ENERGOVARS EWT 315 kW (není předmětem našeho zájmu)

Zdroj Obr. 15: Mapy.cz. Seznam [online]. 2011 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: http://www.mapy.cz/#q=neklid&t=s&x=12.944676&y=50.403741&z=15&d=stre_94560_0_2

Zdroj Obr. 16: Hodnocení krajinného rázu. Geo Vision [online]. 1997-2012 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: http://www.geovision.cz/reference/hodnoceni-krajinneho-razu.html

2.3 Vyhodnocení větrného potenciálu v číslech a grafech

V této části bych se chtěl věnovat praktickým faktům, které nám konečně ukážou, jestli byla daná lokalita zvolena vhodně a ukázala se jako "dostatečně větrná" pro stavbu VtE. Data, podle kterých jsem zpracovával grafy, jsem dostal od investora a obsahovaly jednotlivé rychlosti větru ve výšce osy rotoru na pozicích, kde stojí VtE (Tab. 5). Poté jsem tyto rychlosti zpracoval do grafů. V příloze 1 – 7 jsem zpracoval data za rok 2010 a 2011 v průměrných denních intervalech v jednotlivých měsících v roce na jednotlivých VtE, aby zde byla podrobně interpretována data v období dvou let. V grafu 4 jsem zpracoval průměrné měsíční rychlosti větru v *m/s* na VtE ENERCON E-33 v období 2008 až 2011. Z grafu 4 lze celkově shrnout, že v letních měsících, kdy fouká vítr s nejmenší intenzitou, se nedostala

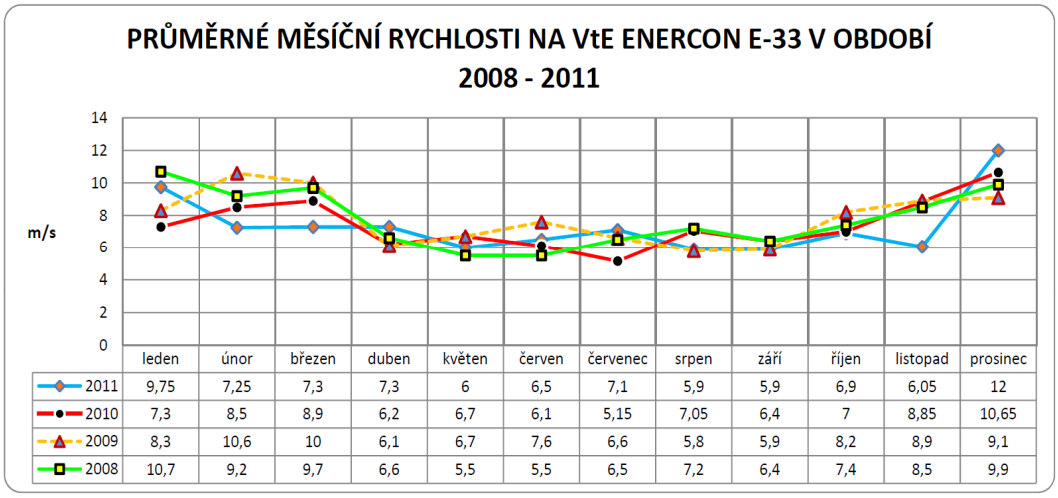
průměrná měsíční rychlost pod 5 *m/s*. Naopak v zimních měsících, kdy fouká vítr s největší intenzitou, se držela rychlost na poměrně vysoké úrovni. Pro příklad uvedu prosinec 2008, kdy se objevila nejvyšší průměrná měsíční rychlost a měla hodnotu 11,7 *m/s*. Poté už se rychlosti pohybovali v rozmezí 8 *m/s* až 10 *m/s*. V grafu 5 je zpracovaná průměrná měsíční rychlost větru na VtE ENERCON E-48 v roce 2010 a 2011. V grafu 6 jsem zpracoval pouze VtE ENERCON E-33 z toho důvodu, že ENERCON E-48 byla uvedena do provozu v 07-2010 a vyhodnocování 1,5 roku by nám nedalo dostatečnou představu o povětrnostních podmínkách.

Tab. 5: Fyzické umístění VtE

VtE	GPS	nadmořská výška *[m]*	výška náboje *[m]*
ENERCON E-33	50°24'13.881"N 12°56'42.385"E	1 143	50
ENERCON E-33	50°24'14.109"N 12°56'49.747"E	1 148	50
ENERCON E-48	50°24'9.774"N 12°56'47.605"E	1 151	75

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od ČHMU

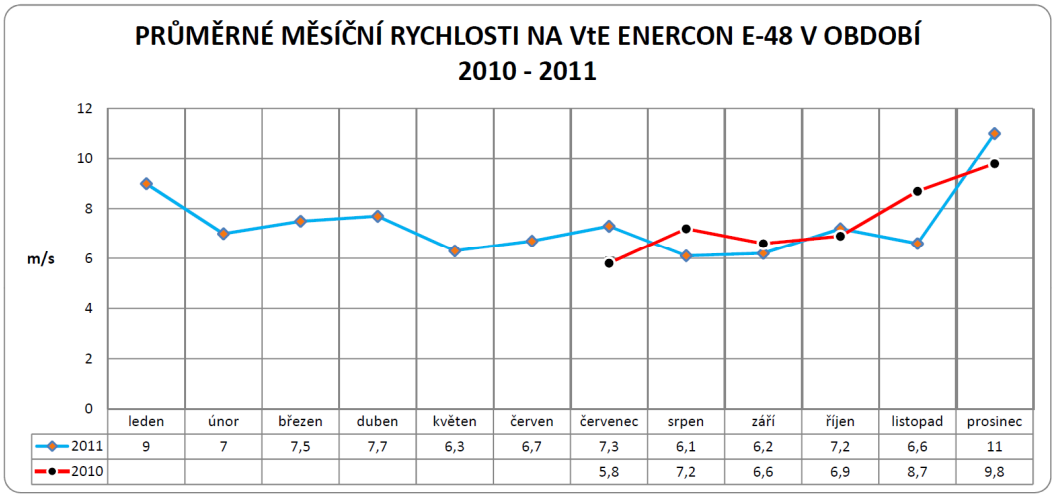
Graf 4: Průměrné měsíční rychlosti na VtE ENERCON E-33 za období 2008 - 2011



	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2011	9,75	7,25	7,3	7,3	6	6,5	7,1	5,9	5,9	6,9	6,05	12
2010	7,3	8,5	8,9	6,2	6,7	6,1	5,15	7,05	6,4	7	8,85	10,65
2009	8,3	10,6	10	6,1	6,7	7,6	6,6	5,8	5,9	8,2	8,9	9,1
2008	10,7	9,2	9,7	6,6	5,5	5,5	6,5	7,2	6,4	7,4	8,5	9,9

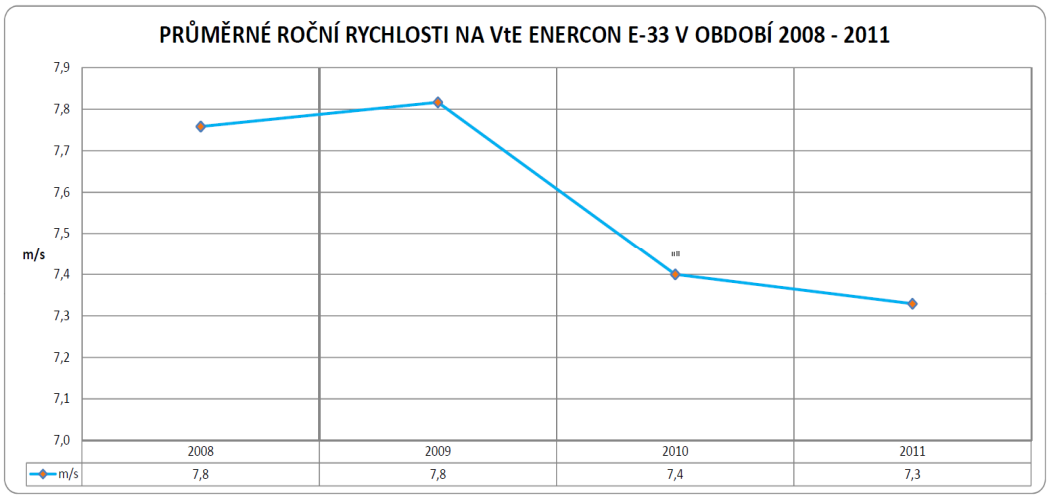
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 5: Průměrné měsíční rychlosti na VtE ENERCON E-48 v období 2010 - 2011



Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

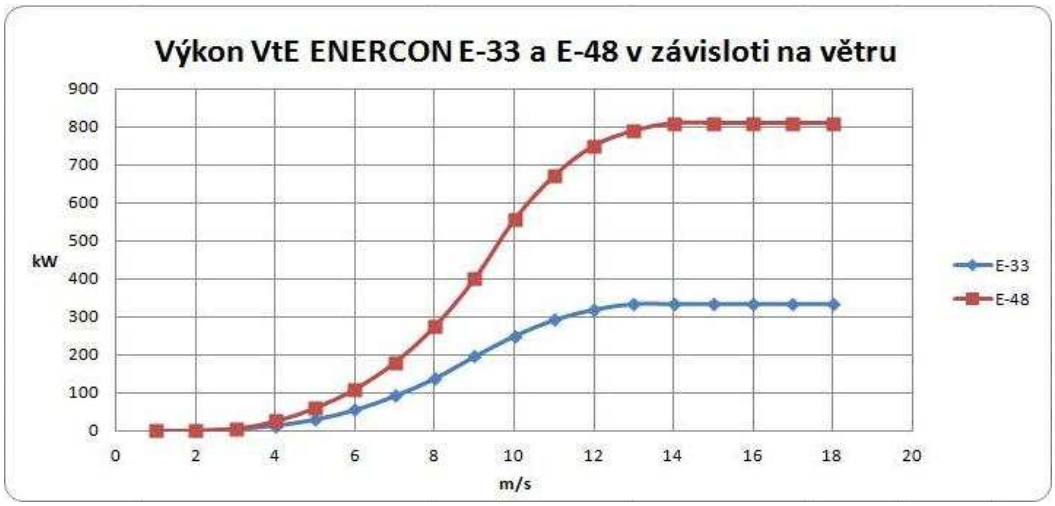
Graf 6: Průměrné roční rychlosti na VtE ENERCON E-33 v období 2008 - 2011



Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Pro lepší názornou ukázku, kolik dokážou VtE při dané rychlosti větru vyrobit energie, jsem vytvořil graf 7, který ukazuje závislost vyrobené elektrické energie na rychlosti větru. Jak lze vyčíst z grafu, tak VtE dávají při průměrných měsíčních rychlostech v zimním období výkon u E-33 od 140 *kW* do 250 *kW* a E-48 od 275 *kW* do 555 *kW*.

Graf 7: Výkon VtE v závislosti na větru

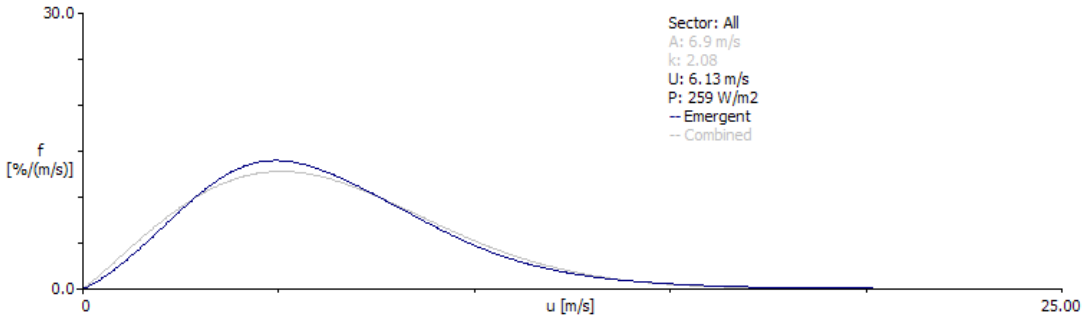


Zdroj: Vlastní zpracování dle ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 2.

2.4 Výpočet předpokládané vyrobené energie dané lokality pomocí histogramu

Pro zpracování výkonového potenciálu na jednotlivých stanovištích VtE, jsem požádal Český hydrometeorologický ústav (dále ČHMU) o poskytnutí povětrnostních dat v měsíčních intervalech za rok 2010 a 2011. ČHMU zpracoval data podle metody WAsP a dodal mi jak průměrné rychlosti, tak histogramy (Graf 8). Osa *x* je průměrná rychlost větru a osa *y* je pravděpodobnost výskytu dané rychlosti na konkrétním místě v dané výšce.

Graf 8: Histogram pro VtE 1 ENERCON E-33, leden 2010



Zdroj: ČHMU

V grafu 9 a 10 jsem zpracoval předpokládanou měsíční výrobu pro rok 2010 a 2011 v *kWh*. Při výpočtu jsem postupoval tak, že jsem osu *x* rozdělil po *1 m/s* a pro každou hodnotu jsem

graficky odečetl na ose *y* hodnotu pravděpodobnosti výskytu. Poté už stačilo z výkonové křivky VtE pro jednotlivé rychlosti větru vypočítat teoreticky vyrobenou elektrickou energii za měsíc. Při výpočtu jsem postupoval tak, že při průměrné rychlosti 5 *m/s* je výkon elektrárny E-33 30 *kW* a pravděpodobnost výskytu této rychlosti větru v měsíci leden 2010 je 14,5 %. Poté jsem výkon VtE vynásobil pravděpodobností výskytu a takto to udělal pro každou průměrnou rychlost větru a jednotlivé hodnoty sečetl, jak je uvedeno jako příklad v tabulce 6. Poté jsem si vypočítal, kolik hodin má měsíc leden a tuto hodnotu vynásobil součtem *f * P*. Vzorec pro vyrobenou elektrickou energii v lednu 2010 je

$$E_{leden} = \frac{8249}{100} \cdot 744 = 61\ 373\ \ kWh\,.$$

Předpokládanou celkovou měsíční výrobu elektrické energie součtem všech tří VtE za rok 2010 a 2011 jsem zpracoval do grafu 11 a 12. V grafu 13 jsem zpracoval celkovou vyrobenou elektrickou energii za rok 2010 a 2011 součtem tří VtE.

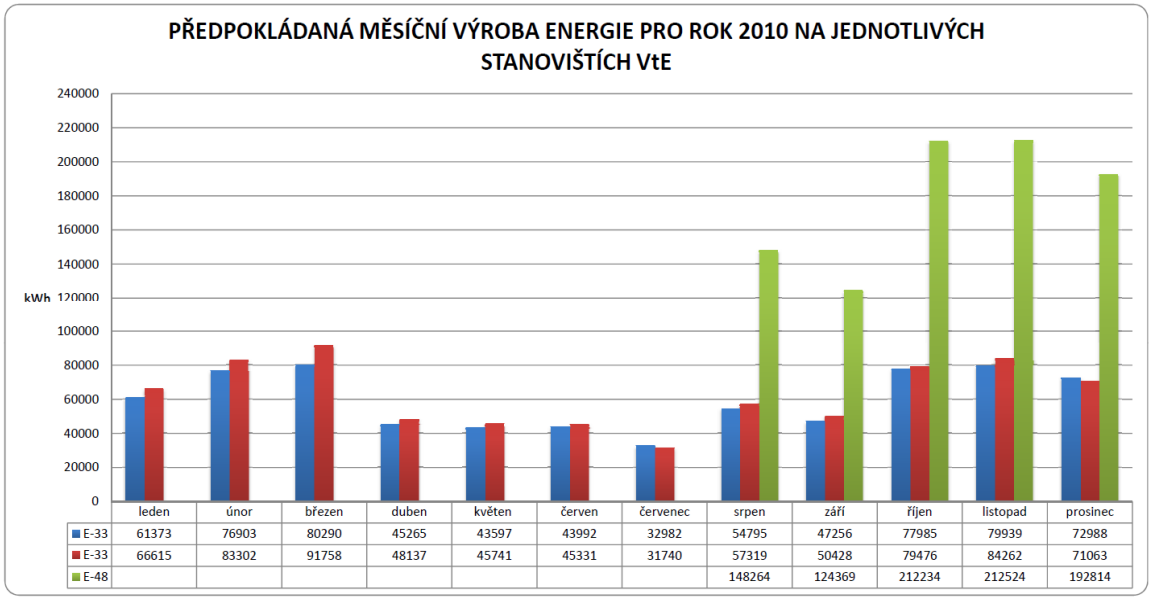
Tab. 6: Zpracovaná tabulka dle histogramu pro leden 2010

ENERCON E-33/330 kW

u *[m/s]*	**f** *[%]*	**P** *[kW]*	**f*P**
1	3	0	0
2	6,5	0	0
3	9,5	5	47,5
4	13,5	13,7	184,95
5	14,5	30	435
6	13,5	55	742,5
7	12	92	1104
8	9,5	138	1311
9	6,5	196	1274
10	4,7	250	1175
11	2,5	292,8	732
12	2	320	640
13	1	335	335
14	0,5	335	167,5
15	0,3	335	100,5
součet			**8249**

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od ČHMU

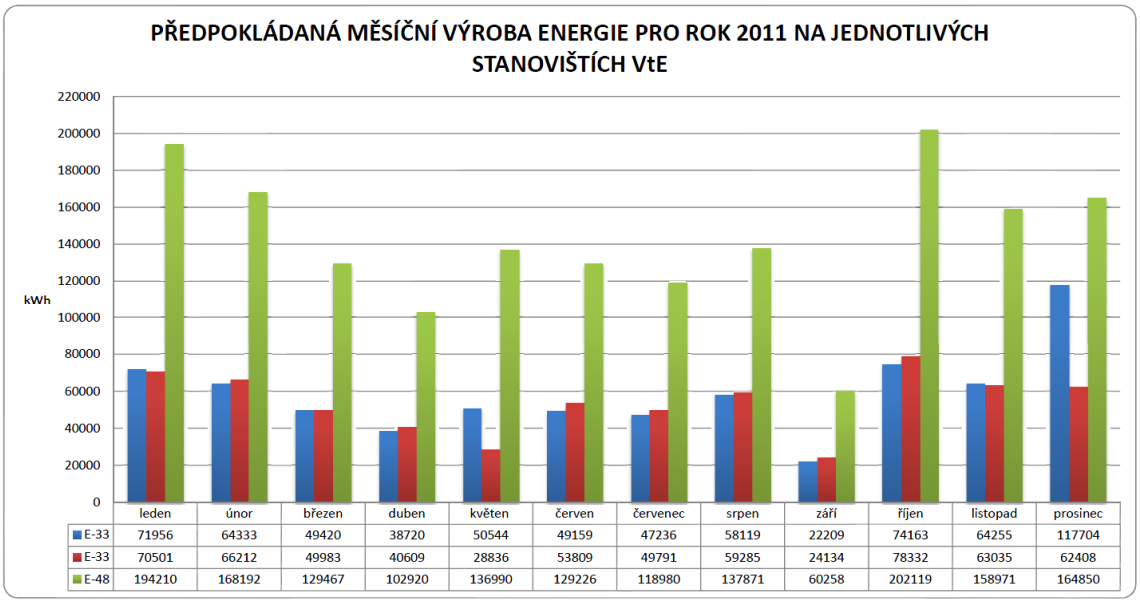
Graf 9: Předpokládaná měsíční výroba energie pro rok 2010



	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
E-33	61373	76903	80290	45265	43597	43992	32982	54795	47256	77985	79939	72988
E-33	66615	83302	91758	48137	45741	45331	31740	57319	50428	79476	84262	71063
E-48								148264	124369	212234	212524	192814

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od ČHMU

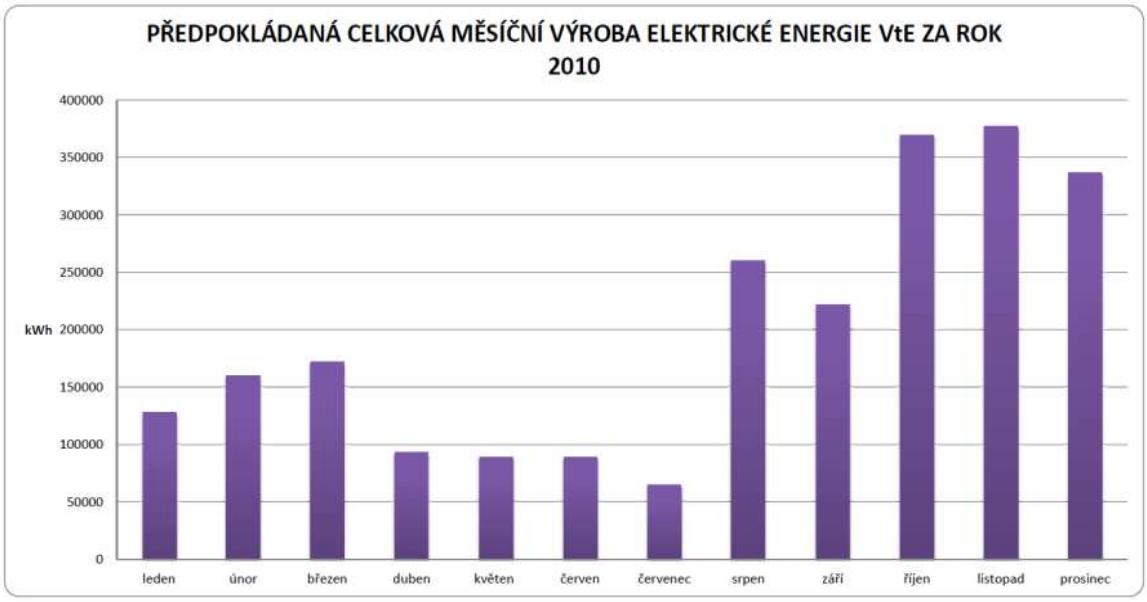
Graf 10: Předpokládaná měsíční výroba energie pro rok 2011



	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
E-33	71956	64333	49420	38720	50544	49159	47236	58119	22209	74163	64255	117704
E-33	70501	66212	49983	40609	28836	53809	49791	59285	24134	78332	63035	62408
E-48	194210	168192	129467	102920	136990	129226	118980	137871	60258	202119	158971	164850

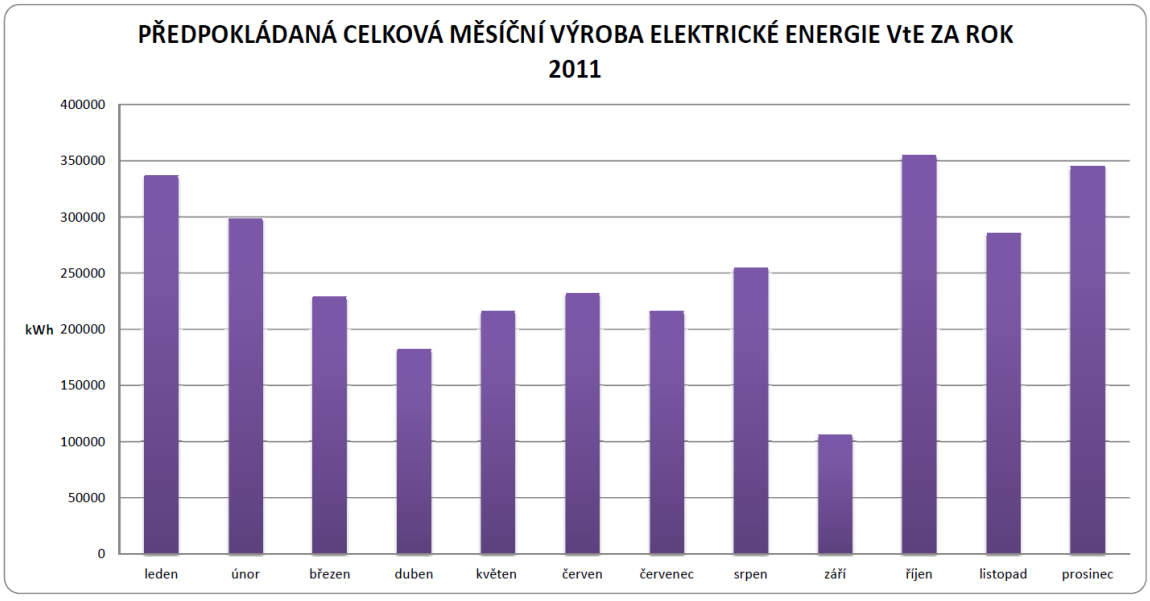
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od ČHMU

Graf 11: Předpokládaná celková měsíční výroba energie pro rok 2010



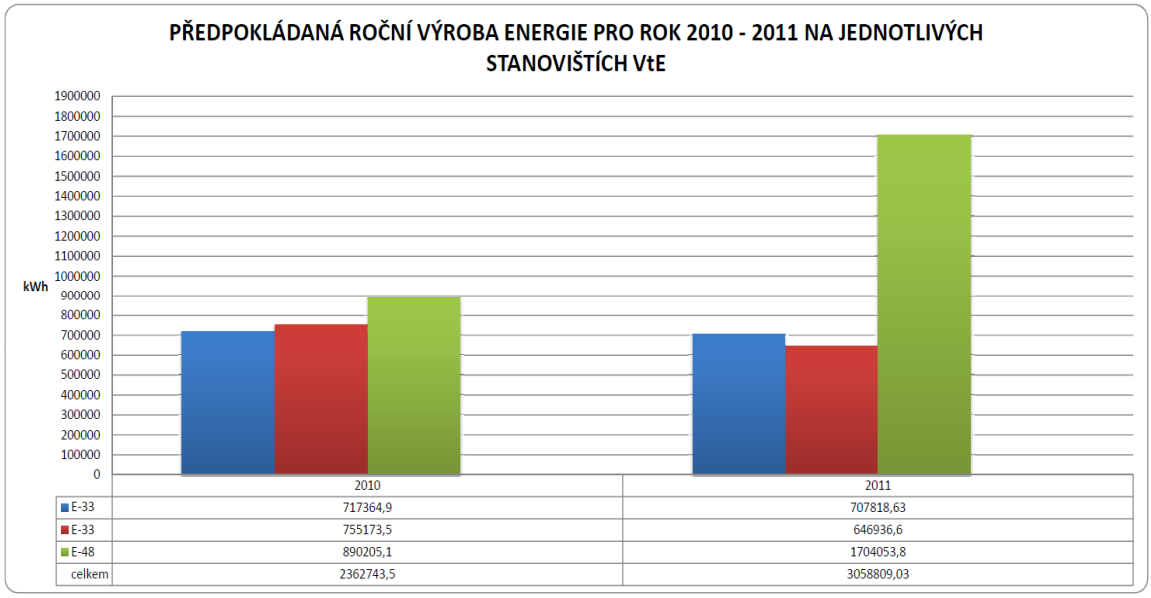
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od ČHMU

Graf 12: Předpokládaná celková měsíční výroba energie pro rok 2011



Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od ČHMU

Graf 13: Předpokládaná roční výroba energie pro rok 2010 - 2011



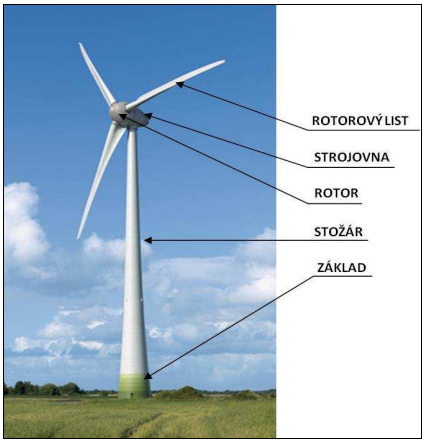
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od ČHMU

3 Technický popis větrných elektráren ENERCON

3.1 Části větrné elektrárny

V této části bych se chtěl zaměřit na technický popis jednotlivých částí větrné elektrárny, které pak tvoří ucelenou stavbu. Větrná elektrárna se jako samostatný celek skládá z několika hlavních částí, ať už jde o rotor s listy, strojovnu, stožár až po samotné základy. Lépe VtE znázorňuje následující obrázek 17.

Obr. 17: Části VtE



Zdroj: Enercon installs 7.5 MW turbine. RENEWABLES INTERNATIONAL [online]. 2011 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: http://www.renewablesinternational.net/enercon-installs-75-mwturbine/150/505/29654/

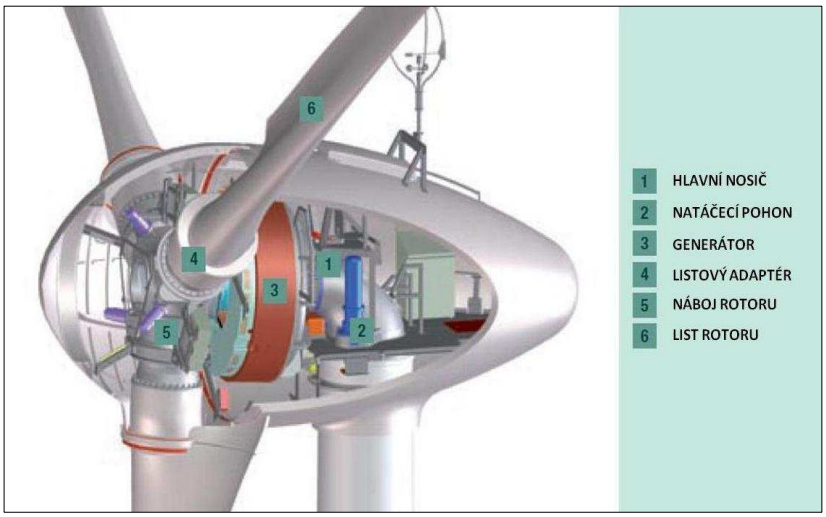
3.2 Technická data ENERCON E-33

Obr. 18: Technická data E-33

Jmenovitý výkon	330 kW	Generátor	prstencový s přímým pohonem
Průměr rotoru	33,4 m	Brzdící systém	3 nezávislé natáčecí systémy s nouzovým napájením
Výška náboje	50 m		
Typ rotoru	protinávětrný s aktivním ovládáním natáčení listů		rotorová brzda
			zámek rotoru
Směr rotace	po směru hodinových ručiček	Natáčecí systém	aktivní přes natáčecí převod
Počet listů	3	Zastavení rotoru při rychlosti větru	28 - 34 m/s
Záběrová plocha rotoru	876 m^2		
Rychlost otáčení	18 - 45 ot/min		
Náboj	pevný statický		

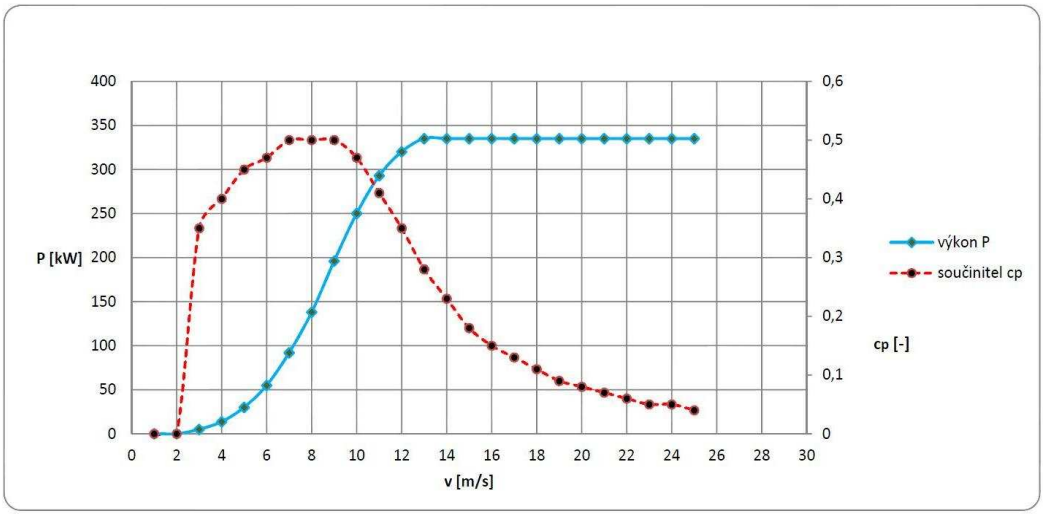
Zdroj:ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters. Německo:ENERCON GmbH, 2010.s.3.

Obr. 19: Strojovna ENERCON E-33



Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 3.

Graf 14: Výkonová křivka a výkonový součinitel c_p ENERCON E-33



Zdroj: Vlastní zpracování dle GMBH. ENERCON Wind energy converters. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 2.

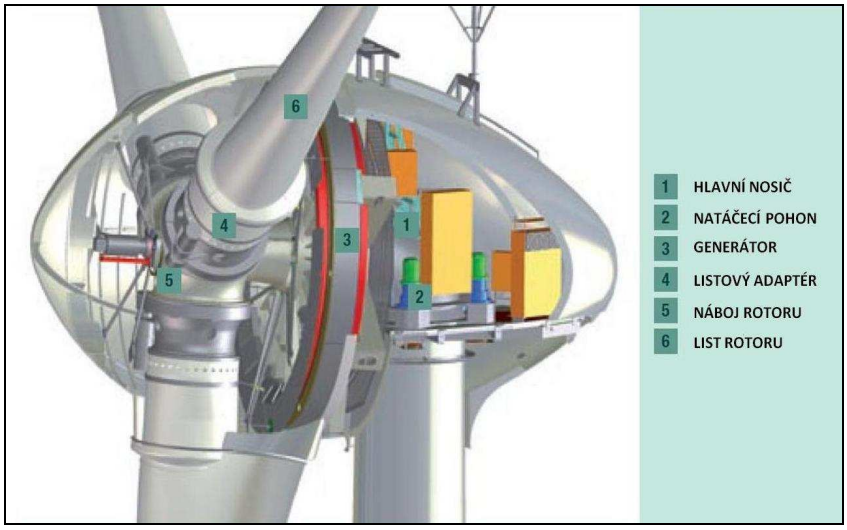
3.3 Technická data ENERCON E-48

Obr. 20: Technická data E-48

Jmenovitý výkon	800 kW	Generátor	prstencový s přímým pohonem
Průměr rotoru	48 m	Brzdící systém	3 nezávislé natáčecí systémy s nouzovým napájením
Výška náboje	75 m		
Typ rotoru	protinávětrný s aktivním ovládáním natáčení listů		rotorová brzda
			zámek rotoru
Směr rotace	po směru hodinových ručiček	Natáčecí systém	aktivní přes natáčecí převod
Počet listů	3	Zastavení rotoru při rychlosti větru	28 - 34 m/s
Záběrová plocha rotoru	1 810 m^2		
Rychlost otáčení	16 - 31 ot/min		
Náboj	pevný statický		

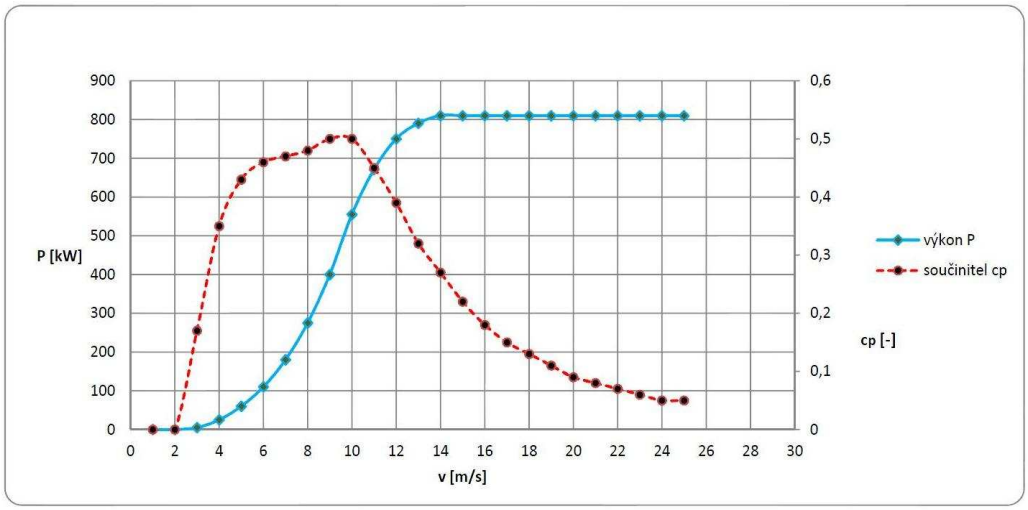
Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 3.

Obr. 21: strojovna ENERCON E-48



Zdroj: ENERCON GMBH. *ENERCON Wind energy converters*. Německo: ENERCON GmbH, 2010.s. 7.

Graf 15: Výkonová křivka a výkonový součinitel c_p ENERCON E-48



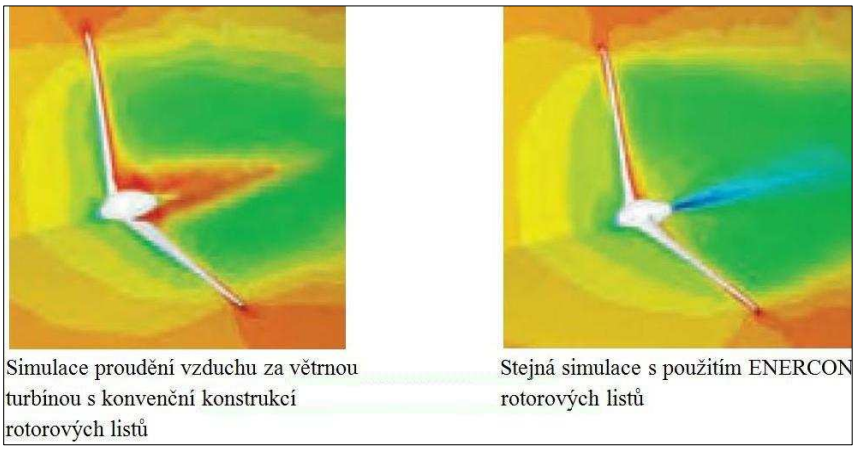
Zdroj: Vlastní zpracování dle GMBH. ENERCON Wind energy converters. Německo: ENERCON GmbH, 2010.s. 6.

3.4 Poháněcí zařízení

- Koncepce rotorového listu

Firma ENERCON vyvinula rotorové listy s důrazem na faktor, aby byly hlukové emise na co nejnižší možné hladině. To se jim podařilo hlavně díky změně geometrie a zároveň tím zařízení minimalizuje turbulence (Obr.22), které vznikaly nerovnoměrným prouděním po celé délce listu. Docílilo se tím i ke zvýšení energetické účinnosti.

Obr. 22: Simulace turbulence s použitím rozdílných typů rotorových listů



Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters Technology and Service. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 8.

- Přímý pohon

Firma ENERCON se zaměřila na jednoduchý princip, kdy instaluje zařízení s méně rotujícími částmi, což má za následek to, že se méně opotřebovávají a jsou tím méně poruchové a nákladné na opravy. Zařízení je bezpřevodové, náboj rotoru je pevně spojen s rotorovou hřídelí (Obr. 23). O stabilitu a pevnost se starají dvě pomalu se pohybující valivá ložiska. Tímto celkem je zajištěna nízká rychlost celého systému, a to napomáhá k delší životnosti zařízení.

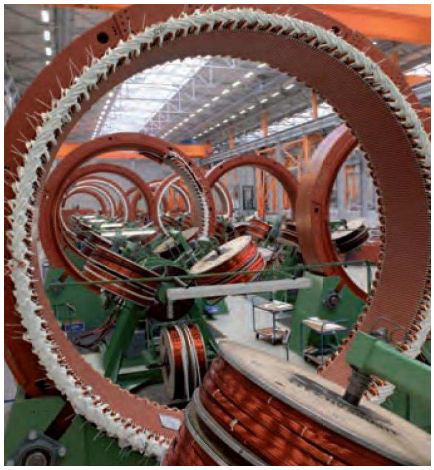
Obr.23: Mechanické spojení zařízení uvnitř gondoly

Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters Technology and Service. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 11.

3.5 Prstencový generátor

Firma ENERCON používá do svých VtE pomaloběžné synchronní motory (Obr. 24). Jak už bylo zmíněno, tak rotor generátoru je přímo spojen s listovým nábojem rotoru. Tím je zjednodušená konstrukce a zařízení je málo poruchové. Jelikož je rychlost otáček VtE proměnná a generátor vyrábí proměnné napětí a frekvenci v závislosti na otáčkách, tak tento problém byl vyřešen tím způsobem, že jsou pro výstup do rozvodné sítě transformovány přes stejnosměrný invertor a střídač, který umožňuje rychlou variabilitu.

Obr.25: Prstencový generátor

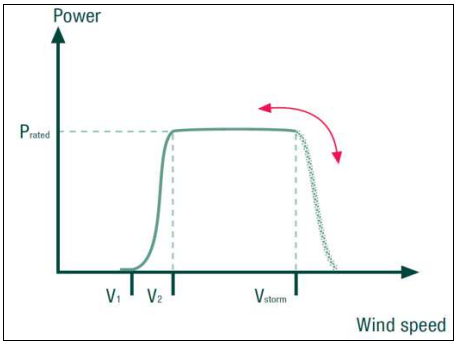


Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters Technology and Service. Německo: ENERCON GmbH, 2010.s. 16.

3.6 ENERCON-storm ovládání

VtE ENERCON mají nový systém ovládání regulace při vysokých rychlostech větru, kdy se normálně odstavují VtE, aby nedošlo k jejich poškození. Aby nedocházelo při vysoké rychlosti k odstavení VtE a v tom případě i generování výroby elektrické energie. Pro jednoduchou představu by se normální VtE při rychlostech okolo 25 *m/s* odstavili a najeli zpátky až když by rychlost větru dosáhla této hranice nebo dokonce nižší, což má za následek přerušení výroby. ENERCON-storm ovládání pracuje tak, že se při vysoké rychlosti větru V_{storm} listy mírně natočí, aby působily menší plochou na větrné proudění a tím redukoval výkon VtE (Obr. 25).

Obr.25: Regulace výkonu s ENERCON-storm ovládání



Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters Technology and Service. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 25.

3.7 Stožár VtE

ENERCON vyrábí pro své VtE ocelové stožáry, které se skládají z menších válcovitých kusů (Obr. 26), které se pak spojují k sobě na místě stavby. Není tak potřeba svařovat jednotlivé kusy ve fabrice a odpadá tak i složitější doprava, protože betonové prefabrikované stožáry jsou o dost delší než jednotlivé kusy.

Další důležitou součástí VtE je betonový základ (Obr. 27), který poskytuje statickou a dynamickou odolnost vůči meteorologickým jevům, které na VtE působí velkou měrou.[35]

Obr. 26: Ocelový stožár od fy ENERCON

Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters Technology and Service. Německo: ENERCON GmbH, 2010. s. 39.

Obr. 27: Betonové základy na VtE

Zdroj: ENERCON GMBH. ENERCON Wind energy converters Technology and Service. Německo: ENERCON GmbH, 2010.s. 44.

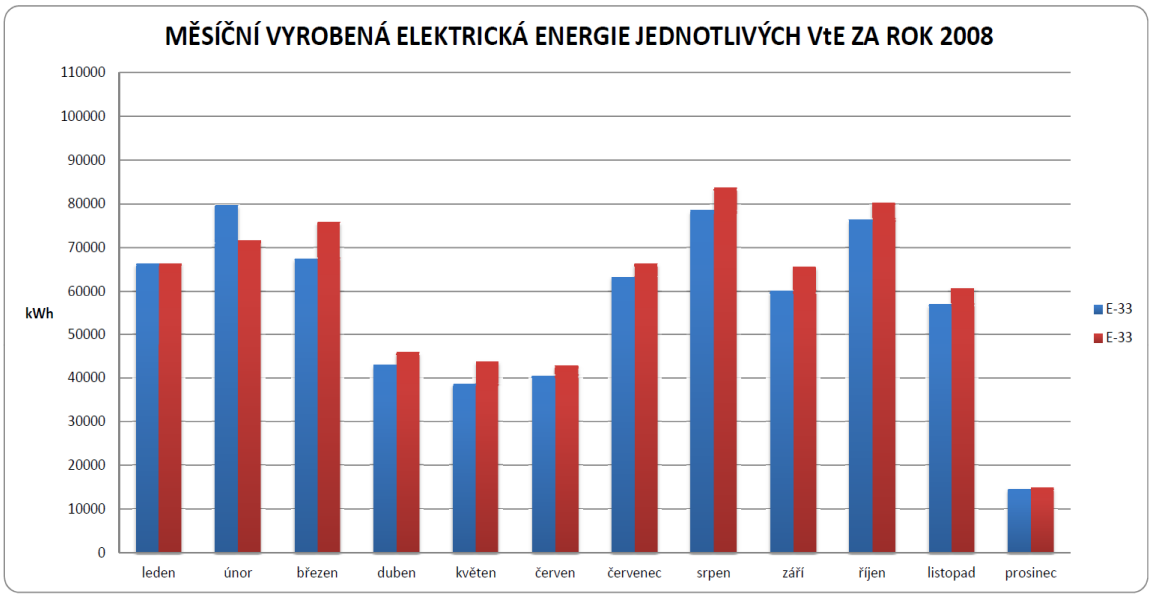
[35] ENERCON GMBH. *ENERCON Wind energy converters Technology and Service*. Německo: ENERCON GmbH, 2010.s. 7-45.

4 Energetické, ekonomické a ekologické vyhodnocení větrných elektráren

4.1 Energetické vyhodnocení výroby elektrické energie

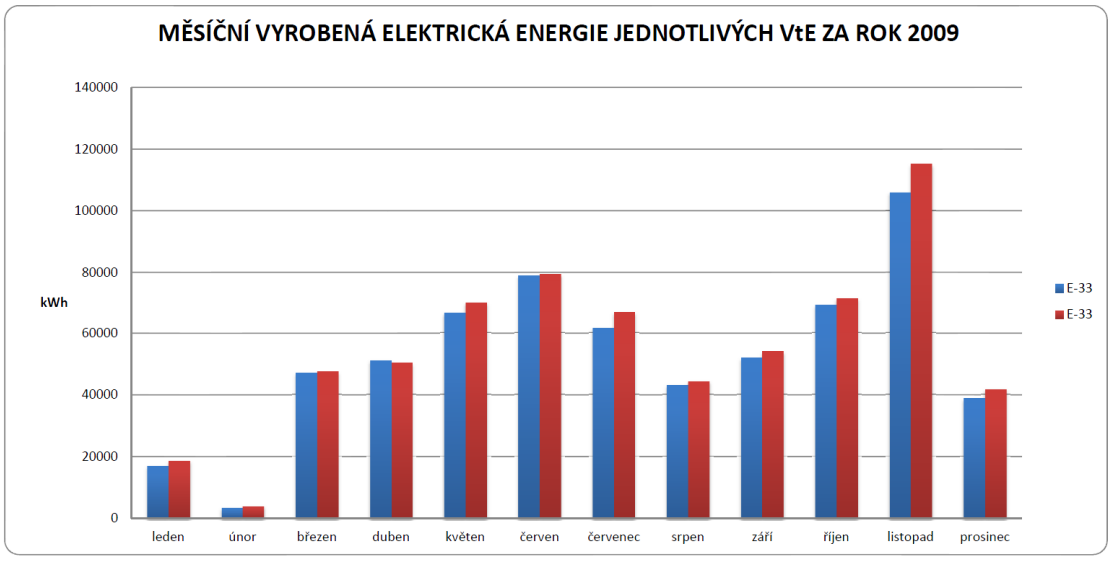
Nezbytnou součástí každého investičního záměru je i předběžná analýza, kolik dokáže VtE na daném místě a v určitém časovém období vyrobit elektrické energie. Budu zde analyzovat období od roku 2008 až 2011, pro které mám poskytnutá data od firmy BENOCO, s.r.o. Pro ilustraci, v jaké formě jsem dostával data, jsem přiložil v příloze 8 výkaz pro měsíc červenec 2011. Z těchto tabulek jsem vyhotovil energetickou bilanci pro výše uvedené roky. V grafu 16-19 jsem zpracoval data v měsíčních intervalech v období 2008-2011. Lze si povšimnout, že v zimních měsících, kdy vítr vane s vyšší intenzitou, vyrábí VtE o dost méně elektrické energie, než je tomu v letních měsících, kdy vane vítr s menší intenzitou. Je to díky tomu, že VtE ENERCON E-33 nemají vyhřívané rotorové listy a proto se zastavují kvůli vzniku námraze, která by mohla odletovat a zranit lidi. VtE ENERCON E-48 už má vyhřívané rotorové listy, takže může bez problému vyrábět energii i v zimních měsících. Od roku 2006 jsou v provozu dvě VtE ENERCON E-33 s výkonem 330 *kW*. Od 07-2010 přibyla další VtE ENERCON E-48 s výkonem 800 *kW*. Co se tedy týče celkové výroby, je v roce 2010 a 2011 a něco vyšší než v roce 2008 a 2009. V grafu 20-23 jsem zpracoval celkovou měsíční vyrobenou elektrickou energii VtE za rok 2008 až 2011. Z grafů si dokážeme lépe vyhodnotit, kolik vlastně VtE dokážou vyrobit elektrické energie. V grafu 24 je zpracovaná celková výroba jednotlivých VtE v ročních intervalech 2008 až 2011. V grafu 25 je zpracovaná celková výroba všech VtE od roku 2008 do 2011. Rád bych zde upozornil, že stojí za povšimnutí rok 2008, kdy výroba elektrické energie činila cca 1 400 000 *kWh*. Tehdy byly v provozu 2x ENERCON E-33. V roce 2011 byla celková vyrobená elektrická energie cca 3 610 000 *kWh* a tak vysoké číslo je díky nově instalované VtE ENERCON E-48 v roce 2010. Výroba tedy vzrostla o 2 210 000 *kWh*, což je nárůst o 158 % oproti roku 2008. Pokud se zaměříme na výrobu, ať už celkovou nebo jednotlivých VtE v roce 2010 a 2011, můžeme je srovnat s předpokládanou výrobou, která vycházela z poskytnutých dat od ČHMU, která jsem popisoval v kapitole 2.

Graf 16: Měsíční výroba v roce 2008



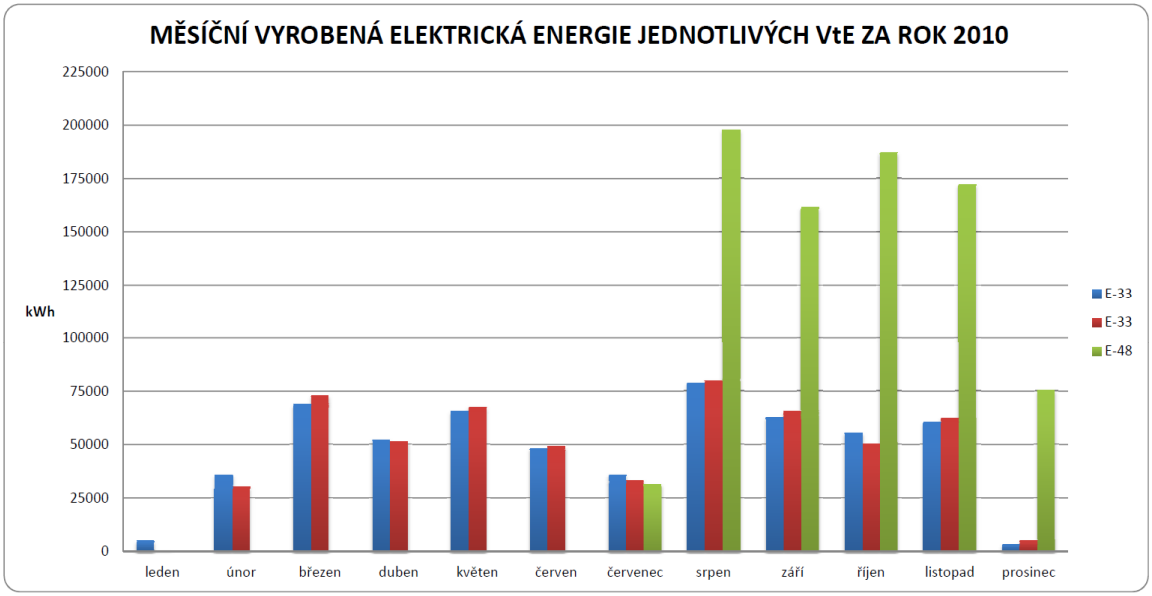
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 17: Měsíční výroba v roce 2009



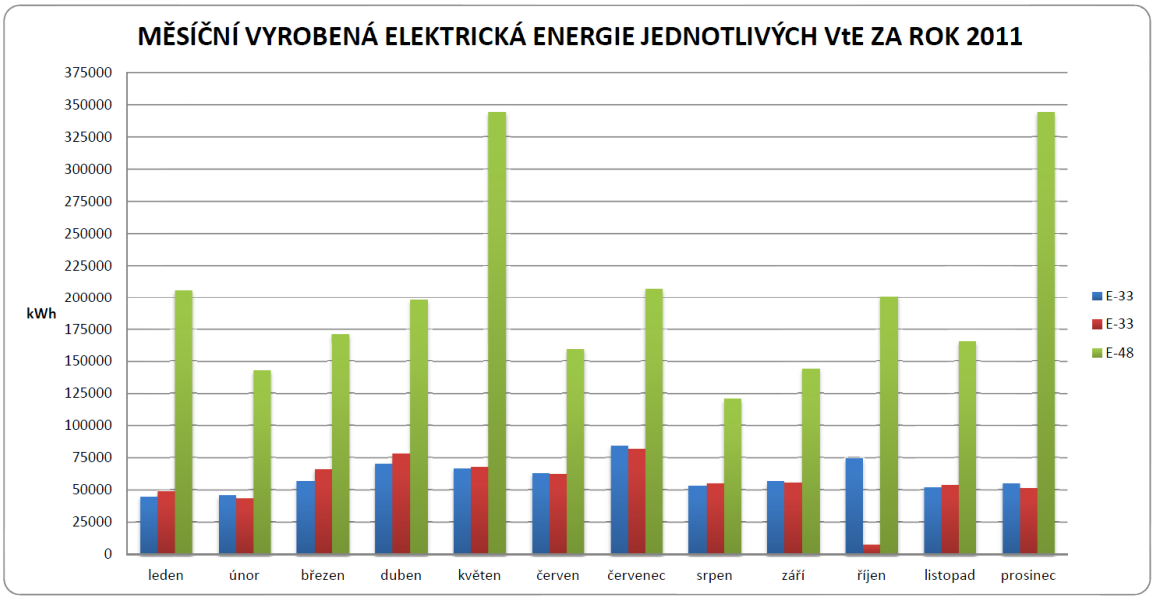
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 18: Měsíční výroba v roce 2010



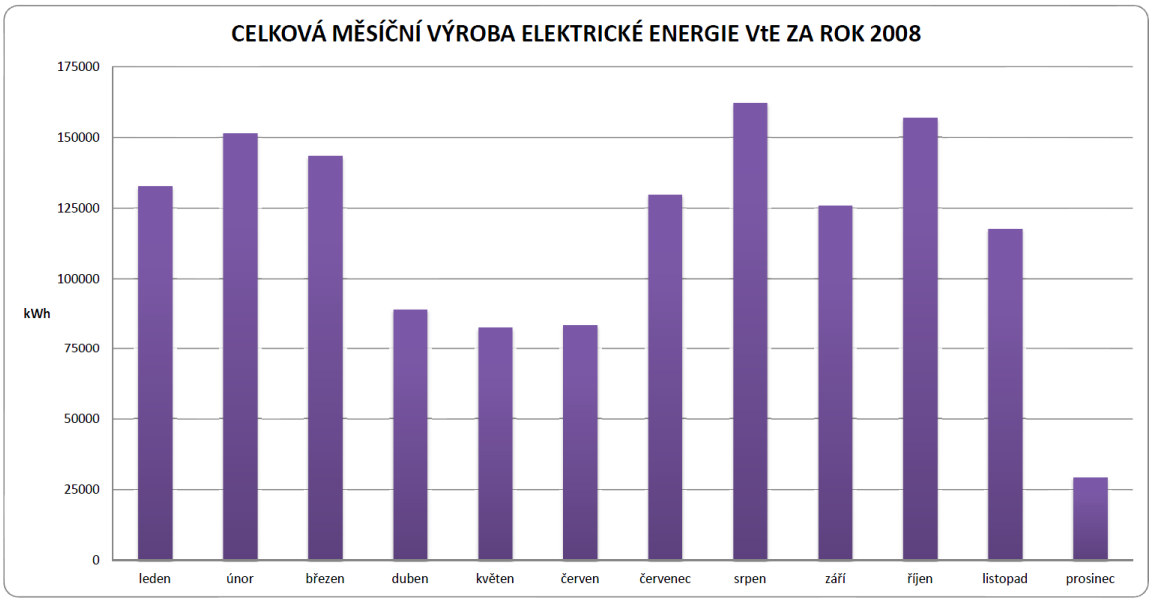
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 19: Měsíční výroba v roce 2011



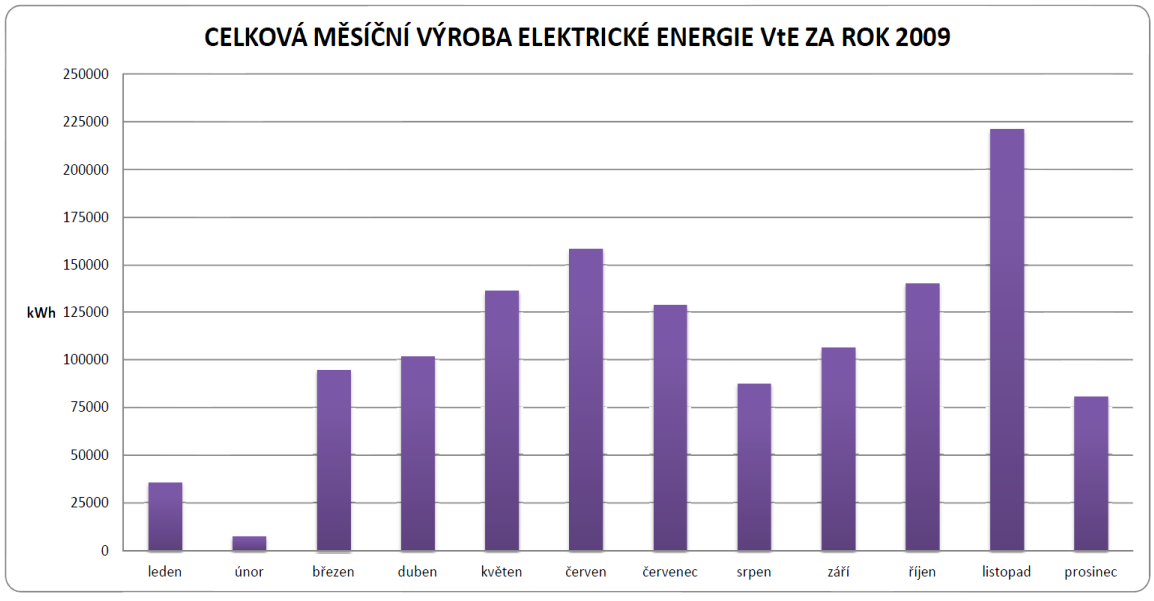
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 20: Celková měsíční výroba v roce 2008



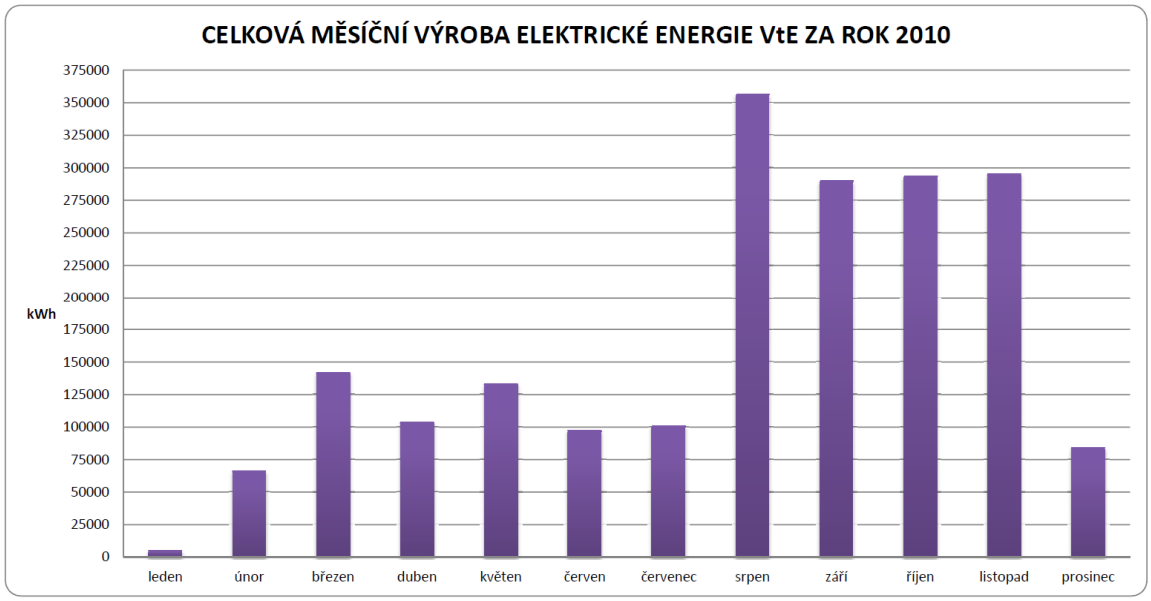
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 21: Celková měsíční výroba v roce 2009



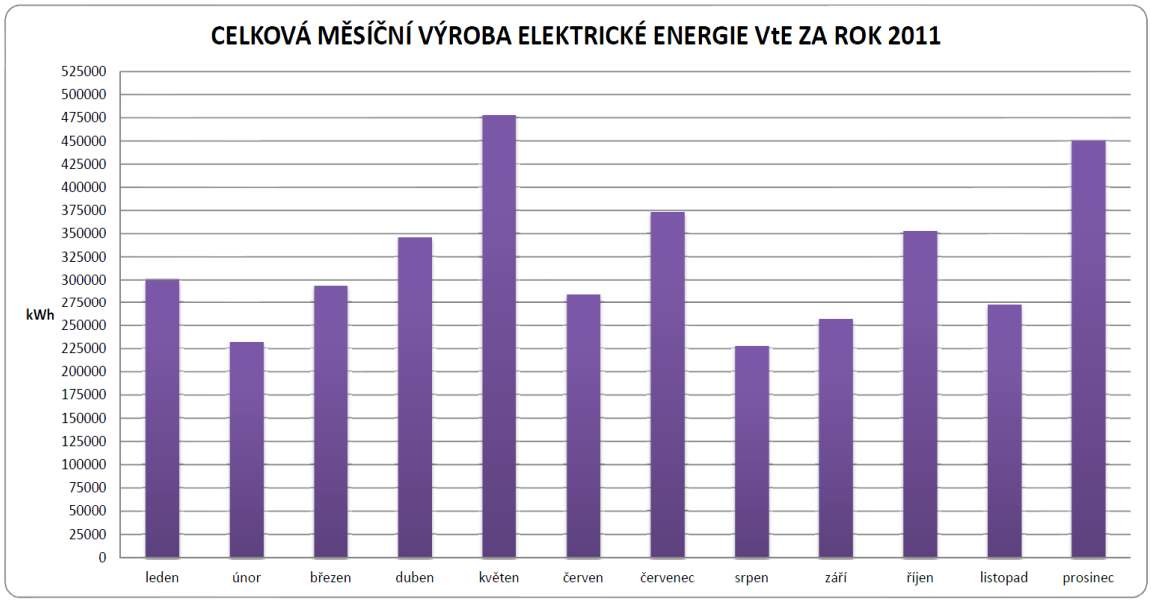
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 22: Celková měsíční výroba v roce 2010



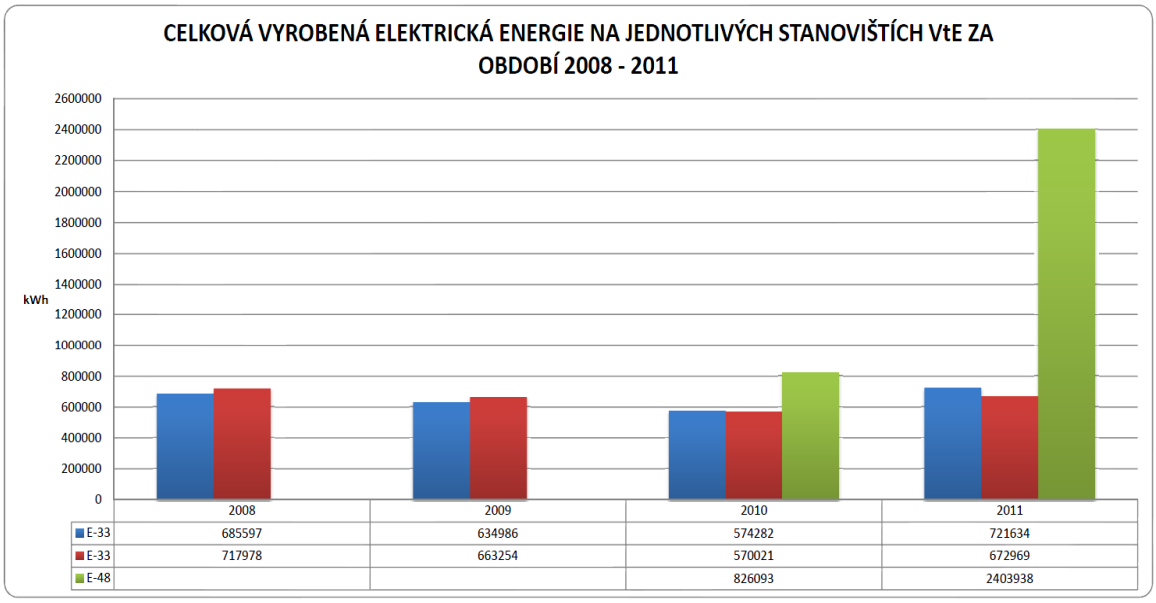
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 23: Celková měsíční výroba v roce 2011



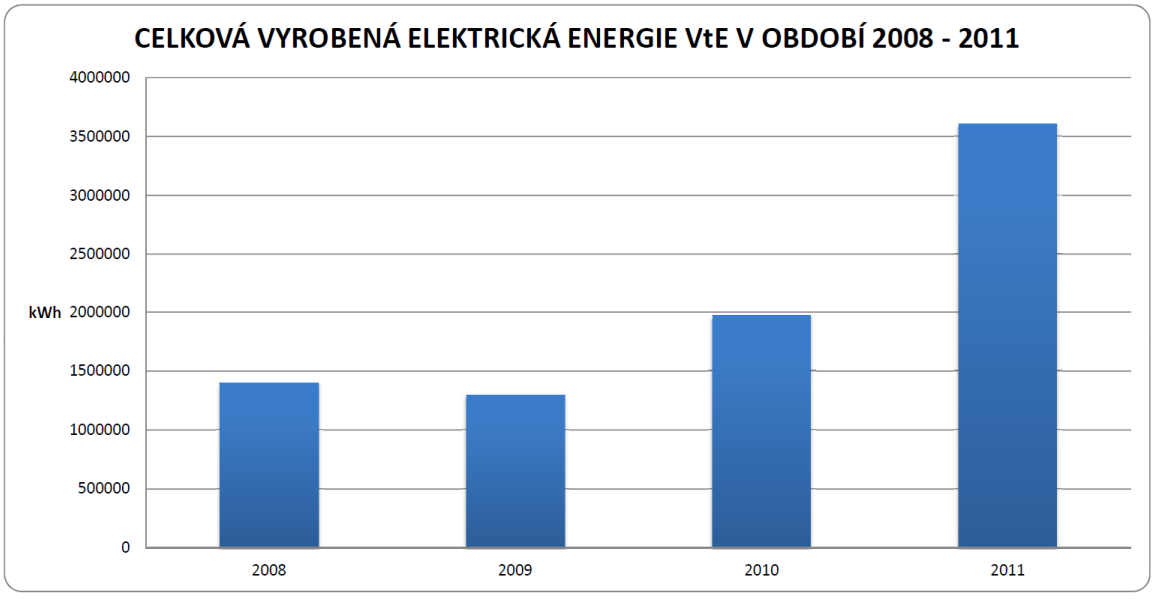
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 24: Celková výroba jednotlivých VtE pro období 2008 - 2011



Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 25: Celková výroba VtE pro období 2008 - 2011

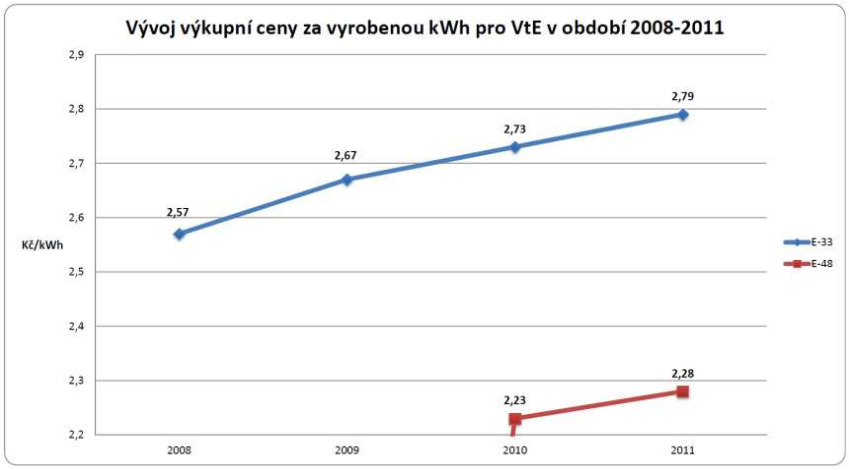


Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

4.2 Ekonomická výnosnost za vyrobenou elektrickou energii

Ekonomické vyhodnocení se bude týkat pouze výnosnosti VtE za vyrobenou elektrickou energii. Nebudu zde počítat s provozními náklady, náklady na údržbu, odpisy apod. Při vyhodnocení budu vycházet z vyrobené elektrické energie, kterou jsem rozebíral v bodu 4.1, a z předpokladu, že investor prodává elektrickou energii do sítě a dostává peněžní odměnu v *Kč* za vyrobenou *kWh*. Výkupní cena elektřiny za vyrobenou *kWh*, se každý rok mění dle grafu 26. Modrá křivka znázorňuje vývoj výkupní ceny pro VtE ENERCON E-33 a má jiné hodnoty než červená křivka, která je pro VtE ENERCON E-48. Je to z toho důvodu, že VtE ENERCON E-33 byly uvedeny do provozu v roce 2006 a VtE ENERCON E-48 v roce 2010. Proto se na každé elektrárny vztahuje jiná výkupní cena za vyrobenou *kWh*, kterou každý rok stanovuje Energetický regulační úřad.

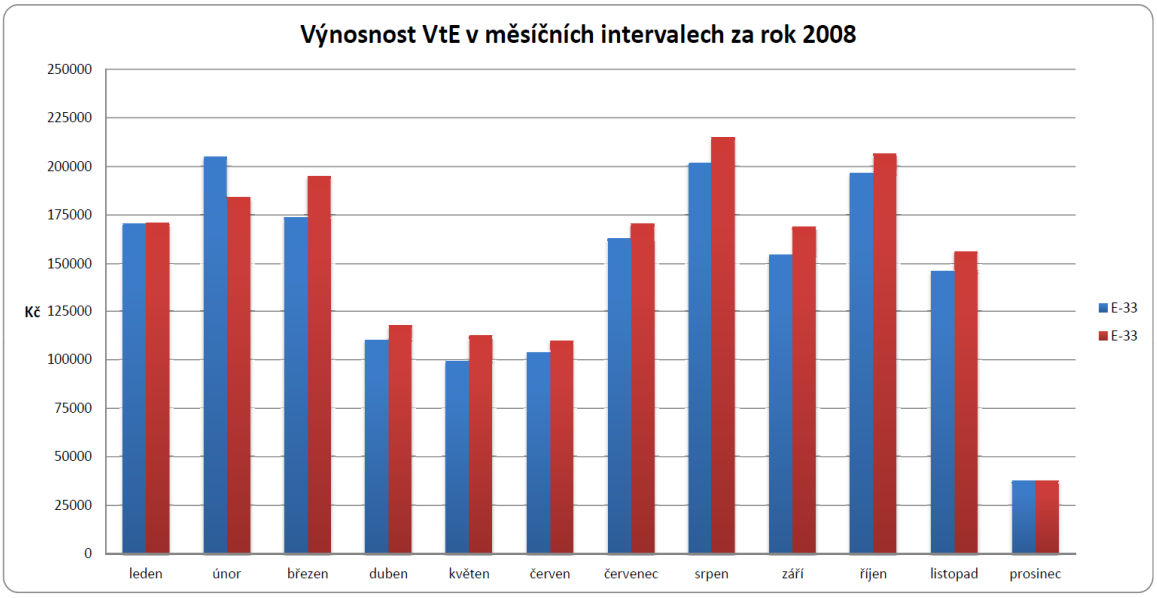
Graf 26: Výkupní cena za vyrobenou kWh



Zdroj: Vlastní zpracování dle Archiv. Energetický regulační úřad [online]. 2012 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=38&deep=off&type=

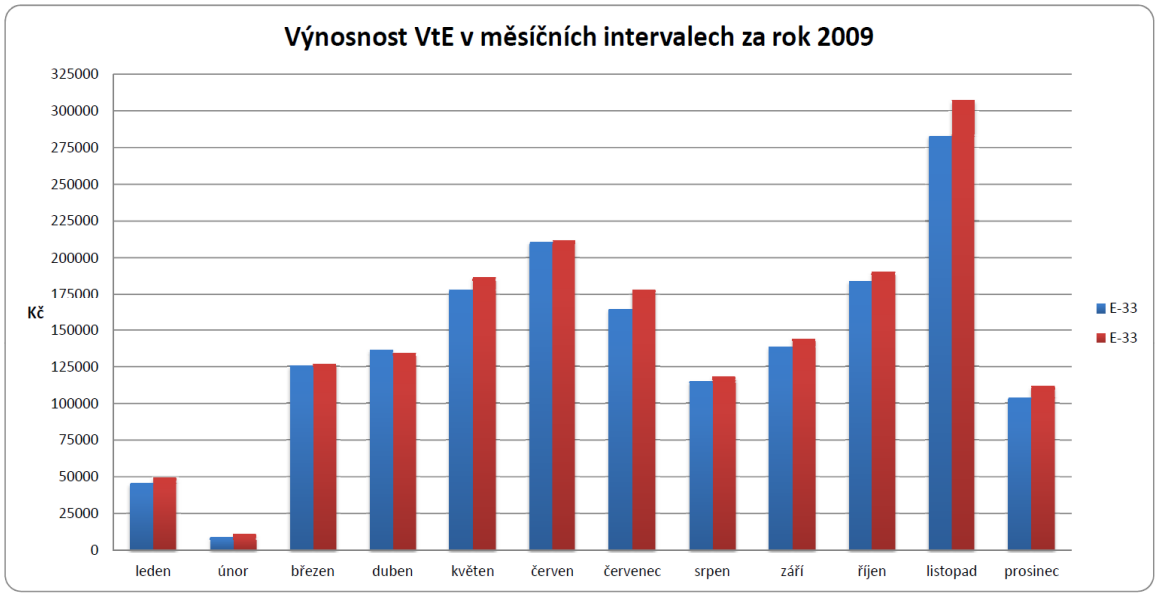
V grafu 27 - 30 jsem zpracoval výnosnost jednotlivých VtE v měsíčních intervalech za období 2008 – 2011 v *Kč*. Graf 31 ukazuje celkovou výnosnost jednotlivých VtE v ročních intervalech za období 2008-2011.

Graf 27: Měsíční výnosnost VtE za rok 2008



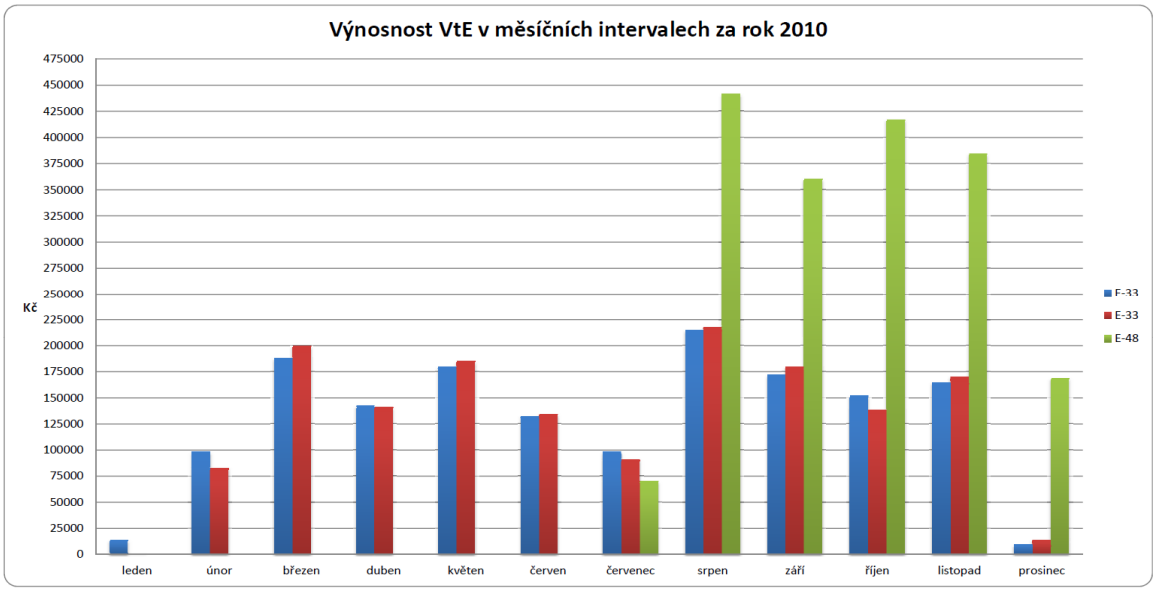
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 28: Měsíční výnosnost VtE za rok 2009



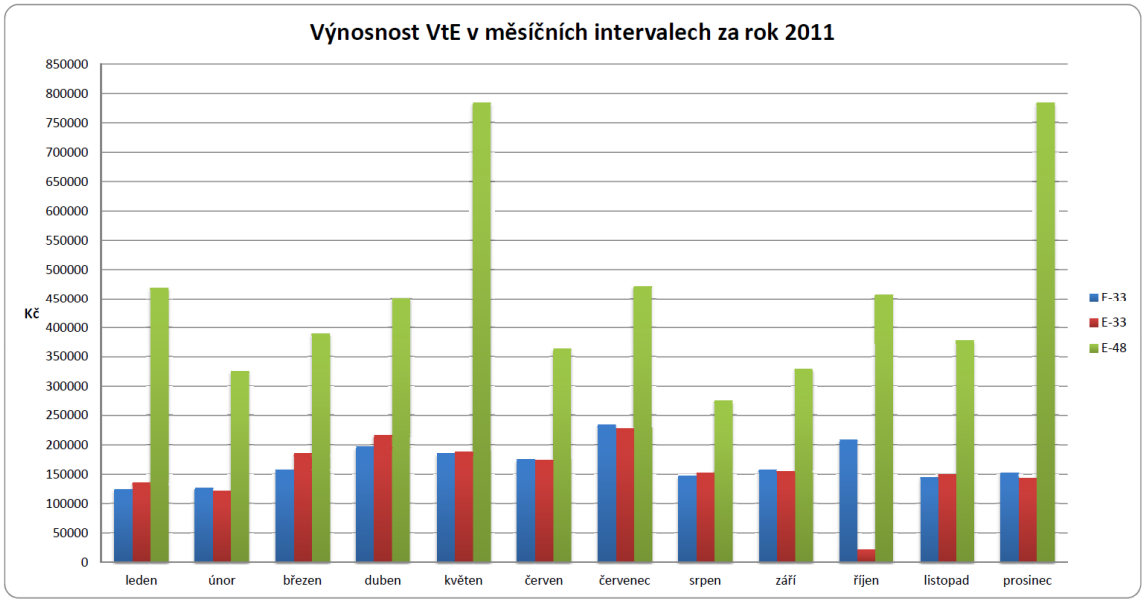
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 29: Měsíční výnosnost VtE za rok 2010



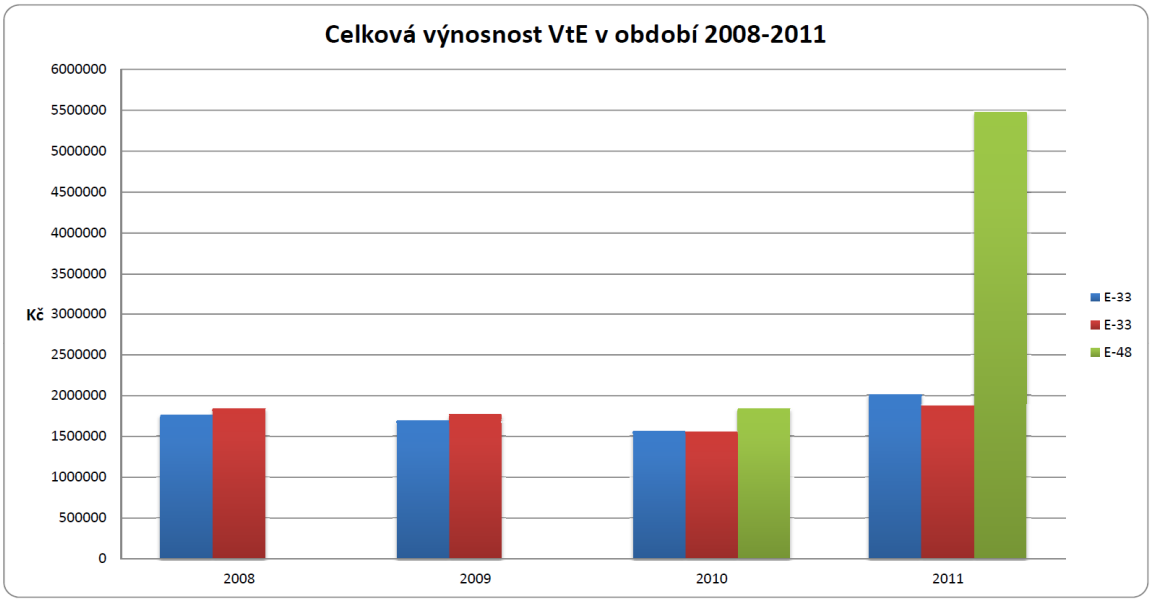
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 30: Měsíční výnosnost VtE za rok 2011



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 31: celková výnosnost VtE za období 2008 - 2011

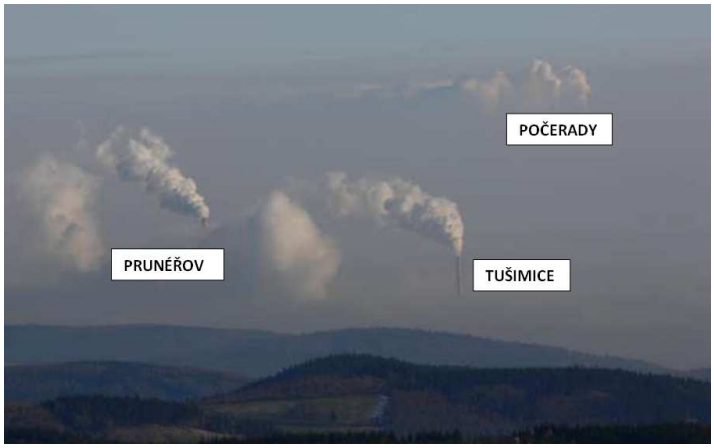


Zdroj: Vlastní zpracování

4.3 Ekologické vyhodnocení

V této části se budu zabývat problematikou životního prostředí a ekologického provozu VtE na území Krušných hor v lokalitě Neklid. Krušné hory byly v druhé polovině 20. století velmi nehostinné místo pro životní organismy a hlavně flóru[36]. Příčinou byly kyselé deště, které obsahovaly zejména vysoké koncentrace kyseliny sírové (H_2SO_4) a dusičné (HNO_3). Nejvíce k této situaci přispěli tři tepelné elektrárny, které se nachází v blízkosti Krušných hor (Obr. 28).

Obr. 28: Výhled na tepelné elektrárny z Klínovce



Zdroj: Výhled z Klínovce [online]. 2006 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://pavel.venku.cz/klinovec2/o04.jpg

Díky těmto kyselým dešťům docházelo v Krušných horách k navýšení kyselosti *pH* a k masivnímu úhynu stromů a rostlin.[37] Pro ukázku jsem vybral obrázek 29, který ukazuje poškození kyselými dešti koncem 70. let minulého století.

[36] Flóra je soubor rostlinných druhů, které se nachází na daném území.

[37] PLANETA. *Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost*. 2005, XII, č. 5, 4 s.

Obr. 29: Poškození lesů kyselými dešti

Zdroj: MZe: Odborníci hledají řešení kalamitní situace v Krušných horách. Enviport [online]. 2008 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.enviport.cz/_app/Repository/yy2008/mm06/dd03/65522.jpg

Když se zjistila příčina toho, co způsobuje nárůst kyselosti půd a odumírání flóry, bylo nařízeno, aby elektrárny byly odsířeny a snížilo se množství nebezpečných imisí, vypouštěných do ovzduší.[38] Po odsíření elektráren se situace velmi zlepšila a lesy v Krušných horách už se navrací do normálního stavu, který ukazuje obrázek 30.

Obr. 30: Současné lesy v Krušných horách

Zdroj: Krušné hory. Tisícovky [online]. 2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.tisicovky.cz/exp/krusne-hory/na-skalach-vv180a/6DC143D1-B7C2-42FD-B18C-94B68D0AD72Abig.jpg

Co se tedy týká problematiky životního prostředí v Krušných horách, je podle mého názoru vhodné, abychom do budoucnosti zajistili ochranu přírody a podporovali tím i rozvoj

[38] Emise a imise. *Energy web* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.3.4

větrných elektráren na tomto území, protože dostatek větru je v těchto horách dostatek. Výroba elektrické energie pomocí VtE, je bez vypouštění emisí do ovzduší. Pro lepší názornost kolik ušetřily tyto tři VtE ovzduší od vypuštěných emisí hnědouhelnou elektrárnou, která spaluje energetické uhlí, má účinnost odsíření 65 % SO_2 a 98 % účinnost odlučivosti filtrů na tuhé látky, jsem vytvořil následující grafy z vyprodukované elektrické energie za rok 2008-2011. Při výrobě 1 kWh_e hnědouhelnou elektrárnou vzniknou následující emise dle tabulky 7.

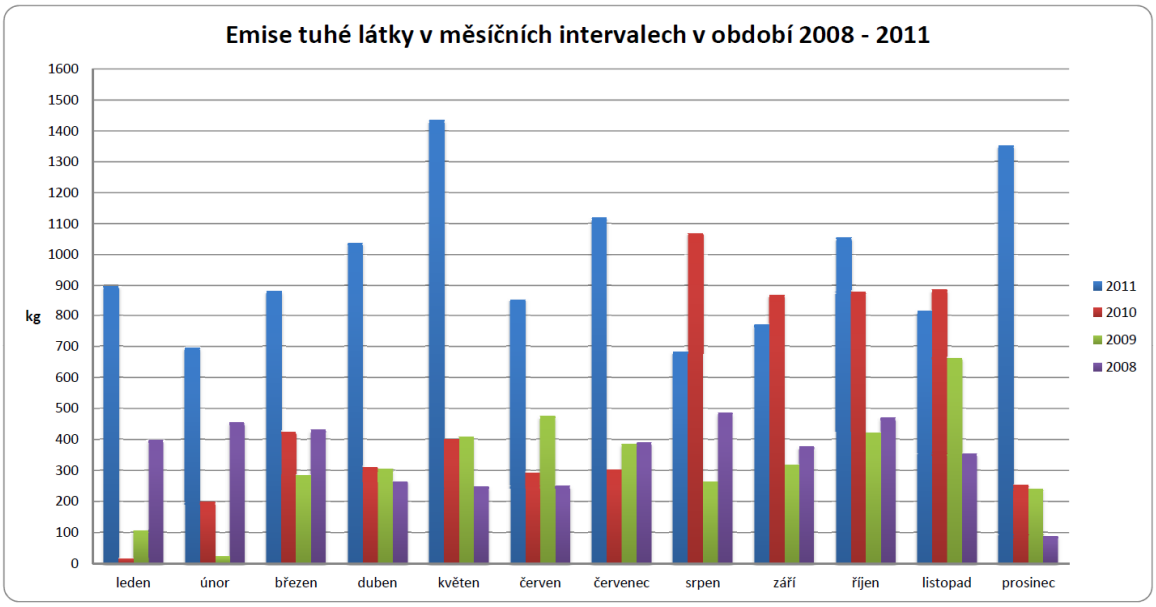
Tab.7: Vzniklé emise při výrobě 1 kWh_e hnědouhelnou elektrárnou

Energetické uhlí	*Tuhé látky*	*SO_2*	*NOx*	*CO*	*CO_2*
Emise *[g/kWh_e]*	3,0	5,3	7,7	0,7	1213,0

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od prof. Škorpila, FEL ZČU v Plzni, skorpil@kee.zcu.cz

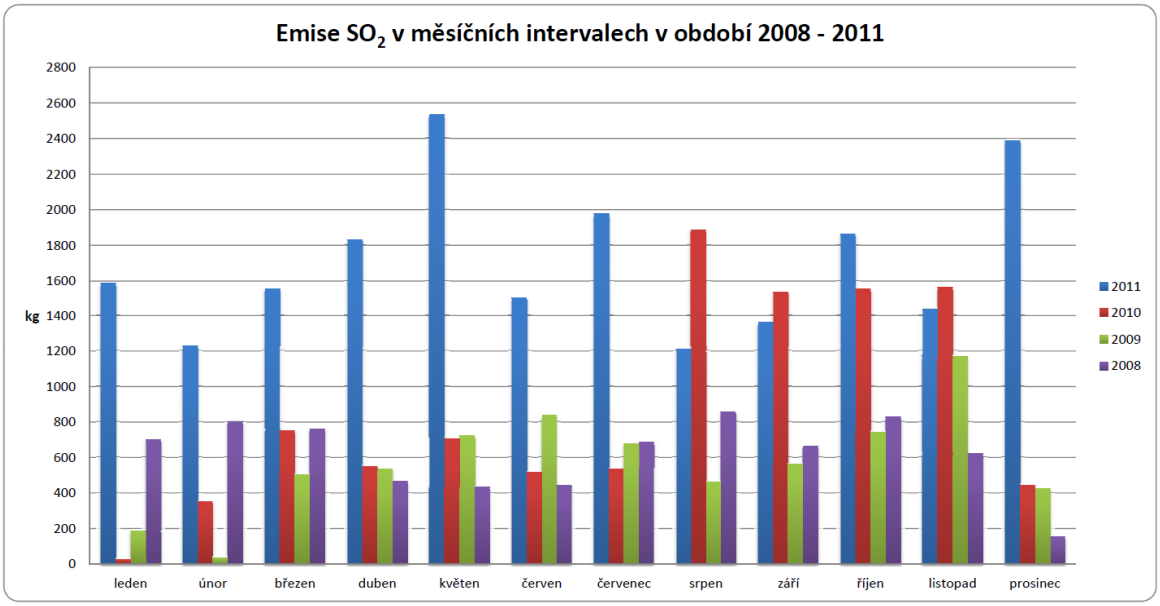
Pro lepší srozumitelnost grafů jsem emise tuhých látek SO_2,NO_x, CO převedl z gramů na kilogramy a CO_2 na tuny. Graf 32-36 ukazuje ušetřené vyprodukované emise v měsíčních intervalech pro období 2008 - 2011. Graf 37 a 38 ukazuje ušetřené vyprodukované emise v ročních intervalech pro rok 2008-2011.

Graf 32: Emise tuhé látky pro období 2008 - 2011



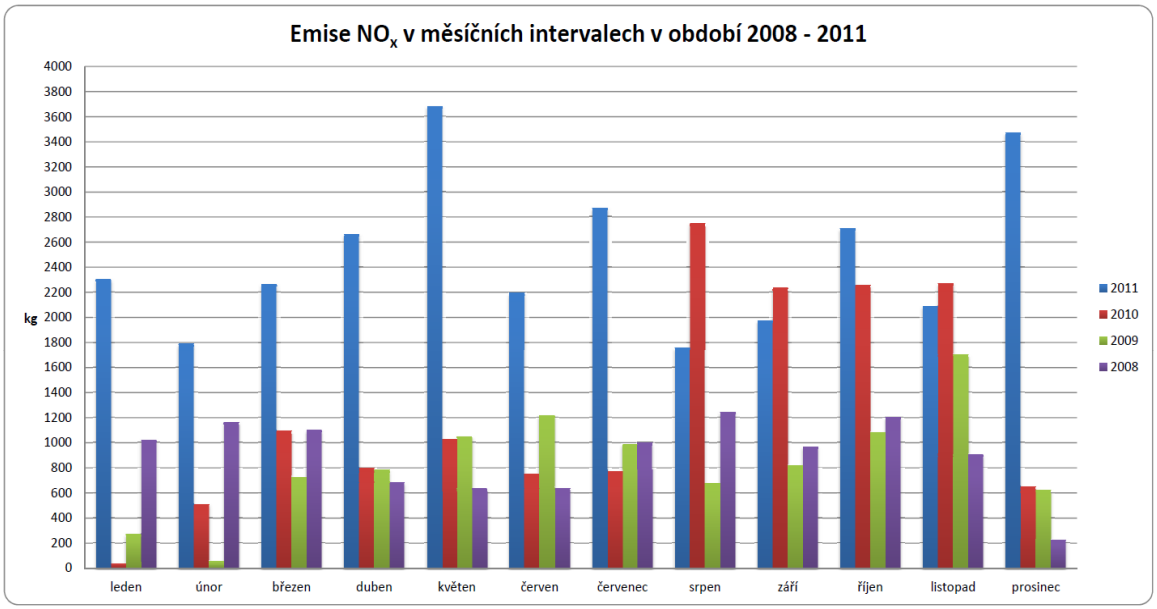
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 33: Emise SO_2 pro období 2008 - 2011



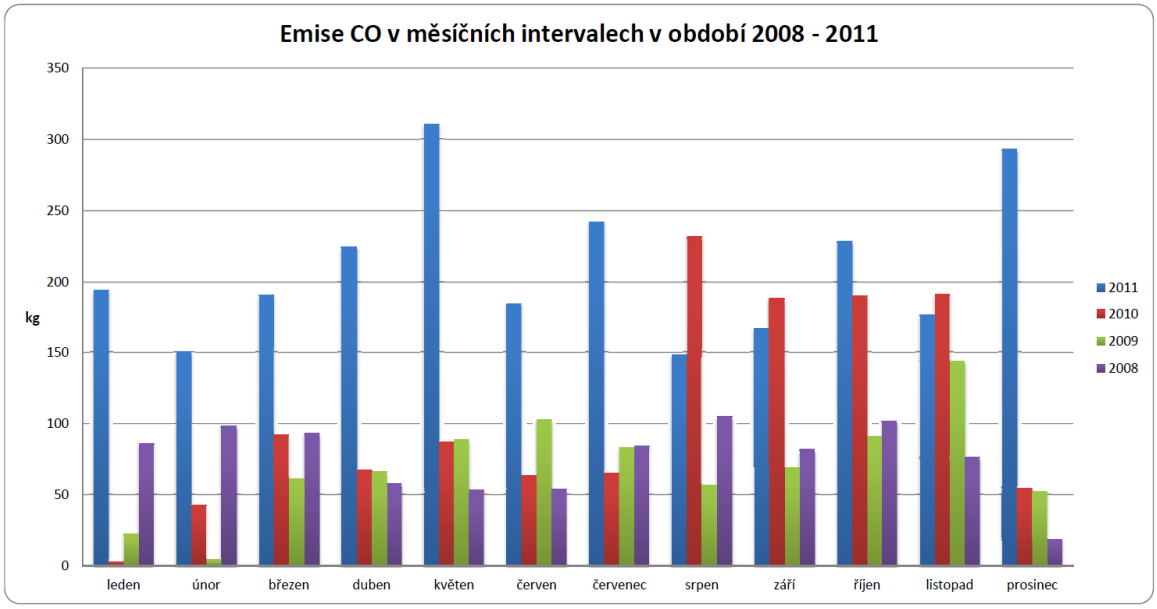
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 34: Emise NO_x pro období 2008 - 2011



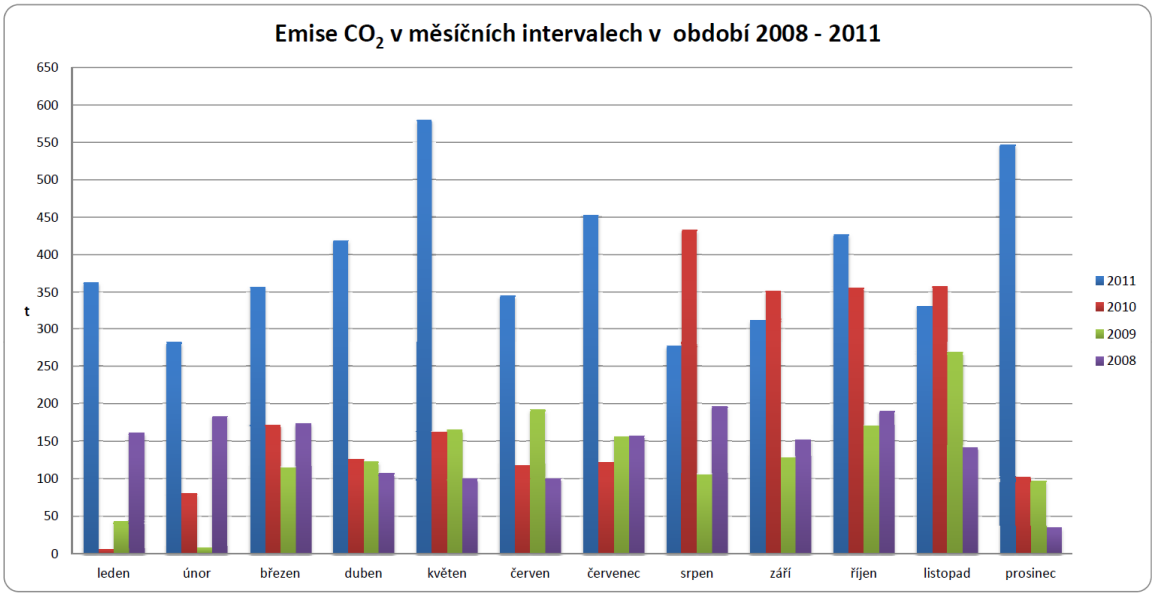
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 35: Emise CO pro období 2008 - 2011



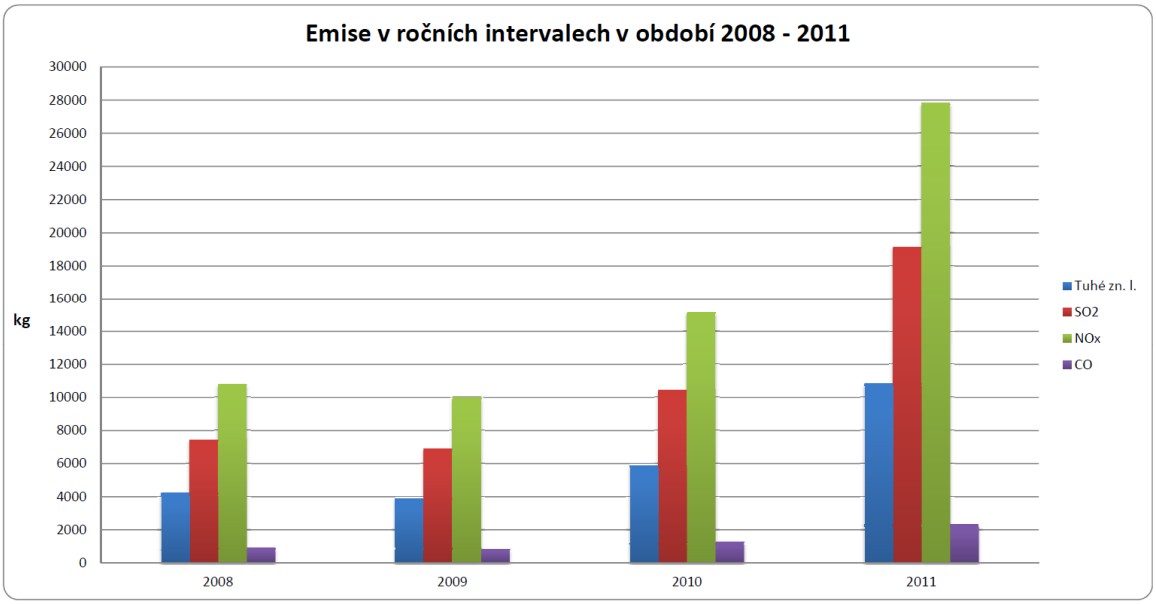
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 36: Emise CO_2 pro období 2008 - 2011



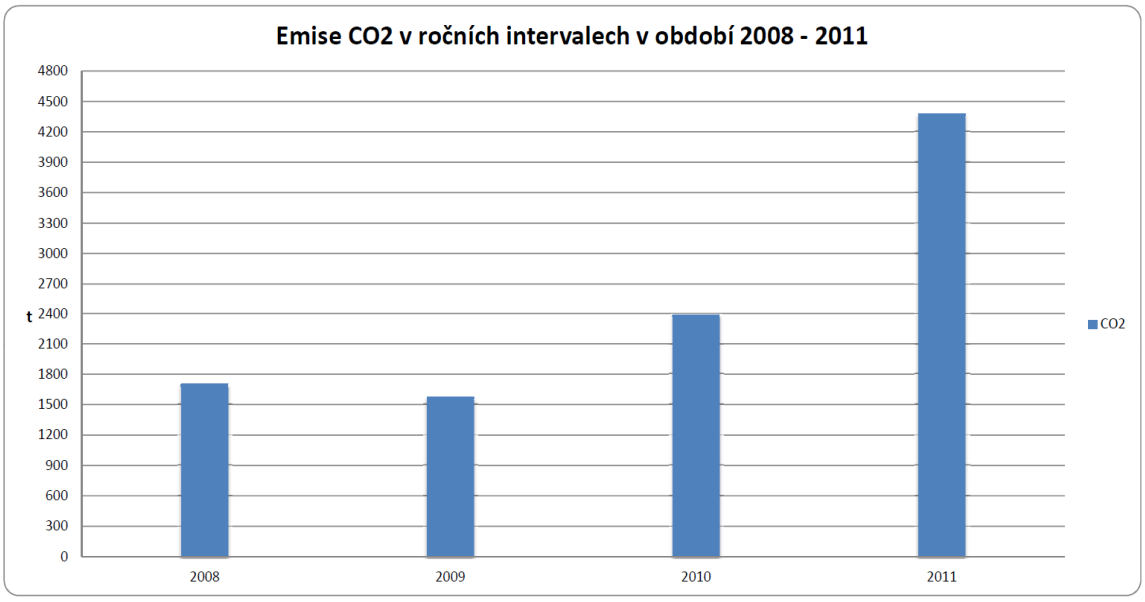
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 37: Emise v ročních intervalech pro období 2008 - 2011



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 38: Emise CO_2 v ročních intervalech pro období 2008 - 2011



Zdroj: Vlastní zpracování

Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval otázkou, jestli byla vhodně zvolená lokalita Boží Dar – Neklid, pro stavbu větrných elektráren ENERCON. Během zpracování mé práce jsem se převážně zaměřoval na to, jestli je v daném místě dostatečný větrný potenciál pro výrobu elektrické energie z větrných elektráren. Lokalita Boží Dar – Neklid se ukázala jako dostatečně větrná. Toto tvrzení ukazují zpracované grafy v kapitole 2. Průměrná rychlost větru pro období 2008 - 2011 se ve výšce osy rotoru jednotlivých elektráren držela v rozmezí od 7 *m/s* do 8 *m/s*. Pro tyto rychlosti nám už větrná elektrárna ENERCON E-33/330 *kW* generuje elektrický výkon od 92 *kW* do 138 *kW* a ENERCON E-48/800 *kW* od 180 *kW* do 275 *kW*. V kapitole 4 jsem zpracoval do grafů reálnou vyrobenou elektrickou energii a stojí zde zmínit rok 2011, kdy celková vyrobená elektrická energie byla na hodnotě 3 611 462 *kWh*.

Menšího rozsahu, ale stejně důležitou analýzou bylo ekonomické vyhodnocení, kde jsem do vyhodnocení nezapočítával náklady na údržbu, odpisy a mzdové náklady. Data jsem zpracoval v kapitole 4 do grafů. Pokud si investor zvolí vykupování vyrobené elektrické energie v *Kč*, budou činit jeho tržby aritmetickým průměrem za období 2008 - 2011 součtem obou větrných elektráren ENERCON E-33/300 *kW* cca 3 450 000 *Kč/rok* a z elektrárny ENERCON E-48/800 *kW* měl investor za rok 2011 tržbu 5 480 979 *Kč*.

Při ekologické analýze v kapitole 4 jsem se zaměřil na ušetření vyprodukovaných emisí na 1 kWh_e z uhelné elektrárny, která spaluje energetické uhlí, má účinnost odsíření 65 % a 98 % účinnost odlučivosti filtrů na tuhé látky. Při výpočtech jsem vycházel z vyrobené celkové elektrické energie součtem všech tří větrných elektráren za období 2008 - 2011. Jednotlivé výsledky zpracované do grafu si lze prohlídnout v kapitole 4. Zmínil bych zde ušetřenou vyprodukovanou hodnotu CO_2 v *t/rok*, jenž má pro rok 2011 součtem všech tří větrných elektráren hodnotu 4 380 tun. Oproti roku 2009, kdy byli v provozu pouze dvě větrné elektrárny a ušetřili ovzduší o 1 574 tun. Nárůst byl způsoben především postavením nové větrné elektrárny ENERCON E-48 o jmenovitém výkonu 800 *kW*.

Při zpracování jsem pracoval s hypotézou, že stavba větrných elektráren v dané lokalitě se ukázala jako velice efektivní z pohledu výroby elektrické energie a finanční z pohledu investora. Na základě svých zvolených výzkumných otázek, které jsem uvedl v úvodu, si zde dovoluji vyvodit ze zpracované bakalářské práce, že lokalita byla vhodně zvolená a ukázala se jako dostatečně větrná a efektivní pro výrobu elektrické energie, což shrnují zpracovaná

povětrnostní data v kapitole 2. Poslední výzkumná otázka se soustředila na to, jestli bude zvolená lokalita finančně zajímavá pro investora. I v této otázce jsem přesvědčený, že se daná lokalita pro investora ukáže jako finančně zajímavá, jak dokazují zpracované grafy v kapitole 4.

Domnívám se, že přínos mé zpracované bakalářské práce je v tom, že dává ucelený pohled z energetického, povětrnostního, ekonomického a ekologického hlediska na již realizovanou stavbu. Proto bych v oboru větrné energetiky do budoucna doporučil vyhledávání a využívání podobných míst, jako je Boží Dar – Neklid. Protože větrné elektrárny jsou dnes na vysoké technické úrovni, než tomu tak bylo dříve, a proto bych neviděl důvod, proč by se větrná energetika neměla dále rozvíjet.

Seznam použité a citované literatury

Odborné studie a literatura

[1] QUASCHING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha 7 : Grada Publishing, a.s., 2010. 290 s. ISBN 978-80-247-3250-3.

[2] RYCHETNÍK, Václav; JANOUŠEK, Josef; PAVELKA, Jiří. *Větrné motory a elektrárny*. Praha 6 : Vydavatelství ČVUT, 1997. 199 s. ISBN 80-01-01563-7.

[3] CETKOVSKÝ, Stanislav, et al. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, enviromentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno : Studia Geographica 101, 2010. 208 s. ISBN 978-80-86407-84-5.

[4] CENEK, Miroslav, et al. Obnovitelné zdroje energie. Praha : FCC PUBLIC, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.

[5] TŮMA, Jan. Větrná energie : Vývoj větrné energetiky do konce roku 2009. *Elektro instalatér : Obnovitelné zdroje energie*. 2010, 3, 34 s.

[6] BEDNÁŘ, Jan; ZIKMUNDA, Otakar. *Fyzika mezní vrstvy atmosféry*. Praha : Academica, 1985. 241 s.

[7] MOTLÍK, Jan, et al. *Obnovitelné zdroje energie a její uplatnění v České republice : Větrná energie a její možnosti v ČR*. Praha : CRUX,s.r.o., 2007. 79 s.

[8] BALÁK, Rudolf; PROKEŠ, Karel. *Nové zdroje energie*. Praha : SNTL, 1984. 207 s.

[9] BROŽ, Karel; ŠOUREK, Bořivoj. *Alternativní zdroje energie*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 213 s. ISBN 80-01-02802-X.

[10] HANSLIAN, David. *Klimatický potenciál větrné energetiky*. Veronica 2007, sborník příspěvků z odborného semináře Větrné elektrárny v Jihomoravském kraji, s.23-24.

[11] HANSLIAN, David, et al. *Závěrečná zpráva projektu VaV/320/08/03 : Výzkum vhodnosti lokalit v ČR z hlediska zásob větrné energie a zpracování metodiky pro posuzovací a schvalovací řízení při zavádění větrných elektráren*. Praha : Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2004. 55 s.

[12] ŠOLC, Martin , et al. *Fyzika hvězd a vesmíru : Učebnice pro volitelný předmět seminář a cvičení z fyziky ve 4. roč. gymnázia*. Praha : SPN, 1983. 278 s.

[13] HANSLIAN, David; HOŠEK, Jiří; ŠTEKL, Josef. *Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR*. Praha : Akademie věd ČR, 15.2.2008. 32 s.

[14] ŠTEKL, Josef. *Obnovitelné zdroje energie a jejich uplatnění v ČR*. Praha : CRUX, s. r. o., 2007. Větrná energie a její možnosti v ČR,183 s.

[15] Tým autorů ČSVE. *Vítr-energie budoucnosti: Větrné podmínky v České republice*.Praha 1: ČSVE, 2011. 32 s.

[16] KEDER, Josef; ENGST, Pavel. *Vyhodnocení připravenosti České republiky splnit požadavky na kvalitu ovzduší podle směrnice EU a Konvence LRTAP*. Praha : ČHMU ÚOČO, 2000. Provedení testovacích lidarových měření na základě odsouhlasených scénářů a ve vazbě na povětrnostní podmínky, 25 s.

[17] RYCHETNÍK, Václav. *Větrné motory*. Ostrava : Ediční středisko VŠB, 1999. 59 s. ISBN 80-7078-281-1.

[18] KELLEY, N.D.; JONKMAN, B.J.; SCOTT, G.N. *Comparing Pulsed Doppler LIDAR with SODAR and Direct Measurements for Wind Assessmen*. Colorado : National Technical Information Service, 2007. 21 s.

[19] ENERCON GMBH. *ENERCON Wind energy converters Technology and Service*. Německo: ENERCON GmbH, 2010. 62 s.

[20] PLANETA. *Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost*. 2005, XII, č.23 s. ISSN 1213-3393.

Internetové zdroje

[1] ČTK. Za dramatickým nárůstem ceny ropy stály většinou konflikty. *Finanční noviny* [online]. 22.02.2011, 1, [cit. 2011-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.financninoviny.cz/zpravy/za-dramatickym-narustem-ceny-ropy-staly-vetsinou-konflikty/599849&id_seznam=86>. ISSN 1213-4996.

[2] *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. 2009 [cit. 2011-03-29]. Z historie využívání energie větru v českých zemích. Dostupné z WWW: <www.csve.cz>.

[3] *Elektro odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2005 [cit. 2011-08-28]. Z historie větrných elektráren. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26559>.

[4] *Atmospheric Research & Technology, LLC* [online]. 2011-02-08 [cit. 2011-10-11]. About SODAR. Dostupné z WWW: <http://www.sodar.com/about_sodar.htm>.

[5] Boží Dar - realizace. *BENOCO* [online]. 2011 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: http://elektrarny.benoco.cz/bozi-dar-realizace

[6] Emise a imise. *Energy web* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.3.4

Legislativní předpisy

[1] EU. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23.dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/E. In *Úřední věstník Evropské unie*. 2009, 62 s.

Seznam příloh

Příloha č.1: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-33 v roce 2010 období leden - červen

Příloha č.2: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-33 v roce 2010 období červenec - prosinec

Příloha č.3: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-48 v roce 2010 období červenec - prosinec

Příloha č.4: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-33 v roce 2011 období leden - červen

Příloha č.5: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-33 v roce 2011 období červenc - prosinec

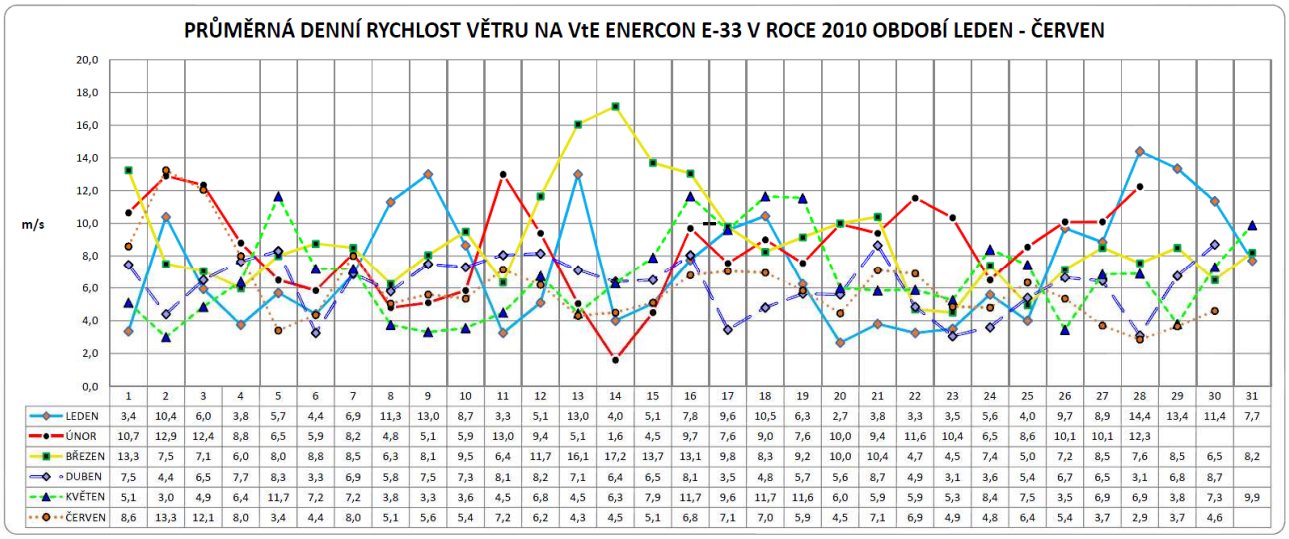
Příloha č.6: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-48 v roce 2011 období leden - červen

Příloha č.7: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-48 v roce 2011 období červenec - prosinec

Příloha č.8: Měsíční výkaz červen 2011

Přílohy

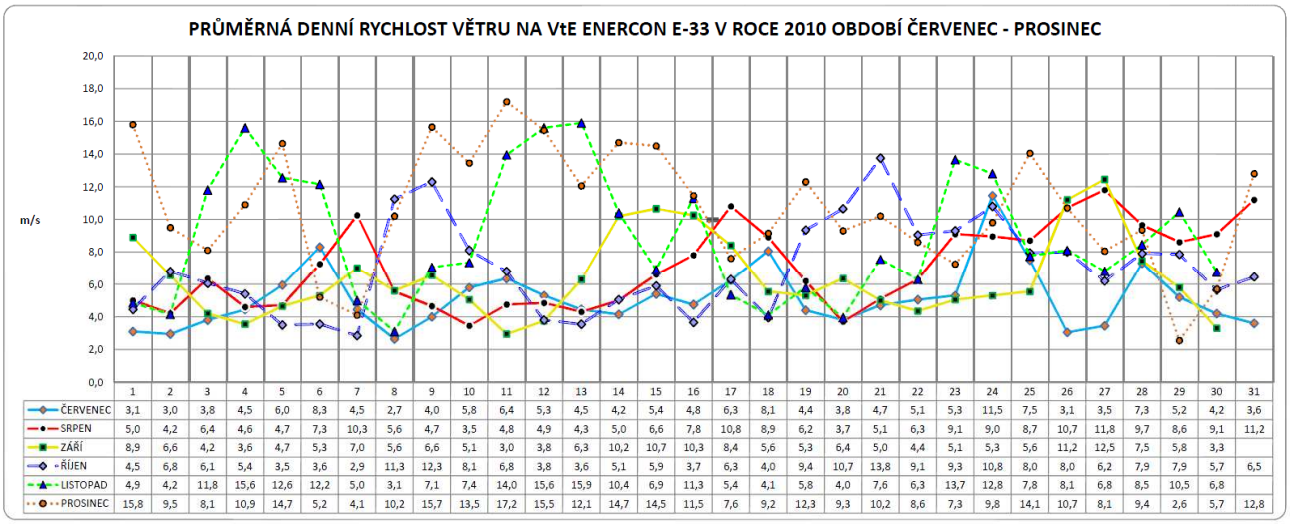
Graf 1: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-33 v roce 2010 období leden - červen



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
LEDEN	3,4	10,4	6,0	3,8	5,7	4,4	6,9	11,3	13,0	8,7	3,3	5,1	13,0	4,0	5,1	7,8	9,6	10,5	6,3	2,7	3,8	3,3	3,5	5,6	4,0	9,7	8,9	14,4	13,4	11,4	7,7
ÚNOR	10,7	12,9	12,4	8,8	6,5	5,9	8,2	4,8	5,1	5,9	13,0	9,4	5,1	1,6	4,5	9,7	7,6	9,0	7,6	10,0	9,4	11,6	10,4	6,5	8,6	10,1	10,1	12,3			
BŘEZEN	13,3	7,5	7,1	6,0	8,0	8,8	8,5	6,3	8,1	9,5	6,4	11,7	16,1	17,2	13,7	13,1	9,8	8,3	9,2	10,0	10,4	4,7	4,5	7,4	5,0	7,2	8,5	7,6	8,5	6,5	8,2
DUBEN	7,5	4,4	6,5	7,7	8,3	3,3	6,9	5,8	7,5	7,3	8,1	8,2	7,1	6,4	6,5	8,1	3,5	4,8	5,7	5,6	8,7	4,9	3,1	3,6	5,4	6,7	6,5	3,1	6,8	8,7	
KVĚTEN	5,1	3,0	4,9	6,4	11,7	7,2	7,2	3,8	3,3	3,6	4,5	6,8	4,5	6,3	7,9	11,7	9,6	11,7	11,6	6,0	5,9	5,9	5,3	8,4	7,5	3,5	6,9	6,9	3,8	7,3	9,9
ČERVEN	8,6	13,3	12,1	8,0	3,4	4,4	8,0	5,1	5,6	5,4	7,2	6,2	4,3	4,5	5,1	6,8	7,1	7,0	5,9	4,5	7,1	6,9	4,9	4,8	6,4	5,4	3,7	2,9	3,7	4,6	

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

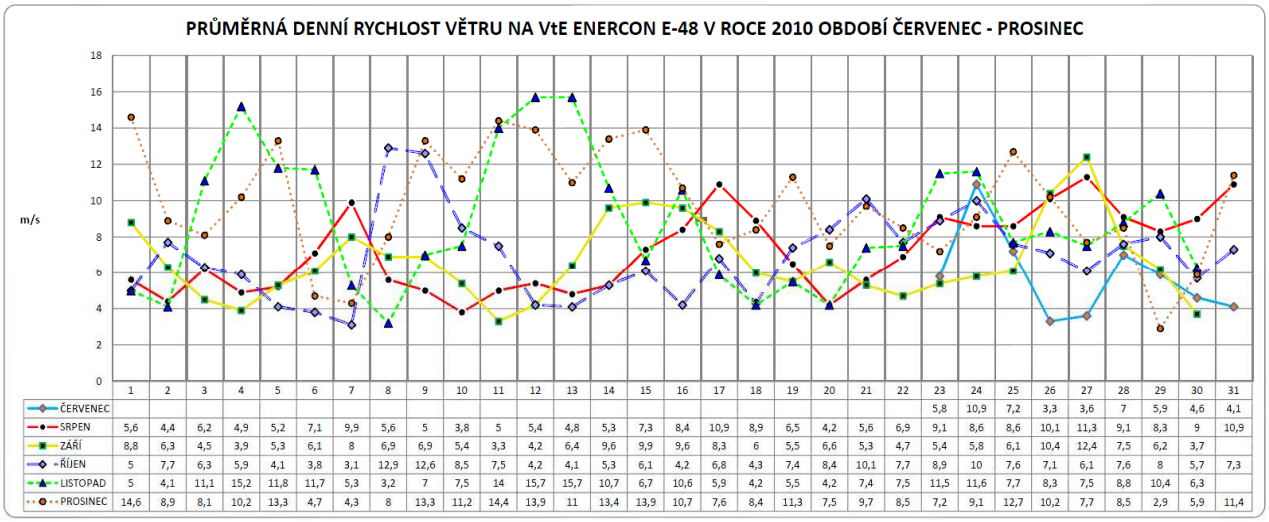
Graf 2: Průměrná denní rychlost větru na VtE enercon E-33 roce 2010 období červenec - srpen



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ČERVENEC	3,1	3,0	3,8	4,5	6,0	8,3	4,5	2,7	4,0	5,8	6,4	5,3	4,5	4,2	5,4	4,8	6,3	8,1	4,4	3,8	4,7	5,1	5,3	11,5	7,5	3,1	3,5	7,3	5,2	4,2	3,6
SRPEN	5,0	4,2	6,4	4,6	4,7	7,3	10,3	5,6	4,7	3,5	4,8	4,9	4,3	5,0	6,6	7,8	10,8	8,9	6,2	3,7	5,1	6,3	9,1	9,0	8,7	10,7	11,8	9,7	8,6	9,1	11,2
ZÁŘÍ	8,9	6,6	4,2	3,6	4,7	5,3	7,0	5,6	6,6	5,1	3,0	3,8	6,3	10,2	10,7	10,3	8,4	5,6	5,3	6,4	5,0	4,4	5,1	5,3	5,6	11,2	12,5	7,5	5,8	3,3	
ŘÍJEN	4,5	6,8	6,1	5,4	3,5	3,6	2,9	11,3	12,3	8,1	6,8	3,8	3,6	5,1	5,9	3,7	6,3	4,0	9,4	10,7	13,8	9,1	9,3	10,8	8,0	8,0	6,2	7,9	7,9	5,7	6,5
LISTOPAD	4,9	4,2	11,8	15,6	12,6	12,2	5,0	3,1	7,1	7,4	14,0	15,6	15,9	10,4	6,9	11,3	5,4	4,1	5,8	4,0	7,6	6,3	13,7	12,8	7,8	8,1	6,8	8,5	10,5	6,8	
PROSINEC	15,8	9,5	8,1	10,9	14,7	5,2	4,1	10,2	15,7	13,5	17,2	15,5	12,1	14,7	14,5	11,5	7,6	9,2	12,3	9,3	10,2	8,6	7,3	9,8	14,1	10,7	8,1	9,4	2,6	5,7	12,8

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

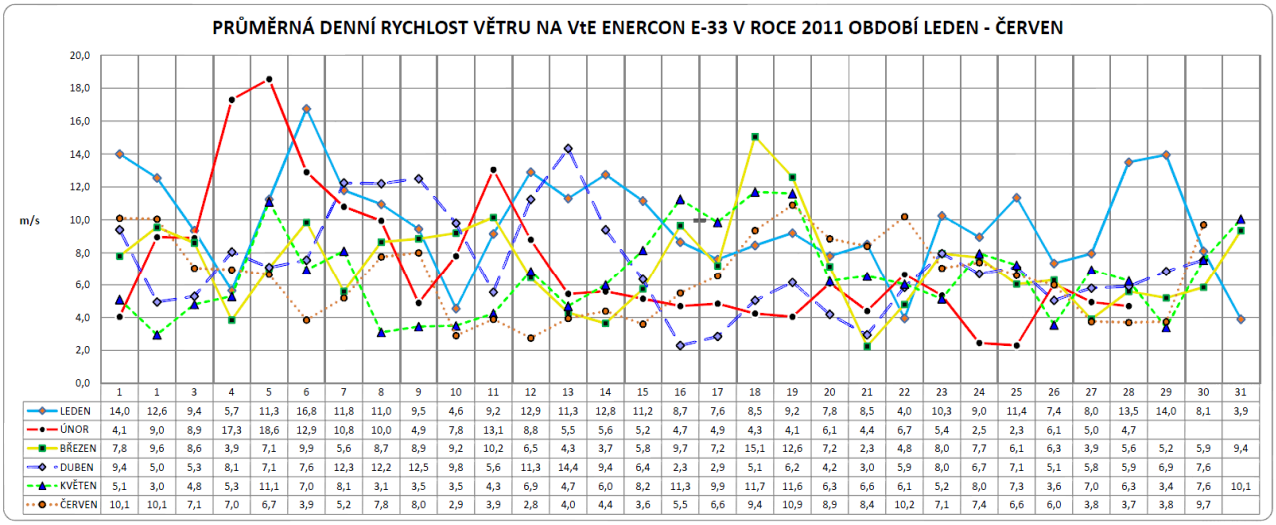
Graf 3: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-48 v roce 2010 období červenec - prosinec



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ČERVENEC																							5,8	10,9	7,2	3,3	3,6	7	5,9	4,6	4,1
SRPEN	5,6	4,4	6,2	4,9	5,2	7,1	9,9	5,6	5	3,8	5	5,4	4,8	5,3	7,3	8,4	10,9	8,9	6,5	4,2	5,6	6,9	9,1	8,6	8,6	10,1	11,3	9,1	8,3	9	10,9
ZÁŘÍ	8,8	6,3	4,5	3,9	5,3	6,1	8	6,9	6,9	5,4	3,3	4,2	6,4	9,6	9,9	9,6	8,3	6	5,5	6,6	5,3	4,7	5,4	5,8	6,1	10,4	12,4	7,5	6,2	3,7	
ŘÍJEN	5	7,7	6,3	5,9	4,1	3,8	3,1	12,9	12,6	8,5	7,5	4,2	4,1	5,3	6,1	4,2	6,8	4,3	7,4	8,4	10,1	7,7	8,9	10	7,6	7,1	6,1	7,6	8	5,7	7,3
LISTOPAD	5	4,1	11,1	15,2	11,8	11,7	5,3	3,2	7	7,5	14	15,7	15,7	10,7	6,7	10,6	5,9	4,2	5,5	4,2	7,4	7,5	11,5	11,6	7,7	8,3	7,5	8,8	10,4	6,3	
PROSINEC	14,6	8,9	8,1	10,2	13,3	4,7	4,3	8	13,3	11,2	14,4	13,9	11	13,4	13,9	10,7	7,6	8,4	11,3	7,5	9,7	8,5	7,2	9,1	12,7	10,2	7,7	8,5	2,9	5,9	11,4

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

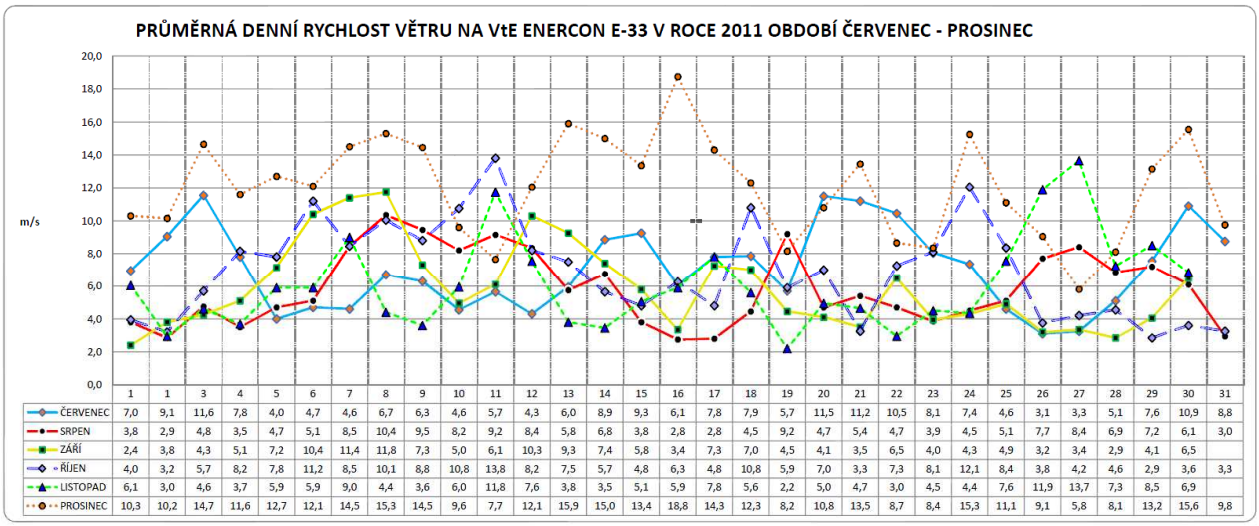
Graf 4: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-33 v roce 2011 období leden - červen



	1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
LEDEN	14,0	12,6	9,4	5,7	11,3	16,8	11,8	11,0	9,5	4,6	9,2	12,9	11,3	12,8	11,2	8,7	7,6	8,5	9,2	7,8	8,5	4,0	10,3	9,0	11,4	7,4	8,0	13,5	14,0	8,1	3,9
ÚNOR	4,1	9,0	8,9	17,3	18,6	12,9	10,8	10,0	4,9	7,8	13,1	8,8	5,5	5,6	5,2	4,7	4,9	4,3	4,1	6,1	4,4	6,7	5,4	2,5	2,3	6,1	5,0	4,7			
BŘEZEN	7,8	9,6	8,6	3,9	7,1	9,9	5,6	8,7	8,9	9,2	10,2	6,5	4,3	3,7	5,8	9,7	7,2	15,1	12,6	7,2	2,3	4,8	8,0	7,7	6,1	6,3	3,9	5,6	5,2	5,9	9,4
DUBEN	9,4	5,0	5,3	8,1	7,1	7,6	12,3	12,2	12,5	9,8	5,6	11,3	14,4	9,4	6,4	2,3	2,9	5,1	6,2	4,2	3,0	5,9	8,0	6,7	7,1	5,1	5,8	5,9	6,9	7,6	
KVĚTEN	5,1	3,0	4,8	5,3	11,1	7,0	8,1	3,1	3,5	3,5	4,3	6,9	4,7	6,0	8,2	11,3	9,9	11,7	11,6	6,3	6,6	6,1	5,2	8,0	7,3	3,6	7,0	6,3	3,4	7,6	10,1
ČERVEN	10,1	10,1	7,1	7,0	6,7	3,9	5,2	7,8	8,0	2,9	3,9	2,8	4,0	4,4	3,6	5,5	6,6	9,4	10,9	8,9	8,4	10,2	7,1	7,4	6,6	6,0	3,8	3,7	3,8	9,7	

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

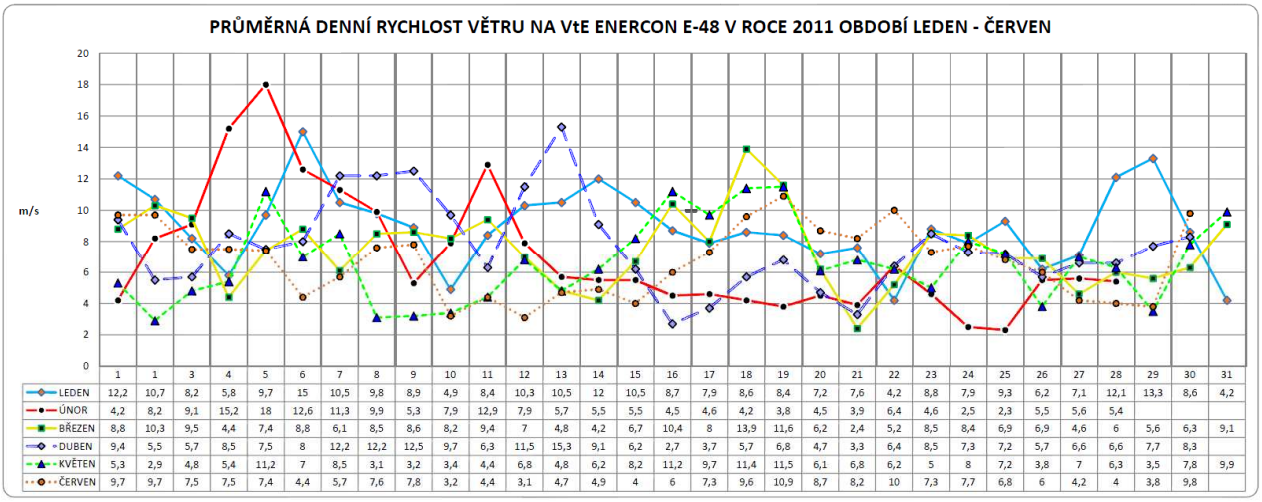
Graf 5: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-33 v roce 2011 období červenec - prosinec



	1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ČERVENEC	7,0	9,1	11,6	7,8	4,0	4,7	4,6	6,7	6,3	4,6	5,7	4,3	6,0	8,9	9,3	6,1	7,8	7,9	5,7	11,5	11,2	10,5	8,1	7,4	4,6	3,1	3,3	5,1	7,6	10,9	8,8
SRPEN	3,8	2,9	4,8	3,5	4,7	5,1	8,5	10,4	9,5	8,2	9,2	8,4	5,8	6,8	3,8	2,8	2,8	4,5	9,2	4,7	5,4	4,7	3,9	4,5	5,1	7,7	8,4	6,9	7,2	6,1	3,0
ZÁŘÍ	2,4	3,8	4,3	5,1	7,2	10,4	11,4	11,8	7,3	5,0	6,1	10,3	9,3	7,4	5,8	3,4	7,3	7,0	4,5	4,1	3,5	6,5	4,0	4,3	4,9	3,2	3,4	2,9	4,1	6,5	
ŘÍJEN	4,0	3,2	5,7	8,2	7,8	11,2	8,5	10,1	8,8	10,8	13,8	8,2	7,5	5,7	4,8	6,3	4,8	10,8	5,9	7,0	3,3	7,3	8,1	12,1	8,4	3,8	4,2	4,6	2,9	3,6	3,3
LISTOPAD	6,1	3,0	4,6	3,7	5,9	5,9	9,0	4,4	3,6	6,0	11,8	7,6	3,8	3,5	5,1	5,9	7,8	5,6	2,2	5,0	4,7	3,0	4,5	4,4	7,6	11,9	13,7	7,3	8,5	6,9	
PROSINEC	10,3	10,2	14,7	11,6	12,7	12,1	14,5	15,3	14,5	9,6	7,7	12,1	15,9	15,0	13,4	18,8	14,3	12,3	8,2	10,8	13,5	8,7	8,4	15,3	11,1	9,1	5,8	8,1	13,2	15,6	9,8

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

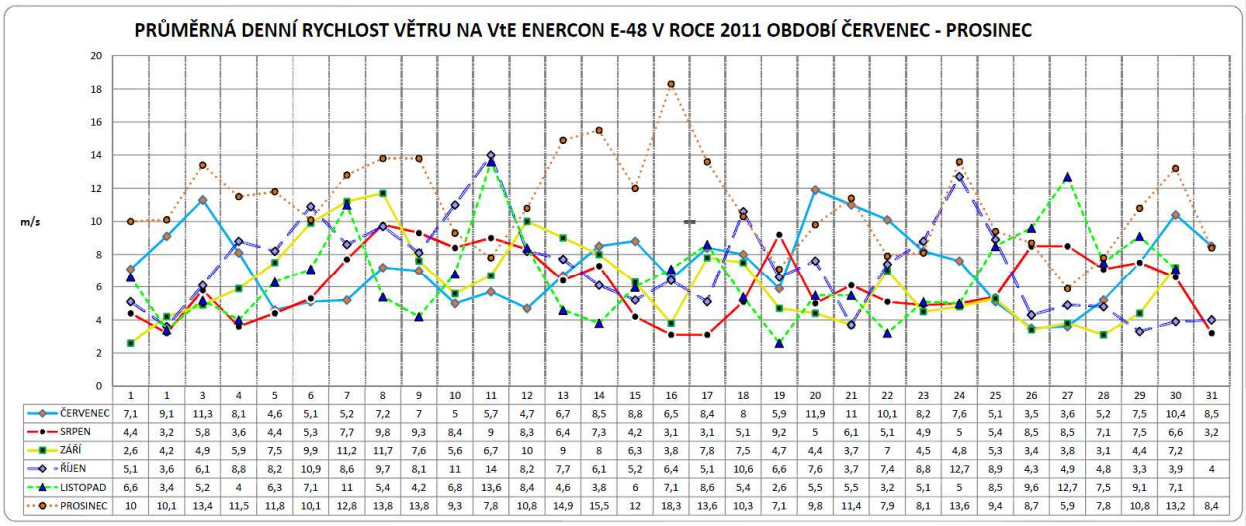
Graf 6: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-48 v roce 2011 období leden - červen



	1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
LEDEN	12,2	10,7	8,2	5,8	9,7	15	10,5	9,8	8,9	4,9	8,4	10,3	10,5	12	10,5	8,7	7,9	8,6	8,4	7,2	7,6	4,2	8,8	7,9	9,3	6,2	7,1	12,1	13,3	8,6	4,2
ÚNOR	4,2	8,2	9,1	15,2	18	12,6	11,3	9,9	5,3	7,9	12,9	7,9	5,7	5,5	5,5	4,5	4,6	4,2	3,8	4,5	3,9	6,4	4,6	2,5	2,3	5,5	5,6	5,4			
BŘEZEN	8,8	10,3	9,5	4,4	7,4	8,8	6,1	8,5	8,6	8,2	9,4	7	4,8	4,2	6,7	10,4	8	13,9	11,6	6,2	2,4	5,2	8,5	8,4	6,9	6,9	4,6	6	5,6	6,3	9,1
DUBEN	9,4	5,5	5,7	8,5	7,5	8	12,2	12,2	12,5	9,7	6,3	11,5	15,3	9,1	6,2	2,7	3,7	5,7	6,8	4,7	3,3	6,4	8,5	7,3	7,2	5,7	6,6	6,6	7,7	8,3	
KVĚTEN	5,3	2,9	4,8	5,4	11,2	7	8,5	3,1	3,2	3,4	4,4	6,8	4,8	6,2	8,2	11,2	9,7	11,4	11,5	6,1	6,8	6,2	5	8	7,2	3,8	7	6,3	3,5	7,8	9,9
ČERVEN	9,7	9,7	7,5	7,5	7,4	4,4	5,7	7,6	7,8	3,2	4,4	3,1	4,7	4,9	4	6	7,3	9,6	10,9	8,7	8,2	10	7,3	7,7	6,8	6	4,2	4	3,8	9,8	

Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Graf 7: Průměrná denní rychlost větru na VtE ENERCON E-48 v roce 2011 období červenec - prosinec



	1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ČERVENEC	7,1	9,1	11,3	8,1	4,6	5,1	5,2	7,2	7	5	5,7	4,7	6,7	8,5	8,8	6,5	8,4	8	5,9	11,9	11	10,1	8,2	7,6	5,1	3,5	3,6	5,2	7,5	10,4	8,5
SRPEN	4,4	3,2	5,8	3,6	4,4	5,3	7,7	9,8	9,3	8,4	9	8,3	6,4	7,3	4,2	3,1	3,1	5,1	9,2	5	6,1	5,1	4,9	5	5,4	8,5	8,5	7,1	7,5	6,6	3,2
ZÁŘÍ	2,6	4,2	4,9	5,9	7,5	9,9	11,2	11,7	7,6	5,6	6,7	10	9	8	6,3	3,8	7,8	7,5	4,7	4,4	3,7	7	4,5	4,8	5,3	3,4	3,8	3,1	4,4	7,2	
ŘÍJEN	5,1	3,6	6,1	8,8	8,2	10,9	8,6	9,7	8,1	11	14	8,2	7,7	6,1	5,2	6,4	5,1	10,6	6,6	7,6	3,7	7,4	8,8	12,7	8,9	4,3	4,9	4,8	3,3	3,9	4
LISTOPAD	6,6	3,4	5,2	4	6,3	7,1	11	5,4	4,2	6,8	13,6	8,4	4,6	3,8	6	7,1	8,6	5,4	2,6	5,5	5,5	3,2	5,1	5	8,5	9,6	12,7	7,5	9,1	7,1	
PROSINEC	10	10,1	13,4	11,5	11,8	10,1	12,8	13,8	13,8	9,3	7,8	10,8	14,9	15,5	12	18,3	13,6	10,3	7,1	9,8	11,4	7,9	8,1	13,6	9,4	8,7	5,9	7,8	10,8	13,2	8,4

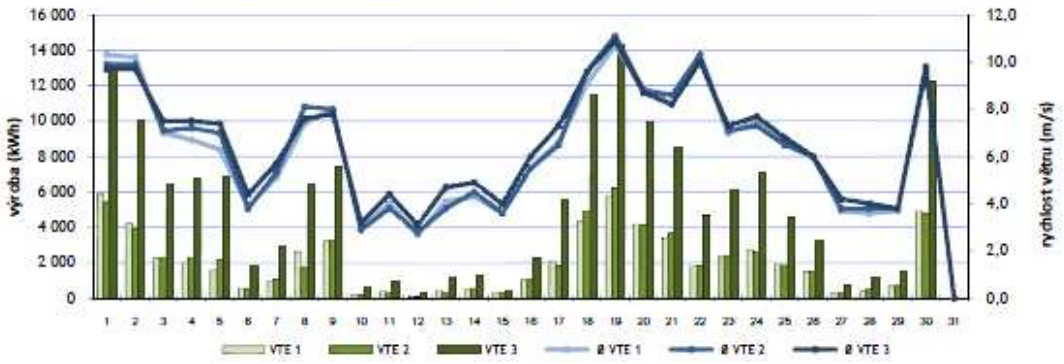
Zdroj: Vlastní zpracování dle poskytnutých dat od firmy BENOCO, s.r.o.

Obr.31: Měsíční výkaz pro červen 2011

RESEC

MĚSÍČNÍ VÝKAZ

760 606 Kč

Stanoviště :	Boží Dar - Neklid
Počet VTE :	3
Typ :	2 x ENERCON E-33, 1 x ENERCON E-48 — 2 x 330, 1 x 800 kW
Instalovaný výkon :	1 460 kW — Datum uvedení do provozu: 19.12.2006
Investor :	BENOCO s.r.o.
Provozovatel:	BENOCO s.r.o.
Rok :	2011
Měsíc :	červen

062011	VÝROBA (kWh)				RYCHLOST VĚTRU (m/s)			
DATUM	VTE 1	VTE 2	VTE 3	CELKEM	Ø VTE 1	Ø VTE 2	Ø VTE 3	Ø
1.6.2011	5 867	5 398	13 100	24 365	10,3	9,9	9,7	10,0
2.6.2011	4 213	3 891	10 008	18 112	10,2	9,9	9,7	9,9
3.6.2011	2 283	2 260	6 377	10 920	7,0	7,1	7,5	7,2
4.6.2011	2 000	2 320	6 718	11 038	6,7	7,2	7,5	7,1
5.6.2011	1 558	2 171	6 815	10 544	6,3	7,0	7,4	6,9
6.6.2011	566	554	1 820	2 940	3,9	3,8	4,4	4,0
7.6.2011	956	1 046	2 904	4 906	5,1	5,3	5,7	5,4
8.6.2011	2 636	1 761	6 436	10 833	7,4	8,1	7,6	7,7
9.6.2011	3 239	3 251	7 430	13 920	8,0	8,0	7,8	7,9
10.6.2011	219	201	571	991	2,9	2,9	3,2	3,0
11.6.2011	378	292	903	1 573	4,0	3,8	4,4	4,1
12.6.2011	122	104	289	515	2,7	2,8	3,1	2,9
13.6.2011	458	299	1 139	1 896	4,1	3,8	4,7	4,2
14.6.2011	511	565	1 316	2 392	4,3	4,5	4,9	4,6
15.6.2011	272	248	430	950	3,6	3,6	4,0	3,7
16.6.2011	1 048	1 024	2 250	4 322	5,5	5,5	6,0	5,7
17.6.2011	2 087	1 841	5 530	9 458	6,6	6,5	7,3	6,8
18.6.2011	4 332	4 867	11 518	20 717	9,1	9,6	9,6	9,4
19.6.2011	5 742	6 231	14 282	26 255	10,7	11,1	10,9	10,9
20.6.2011	4 178	4 146	9 968	18 292	8,9	8,8	8,7	8,8
21.6.2011	3 404	3 660	8 478	15 542	8,2	8,6	8,2	8,3
22.6.2011	1 814	1 841	4 690	8 345	10,1	10,3	10,0	10,1
23.6.2011	2 322	2 351	6 141	10 814	7,0	7,1	7,3	7,1
24.6.2011	2 752	2 634	7 072	12 458	7,5	7,3	7,7	7,5
25.6.2011	1 962	1 854	4 585	8 401	6,7	6,5	6,8	6,7
26.6.2011	1 484	1 532	3 221	6 237	6,0	6,0	6,0	6,0
27.6.2011	305	275	718	1 298	3,7	3,8	4,2	3,9
28.6.2011	376	465	1 179	2 020	3,6	3,8	4,0	3,8
29.6.2011	689	679	1 543	2 911	3,7	3,8	3,8	3,8
30.6.2011	4 945	4 750	12 211	21 906	9,8	9,6	9,8	9,7
CELKEM	62 718	62 511	159 642	284 871	Ø 6,5	Ø 6,5	Ø 6,7	Ø 6,6
PODÍL VÝROBY	22%	22%	56%