

KARLOVA UNIVERZITA

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Ochrana životního prostředí



## VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY A HODNOCENÍ JEJICH DOPADŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ S VYUŽITÍM GIS

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Luboš Matějček, Dr.

Autor:

Lenka Komárková

květen 2011

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 10. 5. 2011

Podpis

**Poděkování:**

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Luboši Matějčíkovi Dr. za rady a pomoc při zpracování bakalářské práce.

**Anotace:**

Větrné elektrárny jsou zařízení, která získávají energii z obnovitelných zdrojů energie a přeměňují kinetickou energii větru na energii elektrickou. Mezi obnovitelné zdroje řadíme zdroje, které mají schopnost se při postupném spotřebování částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka. Patří sem energie Slunce, geotermální energie, vodní energie, energie přílivu, mořských vln a energie biomasy. Většina obnovitelných zdrojů má původ v energii slunečního záření. Téma větrných elektráren jsem si vybrala, protože je dle mého názoru aktuální a zároveň kontroverzní. V době, kdy v celém světě docházejí neobnovitelné zdroje energie jako uhlí, ropa a zemní plyn je důležité, abychom si uvědomili, že jinou cestou než z obnovitelných zdrojů nebude v budoucnu možno energii získat. Bakalářská práce bude obsahovat stručnou historii využití větru, typy větrných elektráren, účinnost a nové technologie jako např. „offshore“ větrné elektrárny. Hlavní důraz bude kladen na porovnání kladů a záporů větrných elektráren a jejich vlivům na přírodu. Některé problémy spojené s provozem větrných elektráren bývají zveličovány, některé naopak bagatelizovány. Cílem bude tato negativa sumarizovat a z relevantních zdrojů ověřit, zda se překračují povolené limity a jak větrné elektrárny působí na okolní krajinu a obyvatelstvo. Součástí bude i hluková mapa v okolí vybrané větrné elektrárny.

**Annotation:**

Wind turbines are devices that extract energy from renewable sources of energy and transform kinetic wind energy into electrical energy. Among renewable sources belong we rank sources which have the ability to partly or fully restore themselves, without human efforts. These include solar energy, geothermal energy, hydropower, tidal, wave and biomass energy. Most renewable energy has its origin in sunlight. The topic of the wind power, I chose because I find this topic up-to-date and controversial. At a time when in the whole world are non-renewable energy sources like coal, oil and natural gas is important to realize that other than by way of renewable energy sources will be avoided in future energy sources. Bachelor thesis will include a brief history of the use of wind, types of wind power, efficiency and new technologies such as offshore wind farms. The main focus will be to compare the positives

and negatives of wind power plants and their impact on nature. Some problems associated with the operation of wind energy are exaggerated, some may be minimized. The aim will be to summarize the negatives and relevant sources to determine whether the excess of permitted limits and how wind affects the landscape and population. One part will be the noise map in the vicinity of the selected wind turbines.

### **Seznam použitých zkratk:**

AV ČR, v.v.i. – Akademie věd České republiky, vědecko – výzkumná instituce

CENIA – Česká informační agentura životního prostředí

ČR – Česká republika

ČSVE – Česká společnost pro větrnou energii

EIA – Environmental Impact Assessment, vyhodnocení vlivů na životní prostředí

ERÚ – Energetický regulační úřad

GIS – Geografický informační systém

CHKO – chráněná krajinná oblast

VtE – větrná elektrárna

WHO – World Health Organization, světová zdravotnická organizace

ŽP – životní prostředí

## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Vítr .....	10
2.1 Klimatologie proudění vzduchu .....	10
2.2 Větrný potenciál České republiky .....	11
2.3 Větrná mapa .....	14
2.4 Větrná elektrárna .....	16
3. Historie využití větru .....	18
4. Měření rychlosti vzduchu .....	19
5. Modely pro výpočet pole větru .....	20
5.1 VAS .....	20
5.2 WAsP .....	20
5.3 PIAP .....	21
6. Legislativa .....	21
7. Negativní dopady větrných elektráren .....	24
7.1 Hluk .....	24
7.2 Vliv na krajinný ráz .....	26
7.3 Dopad na volně žijící živočichy .....	28
7.3.1 Rušení .....	29
7.3.2 Kolize .....	30
7.4 Další dopady větrných elektráren .....	32
8. Pozitiva větrných elektráren .....	33
9. Offshore větrné elektrárny .....	35
9.1 Porovnání offshore a onshore větrných elektráren .....	35
10. Větrná elektrárna Pchery .....	37

10.1 Metodika a výsledky měření .....	37
11. Závěr .....	40



## 1. Úvod

Větrné elektrárny vyvolávají u české laické i odborné veřejnosti velmi rozdílné názory. Jedni tvrdí, že je to nejlepší alternativní zdroj energie, při jeho provozu se neprodukují žádné emise ani odpad. Na druhé straně stojí ti, kteří odsuzují elektrárny za jejich hlučnost, hyzdění krajiny, nestabilní výkon a zabíjení a rušení živočichů. Všem těmto názorům budu ve své práci věnovat pozornost. Přestože odkazů na toto téma je nesčetně, bylo velmi obtížné z tohoto množství najít odkazy vědecky hodnotné. Vzhledem ke zkresleným a rozdílným hodnotám hlučnosti větrných elektráren jsem se rozhodla, že osobně provedu měření hluku u větrné elektrárny Pchery na Kladensku.

Cílem práce není verdikt, zda jsou větrné elektrárny vhodným alternativním zdrojem energie. Mým cílem je zjistit, zda nejmarkantnější problémy spojované s větrnými elektrárnami jsou ověřené a podložené a jaké mají větrné elektrárny pozitiva.

## 2. Vítr

Vítr je vektorová veličina dána směrem a rychlostí. Popisuje pohyb určité částice vzduchu v určitém místě atmosféry v daném okamžiku. Pohyb vzduchu je vyvolán nerovnoměrným zahříváním zemského povrchu Sluncem, čímž vznikají tlakové rozdíly. Přemísťování vzduchových hmot je dáno Coriolisovou silou, třením a odstředivou silou. Síla tření způsobuje, že se vzduchové částice nepohybují rovnoběžně s izobarami, ale odklání směr větru k nižšímu tlaku a tím rychlost větru snižuje. Síla tření závisí na drsnosti zemského povrchu. Drsnost zemského povrchu je určena sumou účinků jednotlivých překážek. Vliv překážek na přízemní větrné pole je úměrný vzdálenosti od nich. V určité vzdálenosti od překážky, která závisí na velikosti, tvaru a charakteru překážky, se větrné pole regeneruje do původního stavu. Nad překážkami vzniká vlivem proudění mechanicky indukovaná turbulence.

### ***2.1 Klimatologie proudění vzduchu***

Klima je dlouhodobý charakteristický režim počasí. V případě větrné energetiky jsou směr a rychlost větru klíčovými parametry určujícími potenciál větrné energie. Zdrojem větrné energie je všeobecná cirkulace atmosféry, která se skládá z velkoobjemových atmosférických pohybů. Řadíme sem cyklóny, anticyklóny, pasáty, monzuny a menší vichřice, tornáda, brízy, údolní a horské větry. Tyto rozměrově malé systémy se však výrazně na větrné energii nepodílejí. Základní složkou všeobecné cirkulace atmosféry v ČR je cirkulace v cyklonách a anticyklonách. Jedná se o velkorozměrné atmosférické víry. Z hlediska větrné energetiky jsou nejvýznamnější cyklony (Cetkovský et al., 2010).

Cyklona je tlakový útvar, do jehož středu klesá tlak. Označuje se písmenem N. Izobary mají kvazieliptický tvar, průměr bývá 1000 km. Proudění má spirálový charakter a na severní polokouli směřuje proti směru otáčení hodinových ručiček. Cyklona má několik stádií: stadium mladé cyklony, stadium maximálního rozvoje a konečně stadium vyplňování (Cetkovský et al., 2010). Doba jejího trvání bývá nejčastěji 3 - 4 dny. S cyklonální cirkulací je spjata existence atmosférických front, což jsou přechodné zóny mezi dvěma vzduchovými hmotami rozdílné teploty. Rychlost větru se v důsledku teplotního gradientu na frontách zvyšuje, na studených frontách dostává vítr nárazovitý charakter (Hošek, Štekl, 2001).

Anticyklona je oblast s vyšším tlakem, do středu tlak stoupá (označení V). Směr cirkulace na severní polokouli je ve směru hodinových ručiček. Anticyklony mají větší horizontální rozsah než cyklony, pohybují se pomaleji. Mají také několik stádií, trvají většinou 4 - 6 dní, maximálně i 10. Anticyklony se vyznačují malými tlakovými gradienty. Anticyklonální situace se projevuje bezvětřím a slabými větry, tudíž nejsou vhodné pro činnost větrných elektráren (Cetkovský et al., 2010).

Cirkulace atmosféry závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:

- zářivá energie Slunce
- rotace Země kolem vlastní osy
- tvar a charakter zemského povrchu
- tření

## ***2.2 Větrný potenciál České republiky***

Spolu se zaváděním větrných elektráren se vyvinula nová vědecká disciplína – meteorologie ve větrné energetice. Jde o relativně mladý vědecký obor, který úzce souvisí s úspěšným rozvojem větrné energetiky.

Hlavní cíle tohoto oboru jsou:

- určení větrného potenciálu na území státu či v dané lokalitě
- rozvíjení metod pro vyhledávání optimálního umístění větrných elektráren v terénu s ohledem na vlivy překážek
- hodnocení projevů meteorologických podmínek (př. hustota, teplota, námraza, turbulence)
- zdokonalování metod předpovědi výroby elektrické energie

Množství a výkon větrných elektráren, které lze instalovat na daném území nazýváme větrný potenciál. Znalost větrného potenciálu větrné energie je důležitým podkladem pro plánování v oblasti větrné energetiky i v dalších oborech, např. provozu elektrizační soustavy a systému

vyrovnávání odchylek mezi výrobou a spotřebou energie. Na základě tohoto parametru se určuje vhodnost území pro výstavbu větrné elektrárny. Lze rozlišit několik větrných potenciálů:

A) *Klimatologický potenciál*: udává množství celkové energie, které je možno z větru získat za určitých předem definovaných podmínek. Je určen hustotou výkonu větru, která se udává ve výškách 30 - 40 m nad zemským povrchem, kde se účinky drsnosti zemského povrchu významně neprojevují, nebo ve výšce 80 m, což je současná převládající výška os turbín. Jedná se o vysokou hodnotu, ve které nejsou zahrnuty reálné technické možnosti ani zásadní legislativní omezení.

B) *Technický potenciál*: ukazuje, jaký by byl maximální možný rozvoj větrné energetiky při úplném využití současných technických možností i legislativních omezení. Lze ho definovat celkovým nominálním výkonem a celkovou roční výrobou elektřiny z větrných elektráren, odpovídajících jejich technické úrovni. Je třeba respektovat požadavky na jejich výstavbu a provoz, jimiž jsou dopravní infrastruktura, připojovací podmínky, hlukové emise, vzdálenost od okrajů vzrostlého lesa, ochranná vzdálenost od silnic, železnic, elektrického vedení, koridory chráněné pro letecký provoz, vliv stroboskopického efektu, chráněné krajinné oblasti, národní přírodní rezervace, okolí národních přírodních památek a přírodních památek dle Zákona o ochraně přírody a krajiny č. 114/1992 Sb. Technický potenciál není konstantní v čase, protože závisí na vývoji uvažovaných technologií větrných elektráren. Jeho hodnota je pouze teoretická, neboť plné využití technického potenciálu je nereálné.

C) *Realizovatelný potenciál*: potenciál, jehož realizace je za současných podmínek možná. Získá se redukcí technického potenciálu korekčním faktorem, který však nelze stanovit exaktním postupem. Korekce závisí na kapacitě přenosových sítí, na výsledku řízení EIA, na postojích zastupitelstev obcí, na průběhu územního řízení a stavebního povolení. Závisí na zvolených předpokladech a metodách a bývá subjektivně ovlivněn příslušným odborníkem.

D) *Referenční potenciál*: S očekávaným rozvojem větrné energetiky a s nabytím platnosti zákona o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie se objevila potřeba stanovení referenční hodnoty větrného potenciálu. Tato veličina má zásadní význam pro stanovení pevné výkupní ceny. Referenční hodnota větrného potenciálu má význam i při porovnávání větrného potenciálu jednotlivých lokalit a vychází z větrného klimatu na území ČR (Hanslian, 2007).

Výkon větrné turbíny je dán vzorcem:

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

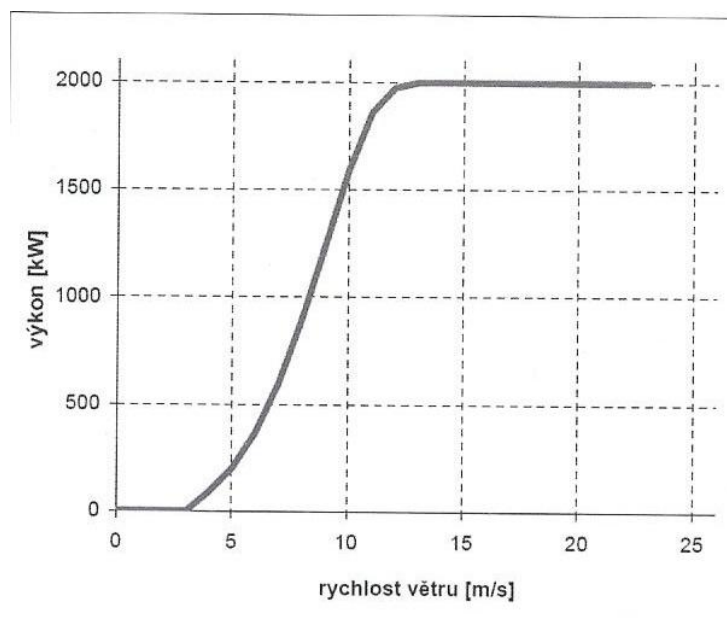
$c_p$  .....součinitel výkonu

$S$  .....plocha opisovaná rotorem

$\rho$  .....hustota vzduchu

$u$  .....rychlost větru

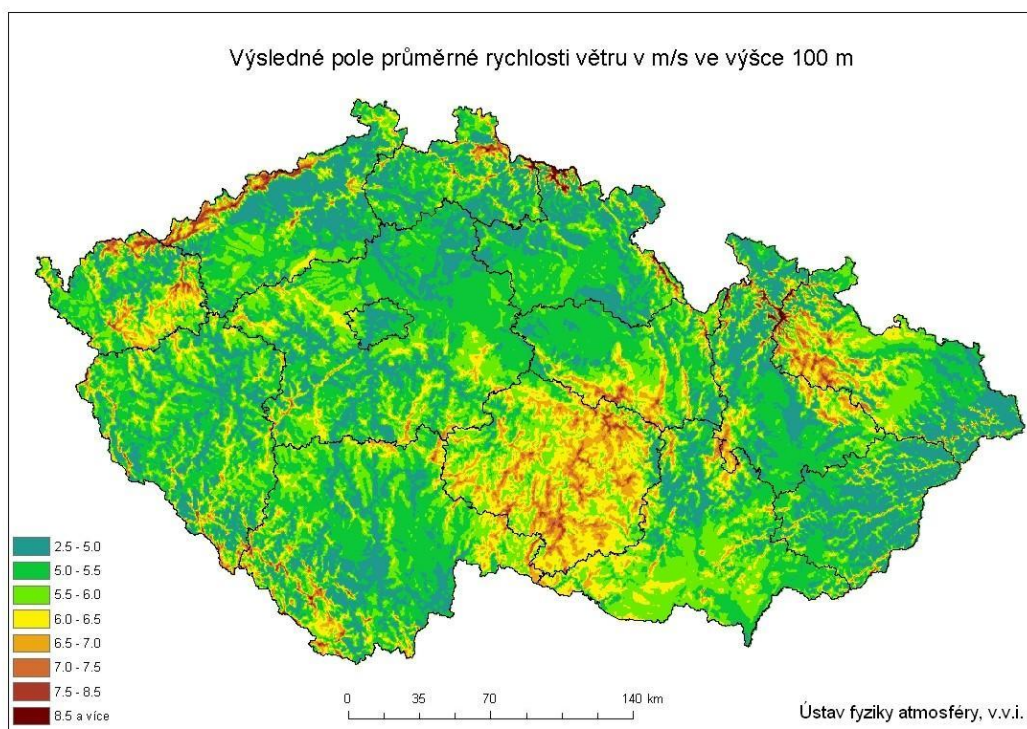
Teoretická maximální hodnota součinitele výkonu  $c_{p \max}$  je 0,593, reálně se však pohybuje v hodnotách do 0,5 (Rychetník et al., 1997). Výroba elektrické energie se udává v kWh, MWh, GWh a zpravidla se vztahuje k období jednoho roku (MWh za rok). Závisí na větrných poměrech v daném místě, výkonové křivce větrné elektrárny a technických a dalších okolnostech, např. porucha, údržba, námraza. Výkonová křivka definuje závislost výroby elektrické energie na rychlosti větru pro danou elektrárnu. Typická elektrárna začíná vyrábět energii při rychlostech kolem  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , pak výkon prudce roste až do dosažení plného výkonu mezi  $10 - 15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při velmi vysokých rychlostech větru kolem  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se větrná elektrárna z bezpečnostních důvodů zabrzdí.



Graf č. 1 : Výkonová křivka větrné elektrárny s výkonem 2 MW a průměrem rotoru 90 m

## 2.3 Větrná mapa

Větrné poměry na území ČR je možné zhodnotit pomocí plošného výpočtu matematickými modely do tzv. větrné mapy. V souvislosti s větrnými elektrárnami nás nejvíce zajímá rychlost větru v dané výšce nad zemským povrchem. Na výšce nad zemí velmi záleží, protože v nižších výškách jsou zpravidla mnohem nižší rychlosti větru a rychlost je navíc silně ovlivněna překážkami. V minulosti byla publikována řada větrných map pro Českou republiku. Původně byly tyto mapy vztaženy k výšce 10 m nad zemským povrchem (Sokol, Štekl, 1995). V současné době se stavějí větrné elektrárny o výšce 100 m a více a tudíž pro ně nejsou tyto staré mapy vhodné. Aktuální větrná mapa byla vytvořena v roce 2007 na Ústavu fyziky atmosféry AV ČR (Hanslian et al., 2008). Byl přitom použit postup využívající všech tří matematických modelů – statistické VAS, modelu pro větrnou energetiku WAsP a dynamického modelu PIAP.



Obr. č. 1 : Pole průměrné rychlosti větru v ČR ve výšce 100 m

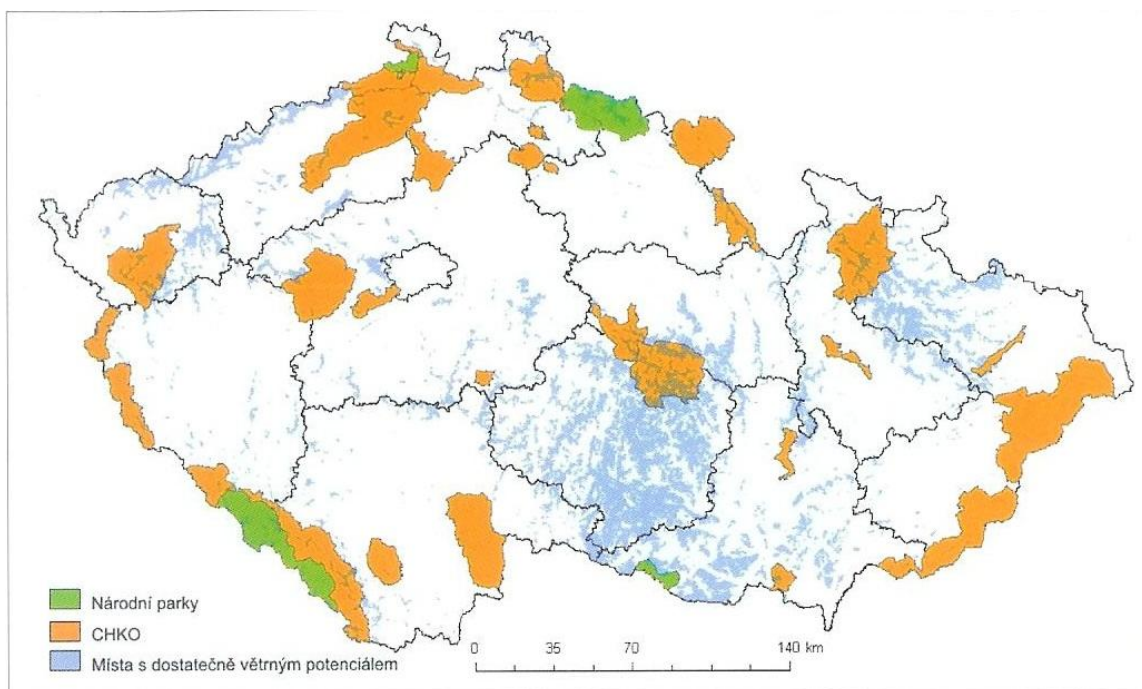
V rámci studie Ústavu fyziky atmosféry byl na AV ČR proveden výpočet technického a realizovatelného potenciálu větrné energie (Hanslian et al., 2008). Nejprve byla vymezena území, kde nedostatečná rychlost větru neumožňuje stavbu ekonomicky fungující větrné

elektrárny. Hranice byla určena na  $6 \text{ m.s}^{-1}$  ve výšce 100 m. Typická lokalita splňující tuto hodnotu byla otevřená krajina v nadmořské výšce kolem 500 m n. m. Území s dostatečným větrným potenciálem byla konfrontována s omezeními vyplývajícími z české legislativy.

Jako nevhodná území pro výstavbu větrných elektráren byla vymezena:

- území sídel včetně jejich okolí do vzdálenosti 500 m
- zvláště chráněná území (NP, CHKO a maloplošná chráněná území)
- vojenské újezdy
- okolí hlavních letišť a ochranná pásma kolem dopravních komunikací
- páteřní energetické infrastruktury

Jako podmíněně vhodná pak byla označena území přírodních parků, chráněných území soustavy Natura 2000 (ptačí oblasti a evropsky významné lokality) a plochy lesních porostů. Na těchto území nelze stavbu vyloučit, ale budou se jí týkat mnohá omezení (Prchal, 2009).



Obr. č. 2 : Území s větrným potenciálem dostatečným pro výstavbu větrných elektráren

Z vypočteného technického potenciálu větrné energie lze teoreticky na území ČR postavit asi 10 000 větrných elektráren o výkonu 2 MW a 3 000 větrných elektráren o výkonu 3 MW. Výkonnější větrné elektrárny by se nacházely ve vyšších nadmořských výškách, kde by se překrývaly s územím Natura 2000. Na většině těchto území jsou však současně i vojenské

újezdy, tudíž je zde výstavba větrných elektráren ze zákona zakázána (Cetkovský et al., 2010).

Kromě přírodních a legislativních faktorů je výstavba větrných elektráren limitována ještě řadou dalších faktorů. Jedná se např. o dostupnost a kapacitu elektrické sítě a dopravní infrastruktury, střety s jinými technologiemi (př. vojenské radary) a v neposlední řadě o společenský zájem. Stavba větrné elektrárny není možná bez souhlasu obce, na jejímž území se nachází. Dále musí stavbu schválit příslušný státní orgán. Toto rozhodnutí nebývá na základě zhodnocení větrného potenciálu daného místa, ale často bývá ovlivněno subjektivními názory.

## **2.4 Větrná elektrárna**

Větrná elektrárna je zařízení, které získává energii přeměnou kinetické energie větru na energii elektrickou. Nejdůležitější součástí všech větrných elektráren je rotor, který určuje jejich účinnost. Postupně se ustálila konstrukce s třílistými rotory, které jsou aerodynamicky vyvážené. Otáčky rotoru (10 - 20 za minutu) jsou transformovány na mnohem vyšší rotační rychlost generátorů (1500 ot. za min). Koncem 90. let se začala používat bezpřevodková technologie, která má mnoho pozitiv, jako např. snížení mechanického hluku, možnost zmenšení gondoly, zjednodušení údržby. Každá větrná elektrárna je vybavena řídicím a bezpečnostním systémem. Významný vývoj zaznamenaly stožáry větrných elektráren, které se z původních 20 m dostaly až na 150 m.

V závislosti na průměru rotoru, se větrné elektrárny dělí na:

- *Malé*: průměr rotoru do 16 m s nominálním výkonem menším než 60 kW, patří sem například mikro zdroje k napájení radiových a televizních přijímačů, ledniček, použitelné k osvětlení a ohřevu vody
- *Střední*: průměr vrtulí od 16 do 45 m a nominální výkon v rozmezí 60-750 kW
- *Velké*: průměr vrtulí 45 – 128 m a nominální výkon turbín od 750 do 6400 kW, nyní se na území ČR staví nejčastěji větrné elektrárny s nominálním výkonem 2000-3000 kW (Štekl, 2007)



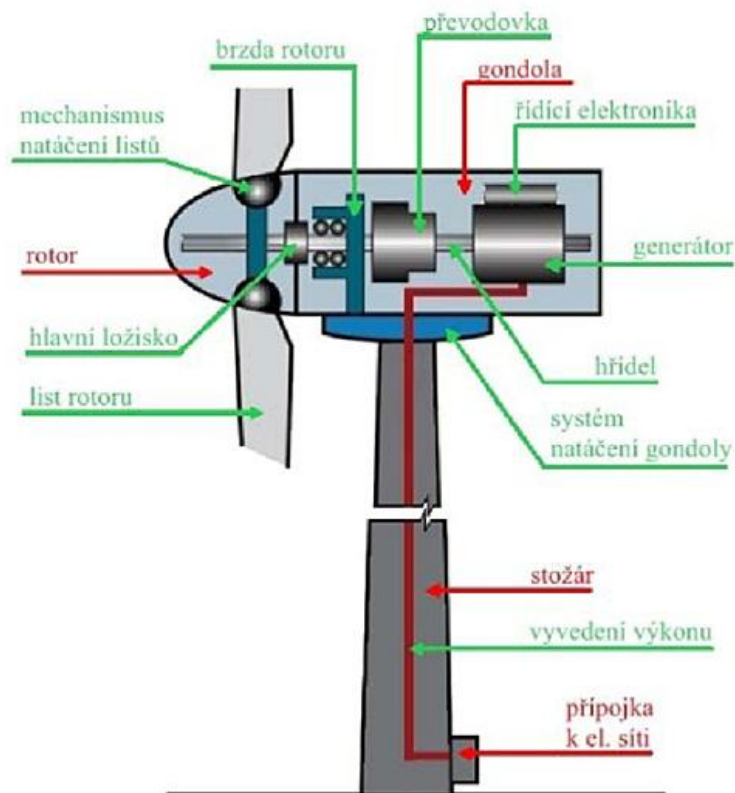
Proudící vzduch předává lopatkám část své kinetické energie. Albert Betz v roce 1919 odvodil teoreticky maximální dosažitelnou účinnost větrného stroje na 59%. Betzův vzorec pro maximální možnou účinnost větrné elektrárny zní:

$$P_t = k_B \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2}$$

$k_B$  ..... Betzův koeficient 0,59

$v$  ..... rychlost větru v  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$\rho$  ..... hustota vzduchu (u země  $1.25 \text{ kg/m}^3$ )



Obr. č. 3: Schéma velké větrné elektrárny

### 3. Historie využití větru

Větrnou energii používá lidstvo od dávnověku. Vítr poháněl plachetnice, větrné mlýny, vodní čerpadla. Ve větrných mlýnech se energie větru využívala v minulosti i na území našeho dnešního státu, první zmínka je již z roku 833 (Cetkovský et al., 2010). Historicky je postavení prvního větrného mlýna na území Čech, Moravy a Slezska doloženo již v roce 1277 v zahradě Strahovského kláštera v Praze. Největší rozkvět větrného mlynářství v Čechách je vázán na první polovinu 19. století (Pokorný, 1973). Celkem byla na území ČR doložena existence 681 větrných mlýnů (Burian, 1965).

Přímým impulsem pro rozvoj větrné energetiky v Evropě byla energetická krize v roce 1973, která byla vyvolána embargem zemí OPEC na vývoz ropy do hospodářsky vyspělých států. Při neustále se zvyšujících cenách ropy byla snaha využít co nejvíce obnovitelných zdrojů. Prvním státem, kde se začaly stavět větrné elektrárny bylo Dánsko, a to již v 80. letech minulého století (Štekl et al., 1993).

Rozvoje větrné energetiky na území ČR probíhal ve dvou fázích:

První fázi lze datovat do období 1990-1995, kde motivujícími faktory rozvoje byly dynamický rozvoj větrné energetiky v Dánsku a Německu. Tento trend zapůsobil na řadu nových podnikatelů, v nabídce byly levné větrné elektrárny vyráběné ve Frýdku - Místku, později firmami Energovars a Ekov. V tomto období se postavilo 25 VtE s celkovým instalovaným výkonem 8 180 kW. S větrnou energetikou v tomto období je spojována řada nedokonalostí: neexistovala potřebná legislativa, nebylo potřebné odborné zázemí oboru, větrné elektrárny české výroby neprošly zkušebním provozem a vykazovaly značnou poruchovost. Výstavba větrných elektráren v tomto období byla situována do lokalit s nedostatečným větrným potenciálem. Výkupní cena elektrické energie z větrných elektráren se pohybovala kolem 1,13 Kč/kWh, což neumožňovalo udržet rentabilitu provozu (Štekl, 2006).

Spouštěcím impulsem 2. etapy větrné energetiky na území ČR byla změna ceny za kWh vyrobenou větrnými elektrárnami. V listopadu 2001 stanovilo ERÚ hodnotu na 3,00 Kč/kWh. Tato výkupní cena se udržela do roku 2003, následně byla snižována, až na 2,46 Kč/kWh pro

rok 2006. Reakce na novou výkupní cenu se projevila v reálné výstavbě větrných elektráren s určitým časovým zpožděním, které bylo dáno délkou přípravy projektu a dobou schvalovacího řízení. V průmětu trvá tento proces kolem 2 let (Štekl, 2006).

V současné době je na území České republiky celkový instalovaný výkon větrných elektráren 215 MW.

#### 4. Měření rychlosti vzduchu

Vítr je charakterizován směrem a rychlostí. Směr proudění větru je dán světovou stranou, odkud vítr vane. Rychlost větru je udávána Beaufortovou stupnicí síly větru. Pokud lokalita splní všechny předpoklady pro výstavbu větrné elektrárny, je nutno ještě provést v daném místě stožárové měření větru. Takové měření musí trvat minimálně jeden rok, aby ho bylo možno pomocí korelačních metod prodloužit na klimatologicky významné období. V současné době je měření většinou prováděno pomocí automatických senzorů, jejichž výsledky jsou elektronicky přenášeny do záznamového zařízení. Měření je díky tomu možné provádět opakovaně v krátkém časovém intervalu. Jen zřídka dochází k měření v plném časovém rozlišení, proto dochází k jejich průměrování. V oboru větrné energetiky je typický průměrovací interval 10 minut. Zaznamenává se průměrná rychlost a směr větru. Dále je vhodné zaznamenat nejvyšší a nejnižší hodnotu rychlosti větru v daném intervalu a směrodatnou odchylku rychlosti větru.

Klasickým přístrojem na měření rychlosti větru je **miskový anemometr**, často také nazývaný Robinsonův kříž. Toto zařízení pracuje na principu rozdílného působení větru na vypouklou a vydutou stranu misek. Vítr uvádí soustavu misek do pohybu, jehož rychlost je přímo úměrná rychlosti větru. Nevýhodou tohoto anemometru je mechanický charakter a brzké opotřebení komponent ve venkovních podmínkách. Dále zde můžeme sledovat tzv. overspeeding efekt, kdy misky anemometru reagují na náhlé zvětšení rychlosti větru rychleji, než na zmenšení rychlosti větru. Projevuje se to např. při nárazovitém větru nebo turbulentním proudění, kdy anemometr ukazuje vyšší hodnoty, než ve skutečnosti jsou. Vzhledem k tomu, že miskový anemometr zaznamenává pouze rychlost větru, je třeba doplnit měření zařízením na měření směru větru. Nejčastěji se užívá větrná směrovka (Cetkovský et al. 2010).

V současné době se častěji používá **anemometr akustický**, nebo též sonický, ultrasonický. Tento anemometr využívá vlastnosti šíření zvukových vln v prostředí. Tyto senzory mohou měřit i sonickou teplotu, která bývá odvozena od měřené rychlosti větru. Rychlost a směr větru jsou tedy měřeny současně a bezkontaktně, nemají žádné pohyblivé mechanické součásti, což eliminuje hlavní problémy spojované s miskovým anemometrem. Zároveň je akustický anemometr odolnější vůči námraze. Může ale docházet k různým typům chyb, např. vlivem poruchy signálu nebo usazením nečistot nebo vodních kapek (Cetkovský et al., 2010).

## 5. Modely pro výpočet pole větru

### 5.1 VAS

Speciální interpolační metoda, vyvinutá v letech 1994-1995 na Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, je model VAS - Větrný atlas (Sokol, Štekl, 1995). Je založen na trojrozměrné interpolaci naměřených průměrovaných hodnot rychlostí větru. Mezi předpoklady této metody patří především dostatečná hustota meteorologických stanic a reprezentativnost naměřených dat v širším okolí stanice z hlediska vlivů orografie, drsnosti povrchu a dalších vlivů.

### 5.2 WAsP

Pro rychlý výpočet větrných charakteristik určitého místa byly vytvořeny modely, kde jsou původní nelineární rovnice popisující proudění v atmosféře linearizovány. V oblasti větrné energie je nejrozšířenějším takovým modelem WAsP vyvinutý v dánské Riso National Laboratory (Troen, Petersen, 1989). Představuje model proudění v přízemní vrstvě atmosféry složených z dílčích modelů postihujících různé účinky zemského povrchu na větrné poměry. Postup určení větrného potenciálu probíhá na základě těchto 3 kroků:

- 1) Výpočet regionálních klimatologických charakteristik
- 2) Aplikace regionálních klimatologických charakteristik
- 3) Výpočet roční produkce energie v daném místě

Model WAsP je nejvhodnějším dostupným modelem pro analýzu větrného potenciálu lokality v případě, že se v blízkosti nachází kvalitní referenční stanice. Pokud se však referenční stanice nachází ve větší vzdálenosti od posuzované lokality či v odlišné nadmořské výšce, může být výsledek zkreslený.

### **5.3 PIAP**

Trojrozměrné modely proudění v atmosféře používající plnou soustavu pohybových rovnic mohou poskytovat věrný obraz pole proudění vzduchu nad komplexním terénem. Jejich nevýhodou je značná složitost. Do této skupiny numerických modelů proudění patří model PIAPBLM, zkráceně PIAP, vyvinutý na Ústavu fyziky atmosféry AV ČR. Základní soustavou rovnic jsou Reynoldsovy rovnice pro střední hodnoty (Cetkovský et al. 2010).

## **6. Legislativa**

Česká republika se jako člen Evropské unie zavázala ke zvýšení podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Zde uvedu nejvýznamnější zákony týkající se větrné energetiky:

### **č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí**

Posuzují se vlivy na veřejné zdraví a vlivy na životní prostředí, zahrnující vlivy na živočichy a rostliny, ekosystémy, půdu, horninové prostředí, vodu, ovzduší, klima a krajinu, přírodní zdroje, hmotný majetek a kulturní památky, na jejich vzájemné působení a souvislosti.

Způsob posuzování vlivů na ŽP:

- Posuzování zahrnuje zjištění, popis, posouzení a vyhodnocení předpokládaných přímých a nepřímých vlivů na ŽP.

- Při posuzování vlivů na ŽP se vychází se stavu ŽP v daném území v době ohlášení záměru.
- Při posuzování záměru se hodnotí vlivy na ŽP při jeho přípravě, provádění, provozování i jeho ukončení, popř. důsledky jeho likvidace a dále sanace nebo rekultivace území, pokud tuto povinnost stanoví zvláštní právní předpis. Posuzuje se i možnost havárie.
- Posuzování záměru zahrnuje i návrh opatření k předcházení nepříznivým vlivům na ŽP (CENIA).

Proces posuzování vlivů na hodnocení ŽP se označuje EIA (Environmental Impact Assessment). Cílem tohoto procesu je získat představu o výsledném vlivu stavby na ŽP a vyhodnocení, zda je vhodné tuto stavbu realizovat a za jakých podmínek. Proces nepodléhá správnímu řádu, má jen doporučující charakter. Studie EIA se příkládá k žádosti o realizaci všech staveb, které mají výrazný dopad na ŽP.

#### **č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny**

Účelem zákona je přispět k udržení a obnově přírodní rovnováhy v krajině, k ochraně rozmanitostí forem života, přírodních hodnot a krás, k šetrnému hospodaření s přírodními zdroji a vytvořit v souladu s právem Evropských společenství v České republice soustavu Natura 2000. Přitom je nutno zohlednit hospodářské, sociální a kulturní potřeby obyvatel a regionální a místní poměry.

Ochranou přírody a krajiny se podle tohoto zákona rozumí péče státu a fyzických i právnických osob o volně žijící živočichy, planě rostoucí rostliny a jejich společenstva, o nerosty, horniny, paleontologické nálezy a geologické celky, péče o ekologické systémy a krajinné celky, jakož i péče o vzhled a přístupnost krajiny.

## **č. 180/2005 Sb. o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie**

Účelem tohoto zákona je:

- v zájmu ochrany klimatu a ochrany životního prostředí podpořit využití obnovitelných zdrojů energie
- zajistit trvalé zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů
- přispět k šetrnému využívání přírodních zdrojů a k trvale udržitelnému rozvoji společnosti
- vytvořit podmínky pro naplnění interaktivního cíle podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny v České republice ve výši 8% v roce 2010 a vytvořit podmínky pro další zvyšování tohoto podílu po roce 2010

## **č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií**

Součástí tohoto zákona je i státní energetická koncepce, dokument s výhledem na následujících 30 let vyjadřující cíle státu v energetickém hospodářství, včetně ochrany životního prostředí. Naplňování energetické koncepce zpracovává Ministerstvo průmyslu a obchodu nejméně jednou za 5 let a o výsledcích informuje vládu. Zákon obsahuje i Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie. Tento program zpracovává Ministerstvo životního prostředí na období 1 roku.

K uskutečnění Programu mohou být poskytovány dotace ze státního rozpočtu na:

- energeticky úsporná opatření ke zvyšování účinnosti využití energie
- rozvoj využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie
- vědu, výzkum a vývoj v oblasti nakládání s energií

## **č. 458/2000 Sb. energetický zákon**

Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství, zároveň navazuje na přímo použitelné předpisy Evropských společenství a upravuje podmínky podnikání, výkon státní správy a regulaci v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství. Vymezuje možnosti podnikání v oblasti energetiky a podmínky pro získání licence v tomto odvětví.

Znění zákonů bylo převzato z Portálu veřejné správy České republiky.

## **7. Negativní dopady větrných elektráren**

Mezi nejčastěji zmiňované a nejpálčivější problémy patří:

- Hluk
- Vliv na krajinný ráz
- Dopad na volně žijící živočichy

Problémy může způsobit i odlétávající led, rušení TV signálu, infrazvuk, stroboskopický efekt. Obyvatelé dotčených obcí pak mají strach z eventuálního poklesu ceny nemovitostí či odlivu turistů.

### **7.1 Hluk**

Zvuk je mechanické kmitání pružného prostředí, které je dáno tlakem a frekvencí. Hluk je jakýkoliv zvuk s rušivým nebo obtěžujícím charakterem. Lidské ucho je schopno vnímat zvuk v rozmezí 0-120 dB, frekvence 16Hz až 16 kHz, tyto hodnoty jsou ovšem velmi individuální. Během tvorby energie ve větrných elektrárnách se produkují hlukové emise. Tyto emise lze dělit do dvou kategorií:



1) **Mechanický hluk:** vzniká v důsledku pohybující se převodovky, generátoru, pohonu natáčení, ventilátorů chlazení a pomocných pohonů. Tyto hluky jsou přirozeně tónové, mohou se šířit vzduchem i konstrukcí. Nyní se častěji používají bezpřevodovkové technologie, které tento problém eliminují.

2) **Aerodynamický hluk:** tento hluk je širokopásmové povahy a vzniká prouděním větru okolo částí vrtule. Při zvýšených rychlostech dochází ke zvýšení těchto emisí.

Z pohledu působení hluku na člověka můžeme vymezit několik pojmů:

- rušení, při němž hluk interferuje s nějakou činností (spánkem, duševní prací, apod.)
- rozmrzelost, pocit nepohody, obtěžování
- hlučnost, což je subjektivní hodnocení pocitu s nepatřičností hluku v konkrétním prostředí

Dle světové zdravotnické organizace WHO rozlišujeme působení hluku dle jeho intenzity a doby expozice (noc/den) na hluk, který způsobuje: poškození lidského zdraví ve formě zhoršení sluchu, zhoršení srozumitelnosti řeči a komunikace, poruchy spánku a fyziologických funkcí lidského organismu jako jsou například zvýšení krevního tlaku, ischemická choroba srdeční a v neposlední řadě mentální onemocnění v podobě nejrůznějších neuróz atd. (Koplík, 2006).

Legislativně je v ČR řešena problematika hlukových emisí a vibrací zákonem č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. V tomto zákoně jsou též vymezeny maximální možné hodnoty pro hlukové emise. Hluk  $V_{tE}$  se měří a hodnotí v ekvivalentních hladinách akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$ . Kritickým obdobím dne z pohledu hygienického limitu i zdravotních účinků je noční doba (22-6 hod). Noční limit v ČR je  $L_{Aeq,T=}$  40 dB v chráněném venkovním prostoru staveb a  $L_{Aeq,T=}$  30 dB v chráněném vnitřním prostoru staveb, denní limit pak  $L_{Aeq,T=}$  50 dB. Při hodnotách kolem 30 dB mohou nejcitlivější jedinci pozorovat ovlivnění kvality spánku, větší vliv na zdraví mají ale hodnoty nad 40 dB (Jirásková, 2009).

Při zjišťování hlučnosti  $V_{tE}$  se provádí hygienická měření. Při něm se výsledky akustické studie ověřují měření u nejbližších obytných domů. Měření musí porovnávat hluk z provozu

VtE s přirozeným hlukem okolního prostředí. Úroveň hluku závisí na terénu, od určité rychlosti větru ( $7-8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) převažuje hluk okolního prostředí, např. vítr v korunách stromů.

U veřejnosti panují silné obavy z infrazvuku, který by měly VtE vydávat. Jde o omyl, měření infrazvuku a nízkofrekvenčního zvuku neprokázala významný vliv na člověka.

Na závěr bych k hlučnosti větrných elektráren dodala, že limity pro Českou republiku jsou přísnější než v ostatních státech EU a jsou v souladu s WHO.

## **7.2 Vliv na krajinný ráz**

Krajinný ráz je pojem používaný ve spojitosti s ochranou krajiny, jejího obrazu, estetických a přírodních hodnot. Hodnocení krajinného rázu vychází ze dvou přístupů – expertního a percepčního, tedy jak je daná krajina či stavba v krajině vnímána. Při rozhodování o akceptaci projektů větrné energie je právě krajinný ráz rozhodujícím faktorem. Každé takovéto měření je ale velmi subjektivní, protože hodnota krajinného rázu není exaktně změřitelná.

Každé energetické odvětví zatěžuje jistou měrou životní prostředí. U větrných elektráren patří k ovlivnění krajinného rázu mezi nejvýznamnější vlivy. Jde totiž o stavby značných vertikálních rozměrů, celková výška je nejčastěji 100 - 150 m. Vizuelní působení v krajině je dále zesíleno tím, že se kvůli maximálnímu využití větrného potenciálu nejčastěji staví na vyvýšeninách.

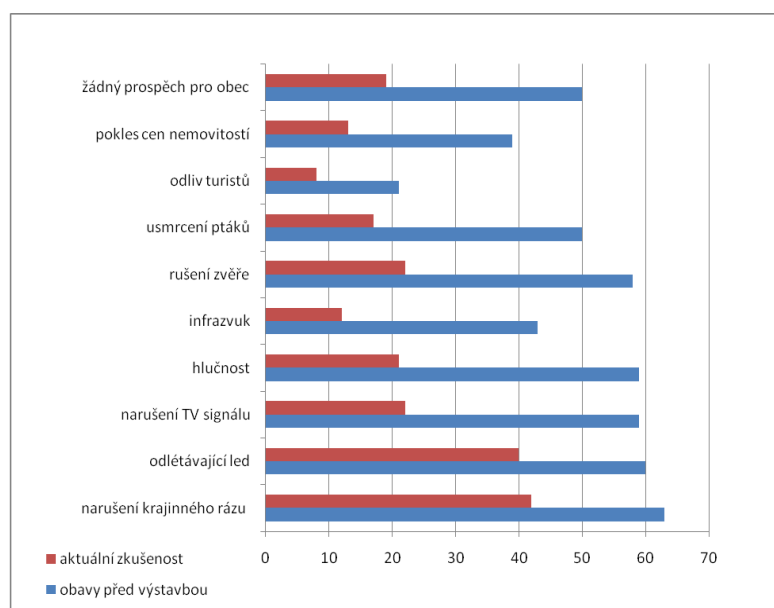
Ovlivnění krajinného rázu však může být i pozitivní. Dle Vorla (2006) mohou VtE představovat v krajině pozitivní estetickou hodnotu jako výrobek HI-TECH.

GIS hraje v hodnocení krajinného rázu důležitou roli. Výhodou toho systému je, že umožňuje zpracovat data a aplikovat je na rozsáhlé území. Nejčastěji bývá GIS používán k vizualizaci a analýze viditelnosti plánovaných elektráren.

V ČR je nepoužívanější metodikou při hodnocení vlivu VtE na krajinný ráz metodika autorů Vorla et al. (2006), skládající se z následujících postupů:

- vymezení dotčeného krajinného prostoru
- vymezení oblastí a míst krajinného rázu
- identifikace znaků krajinného rázu a jejich klasifikace
- posouzení vlivu na identifikované znaky
- určení snesitelnosti zásahu na základě zjištěné míry vlivů a vyhotovení závěru

Ve spojitosti s názorem obyvatel na stavbu VtE bývá spojován syndrom NIMBY. Tato zkratka pochází z anglického *Not In My Backyard* – „Ne na mém dvorku“. Tento syndrom je charakterizován odporem místních obyvatel proti uskutečnění nového projektu i přesto, že by z něj určitým způsobem profitovali. Může se vztahovat k širokému spektru staveb – např. elektráren, letišť, dálnic, tunelů, nemocnic, věznic. Tyto objekty mohou určitým způsobem – vizuálně, hlukem – ovlivňovat žijící v daném místě a subjektivně u nich převážit význam a přínos dané stavby. NIMBY syndrom vzniká nejčastěji tehdy, pokud je z hlediska „vyššího zájmu“ potřeba v nějaké lokalitě realizovat stavbu určitého projektu, který místní občané vnímají tak, že prospěch z něj bude mít společnost jako celek. Základní problém této teorie je to, že nerozlišuje mezi zájmy oponentů a jejich motivy (Wolsink, 2007). Přitom jen při stavbě VtE může být hned několik důvodů, proč se dotčené osoby obávají ji mít ve svém okolí: strach z hluku, narušení krajinného rázu, pokles ceny pozemků a nemovitostí a odliv turistů.



Graf č. 2: Změny ve vnímání negativních dopadů VtE na životní prostředí a člověka

Data ve výše uvedeném grafu jsou převzata z výzkumu prováděného Ústavem geoniky AV ČR. Tento výzkum probíhal formou dotazníkového šetření na území dotčených obcí v ČR a v sousedním Rakousku. Z grafu je patrné, že lidé dotčených obcí se vlivem neznalostí a ovlivnění médií přehnaně obávají výstavby VtE na území jejich obce. Předchozí obavy se většinou nenaplnily, či alespoň ne v takové míře. Tyto výsledky korespondují se závěry obdobných studií v zahraničí. Na základě analyzovaných dat lze tvrdit, že významnou roli zde hraje i faktor ekonomických výhod či kompenzací, které získávají právě obce, na jejichž katastrálním území VtE stojí. Téměř polovina ze skupiny odpůrců by souhlasila s výstavbou v případě, že by z toho oni sami či jejich domácnost měla nějaký ekonomický zisk – finanční příspěvek, levnější elektřina. Z výzkumu vyplývá, že pouze 10-15 % ze zkoumaných lokalit je zásadně proti výstavbě VtE na jejich území.

### **7.3 Dopad na volně žijící živočichy**

I když jsou větrné elektrárny řazeny mezi ekologické zdroje energie, dochází ke kolizím a ztrátám na životech. Mezi nejvíce postižené živočichy patří ptáci a netopýři. První zpráva dokládající negativní vliv VtE na ptáky pochází z pozorování v letech 1984-1989 na holandském mořském pobřeží, kde se VtE začaly stavět nejdříve. K výrazným až alarmujícím zjištěním pak dochází v USA v souvislosti s realizací velkých projektů. Z území ČR existují jen 2 studie popisující změny početnosti ptáků v okolí dnes již starších typů VtE (Štastný, Bejček, 1994) a shrnují zjištěné kolize v období jednoho roku u ptáků a netopýřů (Kočvara, 2007). Tyto studie jsou zaměřeny pouze na ptáky a netopýry, vlivy na další obratlovce nejsou zkoumány.

Negativní vlivy VtE lze rozdělit do tří skupin:

- rušení větrnými elektrárnami vedoucí k přemístění nebo vymizení druhu, bariérové efekty na tažné druhy ptáků
- mortalita způsobená kolizí s VtE (rotujícími vrtulemi i stožáry v klidovém stavu)
- ztráta, zničení, narušení přirozeného biotopu

Ztráta prostředí a bariérový efekt jsou považovány spíše za okrajový problém, neboť se týkají zanedbatelného počtu zvířat. Mezi nejvýznamnější problém je považována mortalita z důvodu dotčení vzácných druhů. Na základě studií bylo zjištěno, že chování ptáků a jejich citlivost na

ruch silně ovlivňuje to, zda je místo, kde stojí VtE jejich konečné místo odpočinku nebo jen zastávka na tahové cestě. Řada druhů při přeletech a tazích nevnímá VtE jako nebezpečí. K reakcím a vyhýbání dochází u většiny druhů ptáků ve vzdálenosti 100 až 200 m (Kinsley, Whittam, 2001).

### 7.3.1 Rušení

Rušení lze rozdělit na vizuální a akustické, které u ptáků může vyvolat strach, úlekové reakce a vede k vyhýbání se danému zařízení či opuštění hnízdiště.

V případě vizuálního rušení dochází k:

- zrcadlení na listech rotoru (vlivem slunečního záření)
- vzniku diskoefektu (odlesky na listech rotoru)
- vznik stroboskopického jevu, čili pohyblivého stínu

Samotná VtE může na některé druhy ptáků působit odpudivě. Mezi takto citlivé ptáky řadíme druhy čáp černý (*Ciconia nigra*), čáp bílý (*Ciconia ciconia*), labuť (*Cygnus sp.*), husy (*Anser sp.*), kachny (*Aythya sp.*), drop velký (*Otis tarda*) a některé dravce (Reinbacher, 2003). Důležitým faktorem je výška a hustota VtE. Všeobecně lze říci, že vizuálně negativní vlivy byly prokázány do vzdálenosti okolo 300 m pro hnízdící druhy a 800 m pro druhy tažné či zimující (Cetkovský et al., 2010).

V případě akustického rušení záleží na typu VtE a na výšce stožáru. Výrazněji se projevuje akustický hluk, který bývá slyšitelný 200-500 m od VtE. Pro ptáky je rozhodující, v jakém frekvenčním rozmezí je produkován hluk, a to s ohledem na frekvenční rozsah hlasových projevů ptáků především v době rozmnožování. Z našich druhů je vliv předpokládán u křepelky polní (*Coturix coturix*), chřástala polního (*Crex crex*) a tetřívka obecného (*Tetrao tetrix*).

### 7.3.3 Kolize

Ke kolizi s VtE může dojít u každého druhu ptáka i netopýra, ale ze studií je patrné, že některé druhy jsou relativně častěji postižené. Na možnosti kolize má vliv mnoho faktorů, zejména rychlost a směr větru, jeho teplota, vlhkost, způsob a výška letu ptáka a denní doba. Ke zvýšenému počtu kolizí dochází za silného větru, deště, mlhy a během noci, tedy za zhoršené viditelnosti. Ke kolizím nejčastěji dochází během prvních dvou hodin po setmění, kdy ptáci při počátku migrace nabírají výšku (Kinsley, Whittam, 2001). Nejohroženějšími skupinami jsou větší druhy ptáků a dravci, z našich druhů orel mořský (*Haliaeetus albicilla*), orel královský (*Aquila heliaca*) a luňák červený (*Milvus milvus*).

Nebezpečí pro ptáky tvoří světla umístěná na věžích VtE, která je lákají, a zejména při snížené viditelnosti může dojít ke zvýšené mortalitě. Vysoké riziko pro tažné ptáky je způsobeno tím, že ptáci nevnímají tyto objekty jako nebezpečné a k reakci dochází asi 100 m před VtE. Kritická kolizní výška je kolem 75 m, tedy častá výška letu ptáků (Langston, Pullan, 2003).

Hlavní důvody vzniku kolize jsou:

- Motion smear – degradace viditelnosti rychle se pohybujících objektů (Hodos et al., 2001). Lopatky se otáčejí rychlostí 149 až 253 km/h a tyto rychlosti nejsou okem ptáků postřehnutelné.
- Neschopnost ptáků, zejména dravců, při lovu věnovat pozornost možnému nebezpečí.

U netopýrů je kolizemi ohrožena většina druhů, zejména ty, které k přeletům využívají volný prostor. Jedná se hlavně o netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*), netopýra večerního (*Eptesicus serotinus*) a netopýra parkového (*Pipistrellus nathusii*) (Kočvara, 2007).

Dle studie Kočvary z roku 2007 došlo v lokalitě Břežany za rok k úmrtí 12 ptáků a 20 netopýrů. To odpovídá 4,3 ptáků na VtE a 7,1 netopýrů na VtE. Všichni mrtví ptáci patřili mezi naše běžné druhy. K usmrcení vzácného druhu ptáka dochází ojediněle. Netopýři patří k nejvíce ohrožené skupině obratlovců. To je dáno jejich vysokým věkem a nízkou reprodukční schopností. Kolize netopýra je tedy palčivějším problémem než kolize většiny ptáků, např. pěvců. Ke kolizím dochází nejčastěji v období červenec-září. Příčinami kolizí netopýrů s VtE je umístění VtE do migrační dráhy netopýrů, hmyz kumulující okolo teplého

tubusu VtE a podtlak tvořící se v okolí listů. Na podtlak jsou netopýři velmi citliví, což souvisí s odlišnou anatomií plic ptáků a savců. Netopýři jsou pak nacházeni mrtví bez známek vnějšího zranění.

Ze zahraničních studií dochází k nejvíce kolizím u VtE Altamont Pass v Kalifornii a VtE Tarifa a Navarre ve Španělsku. Tyto případy jsou znepokojující, neboť mají vliv na relativně málo početné a dlouho žijící druhy jako jsou sup bělohavý (*Gyps fulvus*) a orel skalní (*Aquila chrysaetos*). U větrných elektráren v Altamon se orli skalní shromažďují díky velké abundanci jejich kořisti. V případě španělských větrných elektráren došlo k tomu, že byly tyto elektrárny postaveny v úžině, kterou ptáci migrují. Přesto, že jsou uváděny hodnoty 0,02-0,15 úmrtí na 1 elektrárnu za rok v případě Altamont Pass je i tento poměr znepokojující. Vezmeme-li v úvahu, že tato větrná farma má asi 7000 turbín, v přepočtu to znamená až 1000 mrtvých ptáků za rok. U VtE Navarre ve Španělsku jsou roční odhady mezi 3,6 až 64,3 úmrtí na turbínu. Ze studií vyplývá, že každý rok dochází u těchto farem k úmrtí 75 orlů skalních a přibližně 400 supů bělohavých (Allan et al., 2006).

Tyto případy patří mezi ty odstrašující. Před stavbou větrné farmy by si měl každý investor nejdříve zjistit a vyhnout se oblastem, pokud:

- je daná oblast zimovištěm či migrační drahou
- oblastem se zvýšeným výskytem dravců
- je oblastí, kde dochází ke breedingu

	celková mortalita	v %
budovy	550 mil.	58,2
elektrická vedení	130 mil.	13,7
kočky	100 mil.	10,6
automobily	80 mil.	8,5
pesticidy	67 mil.	7,1
komunikační věže	4,5 mil.	0,5
větrné elektrárny	28,5 tis.	<0,01
letadla	25 tis.	<0,01

Graf č. 3: Podíl jednotlivých zdrojů na celkové mortalitě ptactva

Z práce Ericksona et al. z roku 2006 vyplývá, že mortalita ptáků je nejčastěji způsobena budovami, elektrickým vedením a kočkami. Větrné elektrárny se na mortalitě podílejí méně než desetinou procenta.

#### **7.4 Další dopady větrných elektráren**

Mezi další negativní dopady VtE lze zařadit stroboskopický efekt. Ten vzniká v případě, kdy dochází k periodickému zastiňování slunečních paprsků pravidelně se pohybujícími listy VtE. Tento efekt může mít negativní vliv na fotosenzitivní jedince vyskytující se v blízkosti VtE.

Co se týče rušení TV signálu, hrozí tento problém pouze v případě, kdy je VtE postavena mezi anténou a vysílačem. To je ale nepravděpodobné, protože tak blízko domů se elektrárny nestavějí. Pokud se ale rotor točí, vytváří střídavé zastiňování a kolísání intenzity signálu. V novějších typech přijímačů – televizních i radiových - by měl být tento problém řešen automatickým vyrovnaním citlivosti.

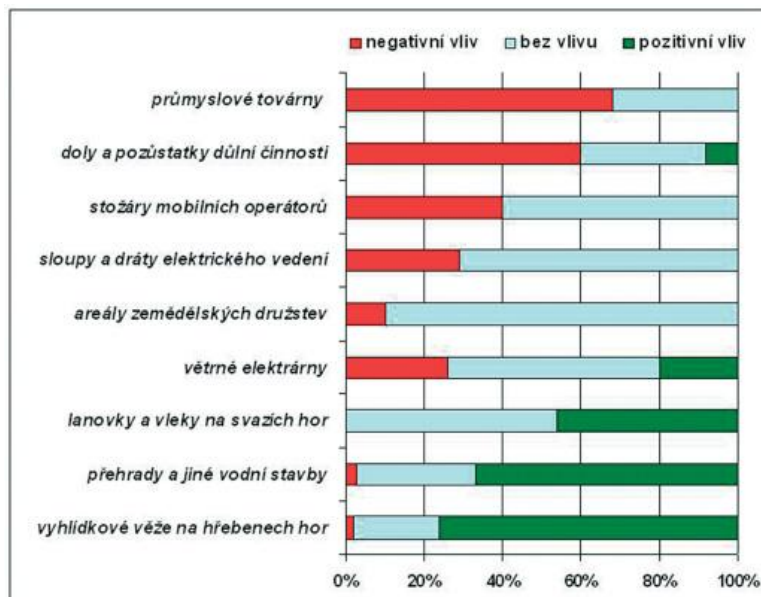
Námraza může vznikat působením mlhy, deště či nízké oblačnosti. Vzniká především na listech rotoru a na strojně. Nejčastěji vzniká v klidovém stavu, neboť za provozu je celý systém zahřátý. Námraza se na VtE zjišťuje pomocí různých typů senzorů, které fungují na principu rozdílné odrazivosti v případě námrazy. Námraza může způsobit dva vážné problémy: ztrátu výroby energie kvůli zamrznutí anemometrů nebo zhoršení aerodynamických charakteristik listů, případně padající kusy ledu. Tyto úlomky byly nalezeny až ve vzdálenosti 150 m od VtE. Při výstavbě je nutné s tímto problémem počítat, je řešitelný např. systémem vyhřívání rotorových listů.

Jako další meteorologický jev nepříznivě ovlivňující činnost větrných elektráren můžeme zařadit blesky. Ty mohou způsobit tepelné účinky – zahřátí kovových částí a elektrické účinky – poškození silnoproudé i slaboproudé části větrné elektrárny. Bleskové výboje jsou nejčastější v horském prostředí.

Ze studie Kunce a Frantála (2008) vyplývá, že větrné elektrárny snižují atraktivitu daného místa z pohledu cestovního ruchu jen minimálně. Z dotazníků na téma možné výstavby větrného parku v okolí Slezské Harty vyplynulo, že 94 % turistů by tyto elektrárny od



návštěvy tohoto místa neodlákaly. Spíše naopak, větrné elektrárny mohou působit na cestovní ruch dokonce pozitivně, jako nový architektonický prvek v krajině.



Graf č. 4 : Percepce různých objektů lidské činnosti v krajině a jejich vliv na prožitek z dovolené

Z grafu je patrné, že většina respondentů má ke stavbám větrných elektráren neutrální názor. Pozitivní a negativní vnímání je přibližně stejně početně zastoupené. Mnohem hůře jsou lidmi vnímány průmyslové továrny, doly či stožáry mobilních operátorů.

Pokud se jedná o ceny pozemků, neexistuje přímá závislost mezi poklesem ceny nemovitosti a vzdáleností od větrné elektrárny. Roli hraje charakter, cena a stáří stavby a její orientace v terénu. Britská studie z roku 2007 uvádí výrazný pokles ceny (až o třetinu původní ceny) u nemovitosti ve vzdálenosti do 800 m od VtE. Tato vzdálenost se zhruba shoduje s výraznou slyšitelností a viditelností VtE.

## 8. Pozitiva větrných elektráren

Energie vyrobená pomocí větrných elektráren neprodukuje žádné polutanty jako ostatní zdroje energie jako uhlí, ropa či zemní plyn. Větrná energie může pomoci při redukování vzdušných polutantů nahrazením současných zdrojů konvenční energií. Pokud by se tak stalo, snížily by se emise největších polutantů jako CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub>. Dle World Energy Commission

můžeme snížit emise CO<sub>2</sub> o 600 tun, pokud vyrobíme větrnou elektrárnou 1 000 000 kWh. Tím by mohly větrné elektrárny snížit dopady klimatické změny.

Další pozitivum je provoz bez spotřebování a znečišťování vody. Například, v provozu uhelných elektráren se denně spotřebuje až milion litrů vody. Ještě více vody se spotřebovává v jaderných elektrárnách, přibližně 2, 35 l na 1 kWh (Saidur et al., 2011).

Pokud se jedná o neenvironmentální aspekty má obec z výstavby větrných elektráren na svém území ještě zisk. Například obec Pchery na Kladensku dostává od provozovatele tamějších 2 větrných elektráren 240 tisíc korun ročně. Někdy mají obyvatelé obcí zvýhodněnou cenu energie.

Mezi další přínosy větrných elektráren můžeme jmenovat:

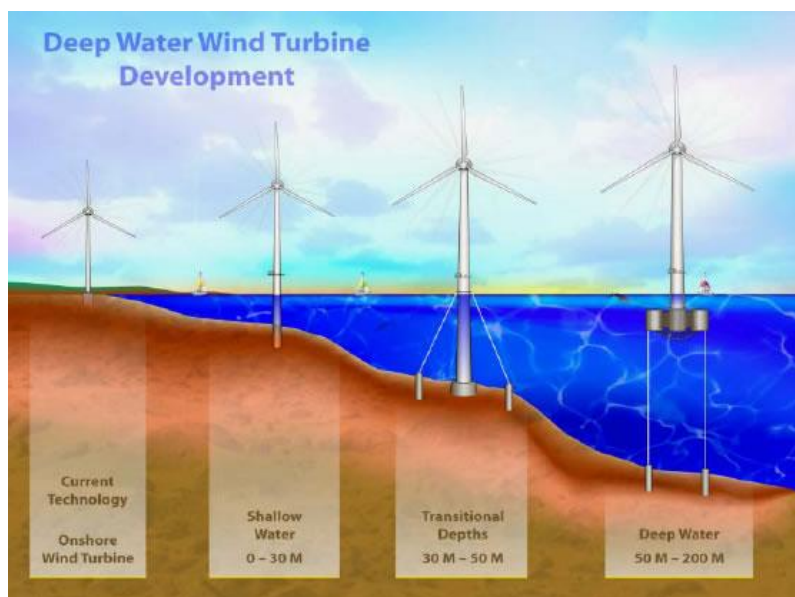
- minimální produkce emisí a odpadu (s výjimkou samotné výstavby)
- snížení energetické závislosti na zahraničí
- minimální zábor zemědělského půdního fondu (ZPF) v poměru na instalovaný výkon
- obnovitelný zdroj energie s nejnižší výkupní cenou (2,23 Kč/kWh, biomasa 4,58 Kč/kWh, fotovoltaika 12,15 Kč/kWh)
- komponenty jsou vyráběny českými firmami
- relativně jednoduchá montáž a demontáž (životnost asi 25 let)

Zdroj: ČSVE

## 9. Offshore větrné elektrárny

Offshore větrné elektrárny jsou elektrárny umístěné na moři, pracující s větší účinností než pozemní VtE. První offshore VtE byly vybudovány v roce 1990 350 m od pobřeží Švédska. Nejdříve byly offshore VtE stavěny v blízkosti pevnin do maximální hloubky 30 m kvůli složitosti ukotvení. Nyní jsou díky novým technologiím možnosti ukotvení až do hloubky 900 m. V současné době je Evropa velmocí offshore větrných elektráren. Největší instalovaný výkon v offshore je u pobřeží Dánska, Nizozemí, Belgie, Švédska, Německa, Irsko, Finska a Norska (Esteban et al., 2011).

V závislosti na hloubce se musí volit různé technologie ukotvení. Do hloubky 30 m a průměru 6 metrů lze zvolit jednodušší typ ukotvení na 1 noze. V hloubce 30 – 50 m se volí tzv. „tripod“. Pro možné využití větších hloubek se využívají tzv. plovákové technologie ukotvení, které se dají použít pro hloubky až 200 m.



Obr. č. 4 : Možnosti ukotvení offshore větrných elektráren

### 9.1 Porovnání offshore a onshore větrných elektráren

První výhodou offshore VtE je lepší využitelnost větru, díky větší rychlosti, která navíc stoupá se vzdáleností od pevniny. Vítr na moři je navíc stálejší díky menším turbulencím.

Proto dochází k menšímu opotřebení turbín, což vede k jejich delší životnosti. Optimální výška pro umístění offshore turbíny je taková, kdy rotující vrtule jsou ve výšce nad hranici maximální výšky vln v daném místě. Díky tomu mohou být turbíny na moři umístěny relativně níže než srovnatelné turbíny na pevnině.

Druhá výhoda je spojena s obrovským volným prostorem moří a oceánů. Pro developery je výhodou, že nemusí pozemky pro offshore VtE odkupovat jako tomu je u onshore. Umístění offshore VtE v moři daleko od obydlených oblastí vede k omezení vlivů na prostředí. Je tím eliminován nejčastější problém spojovaný s provozem VtE – hluchost. Taktéž tato velká vzdálenost snižuje negativní vizuální efekt.

První nevýhodou je cena inženýrského zaměření a náklady při instalační a montážní fázi. V případě onshore větrných farem se náklady na výstavbu větrné farmy pohybují kolem 75% celkové ceny projektu, v porovnání se 33%, kterou cena turbíny zabírá v rozpočtu offshore elektrárny. Tento rozdíl lze vysvětlit vysokými náklady za práce na moři. V případě onshore větrných elektráren je obvykle připojení k elektrické síti méně náročné než je tomu u offshore.

Jako druhou nevýhodu můžeme jmenovat nutnost dalšího rozvoje offshore větrných farem. Toto odvětví energetiky je velmi mladé a technologie nejsou ještě dostatečně vyzkoušené a nedosahují maximální možné účinnosti. U offshore farem bývají používány shodné generátory jako u onshore VtE, ale je snaha o vyvinutí speciálních generátorů, které by byly ukotveny na plovácích. Podmínkou těchto věží je nutnost odolat velkému zatížení, korozi a mořské vodě.

Třetí nevýhoda je menší životnost offshore VtE. Je to způsobeno většími turbulencemi na moři, agresivitou mořské vody a vlnami.

Poslední nevýhodou je vliv na mořské živočichy. V zahraničí vznikly studie týkající se vlivu offshore větrných elektráren na ryby; treska obecná (*Gadus morhua*), sled' obecný (*Clupea harengus*), platýs limanda (*Limanda limanda*), losos obecný (*Salmon salar*) a savce běluhu severní (*Delphinapterus leucas*) a delfína skákavého (*Tursiops truncatus*). Byly zjištěny vlivy na jejich chování při rozmnožování a migracích. Nízkofrekvenční zvuk, který je produkován při výstavbě a provozu offshore větrných elektráren je shodný se zvukem, který užívají živočichové pro komunikaci, orientaci a hledání potravy. U některých druhů dochází ke

vzniku fyziologického stresu. Tyto vlivy se projevují do maximální vzdálenosti 1 km od zdroje, většinou pouze několik metrů (Esteban at al., 2011).

Na závěr kapitoly offshore větrných elektráren shrnuji fakta. Offshore větrné elektrárny jsou umístěny v oblastech s ideálními vlastnostmi větru, jsou u nich eliminovány negativní vlastnosti jako hluk a vizuální efekty. Na druhou stranu je nutné vyvinout některá zlepšení týkající se hlavně turbín, ukotvení, konstrukce a provozní fáze.

## **10. Větrná elektrárna Pchery**

Větrná farma Pchery se skládá z 2 větrných elektráren, z nichž každá má instalovaný výkon 3 MW. Stavba začala v roce 2007, dokončena byla v dubnu 2008 a investice činila 190 milionů korun. Od zahájení projektových akcí až po uvedení elektráren do provozu uběhly jen 2 roky, díky vstřícnému postoji zastupitelů i obyvatel obce Pchery a kladného posouzení procesu EIA. Osa rotoru je umístěna ve výšce 88 metrů, rotor s listy má průměr 100 metrů. Obě elektrárny jsou stejného typu a mají stejné parametry. Dodavatel byla společnost ČKD Blansko a byly použity technologie finské firmy WinWinD. Obec Pchery byla pro výstavbu 2 VtE vybrána díky vhodnosti z hlediska větrných podmínek ale také z důvodu kladného postoje místních obyvatel. Celková plánovaná výtěžnost je asi 11 GWh za rok, což pokrývá spotřebu přibližně 5 tisíc průměrných domácností. Provoz je bezobslužný, obě elektrárny jsou vybaveny automatickým řídicím systémem, který kontroluje generátor a síť a optimalizuje výrobu podle aktuální větrných podmínek. Elektrárny jsou umístěny minimálně 600 m od nejbližšího obydlí. Obec Pchery má z provozu větrných elektráren profit 240 000 Kč ročně (Trnavský, 2009).

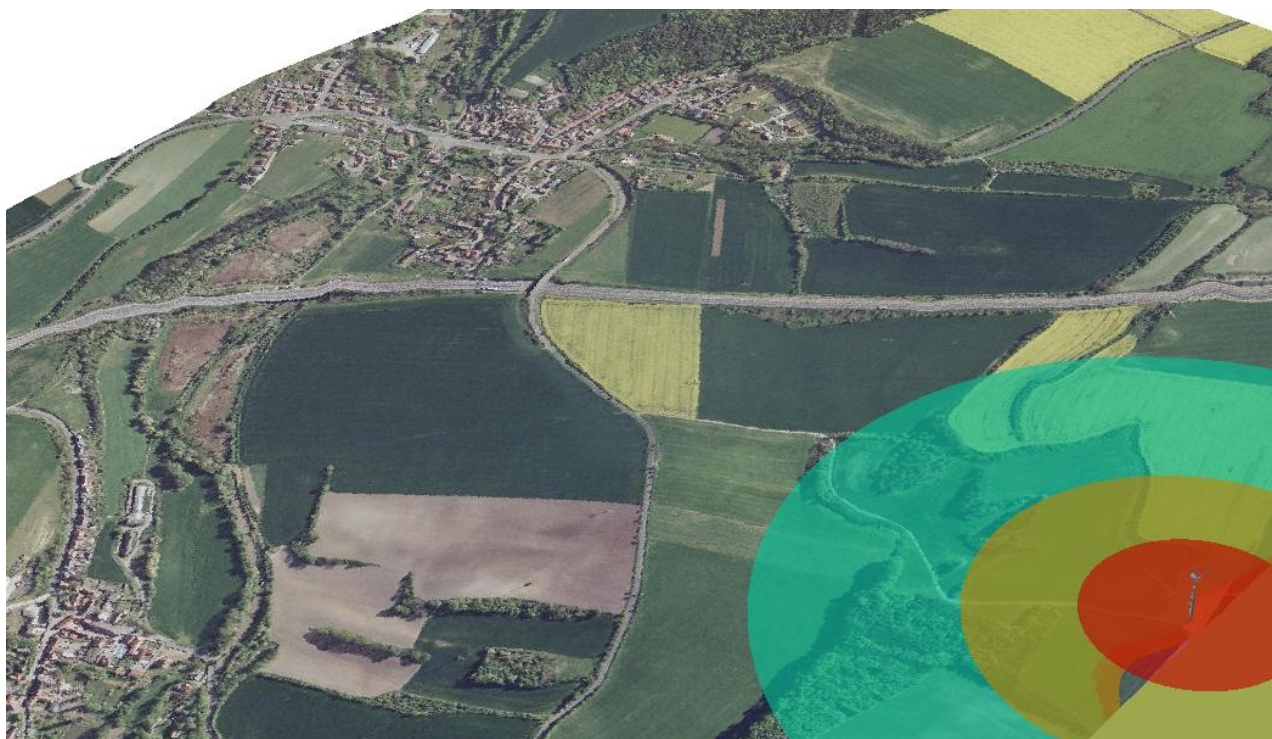
### ***10.1 Metodika a výsledky měření***

Měření probíhalo ve vzdálenostech 150 m, 300 m a 575 m ve směru proudění větru. Používala jsem hlukoměr SL-300 a laserový dálkoměr. Tyto přístroje jsem měla zapůjčeny od Dr. Matějčicka. Měření probíhalo 1. dubna 2011 v okolí 1 z větrných elektráren v čase od 9 do 12

hodin. Druhá z elektráren byla zrovna mimo provoz. Rychlosti větru se pohybovaly kolem 6-7 m.s<sup>-1</sup>. Výsledky měření zobrazuje tabulka níže, grafy jsou umístěny v příloze.

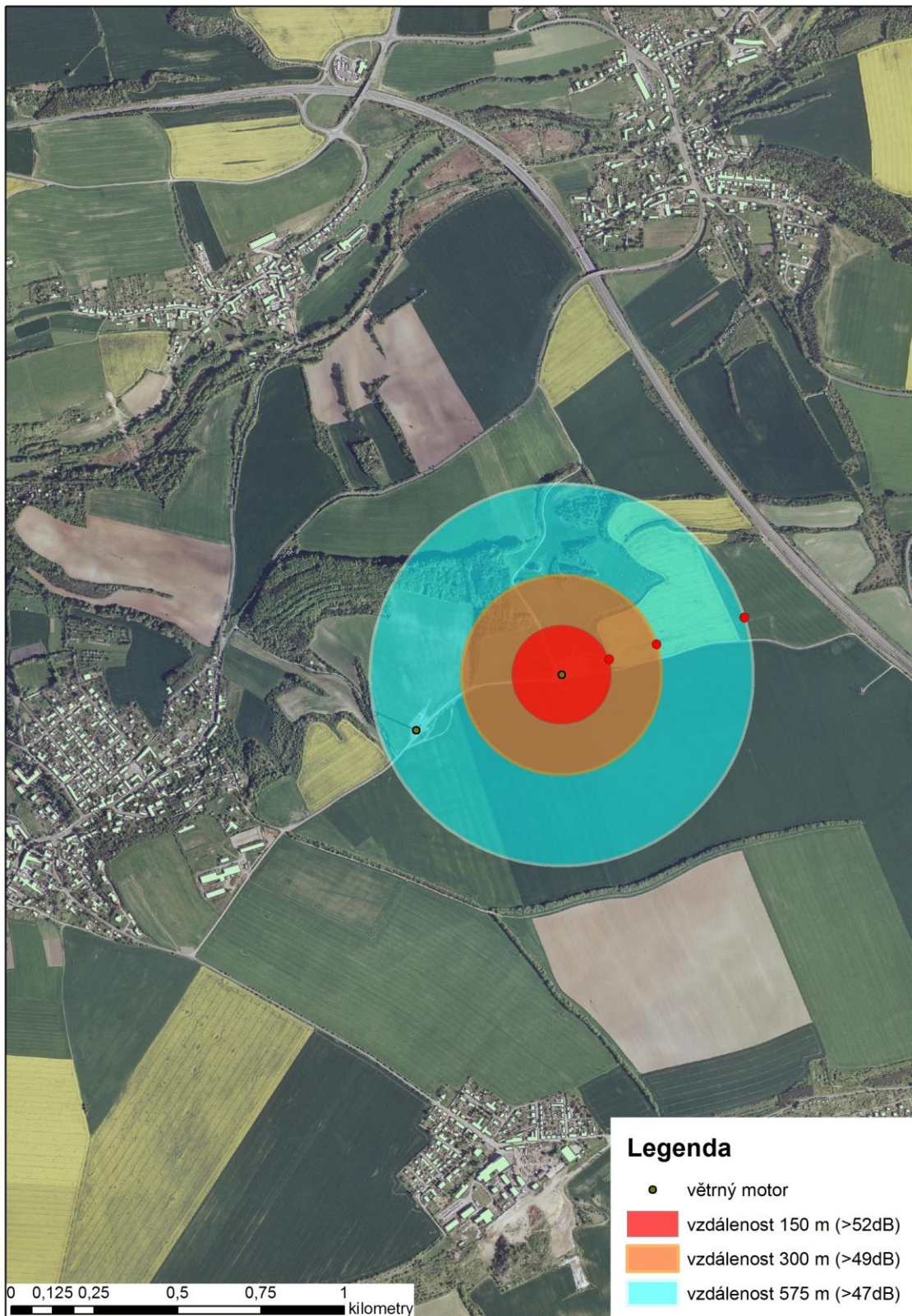
Vzdálenost od VtE v m	150	300	575
hluk v dB	≥ 52,2	≥ 48,9	≥ 46,6

Výsledné hodnoty hluku vznikly zprůměrováním naměřených hodnot. Ze své zkušenosti mohu říci, že ve vzdálenosti 150 m od zdroje byl hluk nepříjemný a rušící. V tomto okruhu se ale nachází jen pole. Ve vzdálenosti 300 m od zdroje hluk kolísal dle rychlosti větru a ostatních zdrojů – ptáci, šum listí. Ve vzdálenosti 575 m od zdroje, tedy minimální možné vzdálenosti od obydlí, byl hluk větrných elektráren nepatrný, značněji se projevoval šum listí na stromech, zpěv ptáků či proud větru. V intravilánu obce Pchery nebylo elektrárnu slyšet a nebudila dle mého názoru ani negativní estetický dojem, přestože je umístěna na vyvýšenině nad obcí. V době mého měření byla v provozu jen jedna z elektráren, tudíž to mohlo výsledky měření poněkud zkreslit, protože interferencí bychom došli asi k vyšším hodnotám hluku. Myslím si, že i při provozu obou větrných elektráren nedochází v obci Pchery k překračování maximální povolené hodnoty, tedy 50 dB ve dne a 40 dB v noci.



Obr. č. 5: Digitální model terénu vytvořený pomocí GIS





Obr. č. 6: Výsledky měření zanesené do mapy spolu s hladinami hluku

## 11. Závěr

Cílem práce bylo shrnout základní informace týkající se činnosti větrných elektráren, hlavně jejich vlivům na přírodu a člověka. Na základě českých i zahraničních studií jsem se snažila udělat rozbor jednotlivých problematik – hluku, vlivu na krajinný ráz, úmrtnost ptáků a netopýrů. Mé očekávání, že budou překračovány hlukové limity se nepotvrdilo ani na základě měření. Působení na krajinný ráz je vnímáno velmi subjektivně, dle mého názoru jsou větrné elektrárny jedním z esteticky nejhezčích zařízení pro výrobu energie. V ČR probíhající studie tuto mou domněnku potvrdila, někteří lidé naopak lokality s větrnými elektrárnami vyhledávají. Největší problém větrných elektráren je zabíjení vzácných druhů ptáků a netopýrů. Tomuto problému se dá částečně vyhnout dostatečným prozkoumáním vybrané lokality před samotnou výstavbou.

Vývoj větrných elektráren jde stále kupředu – rostou jejich výkony, účinnost, technická spolehlivost a dochází i k pozvolnému snižování nákladů na jimi produkovanou elektřinu. Závislost na kolísání větrného výkonu však ovlivnit nelze. Nejvyšší budoucnost vidím v rozvoji offshore větrných elektráren, jejichž vývoj je zatím na začátku, výstavba a celkové náklady jsou zatím velmi vysoké. Mají ovšem mnohem vyšší výkon a zároveň menší vliv na člověka.

Myslím si, že větrné elektrárny jsou vhodným doplňkovým zdrojem energie, v ČR bohužel nejsou podmínky pro to, aby mohly větrné elektrárny nahradit jaderné či uhelné elektrárny.

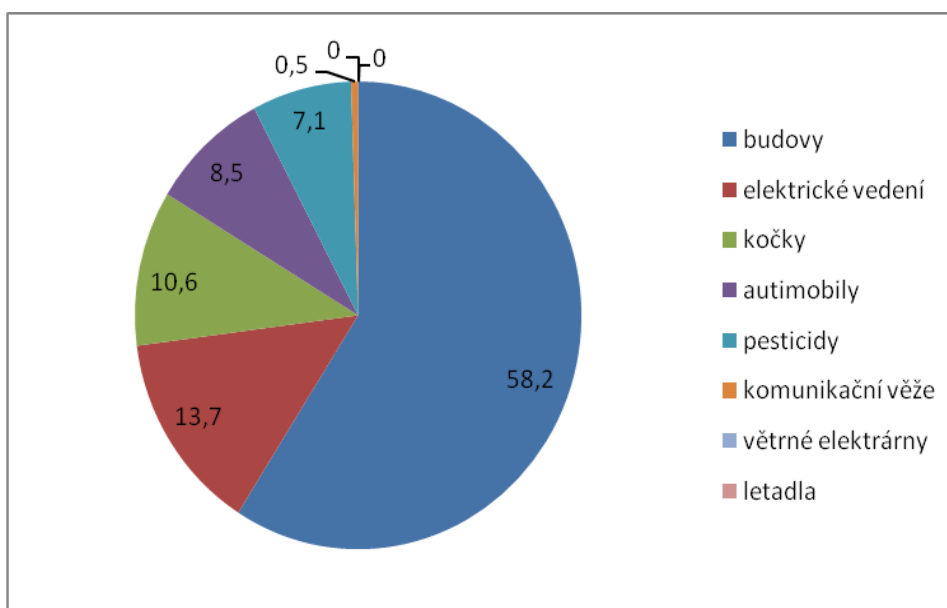


## Přílohy:

Příloha 1: Hlavní omezující faktory pro plánování výstavby větrných elektráren v ČR

<b>Hlavní omezující faktory pro plánování výstavby větrných elektráren v ČR</b>	
Celková plocha ČR	78 864 km <sup>2</sup>
Lokality s nízkým větrným potenciálem	72 500 km <sup>2</sup>
Plocha vhodná pro VtE (průměrná rychlost větru >6 m/s)	6 354 km <sup>2</sup>
<b>Omezující faktory</b>	
CHKO, národní a přírodní parky	12 000 km <sup>2</sup>
při požadavku na zřízení dalšího 2km ochranného pásma	24 000 km <sup>2</sup>
při požadavku na zřízení dalšího 5km ochranného pásma	45 000 km <sup>2</sup>
NATURA 2000	14 630 km <sup>2</sup>
Koridory velkých tažných ptáků	39 000 km <sup>2</sup>
Lesy	27 500 km <sup>2</sup>
Vojenské radary	42 000 km <sup>2</sup>
Letecké koridory	5 200 km <sup>2</sup>
Velká letiště + ochranná pásma (celkem 14)	9 900 km <sup>2</sup>
Malá letiště + ochranná pásma (celkem 85)	6 600 km <sup>2</sup>

Příloha 2: Podíl jednotlivých zdrojů na celkové mortalitě ptactva



Příloha 3: Větrná elektrárna Pchery, strojovna a rotor



Příloha 4: Větrná elektrárna Pchery, obě gondoly



Příloha 5: Větrná elektrárna Pchery, měření vzdálenosti



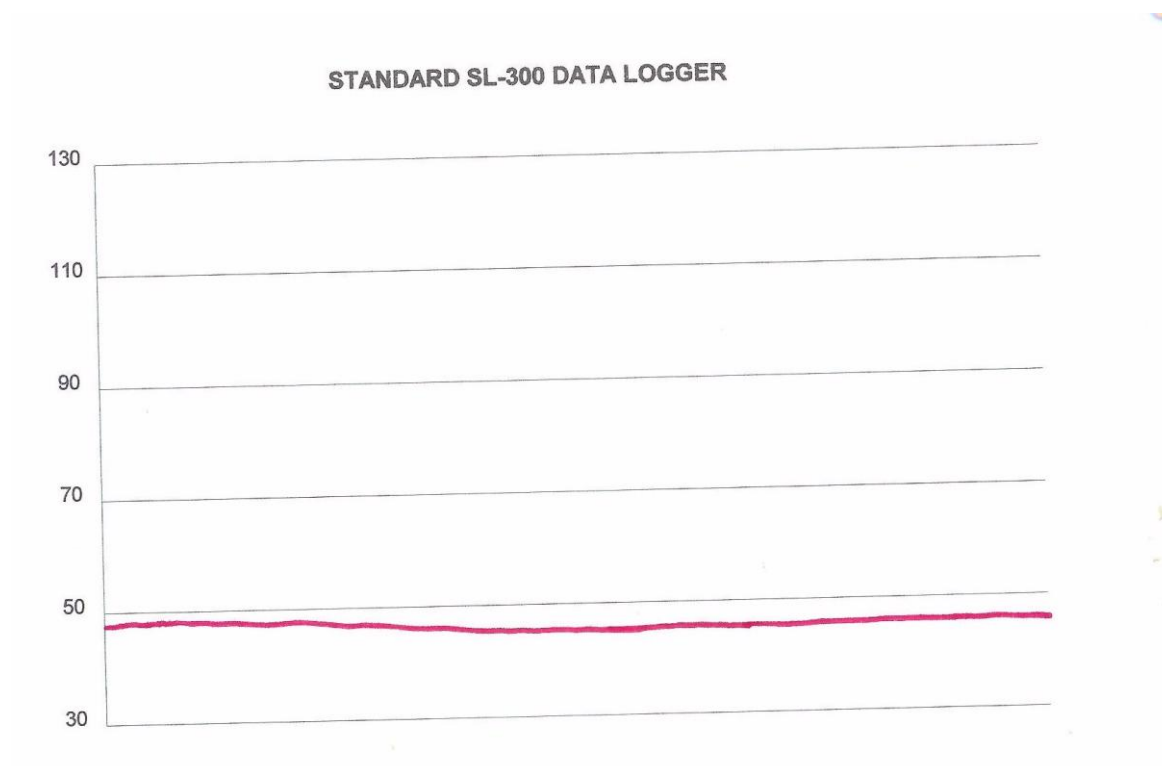
Příloha 6: Graf hluku ve vzdálenosti 150 m



Příloha 7: Graf hluku ve vzdálenosti 300 m



Příloha 8: Graf hluku ve vzdálenosti 575 m



## Zdroje:

Allan, L., Drewir, Rowena, H., Langston, W. (2006) Assessing impact of wind farms on birds. *Ibis*, str. 29-42

Burian, V. (1965) Větrné mlýny na Moravě a ve Slezsku. Práce odboru společenských věd Vlastivědného ústavu v Olomouci, str. 79

Cetkovský, S., Frantál, B., Štekl, J. (2010) Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí. *Studia Geographica* 101. Brno: Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., 209 stran

Erickson, W. P., Johnson, G. D., Young, D. P. (2006) A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. National Wind Coordinating Committee, Washington, str. 1029 - 1042

Esteban, M., Diez, J., Lopez, S., Negro, V. (2011) Why offshore wind energy?. *Renewable Energy*, str. 444 – 450

Frantál, B., Kunc, J. (2008) Hodnocení potenciálního vlivu výstavby větrných elektráren na územní rozvoj cestovního ruchu: příklad Slezská Harta. *Urbanismus a územní rozvoj*, str. 26-31

Hanslian, D., Hošek, J., Štekl, J. (2008) Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území České republiky. Praha: Ústav fyziky atmosféry AV ČR, str. 32

Hanslian, D.: Potenciál větrné energie v České republice. *Alternativní energie* **2007**, 6/07, 11–13.

Hodos, W., Potocki, A., Storm, T., Gaffney, M. (2001) Reduction of motion smears to reduce avian collisions with wind turbines. National Avian Wind Power Planning Meeting, Washington, str. 88-105

Hošek, J., Štekl, J. (2001) Rychlost větru v oblasti atmosférických front z hlediska větrné energetiky. *Větrná energie*, 14, str. 7-10

- Jirásková, A. (2009) Měření a posuzování hluku větrných elektráren. URL: <http://www.zupu.cz/zajimavosti/soubory/hluk-vetrnych-elektren.pdf>, 7. 4. 2011
- Kinsley, A., Whittam, B. (2001) Wind Turbines and Birds. Review for Environmental Assessment. Canadian Wildlife Service, 81 str.
- Kočvara, R. (2007) Závěrečná zpráva z monitoringu mortality obratlovců ve větrném parku Břežany. Ornis, Přerov, 23 str.
- Koplík, L. (2006) Hluk a další fyzikální faktory. URL: <http://www.zubno.cz/studie/kap06.htm>, 7. 4. 2011
- Langston, R., Pullan, J. (2003) Wind farms and birds: an analysis of the effects of wind farm on birds. Report BirdLife International, Strasbourg, str. 64
- Pokorný, O. (1973) Soupis a lokalizace větrných mlýnů v Čechách, Geografický ústav ČSAV, str. 179
- Portál veřejné správy České republiky: [www.portal.gov.cz](http://www.portal.gov.cz), 7. 4. 2011
- Prchal, P. (2009) Problémy při plánování větrných elektráren v krajích České republiky. *Větrná energie* **2009**, 4/09, 42–45.
- Reinbacher, M. (2003) Upland raptus and the assessment of wind farm impacts. *Ibis* 148, 43-56
- Rychetník, V., Pavelka, J., Janoušek, J. (1997) Větrné motory a elektrárny. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1997, str. 55-58
- Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., Solangi, K. H. (2011) Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, str. 2423-2430
- Sokol, Z., Štekl, J. (1995) Estimation of annual mean ground wind speed over the territory of the Czech Republic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, str. 216 – 221
- Šťastný, K., Bejček, V. (1994) Vliv větrné elektrárny Dlouhá Louka na populace ptáků. Závěrečná zpráva, katedra ekologie LF VŠL, Praha, 14 str.
- Štekl, J. (2007) Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. URL:

Štekl, J. (2006) Větrná energetika na území ČR a u sousedů. *Alternativní energie* **2006**, 6/06, 4–5.

Štekl, J. (2006) Větrný potenciál na území ČR. *Alternativní energie* **2006**, 6/06, 6–9.

Štekl, J. (1993) Perspektivy využití energie větru pro výrobu elektrické energie na území ČR. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, str. 23-27

Trnavský, J. (2009) Větrná elektrárna u Kladna v souladu s krajinou. *Energie* **21** **2009**, 2/09, str. 42-43

Troen, I., Petersen, E. L. (1989) European Wind Atlas. Riso National Laboratory, Roskilde, 32-48 str.

Vorel, I., Bukáček, R., Matějka, P., Culek, M., Sklenička, P. (2006) Metodický postup posouzení vlivu navrhované stavby, činnosti nebo změny využití území na krajinný ráz. Praha: ČVUT, str. 22

Wolsink, M. (2007) Wind Power implementation: The nature of public attitudes: Equity and fairness instead of „backyard motives“. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, str. 188-207