

Možnosti větrné energetiky



David Hanslian

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.

VĚTRNÁ ENERGIE

- jeden z nejstarších zdrojů energie, využíván lidstvem od nepaměti (plachetnice, větrné mlýny, pumpy ...)
- s nástupem uhlí a elektřiny jeho význam klesá
- v současné době renesance využití větru jako šetrného a obnovitelného zdroje (především) elektrické energie



STRUKTURA PŘEDNÁŠKY

1. vítr a jeho energie
2. technologie větrných elektráren
3. měření a modelování větru
4. vliv větrných elektráren na prostředí
5. vývoj větrné energetiky ve světě
6. vývoj větrné energetiky v ČR
7. možnosti budoucího rozvoje

JAK VZNIKÁ VÍTR

Velká většina využitelné energie na Zemi s výjimkou jaderné má svůj původ na Slunci. To platí pro

- a) fosilní zdroje energie (uhlí, ropa, plyn)
- b) obnovitelné zdroje energie (slunce, voda, biomasa, **vítr**)

Vznik větru:

Sluneční záření dopadá na zemský povrch ->

-> povrch a vzduch nad ním se zahřívá - ale nerovnoměrně ->

-> vznikají rozdíly v tlaku vzduchu (teplý vzduch je lehčí) ->

-> vyrovnávání rozdílů = vítr

1) rozdíly ve vertikálním směru => konvekce (mj. bouřky)

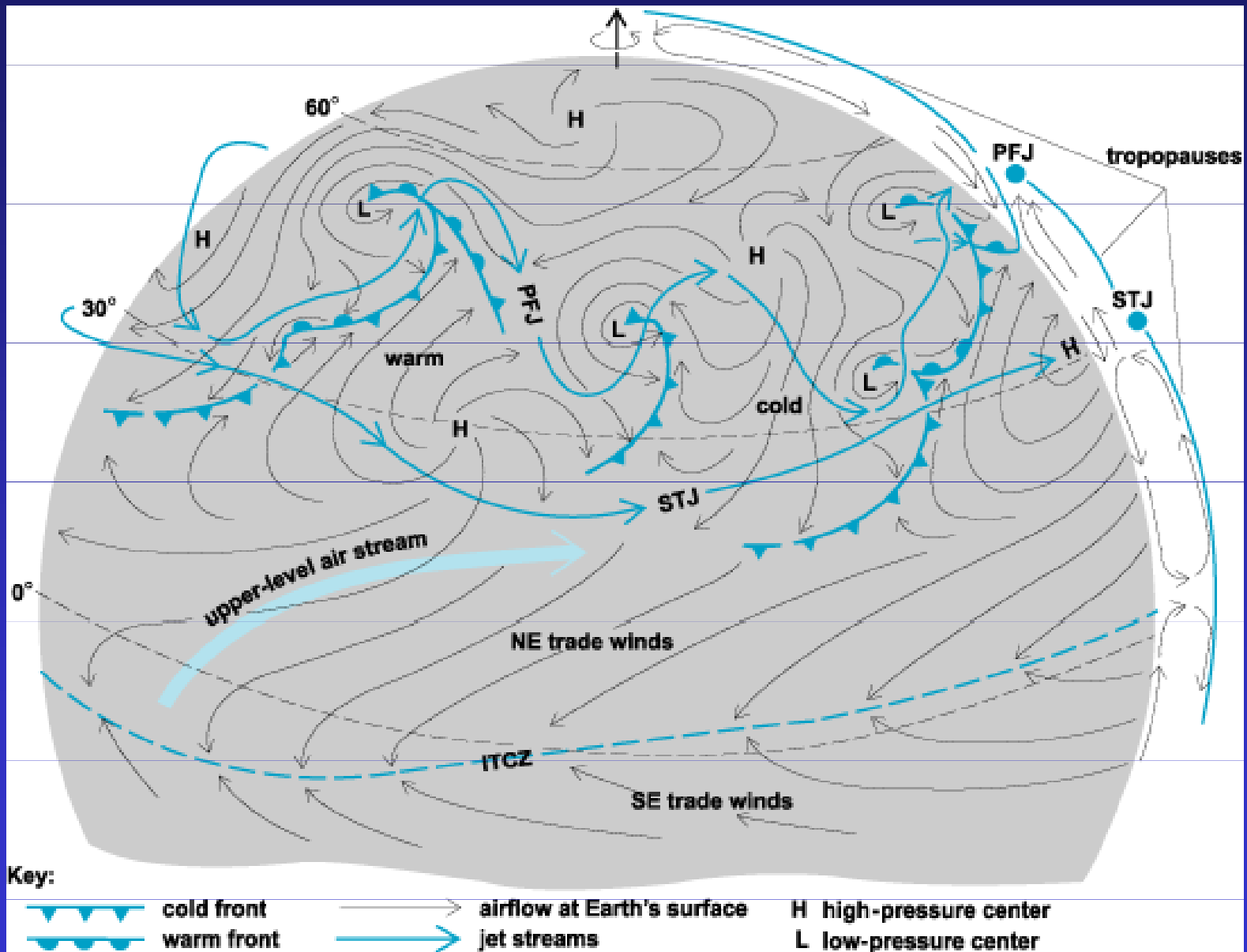
2) rozdíly v horizontálním směru =>

a) v místním měřítku – místní větry (např. bríza)

b) v regionálním a globálním měřítku - tlakové výše vs. níže =>

=> díky Coriolisově síle, která stáčí proudění, se rozdíly vyrovnávají jen pozvolna, proudění probíhá po spirále

Ukázka cirkulace atmosféry



VÝKON A ENERGIE VĚTRU

Kinetická energie větru = energie pohybující se hmoty vzduchu

$$E = \frac{1}{2} mu^2 = \frac{1}{2} \rho V u^2$$

m – hmotnost; V – objem; ρ - hustota vzduchu; u - rychlost větru

Hustota výkonu větru [W/m²] - výkon, který by bylo možno získat stoprocentním využitím kinetické energie větru, proudícího jednotkovou plochou kolmou na směr proudění

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

Výkon větrné turbíny [W]

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

S – plocha opisovaná rotorem; c_p - součinitel výkonu
teoretická maximální hodnota $c_{pmax} = 0,593$, reálně do 0,5

Výroba elektrické energie [kWh,MWh,GWh]

– zpravidla se vztahuje k období 1 roku (=> MWh/rok ap.)

Závisí na:

- 1) větrných poměrech v prostoru rotoru
- 2) vlastnostech větrné elektrárny – dány výkonovou křivkou
- 3) technických a dalších okolnostech (poruchy, údržba, námraza ap.)

TECHNOLOGIE VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN

Dnes jsou nejběžnější velké 3-listé větrné elektrárny s horizontální osou rotace; existují i jiné technologie

Základní rozdělení větrných zařízení

Malé větrné elektrárny

- výkon od desítek W po desítky kW
- výška do 50m, zpravidla mnohem menší
- průměr rotoru do cca 25m
- slouží především jako zdroj elektřiny v místech bez připojení k elektrické síti – dobíjení baterií, úspora dieselu
- nevýhodou je malá výška zařízení => nižší rychlost větru, stínění překážkami



Větrné pumpy

- hojně využívané v aridních oblastech s výskytem podzemní vody
- buď využívají energii větru přímo nebo prostřednictvím elektřiny
- velikostí odpovídají spíše malým větrným elektrárnám



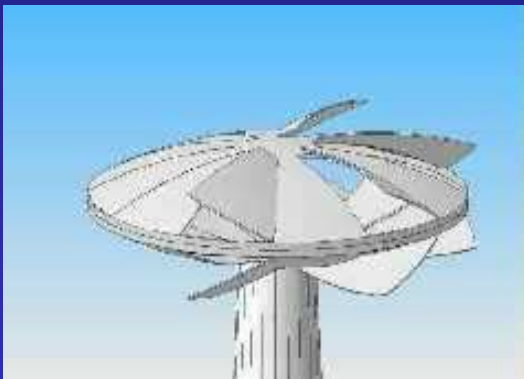
Velké větrné elektrárny

- výkon stovky kW až MW (dnes typicky 2 MW)
- výška tubusu většinou od 40m do 120m (dnes typicky 80-100m)
- průměr rotoru cca 25m až 120m (dnes typicky 80-100m)
- slouží k výrobě elektřiny dodávané do elektrické sítě
- výhodou je velká výška a velikost zařízení => vyšší rychlosti větru, nižší náklady na infrastrukturu

Rozdělení podle orientace osy rotace

Elektrárny s vertikální osou rotace

- nemusejí se natáčet za větrem
- nevýhodou je nižší efektivita
- nepříliš rozšířené
- využití spíše u malých elektráren



Darreiova turbína



Elektrárny s horizontální osou rotace

- většina současných větrných elektráren

Kolik listů?

Méně listů =>

- efektivnější
- vyšší rychlost rotace (=> mj. vyšší namáhání, hlučnost)
- u jednolisté vrtule potřeba protizávaží

Více listů =>

- pracují již při malých rychlostech větru
- nižší rychlost rotace
- výhodné především u vodních pump

Nejvíce se osvědčují **3-listé elektrárny**

- stále velmi efektivní při rozumné rychlosti rotace, esteticky přívětivé



Regulace výkonu

Stall

- využívá aerodynamického „stall“ efektu na profilu listů vrtule, který při vyšších rychlostech větru omezuje její výkon (tento efekt je mj. „nepřítelem“ při konstrukci letadel a helikoptér)
- listy vrtule se nemusejí naklápět
- rychlost otáček vrtule bývá konstantní
- rozšířen spíše v minulosti (do 90. let); dnes někdy koncepce tzv. „active stall“

Pitch

- využívá naklápění listů vrtule
- umožňuje měnit rychlost otáček
- => jemnější regulace výroby
- => kvalitnější dodávka proudu do sítě
- => nepatrně vyšší výroba
- je možné „zaparkovat“ elektrárnu vhodným natočením listů
- v dnešní době převládá

Koncepce generátoru

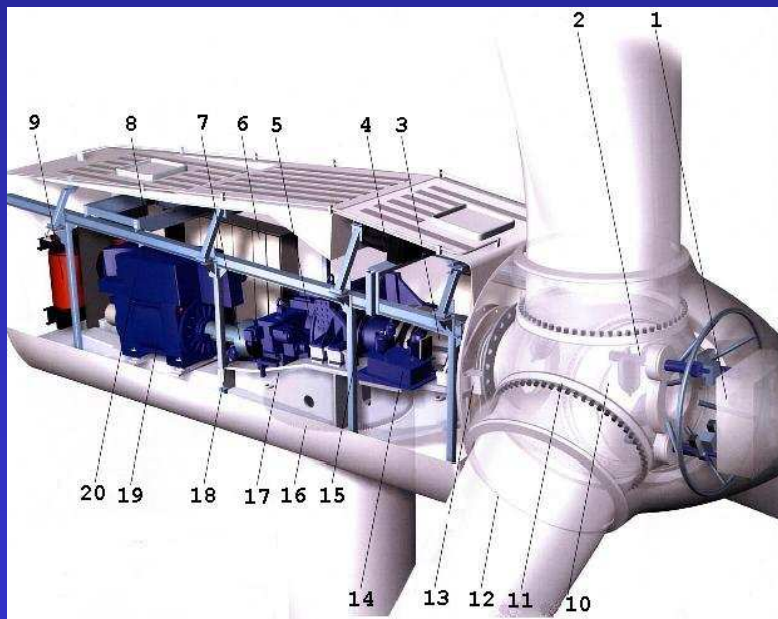
Klasická („převodková“) - nejvíce rozšířená

„Bezpřevodková“

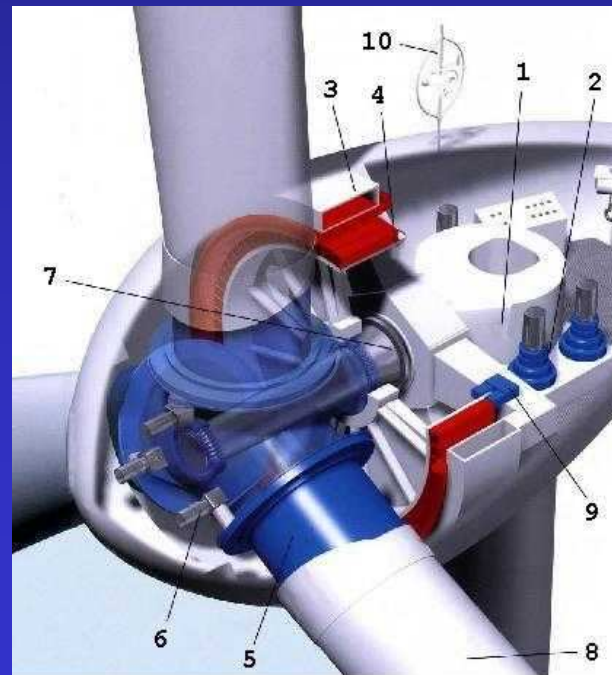
- mírně efektivnější a tišší, má delší životnost
- nevýhodou je velký rozměr a hmotnost

Jiné koncepce (např. „direct drive“)

- zvláště v poslední době řada nových technologií od různých výrobců



- | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1 řízení listů rotoru | 8 servisní jeřáb | 15 hydraulika-upínací věnec |
| 2 pitchválec | 9 transformátor | 16 otáčivý věnec |
| 3 hlavní hřídel | 10 rotorová hlava | 17 základní rám |
| 4 chladičový systém | 11 ložisko listu rotoru | 18 natačecí soustrojí |
| 5 převodovka | 12 list rotoru | 19 OptiSpeed-generátor |
| 6 VMP-Top-řízení | 13 aretace | 20 chladič generátoru |
| 7 disková brzda | 14 hydraulická jednotka | |



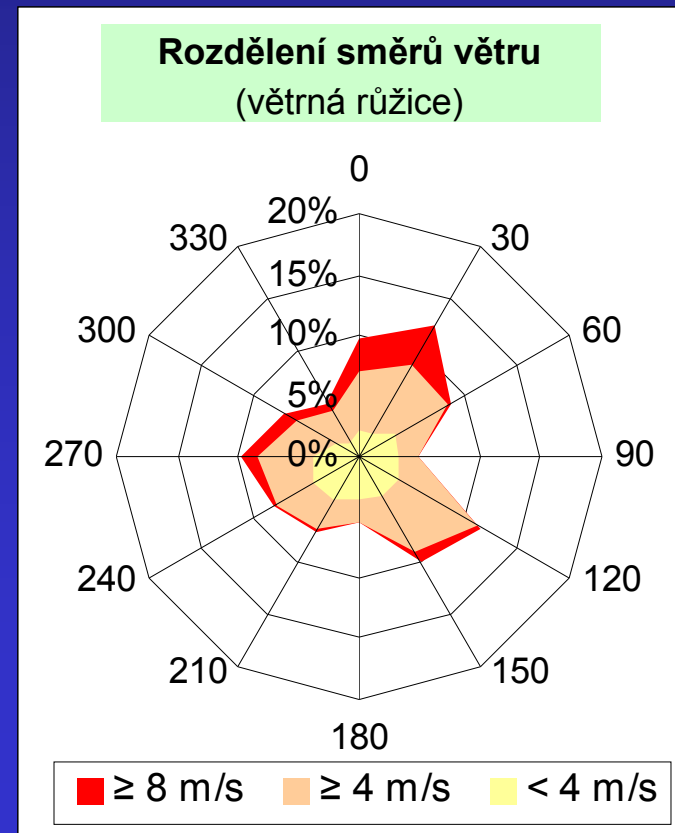
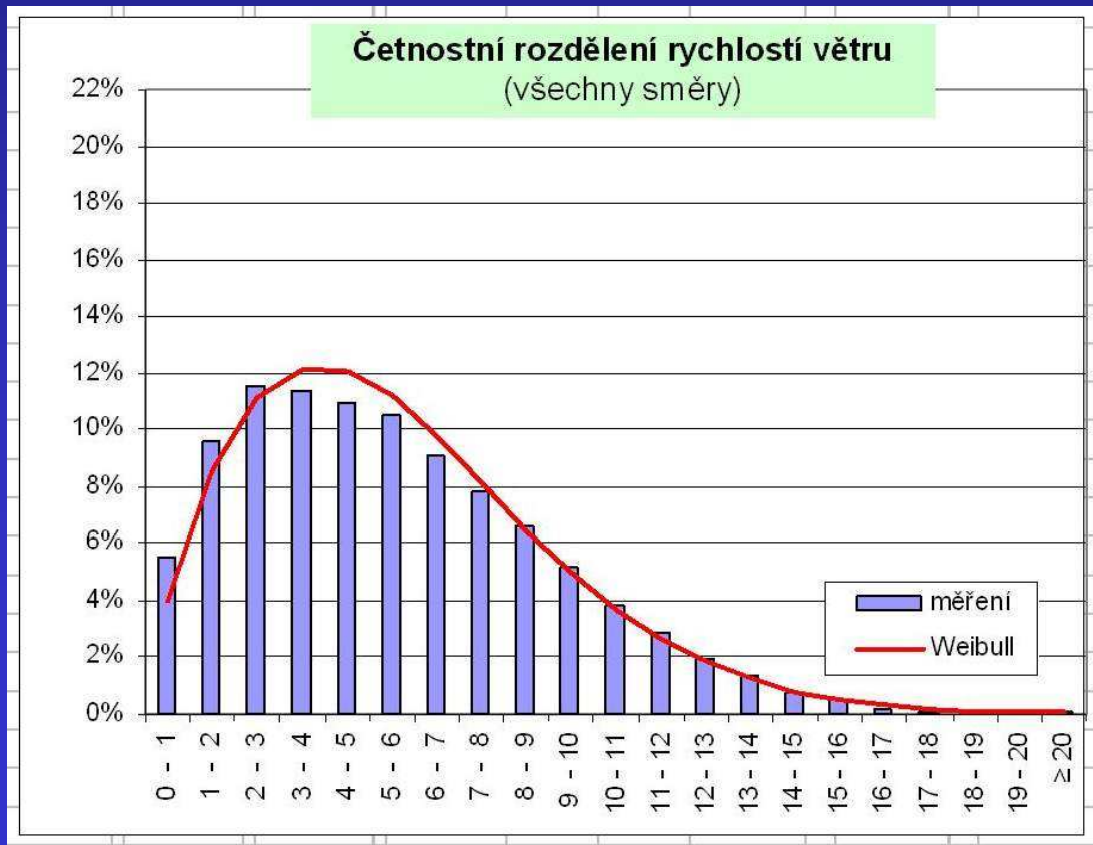
- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1 nosič strojovny | 6 motor pro natačení |
| 2 motor pro natačení gondoly | 7 úhlu listu rotoru |
| 3 generátor-stator | 8 čep osy |
| 4 generátor-rotor | 9 list rotoru |
| 5 adaptér pro natačení listu | 10 mechanická brzda |
| | 11 anemometr |



STANOVENÍ VĚTRNÝCH POMĚRŮ

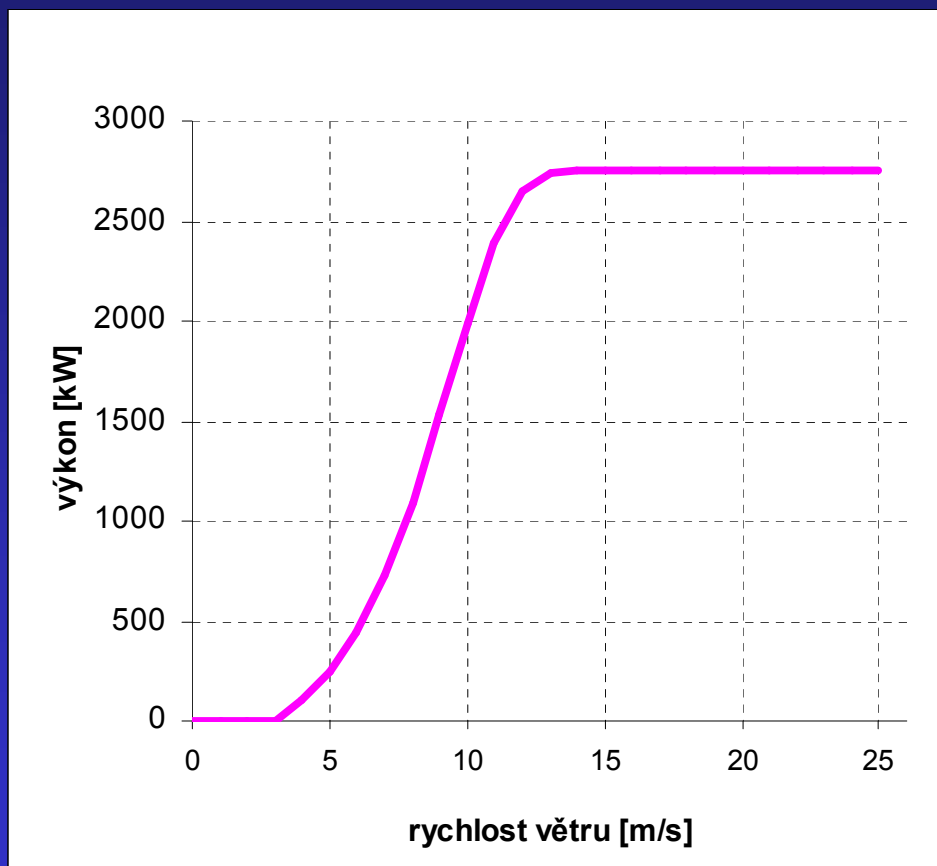
Větrné poměry (větrné klima) = statistický souhrn větrných podmínek v určitém místě za klimatologicky významné období

- zpravidla se vztahují k ose rotoru větrné elektrárny
- jsou dány **četnostním rozdělením rychlostí větru** v prostoru rotoru a **větrnou růžicí**

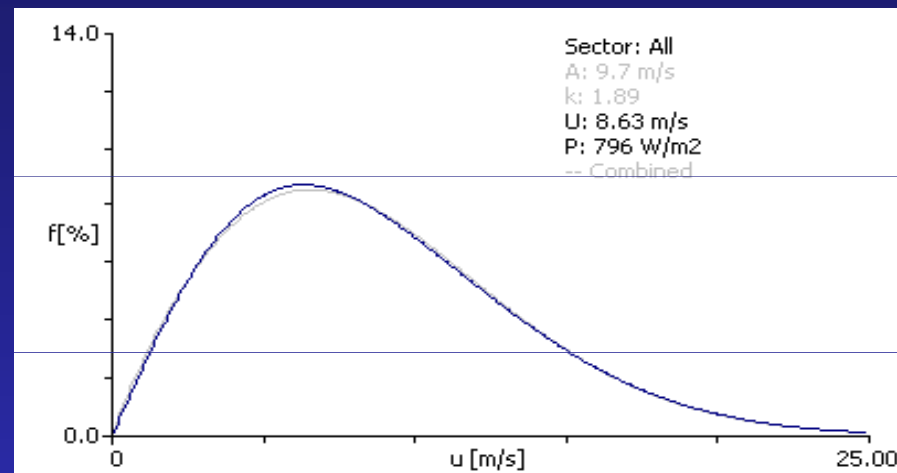


Rychlost větru vs. výroba energie

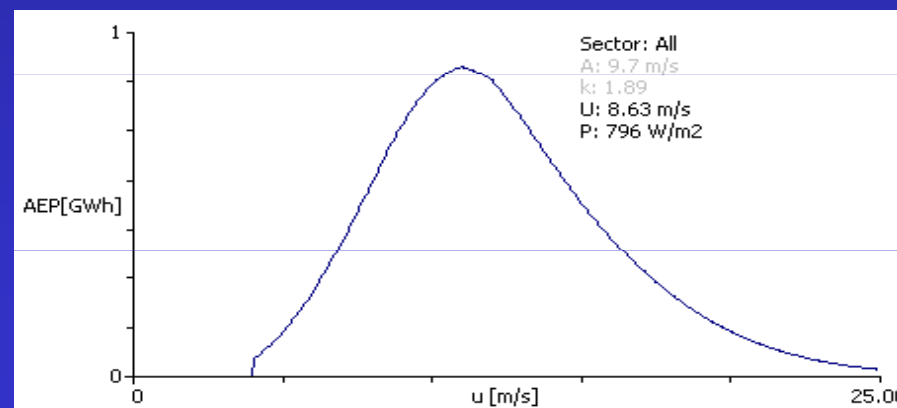
Výkonová křivka = závislost výroby elektrické energie na rychlosti větru



Rychlost větru



Výroba

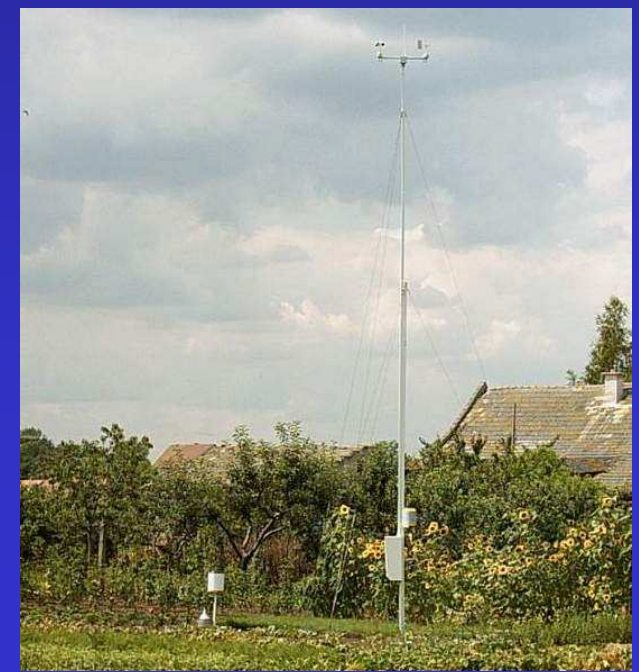


Měření větru

- přesné (při správném provedení), ale nákladné a časově náročné
- problémem je výška měření vs. výška větrné elektrárny

Standardní meteorologické a klimatologické stanice

- většinu zajišťuje meteorologická služba (ČHMÚ)
- dlouhodobá systematická měření
- měření ve výšce 10m
- stanice zpravidla daleko od plánovaných elektráren
- během posledních 10 let automatizace měření



Stožárová měření

- provádí se účelově v blízkosti plánovaných větrných elektráren
- měření standardně 1 rok, poté prodloužení na dlouhodobý normál
- měření nejčastěji na stožárech 30 – 70m
- zpravidla měření ve více úrovních
- zvláště vyšší stožáry jsou značně nákladné

Měření dopplerovským sodarem

- využívá odrazu zvukových vln od atmosféry
- měří profil větru až do výšky několika stovek metrů
- velmi nákladné zařízení, provozně náročné
- zpravidla jen krátkodobá doplňující měření
- existují i další distanční metody (balóny, lidar ap.)

Měření na větrných elektrárnách

- anemometry umístěné na strojovně elektráren
- slouží pro regulaci provozu elektrárny
- určení skutečné rychlosti větru je problematické



Přístroje na měření větru - anemometry

- měří směr a rychlost větru (dělená vs. kombinovaná čidla)
- ve větrné energetice extrémně přísné požadavky na přesnost měření

Robinsonův kříž



Lopatkový anemometr



Tlakové čidlo (Pitotova trubice)



Akustické anemometry



Modelování větru

- umožňuje operativnější stanovení větrných poměrů
- je možný výpočet v ploše nebo v různých výškách nad zemí
- výsledky jsou ale méně přesné než by bylo (dobře provedené) měření
- možnosti jsou limitovány složitostí reálných podmínek a kapacitou výpočetní techniky

Modelování větru se používá pro:

- a) předběžné určení větrných poměrů lokality
- b) vytváření plošných „větrných map“, zjišťování větrného potenciálu území
- c) přesné výpočty v rámci větrné farmy (přepočítání z místa stožárového měření na jednotlivé elektrárny, určení výroby)

Existuje řada modelů, zde prezentuji modely používané na ÚFA AV ČR:

Statistický model VAS - jednoduchá interpolační pomůcka

Dynamický model proudění PIAP - numerický model mezní vrstvy atmosféry

Model WAsP - model a program pro potřeby větrné energetiky

Hybridní model VAS/WAsP

STATISTICKÝ MODEL VAS

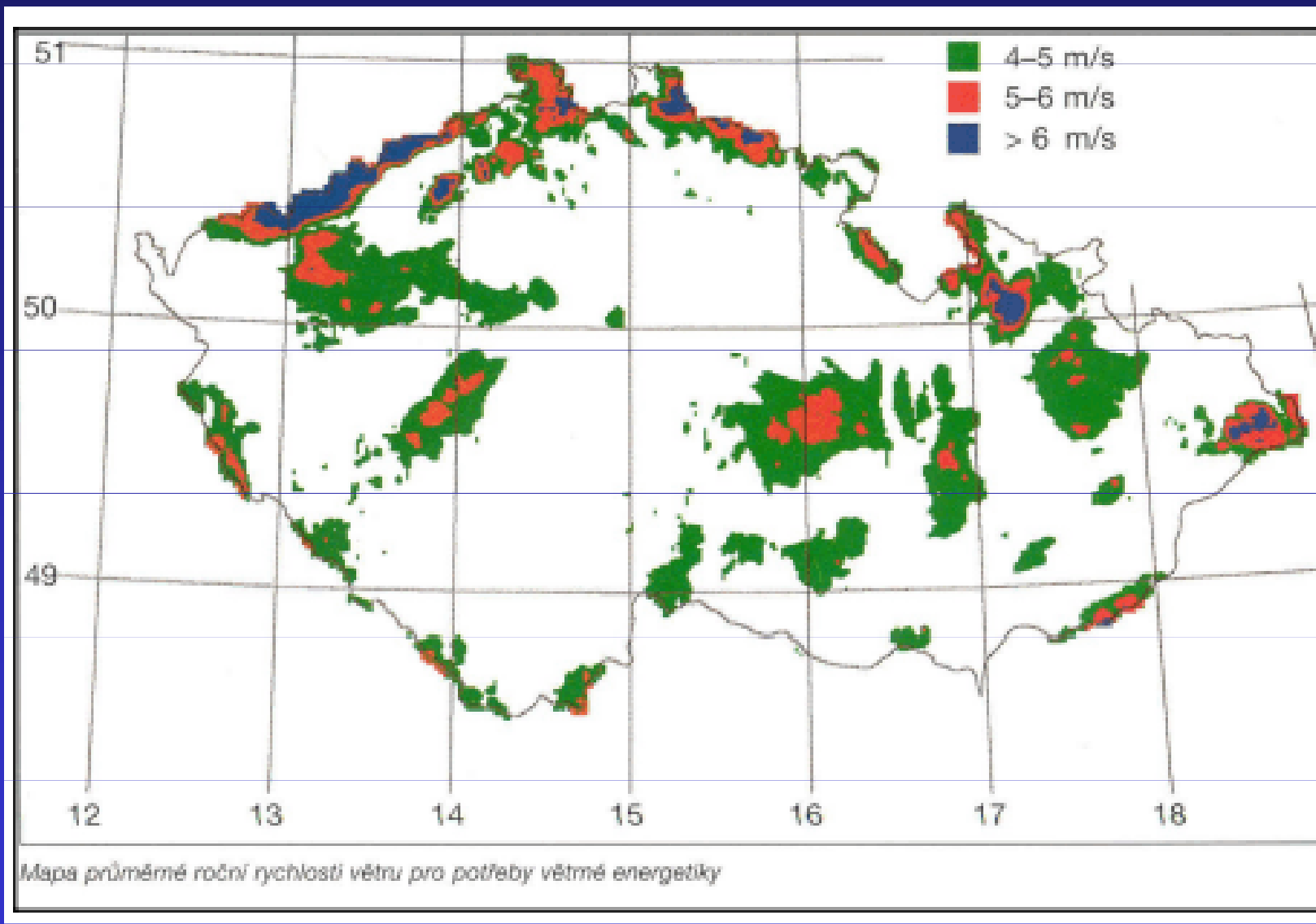
autor: RNDr. Zbyněk Sokol, CSc. (ÚFA)

- trojrozměrná interpolace naměřených hodnot větru
- pracuje se sítí měření meteorologických stanic
- interpolace metodou postupných korekcí
- interpolují se např. průměrné rychlosti nebo Weibullové parametry
- předpokládá logaritmický vertikální profil rychlostí větru

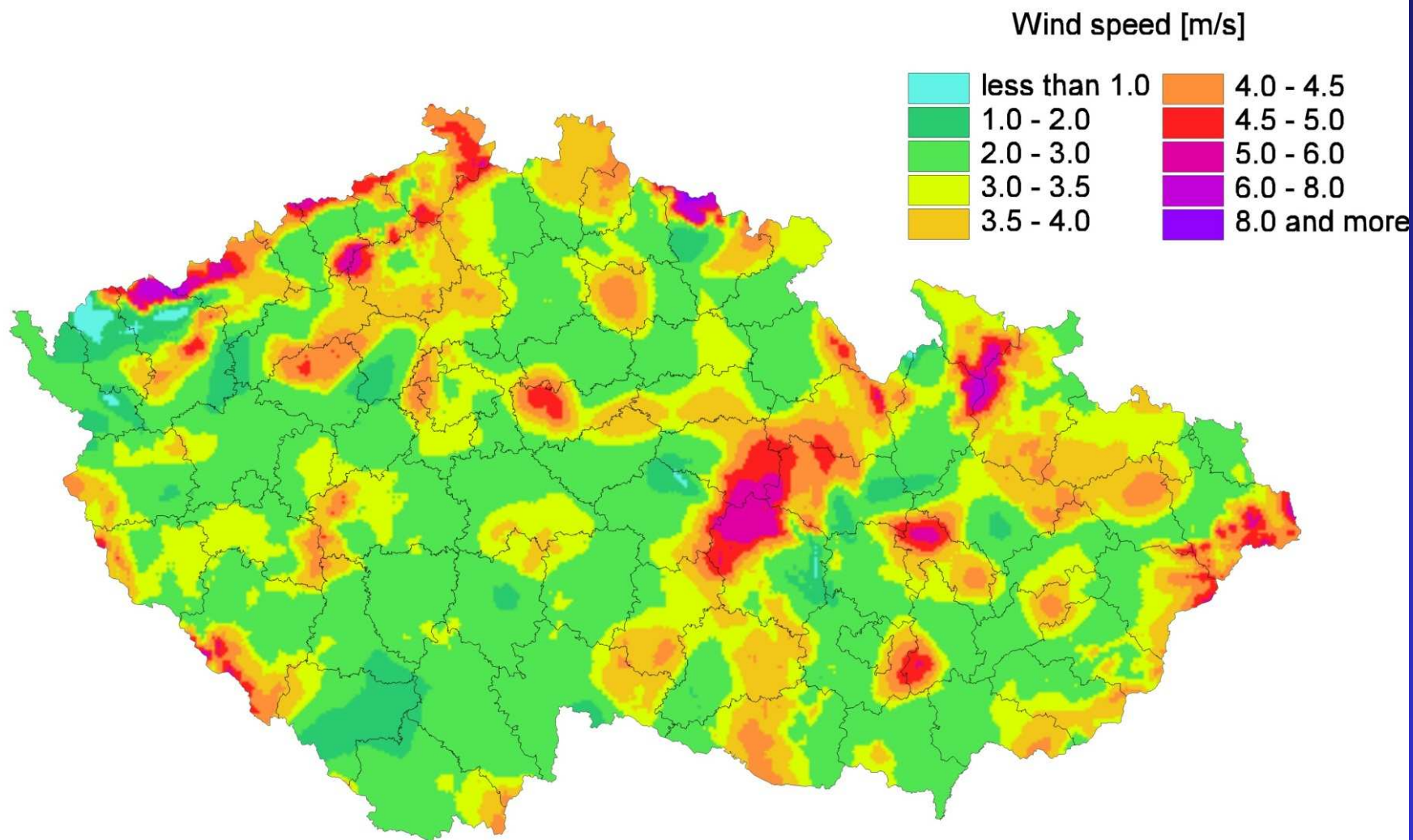
Je to jen jednoduchý, orientační model:

- předpokládá závislost větrných poměrů na nadmořské výšce (nárůst průměrné rychlosti s výškou)
- empiricky určené opravy na specifické místní podmínky

Výsledky modelu VAS1



Výsledky modelu VAS2



DYNAMICKÝ MODEL PIAP

autor: RNDr. Jaroslav Svoboda, CSc. (ÚFA)

Složený ze 2 sub-modelů:

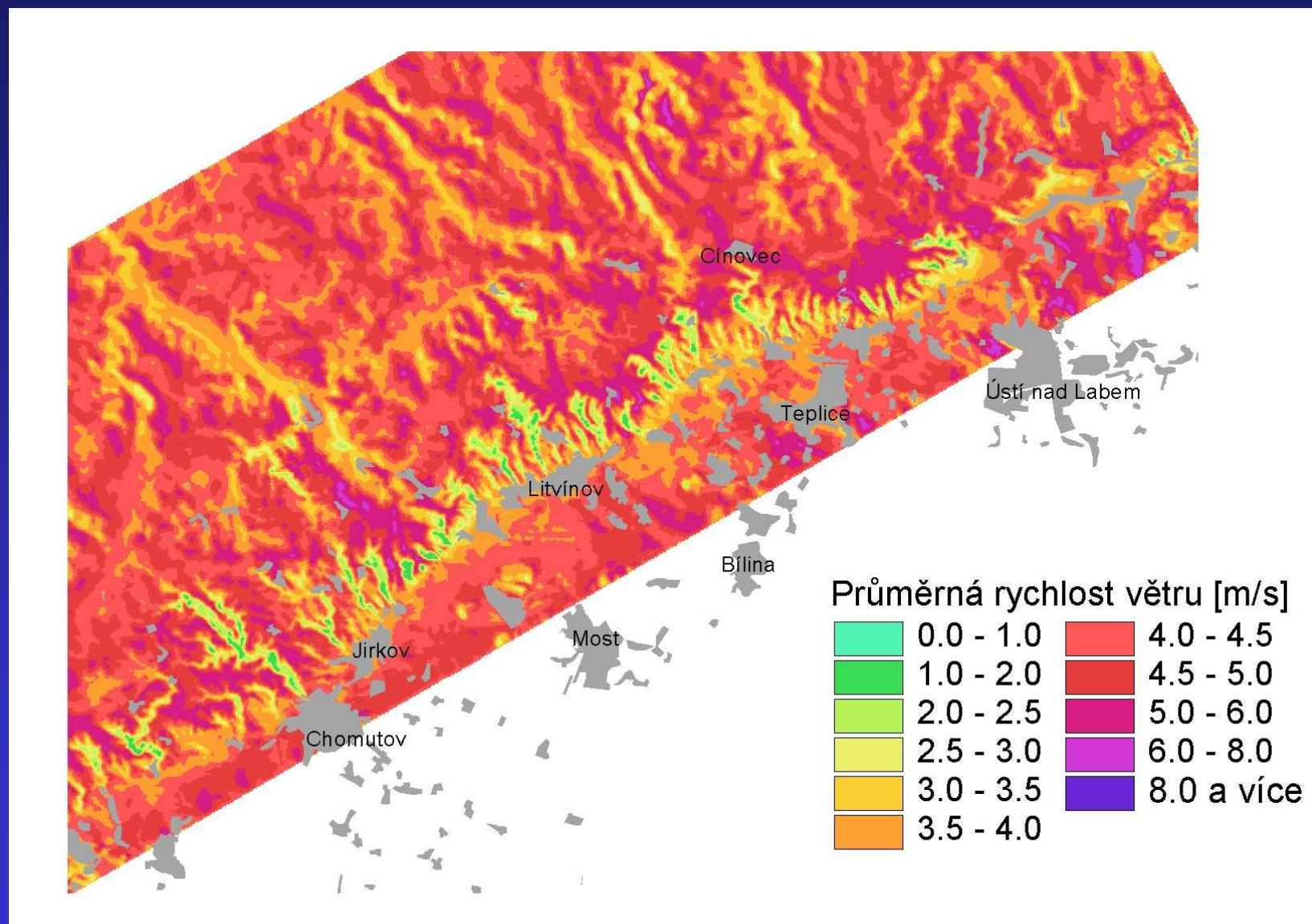
Model pro výpočet scénářů

- 3-rozměrný nestacionární numerický model mezní vrstvy atmosféry
- pro každý scénář zvolen směr natékajícího proudění a stabilitní podmínky
- v modelu prozatím nejsou zahrnuty vlivy radiace a oblačnosti

Výpočet větrné růžice = kombinace výsledků jednotlivých scénářů

- Vychází se z řady měření na referenční stanici:
- Každý termín měření je přiřazen určitému scénáři -> určení poměru rychlostí a rozdílu směru větru mezi referenční stanicí a výpočtovým bodem pro daný scénář -> určení směru a rychlost větru ve výpočtovém bodě.
- Výsledkem je simulovaná řada měření ve výpočtovém bodě, kterou je možné podle potřeby dále zpracovat.

Model PIAP – regionální výpočet

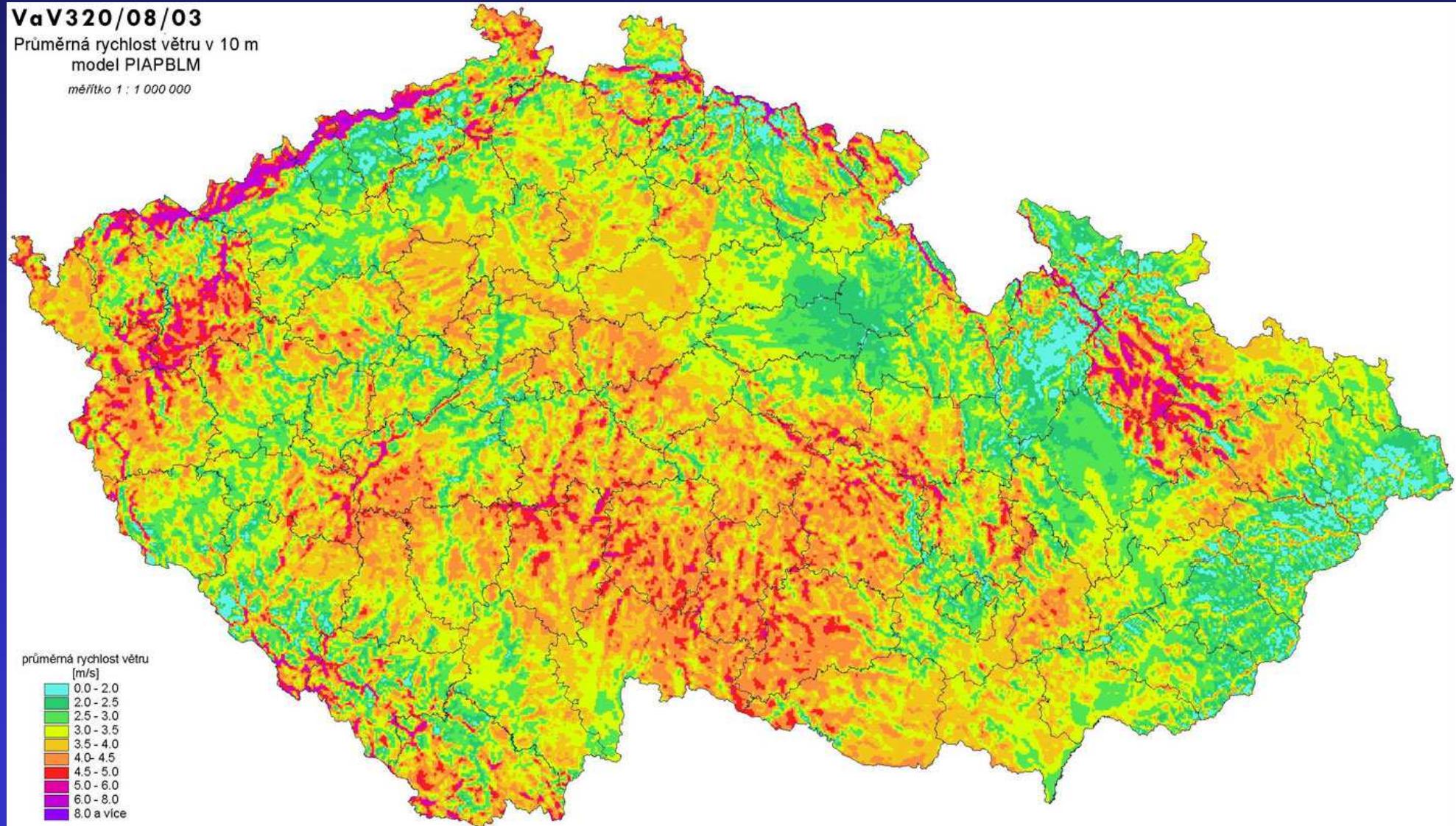


Model PIAP – celá ČR

VaV320/08/03

Průměrná rychlost větru v 10 m
model PIAPBLM

měřítko 1 : 1 000 000

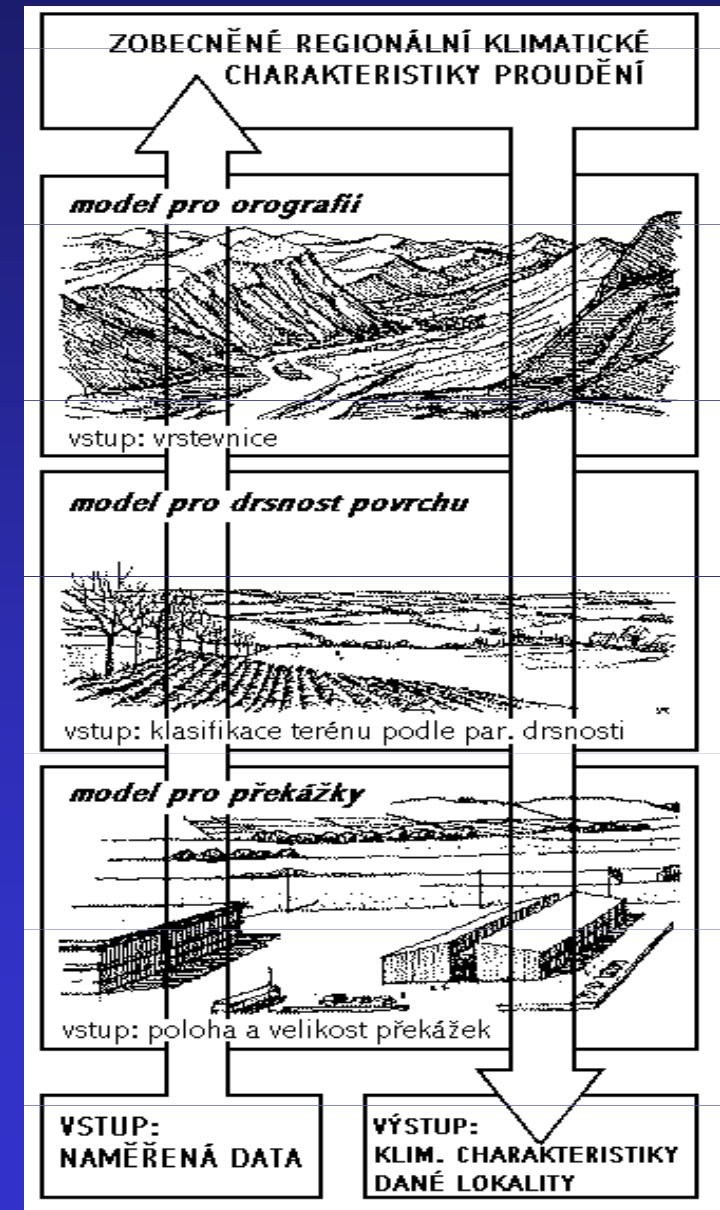


MODEL WASP

- vytvořen **institutem RISO** (Dánsko) speciálně pro potřeby větrné energetiky
- v současnosti asi **nejpoužívanější** pomůcka pro větrnou energetiku
- vedle samotného modelu doprovodné funkce (např. výpočet vzájemného stínění elektráren)
- vychází z měření na stožáru (stanici) v blízkém okolí větrné farmy
- není vhodný pro aplikaci vzdáleného měření

Princip modelového výpočtu

1. Výpočet regionálních klimatologických charakteristik (Wind Atlas analysis model)
2. Aplikace regionálních klimatologických charakteristik (Wind Atlas application model)
3. Výpočet roční produkce energie v daném místě



Dílčí koncepce

Stabilitní model - malé opravy vůči základnímu neutrálnímu stavu atmosféry

Orografický model

- zjednodušený model proudění, vychází z teorie potenciálového proudění a předpokladu neutrálního zvrstvení atmosféry
- výpočet v polárních souřadnicích => vysoké rozlišení v místě výpočtu, s rostoucí vzdáleností rozlišení klesá
- vyžaduje mapu terénu v podobě vrstevnic

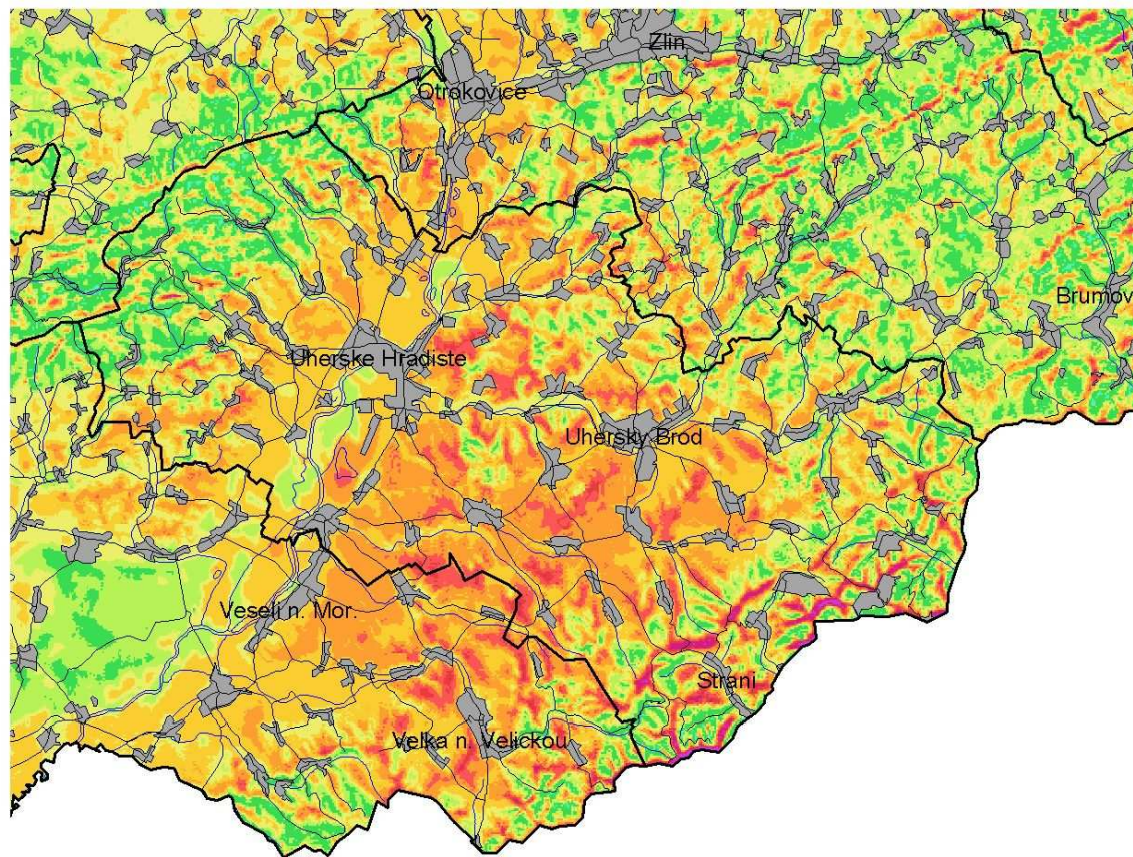
Model drsnosti terénu:


- okolní terén je ohodnocován charakteristickými parametry drsnosti (mapa nebo růžice)
- v případě změny drsnosti "vnitřní mezní vrstva"
- drsnost hraje roli především v menších výškách nad zemí

Model překážek

- útlum větru za geometrickými překážkami (budovy, větrolamy)
- velmi zjednodušený - empiricky určené hodnoty útlumu proudění v závislosti na výšce, vzdálenosti a "propustnosti" překážky

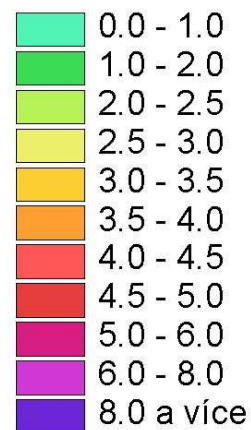
Ukázka výsledku modelu WAsP



 vodní toky

 hranice okresů

průměrná
rychlost větru
(m/s)



měřítko:
1: 250 000

HYBRIDNÍ MODEL VAS/WAsP

autoři: Mgr. Jiří Hošek, Mgr. David Hanslian (ÚFA)

- určen pro výpočet větrných poměrů v prostoru ČR
- kombinuje výhody modelů VAS a WAsP:
- WAsP - vyhodnocení vlivu místních podmínek
- VAS - interpolace mezi meteorologickými stanicemi

Model vychází z měření v síti meteorologických stanic.

Výpočet se skládá ze 3 kroků:

- 1) WAsP - výpočet "regionálních klimatických charakteristik" z jednotlivých meteorologických stanic (odečtení vlivu místních podmínek)
- 2) VAS - interpolace "regionálních klimatických charakteristik" mezi jednotlivými stanicemi
- 3) WAsP - výpočet místních podmínek z vyinterpolovaných "regionálních klimatických charakteristik"

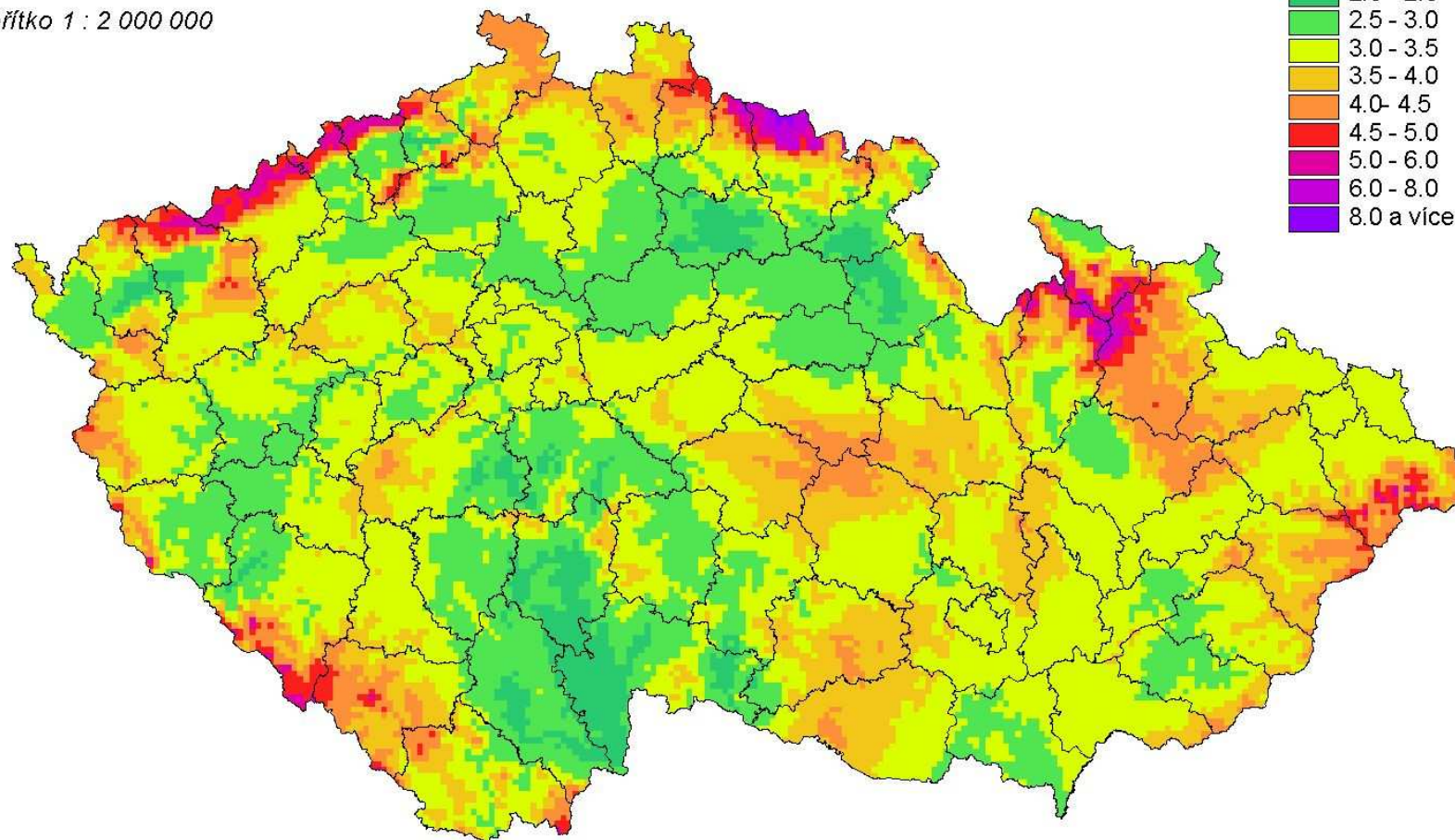
Model VAS/WASP – krok 2

PŘÍLOHA 2

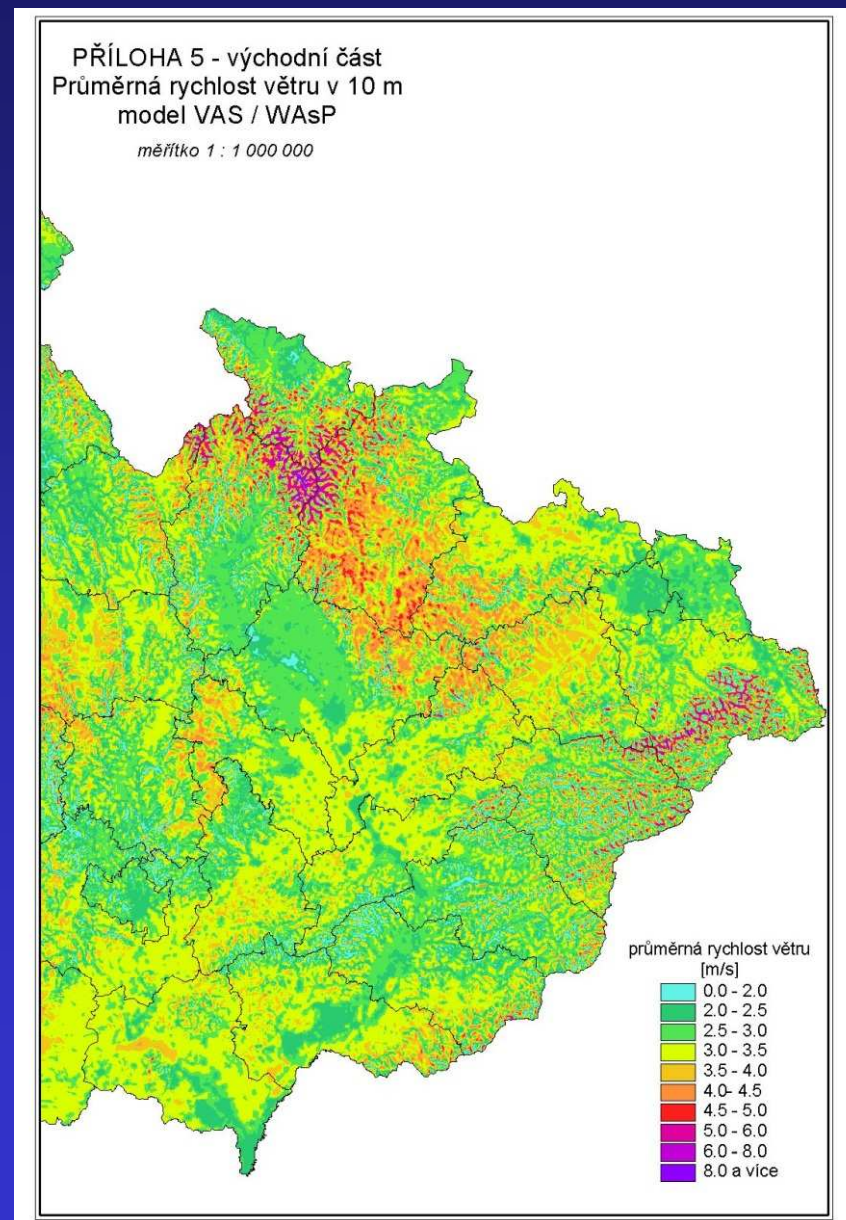
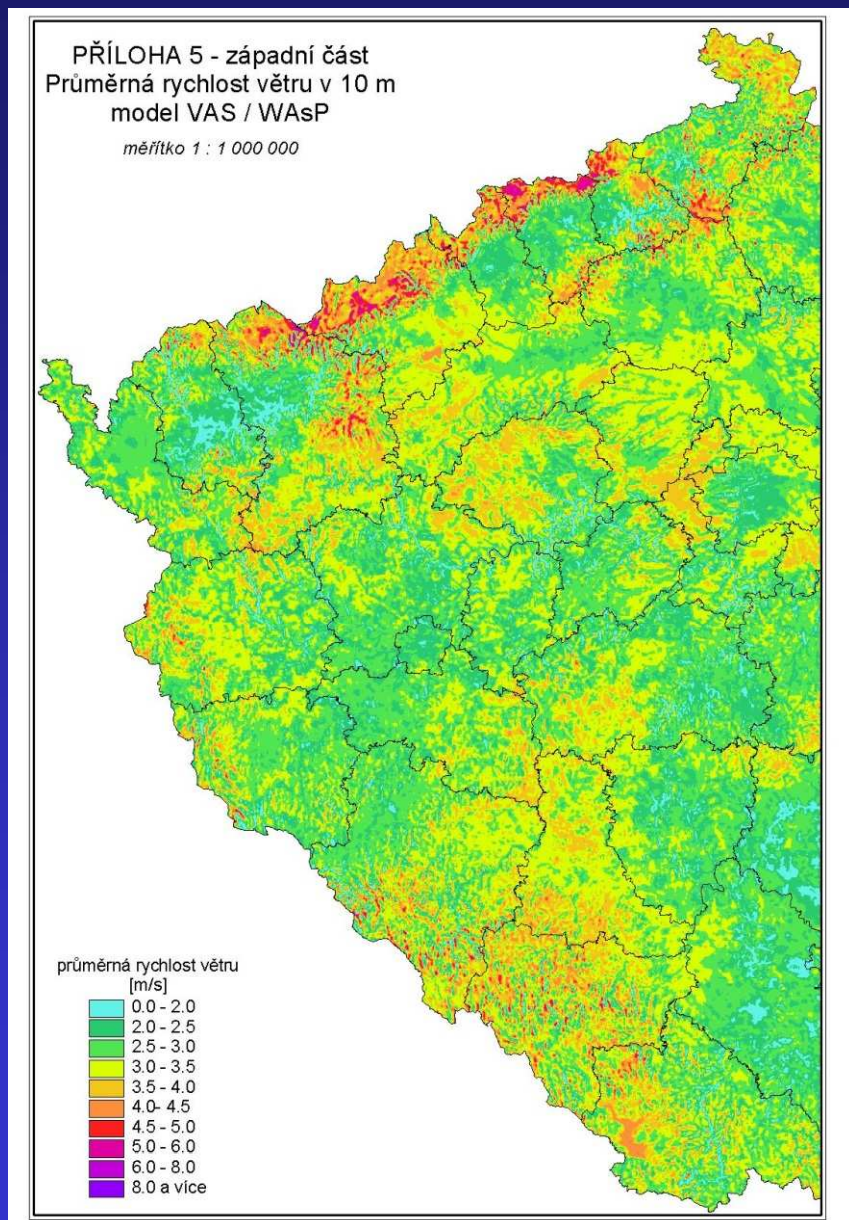
průměrná rychlost větru v 10 m ($z_0 = 0.1\text{m}$)

model VAS (mezivýsledek)

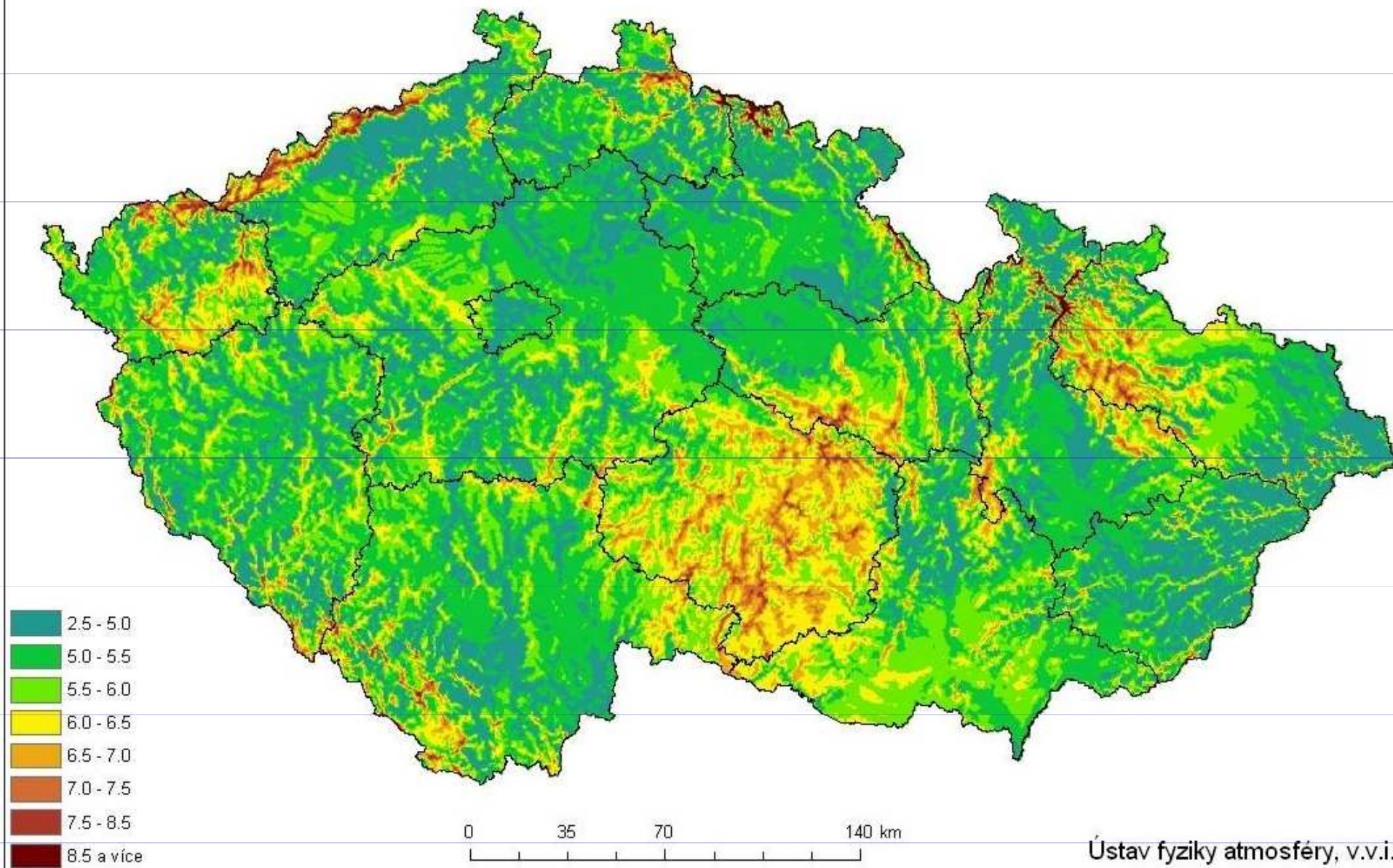
měřítko 1 : 2 000 000



Model VAS/WASP – krok 3



Výsledné pole průměrné rychlosti větru v m/s ve výšce 100 m



PŘEDPOVĚDNÍ MODELY

Slouží k operativní předpovědi výroby energie z větru

V současné době rozsáhlý vývoj těchto modelů, především ve státech s vysokým zastoupení větrné energie (Německo, Dánsko, Španělsko)

Potřeba jsou 2 typy předpovědi:

1) Předpověď **očekávané výroby** -> zapojení **vyrovnávacích** zdrojů => podklad pro krátkodobé obchodování s elektřinou (1 den předem, 1 hodina předem)

2) Předpověď **nejistoty předpovědi** -> alokace **záložních** zdrojů

- většinou vycházejí z běžných meteorologických předpovědních modelů
- pro předpověď výroby jednotlivých větrných farem jsou zakomponovány statistické metody, např. neuronové sítě
- často více modelů, výběr nejvhodnějšího pro danou situaci
- různé metody určení nejistoty předpovědi, například ansámby (mnoho paralelních modelových výpočtů)

VLIVY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN NA PROSTŘEDÍ

Každý ze způsobů výroby elektrické energie (a ostatně jakákoli lidská činnost) má za následek i „postranní“ vlivy na své okolí ->

-> mluví se o **externích nákladech** (externalitách)

Velikost negativních externích nákladů je u různých zdrojů energie velmi rozdílná. Podle studie EU:

-> **nejvyšší** při **spalování fosilních paliv** (především uhlí, ropy)

-> **nejnižší** při **výrobě energie z větru** (následují jaderná energie a další obnovitelné zdroje)

(ovšem nutná opatrnost - velký vliv použité metodiky, způsobu výpočtu)

U větrné energie můžeme rozlišovat

- **vlivy na přírodu**
- **vlivy na člověka, společnost**
- **vlivy na elektrickou síť**

Vlivy na přírodu

Vliv na ptáky

- přímé zabíjení - řádově méně než jiná rizika (doprava, průhledné a lesklé plochy, dráty ap.)
- ztráta stanovišť, ztížení cest za potravou, rušení – může být závažnější problém, záleží na druhu
- elektrárny by neměly být situovány do tažných cest, ohled na stanoviště citlivých vzácných druhů
- pokud možno co nejmenší osvětlení (přitahuje a mate ptáky)
- celkově méně závažný než se jeví na první pohled, velmi závisí na druhu

Vliv na netopýry

- méně prozkoumaný než u ptáků (noční život)
- vzhledem k delšímu životnímu cyklu potenciálně závažnější
- riziko hlavně během málo větrných letních nocí

Rušení zvěře a jiných živočichů

- zanedbatelný problém; spíš při výstavbě

Přístupové komunikace

- při necitlivém postupu ztráta stanovišť, vznik eroze

Vlivy na člověka

Hluk

Mechanický: zvuk stroje, skřípání ap.

- především problém prvních větrných elektráren, dnes málo významný

Aerodynamický: svist vrtule, pulsy při průchodu listu kolem tubusu

- dnes převládající typ hluku

0 dB - práh slyšitelnosti

20 dB - šum listí, tichá místnost

30 dB - šepot, tichý byt, tichá ulice

40 dB - tlumený hovor, zvuk ledničky, **hygienický limit pro noc**

50 dB - běžný pouliční hluk, **hygienický limit pro den**

55 dB - **hluk u paty větrné elektrárny**

60 dB - hlasitý hovor

70 dB - frekventovaná ulice

90 dB - jedoucí vlak

120 dB - startující letadlo

140 dB - akustické trauma

Nařízení vlády č. 502/2000 Sb. => na vnějších stěnách „chráněných budov“ (obytné domy ap.) nesmí ekvivalentní hladina akustického tlaku (intenzita hluku) překročit 50 dB ve dne a 40 dB v noci

=> aby byla elektrárna povolena, musí jej splňovat

=> dostatečná vzdálenost elektrárny pro splnění nočního limitu je cca 350 až 500m, u větrné farmy více

=> možnost omezit výkon elektrárny (elektráren) v nočních hodinách

Intenzitu hluku zjišťuje **akustická studie**, resp. **hygienické měření**

Infrazvuk = zvuk pod hranicí slyšitelnosti

- při vysoké intenzitě může vyvolávat nevolnost, zdravotní problémy => argument proti VE

- nese se dál, takže ve velké vzdálenosti od elektrárny je relativně významněji zastoupen

- celkově je ale málo intenzivní (i ve srovnání s přirozenými zdroji), škodlivý vliv na lidské zdraví je nepravděpodobný

Stroboskopický efekt

- vzniká při průchodu listů vrtule přes sluneční kotouč
- může být vnímán nepříjemně
- podle německé normy by neměl překročit 8 h/ročně
- přesná doba trvání závisí na meteorologických faktorech (oblačnost, směr větru) => špatně se určuje =>

=> udává se „teoretické maximální trvání“ – předpoklad nulové oblačnosti a kolmému natočení vrtule – podle německé normy max. 30 h/ročně

Námraza

- především v námrazových oblastech (vysočiny, hory), v malé míře i jinde
 - snižuje výrobu elektráren, vede ke zvýšenému opotřebení
 - může ohrožovat kolemjdoucí
- => nutnost zastavovat elektrárnu během námrazových epizod

Ovlivnění krajinného rázu

- nejzávažnější problém větrných elektráren
- do značné míry věc osobního názoru
- elektrárny jsou z principu velké, na otevřených místech, na výšinách, jsou tedy velmi viditelné
- zpravidla vadí rekreantům, méně trvale žijícím obyvatelům

Umístování větrných elektráren z hlediska vlivů na okolí

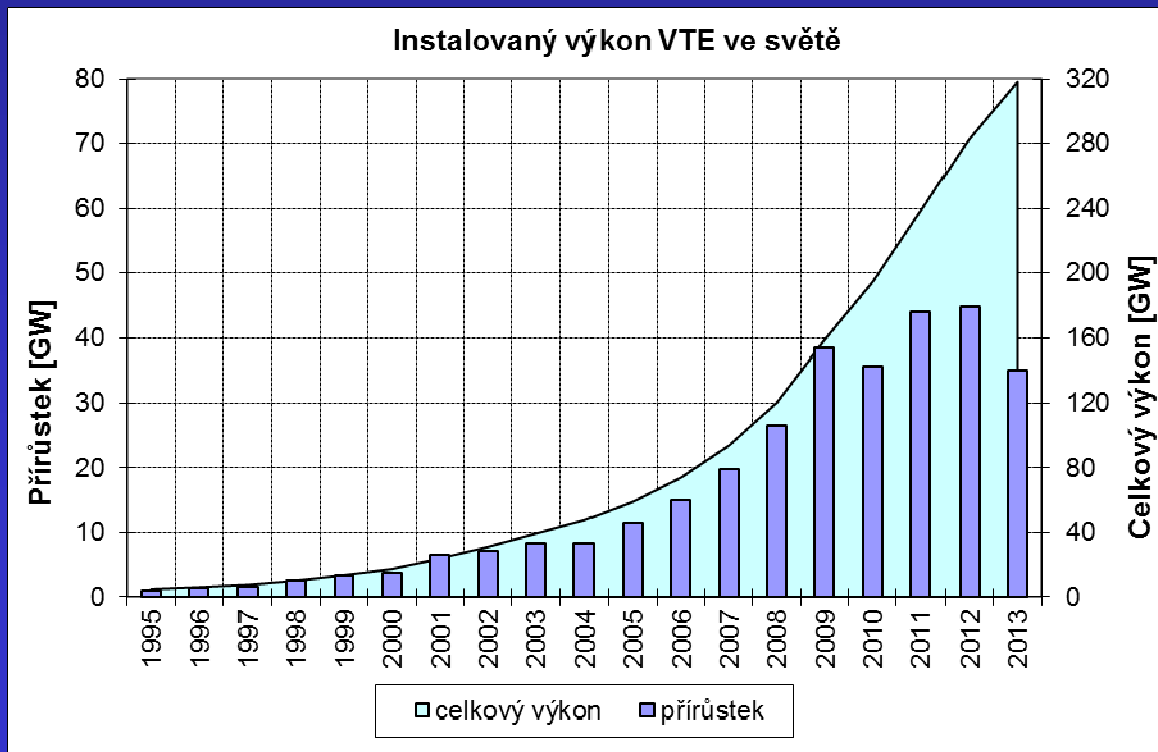
- neměly by být umístovány v místech ojedinělých přírodních scenérií a v těsné blízkosti kulturních památek
- zpravidla narazí na odpor v rekreačně využívaných oblastech
- obecně nejsou povolovány v chráněných oblastech a v oblastech přírodních parků
- bohužel značná role postojů jednotlivých úředníků, krajských úřadů (nekoncepčnost, ...)
- jako nejvhodnější se jeví řídce osídlená zemědělská krajina
- výhodné může být využití průmyslových oblastí
- vždy je zásadní získat podporu místních obyvatel

Vliv na elektrickou síť

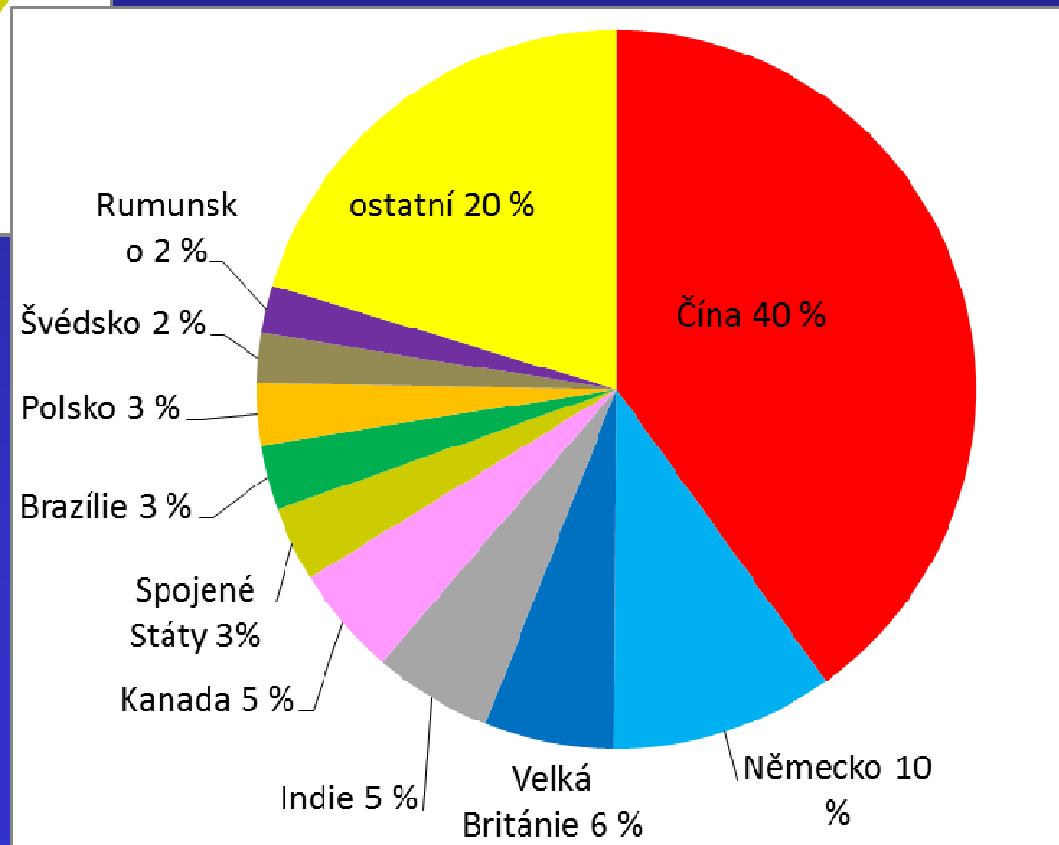
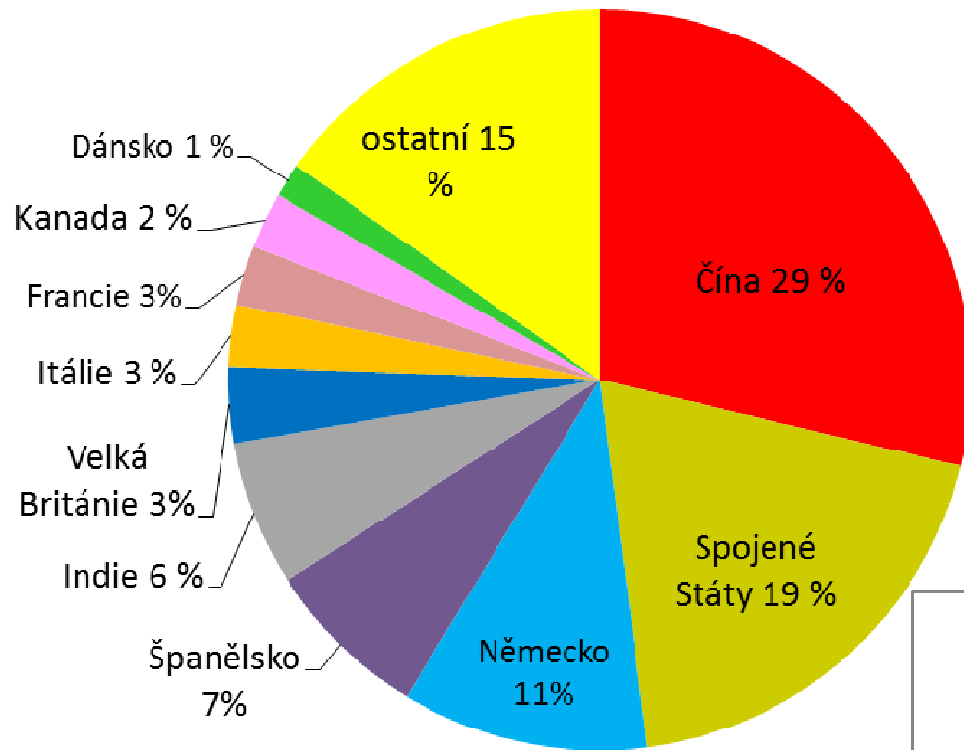
- výroba větrné energie kolísá v závislosti na meteorologických podmínkách -> nutno kompenzovat ostatními zdroji či regulací spotřeby
- v průměru VE vyrobí cca 25 – 30% teoreticky možné výroby (záleží na lokalitě a typu elektrárny)
- při **malém zastoupení** větrné energie se kolísání výroby „ztratí“ v šumu
- při **vysokém zastoupení** se zvyšují nároky na záložní a vyrovnávací zdroje a na přenosovou síť => dodatečné náklady, velký význam předpovědi výroby
- pokud možnost přenosu energie na velké vzdálenosti - výchyly ve vzdálených oblastech se vyrovnávají (na různých místech fouká různě)
- výhodou je decentralizovaný charakter větrných elektráren
- možnost snadného odpojení a zapojení do sítě

VÝVOJ VĚTRNÉ ENERGETIKY

- pokusy o výrobu energie z větru již od počátku využití elektřiny
- **ropné krize 70. let** => systematictější vývoj větrných elektráren
- **80.léta** - boom větrných elektráren v Kalifornii, velký pokrok v technologii
- **90.léta** - rozvoj větrné energetiky především v Dánsku a Německu
 - větrná energetika se stává významným průmyslovým odvětvím
- **současnost** - energie z větru se cenově blíží konkurenceschopnosti
 - zvýšený zájem o problémy klimatu => celosvětově obrovský rozvoj



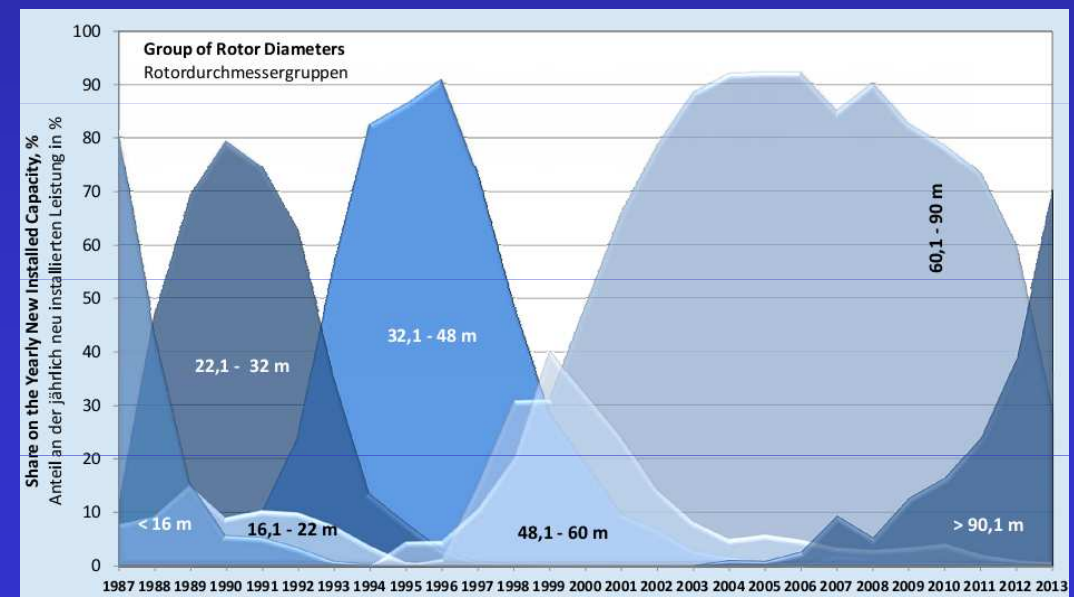
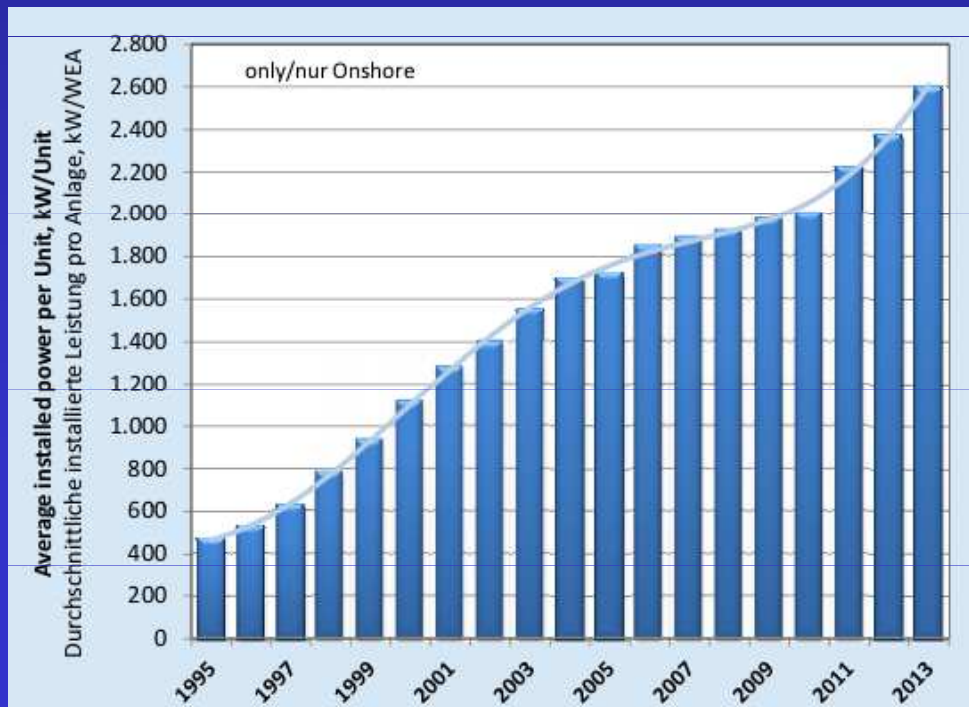
Celkový instalovaný výkon k 31.12.2013



Výkon instalovaný v roce 2013

Růst velikosti větrných elektráren

- umožněn technickým pokrokem
- > úspora jednotkových nákladů (infrastruktura apod.)
- > rotor ve větší výšce nad zemí => vyšší rychlost větru, nižší turbulence
- limitován možnostmi dopravy velkých dílů, výškou jeřábů
- další růst velikosti již méně výhodný (vyšší růst hmotnosti než výkonu)
- v současné době trend vyrábět různé řady elektráren:
- pro vnitrozemské podmínky relativně větší rotory vůči výrobě -> vyšší kapacitní faktor v méně větrných lokalitách
- „mořské“ (offshore) elektrárny co největší, s velkým výkonem (i přes 5 MW)



VÝVOJ V ČESKÉ REPUBLICE

„Období nadšení“: 1992 – 1994

- postavena řada větrných elektráren (cca 25) převážně prototypů české výroby (Vítkovice a nástupnické firmy)
- očekávání trvalejší podpory větrné energetiky

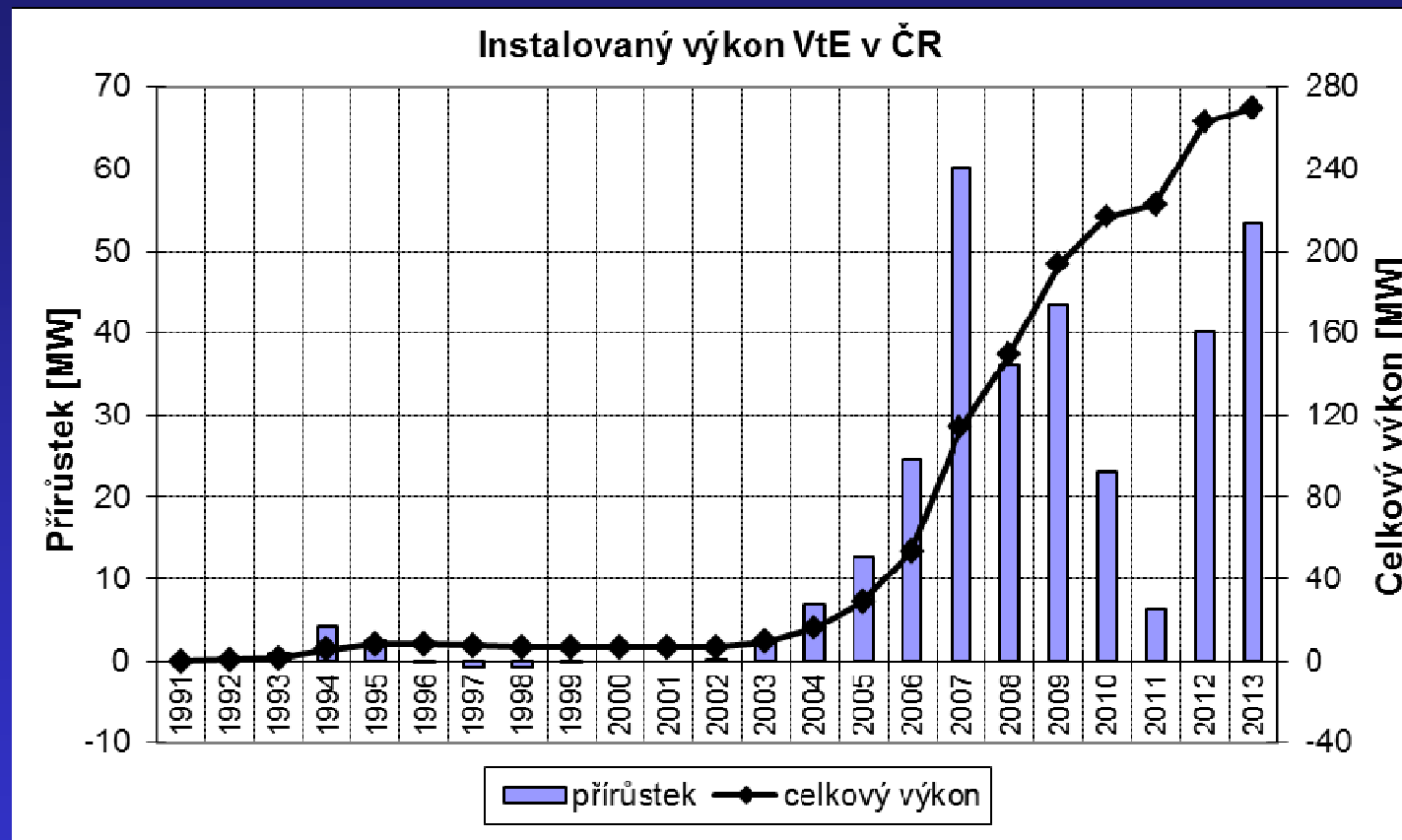
„Období zklamání“: 1996 – 2001

- nulová podpora větrné energetiky, „podraz“ na provozovatele (nevýhodné podmínky výkupu elektřiny)
- vývoj „Vítkovických“ elektráren nemá podporu a končí
- většina provozovatelů krachuje (neschopnost splácet úvěry, technické problémy větrných elektráren - prototypů)

„Nový věk“: 2002 – současnost

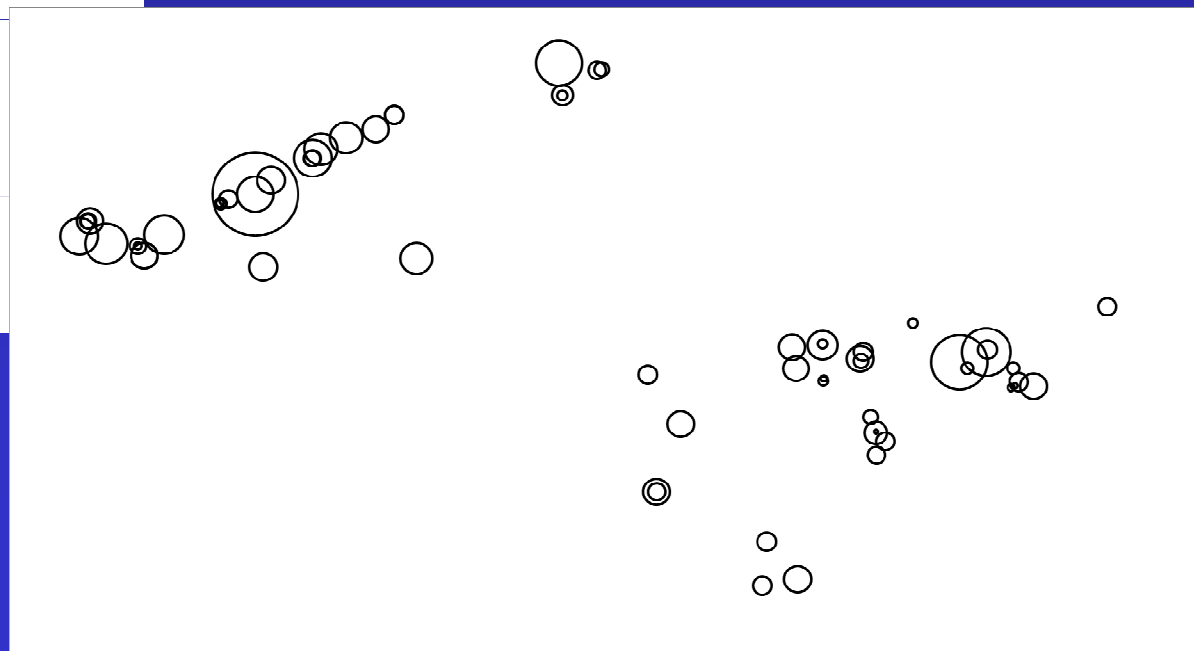
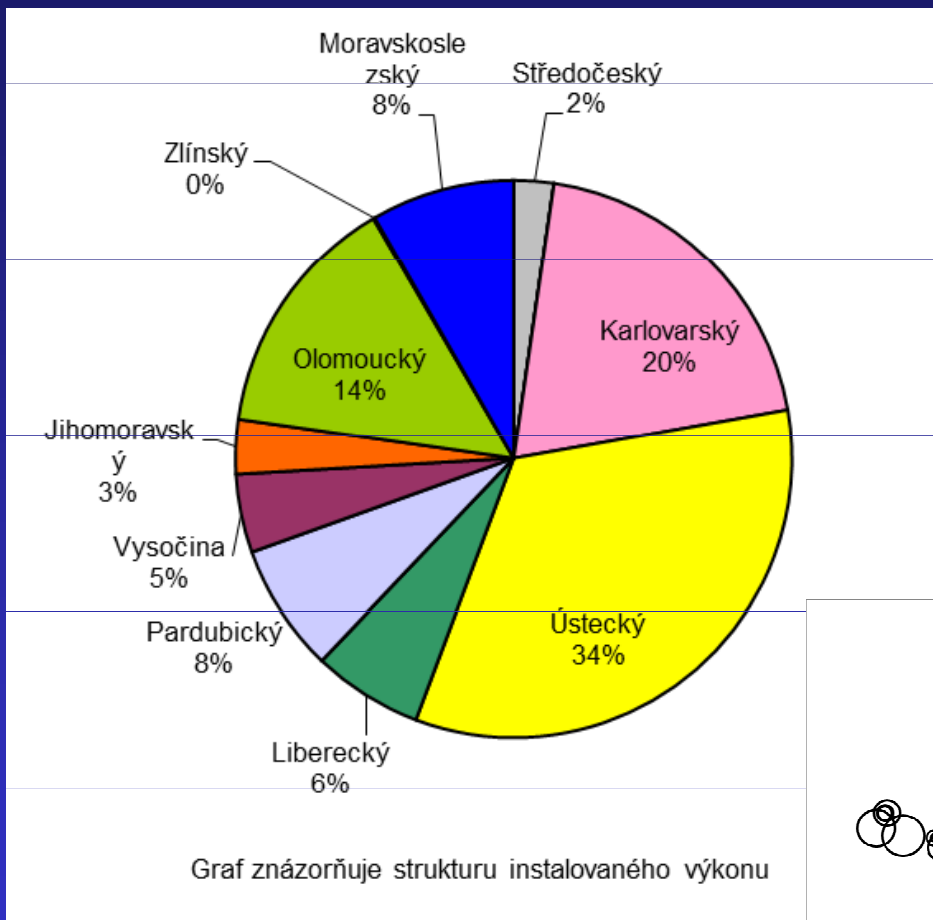
- od roku 2002 povinný a zvýhodněný výkup „obnovitelné“ elektřiny
- 2005 - přijat Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů -> záruka výkupu elektřiny za zvýhodněné ceny po dobu 15 let
- instalovány již moderní větrné elektrárny od osvědčených výrobců

Historický vývoj instalací VE v ČR



Větrné elektrárny v ČR

stav 31.12.2013



MOŽNOSTI BUDOUCÍHO ROZVOJE

Potenciál větrné energie

klimatologický (teoretický) potenciál - v celosvětovém měřítku řádově převyšuje energetickou potřebu lidstva

technický potenciál - kolik energie by bylo možno získat za současných technických a legislativních podmínek

realizovatelný potenciál - jaký potenciál lze reálně očekávat k realizaci

- velikost technického, resp. realizovatelného potenciálu je obtížné a do značné míry subjektivní odhadovat
- dle naší studie technický potenciál ČR cca 20 GW (více než všechny současné elektrárny dohromady)
- realizovatelný potenciál cca 2,5 GW => reálně lze očekávat podíl větrné energie v ČR necelých 10 %

Určující faktory budoucího rozvoje

Společenské

- jak bude větrná energetika přijímána veřejností
- naléhavost boje proti globálnímu oteplování
- atraktivita ostatních zdrojů (či úspor) energie
- tlak průmyslové lobby (v obojím směru)
- budoucí ekonomický a společenský vývoj
- míra byrokratických překážek

Ekonomické

- legislativní podmínky pro výkup větrné energie
- cena energie z ostatních zdrojů
- cena větrných elektráren

Technické

- vývoj nových technologií a jejich využitelnost
- dostupnost a kapacita elektrické sítě

Regulace elektrické sítě

- technicky proveditelná i pro velmi vysoké zastoupení větrných elektráren, při vysokém podílu větrné energie ovšem výrazně rostou náklady
- existují podstatné rezervy (předpověď větru, regulace na straně spotřeby, dálkový přenos, ...)
- ani při relativně vysokém zastoupení (Německo, Španělsko) zatím není zásadnější problém, limitem jsou spíše kapacity elektrických sítí
- v případě ještě vyššího podílu již může náročnost růst, pomoci mohou nové možnosti (vodík, baterie) a inteligentní řízení sítí

Mořské větrné elektrárny (offshore)

- využití větrného potenciálu mořských ploch
- moře = hladký povrch
 - => vysoká rychlost větru
 - => nízká turbulence proudění a stříh větru
 - => méně střetů ohledně využití území
- problémem je technická náročnost a cena
- kvůli infrastruktuře větší stroje než na pevnině
- dlouhodobě se očekává velký rozvoj, ale zatím pomalejší než se čekalo



Perspektiva větrné energetiky

- v současné době je již vítr cenově konkurenceschopným zdrojem energie: uhlí (voda) < vítr (voda) < plyn, jádro (voda), slunce < biomasa

- v případě zahrnutí externalit (uhlí) a nepřímých dotací (jádro) je vítr prakticky nejlevnější energií (záleží samozřejmě na lokalitě)

=> nejde již o "alternativu", ale o jeden ze základních zdrojů

=> v globálním měřítku lze očekávat další rozvoj VtE, ale současně i odbourávání dotací, doba exponenciálního růstu zřejmě skončila

Základním problémem je integrace větrné energie => výhodnější je výstavba větrných elektráren nedaleko míst spotřeby a mimo oblasti velké koncentrace větrných elektráren (např. jih Německa, Česká republika)

V našich podmínkách tendence k elektrárnám s větším využitím výkonu (vyšší elektrárny a větší rotor, ale relativně nízký výkon) => levnější a menší zátěž pro síť

A silhouette of a three-bladed wind turbine stands against a sunset sky. The sky transitions from a deep orange near the horizon to a dark blue at the top. The turbine is positioned in the center of the frame, with its tower extending from the bottom edge. The blades are spread out, and the nacelle is visible at the top of the tower.

Děkuji za pozornost

hanslian@ufa.cas.cz