

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Technická fakulta**

# **Vítr jako zdroj energie**

**bakalářská práce**

**Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.**  
**Autor práce: Galet Miroslav**

**PRAHA 2010**

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s titrem jako zdroj energie vypracoval samostatně a uvedl všechny použité literární a ostatní zdroje informací.

V Praze dne

.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu této bakalářské práce RNDr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a spolupráci. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za trpělivost a pomoc z oblasti cizích jazyků.

## abstrakt

Tato bakalářská práce šVítř jako zdroj energie ō si dává za cíl seznámit s problematikou využíování v trů, tak aby tená získal pokud možno ucelený pohled na v c a pomohla mu v utvá ení vlastního pohledu na celou problematiku.

Proto si ekneme n co o tom, jak vítr vlastn vzniká, vypo ítáme jak velká energie se ve v trů skrývá a kolik jí dokáľeme skute n využít. Dále se seznámíme s tím, jakými zp soby a prost edky to lze provést. V následující kapitole strů n nahlédneme na historický vývoj využíování v trů, od plachetnic, p es v trné mlýny aľ po moderní v trné elektrárny. Dal-í kapitola poukáľe na praktické využití v trných motor ů a pokusí se objektivn ůvést klady a zápory v trné energetiky. Záv r shrne celkové možnosti v trné energetiky a nazna í, jakým sm rem by se m la a pravd podobn bude ubírat.

## abstract

This bachelor work šWind as source of energy ō aims to clear up using the wind so that readers could obtain as possible complete view of these questions and, consequently, create their own opinion on this problem.

That is why we will watch the origin of the wind, calculate energy inner the wind and in the end we will specify quantity of usable wind energy. Further we will characterize some necessary ways and devices. In further chapter we can shortly appreciate ancient development of the wind using from the sailing boats and windmills to modern wind engines. Another chapter will show practical using of the wind engines and than we will try to write advantages and negations of the wind energy open-mindedly. In conclusion of this work we will summarize general possibilities of wind energy and outline possible ways of its further development.

**Klí ová slova:** v trná energetika, v trná elektrárna, alternativní zdroje energie, energie v trů, v trné motory, v trný mlýn

**Keywords:** wind energy, wind power-station, alternative resources of energy, wind engines, windmill

## OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvodí</b>	<b>..... 1</b>
<b>2</b>	<b>Fyzikální podstata v trné energieí</b>	<b>..2</b>
2.1	Vítr a jeho vznikí	2
2.2	Principy p em ny v trné energieí	.. 4
2.2.1	Ideální ú inností	.7
2.3	Typy a rozd lení v trných motor	.... 7
2.3.1	Odporové v trné motoryí	... 7
2.3.2	Vztlakové v trné motoryí	.. 9
<b>3</b>	<b>Vývoj v trné energetikyí</b>	<b>..9</b>
3.1	Plachetniceí	.... 9
3.2	V trné mlýnyí	...11
3.3	Výroba elektrické energieí	... 14
<b>4</b>	<b>Praktické využití, výhody a nevýhody v trné energetikyí</b>	<b>..18</b>
4.1	Praktické využití v trných motor , porovnání jednotlivých typ a jejich ú inností	. 18
4.2	Výhody a nevýhody v trné energetikyí	... 20
<b>5</b>	<b>Záv ří</b>	<b>.. 25</b>
	Seznam poufíté literatury a dal-ích pramen	. 27
	Slovník poufítých termín a zkratkí	.. 28
	Seznam p ílohí	.29

# 1 Úvod

Lidstvo ročně vypustí do atmosféry přes 30 gigatun oxidu uhličitého!

Na jednoho obyvatele tak v průměru připadá 4,2 tuny!

Na jednoho občana České republiky dokonce připadá 11,6 tuny za rok! (To dle zpráv RIAA jednoho z nejvíce znečištěných obyvatelů CO<sub>2</sub> v Evropě).

Emise oxidu siřičitého činí 140 mega tun ročně!

Globální oteplování planety. Zamoření flivotního prostředí sírou. Snížení biologické diverzity. Stovky tun vysoce radioaktivního vyhořelého jaderného paliva. Havárie obilních tankerů. Stovky tisíc tun vylité ropy devastující moře. Atd., atd.

To je daň za megawatty energie spotřebované lidmi na Zemi. Energie získané především spalováním fosilních paliv. Lidstvo se pomalu dostalo do fáze, kdy si začalo uvědomovat, jak moc si planetu Zemi ničí a ohrožuje své nezastupitelné flivotní prostředí. V posledních několika desetiletích jsou činěna opatření k zastavení nebo alespoň zpomalení této devastace. Prvním impulzem byla ropná krize v 70. letech 20. stol. V letech 80. se pak položila i otázka ochrany flivotního prostředí. Konají se celosvětové konference, kde se státy snaží dojednat stále přísnější a přísnější emisní limity. A to navzdory ekonomickým a finančním ztrátám. Hledají se nové ekologické a hlavně obnovitelné zdroje energie. Jejich zavádění mají napomoci nemalé finanční dotace. V oblasti nejvíce zájmu je sluneční energie, biomasa, vodní a geotermální energie a v neposlední řadě energie větrná.

Lidstvo dokázalo využívat vítr už od pradávna. Kromě lidské a zvířecí síly to byla právě energie větru, kterou si člověk podmanil jako první.

Nejprve to bylo u vojáků a lodí, kde vítr opírající se do plachet dodal plavidlu pohybovou energii. Poté se lidstvo naučilo přeměňovat větrnou energii na energii mechanickou, která mu sloužila k mletí obilí, čerpání vody a dalším pracím. Od objevu elektrického proudu jsou větrná kola používána i k výrobě elektřiny. Ve 20. stol. se bohužel větrná energie dostala na okraj zájmu kvůli nízké účinnosti a pohotovějšímu zdroji energie. Během 20. stol. byla větrná energie využívána dosti hojně, ale v malém měřítku. Nezastupitelné místo měly větrné motory v oblastech, kam jiné zdroje energie nemohly být transportovány, jako jsou arktické oblasti, polární stanice a nepřístupné samoty.

V posledních letech jsme svědky velkého šboomu větrných elektráren. Mají za úkol pomoci pokrýt stále se zvyšující spotřebu elektrické energie. Mají své zastánce i zapřísáhlé

odpověď. Staly se často diskutovaným tématem. Mají –anci nahradit konvenční způsob výroby elektrické energie?

## 2 Fyzikální podstata vtrné energie

### 2.1 Vítr a jeho vznik

Vítr je proudění vzduchu. Zpravidla tak bývá označována pouze jeho horizontální složka. Z fyzikálního hlediska jde o vektorovou veličinu charakterizovanou velikostí a směrem. Jako směr v trtu se udává směr, odkud vítr vane a udává se v úhlových stupních, v souvislosti převážně v desítkách stupňů azimutu. Například vítr vanoucí od severu se označí 36, od východu 09, z jihu 18, ze západu 27. Celkem se tedy rozlišuje 36 směrů v trtu. Jiný způsob se udává pomocí světových stran. V meteorologii jsou závazné zkratky vycházející z anglických názvů, tedy písmena N,E,S,W a jejich složeniny. Například severovýchodní vítr se označí jako NE.

Rychlost v trtu se nejčastěji udává v m/s, nebo pomocí Beaufortovy<sup>1</sup> stupnice, sestavené podle úhlní v trtu v pítrod (píloha 3). Zařízení pro měření rychlosti v trtu se nazývá anemometr (anemos óecký vítr).

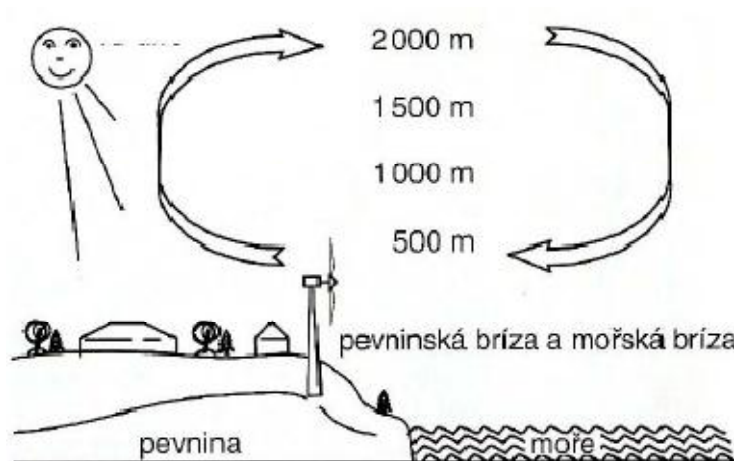
Hlavní příiny vzniku v trtu jsou sluneční energie a rotace Země. Vlivem nerovnoměrného ohřívání planety Země vznikají oblasti vzduchu s rozdílnou teplotou, respektive hustotou vzduchu. To je příinou pohybu částic vzduchu z oblastí vysokého tlaku k oblastem s tlakem nižším. Například v pímo ských oblastech je nerovnoměrné zahřívání pevniny a moře příinou vtrů označovaných jako bríza.

Ve dne je teplota pevniny vyšší než teplota moře a vzduch vane od moře na pevninu, příměmfi teplý vzduch nad pevninou stoupá vzhůru. Tomuto jevu se říká mořská bríza.

Naopak v noci se pevnina rychleji ochladí a vítr vane z pevniny na moře ó to je pevninská bríza.

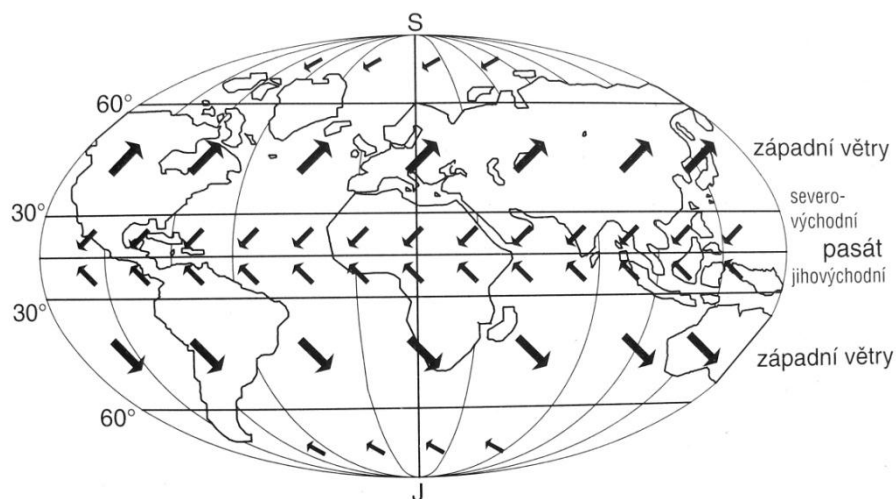
---

<sup>1</sup> Sir Francis Beaufort (1774 ó 1857), admirál britského námořnictva



Obr. 2.1 Bríza. [Crome, 2002]

Na vznik v trů má s tepelnými vlivy nejv t-í vliv otá ení Zem , které se áste n p ená-í na vzduchový obal, jak názorn ukazují v try zvané pasáty. Pasáty p evládají v tropických oblastech a vanou z oblastí vy-ího tlaku subtropické -í ky do oblastí nízkého tlaku nad rovníkem. Na severní polokouli vanou od severovýchodu (NE), na polokouli jifní od jihozápadu (SW). Mezi 30. a 60. stupn m zem pisné -í ky p evládají na obou polokoulích v try západní.



Obr. 2.2 Hlavní sm ry pohybu vzduchu na Zemi. [Crome, 2002]

Na utvá ení v trů má rozhodující vliv i reliéf terénu. Proud ní v trů je ovliv ováno stromy, horami, budovami atp. Proto je p ed stavbou v trných za ízení nutno t chto vliv dbát.



## 2.2 Principy p em ny v trné energie

Ú elem v trného kola nebo vrtule je p em nit kinetickou energií v trtu na energii mechanickou. Ta je pak podle ú elu za ízení bu p ímo vyuffívána (nap . mlýny, erpadla vody), nebo je p em n na na energii elektrickou, tepelnou, energii stla eného vzduchu a podobn .

Pro výb r vhodné lokality pro stavbu v trného za ízení je velmi d leflité znát, jakou energii nám m fle vítr poskytnout. Proto je velmi d leflitý výpo et energie, respektive výkonu v trtu.

Elementární vztah pro energii pohybující se hmoty je

$$E = \frac{1}{2} \cdot mv^2, \quad (2.2.1)$$

kde  $m$  je hmotnost a  $v$  rychlost.

Pro ná–p ípad, kdy po ítáme energii v trtu, je  $m$  hmotnost vzduchu a  $v$  jeho rychlost.

Hmotnost vzduchu vyjád íme pomocí hustoty a jeho objemu  $V$ , jako

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s \quad (2.2.2)$$

kde:  $A$  ...plocha kterou protéká daný objem  $V$

$s$  ...dráha pohybujícího se v trtu

Výkon na jednotkovou plochu, tj. hustota výkonu je

$$P_v = \frac{E}{A \cdot t}. \quad (2.2.3)$$

Dosazením do (2.2.1) dostaneme vztah

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \quad (2.2.4)$$

Výsledný vztah pro hustotu výkonu v trtu je tedy:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \quad (2.2.5)$$

hustota výkonu vzdu–ného proudu je tedy p ímo úm rná jeho hustot a t etí mocnin jeho rychlosti. Dosadíme-li rychlost  $v$  m/s a hustotu v  $\text{kg/m}^3$ , dostaneme hustotu výkonu ve wattch na plochu  $1 \text{ m}^2$  ( $\text{W/m}^2$ ).

Hustota výkonu i rychlost  $v$  trtu jsou v–ak prom nné s ásem. Proto energie v trtu  $E_v$  na jednotkovou plochu za dané ásové období lze vyjád it vztahem

$$E_v = \int_{t_0}^t P_v \cdot dt \quad (2.2.6)$$

kde:  $t_0$  ...počáteční čas  
 $t$  ...koncový čas.

Pro neměnnou teplotu a hustotu vzduchu v daném časovém intervalu bude platit

$$E_v = \frac{\rho}{2} \cdot \int_{t_0}^t v^3 \cdot dt \quad (2.2.7)$$

Ke stanovení hustoty energie v trů  $E_v$  tedy musíme znát jeho rychlost v dané lokalitě. Nejlépe by se hodil pro měření rychlosti v trů změněný citlivým anemometrem. Tyto údaje však nebývají k dispozici. Pro měření rychlosti v trů v dané lokalitě pro výpočet energie v trů také nepostačuje. O tom se lze přesvědčit na následujícím příkladě.

V prvním případě bude vítr vát po celou dobu sledovaného období neměnnou rychlostí  $v_1$ . Ve druhém případě bude vítr vát dvojnásobnou rychlostí ( $2v_1$ ), ale pouze polovinu sledovaného období. Zbytek sledovaného období bude bezvětří.

Energie v trů v 1. případě bude:

$$E_{v_1} = \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^t v_1^3 \cdot dt = \frac{\rho \cdot v_1^3}{2} \cdot [t]_0^t = \frac{\rho}{2} \cdot v_1^3 \cdot t \quad (2.2.8)$$

Energie v trů v 2. případě bude:

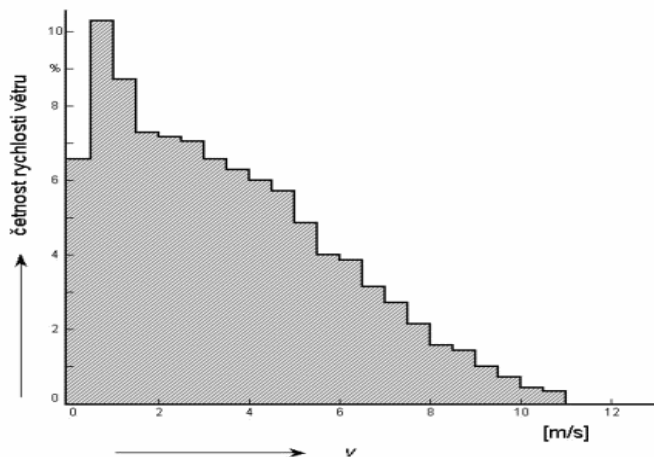
$$E_{v_2} = \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^t 2 \cdot v_1^3 \cdot dt = \frac{\rho \cdot 2v_1^3}{2} \cdot [t]_0^{\frac{t}{2}} = \frac{\rho}{2} \cdot 4v_1^3 \cdot \frac{t}{2} \quad (2.2.9)$$

Z předchozího plyne, že  $E_{v_1} = \frac{1}{4} E_{v_2}$ , tedy energie v trů bude ve druhém případě 4násobně větší!

Přesnější hodnotu v trůné energie získáme součtem dílčích energií vypočtených pro jednotlivá měření, mezi nimiž je interval  $\Delta t$ , dle vztahu

$$E_v = \sum_0^i E_i = \frac{1}{2} \sum_0^i \rho_i \cdot v_i^3 \cdot \Delta t \quad (2.2.10)$$

Další možností jak získat údaje o energii v tru je z četností rychlostí v tru pro danou oblast. četnosti rychlosti v tru nejlépe odpovídá Weibullovo<sup>2</sup> (též označované jako RRSB) rozdělení.

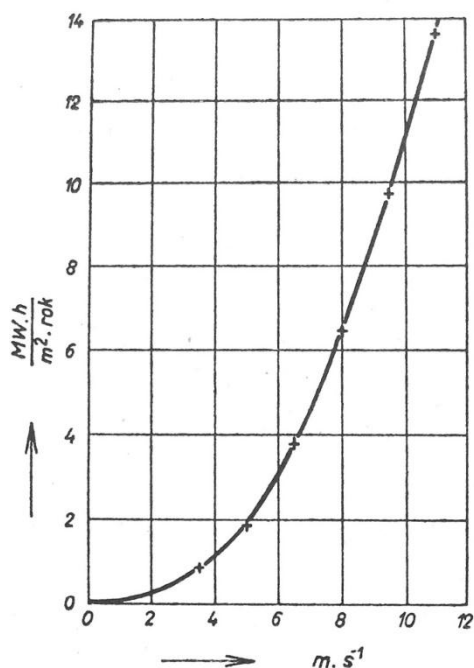


Obr.2.3 Sloupcový graf četnosti rychlosti v tru.

Zdroj:

<http://www.spvez.cz/pages/vitr.htm>

Zpracováním údaj z meteorologických pozorování byly též vypracovány různé závislosti velikosti v trné energie na průměrné rychlosti v tru.



Obr. 2.4 Závislost průměrné energie v tru na mnohaletém průměrné rychlosti v tru.

[Tetter, 1991]

Zde však může dojít ke značnému zkreslení výsledků vlivem vanutí v tru z různých stran různou intenzitou. Při volbě lokality pro stavbu v trné elektrárny je tedy potřeba dkladné meteorologické studie. [Rychetník, Janoušek, Pavelka, 1997]

<sup>2</sup> Waloodi Weibull (1887-1972), vědecký inženýr, vědec a matematik

### 2.2.1 Ideální účinnost

V předchozí kapitole jsme si ukázali, jak se stanoví energie obsažená ve vrtu a jaký má vítr výkon. Tento výkon vzdušného proudu ale nelze přeměnit na jinou energii beze zbytku. Princip přeměny spočívá ve zpomalování rychlosti vrtu proudu protékajícího pracovní plochou vrtu kola, čímž se vrtu odebrá část jeho energie.

Z rovnice kontinuity a zákona zachování hybnosti byla odvozena ideální účinnost, též označována jako Betzova konstanta. Podle této teorie je ideální, tj. maximální účinnost  $\eta_{id} = 0,593$ .

Podle teorie G. CH. Sabinina, založené na jiných teoretických předpokladech, je ideální účinnost  $\eta_{id} = 0,687$ . Avšak skutečná dosažitelná hodnota účinnosti se pohybuje výrazně pod těmito hodnotami teoretickými.

Výše uvedené platí pouze pro vrtu kola pracující na vztlakovém principu, tedy s aerodynamickým profilem lopatek. Pro odporové vrtu kola se uvádí ideální hodnota účinnosti  $\eta_{id} = 0,3$ . Skutečná účinnost ale značně závisí na typu vrtu motoru.

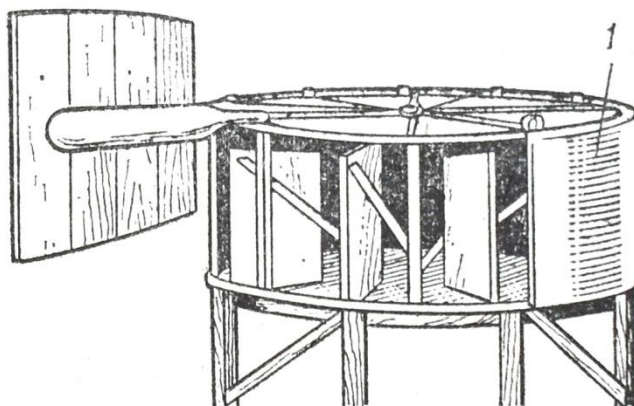
## 2.3 Typy a rozdělení vrtu motor

Nejdůležitějším kritériem pro rozdělení vrtu motor je jejich aerodynamický princip. Vrtu motory mohou pracovat buď na odporovém, nebo na vztlakovém principu.

### 2.3.1 Odporové vrtu motory

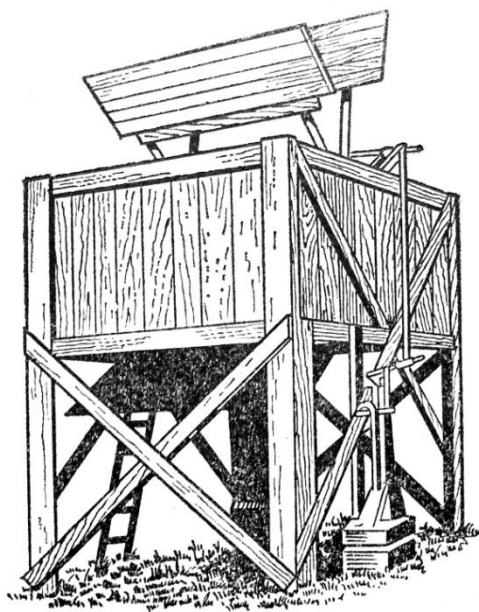
Odporové vrtu motory patří mezi nejstarší. Pracovní plocha (lopatka) motoru klade vrtu aerodynamický odpor, který zpomaluje rychlost vrtu a na lopatky tak působí síla, která je přeměněna na rotační pohyb. Návrat lopatky na výchozí místo je možno dělat kolikrát způsoby. U nejstarších vrtu motorů bývaly lopatky kryty štítem, nebo mly natažené lopatky. Tyto byly vybaveny jedny z nejstarších vrtu motorů v Persii a v Ín již zhruba v 18. století př.n.l.

Jsou-li lopatky kryty štítem, je třeba u vodorovné osy otáčení zajistit natažení štítu podle směru vrtu.



Obr. 2.5 Tzv. karuselový v trný motor, l ó oto ný -tít [Třetter, 1991]

U uspo řádání s vodorovnou osou otá ení, kdy je kryta spodní ást rotoru, se musí natá et podle sm ru v tru celý v trný motor.



Obr. 2.6 V trný motor s vodorovnou osou otá ení [Třetter, 1991]

Dal-ím e-ením návratu lopatky na výchozí místo je docílení rozdílného odporu v tru p i pracovním a návratném pohybu. To lze e-ít nap íklad polokulovitou lopatkou, poufřivanou nap . u miskových anemometr . P i vratném pohybu má vypouklá ást polokoule 3,5krát men-í odpor v tru neřl ást vydutá.

Namísto kulové plochy lze pouřřít plochy válcové, jak je tomu v p ípad rotoru Savonius (viz kap. 4.1)

### 2.3.2 Vztlakové v trné motory

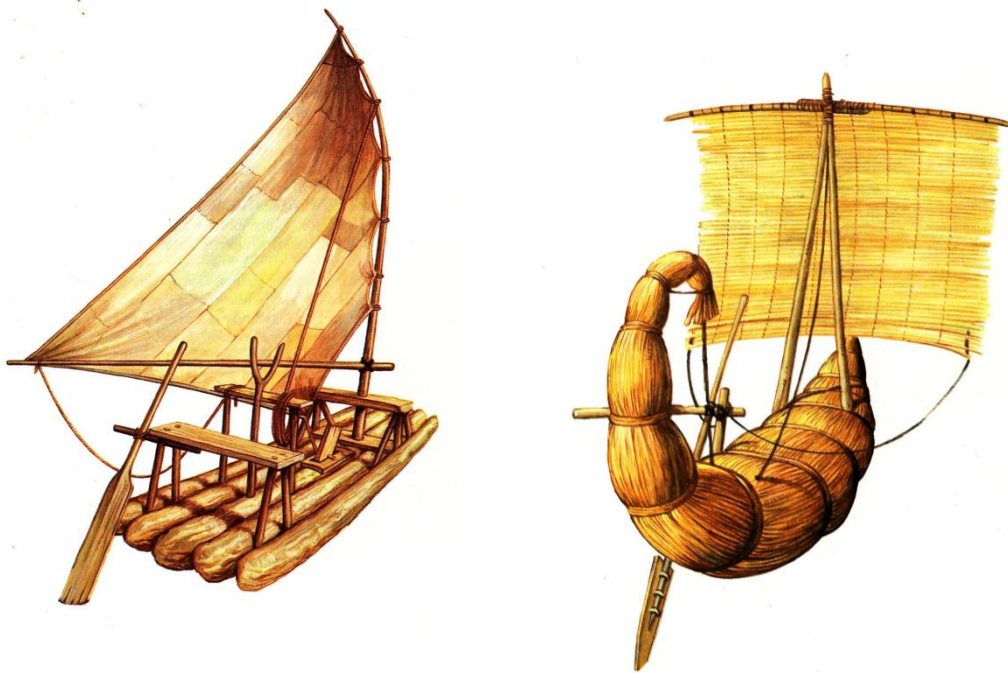
Mezi v trné motory pracující na principu vztlaku pat í vrtule a v trná kola. Rovina jejich otá ení je kolmá na sm r v tru a mají vodorovnou osu. P í zachování stejného pr m ru v trného kola platí nep ímá úm ra mezi po tem lopatek a rychlostí otá ení kola. Av-ak rotor s více lopatkami se snadn ji rozbíhá p i nífl-ích rychlostech v tru. V trná kola jsou vybavena ty mi afl n kolika desítkami lopatek. Vrtulové motory mívají dv afl ty i lopatky (mohou mít i pouze jednu vybavenou protizávaflm). N kdy je umofln no natá ení lopatek podél jejich podélné osy, cofl umofl uje regulaci chodu. Nap . snadn j-í rozbíhání, zm nu otá ek potaflmo výkonu, nebo sníflení odporu zastaveného motoru p i silném v tru.

## 3. Vývoj v trné energetiky

V trnou energii vyuflíval lov k ufl od pradávna. Nejprve se ji nau il pomocí plachet pouflívat k pohonu vodních dopravních prost edk , tedy vor a lodí. Postupn se nau il ji p em nit na jiné druhy energie, konkrétn na mechanickou, vyuflívanou nap íklad k erpání vody nebo k mletí obilí. Takto v trná energie slouflila lov ku po celá tisíciletí. Afl zhruba v posledních sto letech se vyuflívá i k výrob elektrického proudu. A práv na historický vývoj t chto t í odv tví se podíváme.

### 3.1 Plachetnice

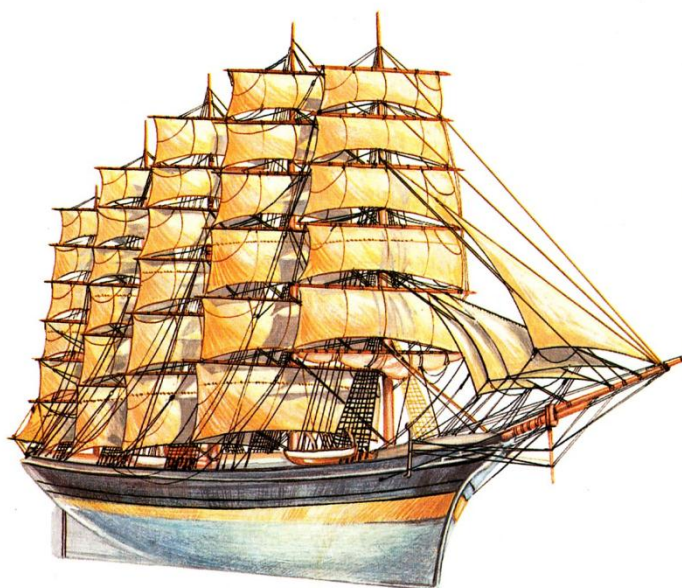
Vývoj celosv tových d jin je neodmysliteln spjat s í ní a p edev-ím námo ní plavbou. A tu afl do 19. stol. obstarávaly plachetnice. Plachetnice je lo , která je pohán na kinetickou energií v tru pomocí plachet p ípevn ých na st flních a ráhnech. Nejprve bývaly plachty orientovány pouze kolmo na sm r v tru a umofl ovaly tak pohyb pouze po v tru. Oplacht ní se postupem ásu zdokonalovalo a postavení plachet pod r znými úhly umofnilo plout kolmo na sm r v tru nebo dokonce proti n mu. Plavba v klikatém kurzu proti v tru se nazývá k íflováním. Znalost pouflití v tru jako hnací energie pro pohyb lodí byla údajn známa ufl 30 000 let p .n.l., kdy za alo st hování negroidních kmen z indonéských ostrov do Austrálie, k emufl moflná poslouflily i bambusové vory vybavené plachtou. Nejstar-í doloflená plavidla jsou balzové vory šjangaduõ. Odhaduje se, fl je brazil-tí indiáni pouflívali ufl p ed 6 000 lety a v tém nezmn né podob je jejich potomci pouflívají dodnes.



Obr.3.1 Jihoamerická jangadu a egyptská rákosová cibora [Gulá, 1995]

Afl pozd ji dostaly vory podobu lod . To bylo pravd podobn v Egypt kolem roku 3 500 p .n.l. Lo byla vyrobena z papyrového rákosu cibora. Plachty byly zhotoveny rovn fl z papyru, nebo se pouflívala bavln ná látka. Systém a vybavení plachetnic se postupn zdokonaloval, p íbývaly plachty i st fln , stoupala rychlost. To umofnilo po ádání dalekých plaveb a rozmach lodní dopravy a vojenství. Tak se plachetnice objevují na pozadí v t-íny milník lidstva, jelikofi politická i ekonomická síla stát byla vřdy podlofena námo ní flotilou. I v t-ína zem pisných objev se uskute nila pomocí plachetnic. Obchodní st edov ké karavely a karaky vybavené jedním afl t emi st flni byly schopné podnikat plavby kolem celého sv ta. S karavelami Pinta a Ni a a karakou Santa Maria p ístál roku 1492 Kri-tof Kolumbus na Bahamách. Tímto datem zapo ali historikové nové údobí d jin lidstva ó novov k. Rozmáhající styk s koloniemi si vyfládal op t nové a lep-í lod , tzv. galeony. Byly v t-í a pevn j-í s vy-ími st flni a d lenými plachtami, které se oproti celistvým lépe ovládaly. Afl do 2. pol. 19. stol. byly i obchodní lod vybaveny d ly kv li pirát m. Po vymizení pirát nastala éra rychlých a krásných plachetnic ó klipr . Tyto p vodem americké plachetnice se -tíhlým trupem a ostrou p ídí, celkem afl s 50ti plachtami, dokázaly díky vysoké rychlosti afl 40 km/h konkurovat i parník m. Za átkem 20. stol., ale p eci jen ekonomii t j-í a na rozmarech po así nezávislé parníky a motorové

lod vytlačily plachetnice úplně. Dnes se plachetnice používají pouze ke sportovním a rekreačním účelům, nebo jako kolní lod.



Obr.3.2 Obchodní klipr [Gulá,1995]

### 3.2 V trné mlýny

Mezi tato zařízení patří především mlýny, křepadla vody, hamry, atp. První známé v trné motory se vřetou osou otáčeny byly postaveny před více než 2000 lety. Na blízkém východě a v Persii byly používány kerpání vody a mletí obilí. Babyloné je stavěli k vysoušení bažin. Nejstarší zmínka o vřetných motorech s vodorovnou osou je z Egypta, ze 3. stol. př.n.l. Klasické vřetné mlýny využívaly tlak vřetou na plochu lopatek.

V Evropě se vřetné mlýny objevily až ve 12. století n. l. Nejprve to bylo v Itálii, Francii a na Pyrenejském poloostrově. Později se rozšířily i do Anglie, Německa a Holandska. První zmínka o vřetném mlýnu na českém území je z roku 1277, který byl postaven v zahradě strahovského kláštera a zanikl až za třicetileté války. Ve 14. stol. sloužily především k vysoušení bažin a jezer.

Regulace byla prováděna změnou velikosti plochy. Vřetné mlýny se proti vřetou natáčely buď celé, tzv. sloupové mlýny, nebo se natáčela jen jejich střední část, což mlýny holandského typu. Natáčení bývalo zajišťováno ručně ovládanými mechanismy, pouze v posledních letech jejich používání bylo natáčení automatické.



V těchto byl nejrozšířenější typ prvního patrový dřevěný mlýn, jehož celé dřevěné tělo se otáčí podle potřeby proti větru. Podle konstrukce, teritoriálního rozšíření a způsobu otáčení se jmenuje sloupový, moravský, německý, beraní i kozlejší. Ještě dnes se s ním můžeme setkat na Moravě a ve Slezsku.



Obr.3.3 Sloupový mlýn - Partutovice, okr. Pátek, kulturní památka

Zdroj: <http://realit.cz/clanek/historie-vetrnych-mlynu-saha-az-do-daleke-minulosti>



Měně je u nás zastoupen typ druhýho zděný větrný mlýn tvaru seříznutého kuflele nebo válce s otáčivou stěhou zvaný holandský. Na našem území se dostal pravděpodobně z Nizozemí přes Německo asi až v 18. století. Variantou těchto typů jsou modernější mlýny s Halladayovou turbínou. Jejich základem je zděná budova libovolného půdorysu, kdy je na stěně umístěna větrná turbína, která se samostatně otáčí proti větru. Jediným dochovaným exemplářem tohoto typu mlýna u nás i v Evropě je větrný mlýn v Ruprechtově na Vyškovsku.

Obr.3.4 Halladayova turbína v Ruprechtově

Zdroj: <http://realit.cz/clanek/historie-vetrnych-mlynu-saha-az-do-daleke-minulosti>

Těmto typem jsou v trných mlýnky s turbínou, které se vyskytují pouze na Ostravsku. Jedná se o malou stavbu o rozměrech obvykle 3×3 metru, nad kterou je na stožárové trubce osazena v trná turbína typu Kunz ó Eclipse. Ve třicátých letech 20. století jich bylo u samostatných zemědělských usedlostí několik set. Dnes lze v terénu najít ještě asi 60 staveb. [Doubek, J. 2009]



Obr.3.5 V trná mlýn holandského typu na jiřní Moravě [foto autor]

Po třetím 18. stol. se vysoušelo pomocí agregátů o výkonu 30 - 35 kW. V té době se objevují zdokonalené konstrukce v trných mlýnech a nové v trné motory, které se používají v tiskárnách, na pilách, k lisování oleje, nebo třeba v papírnách.

V trné motory sehrály důležitou úlohu i při osídlování Severní Ameriky. Mnohalopátková v trná kola pro čerpání vody najdeme dodnes u většiny severoamerických usedlostí. V polovině 19. stol. bylo v USA v provozu asi 6 milionů v trných motorů. [Třet, 1991]

V polovině 18. stol. bylo v Holandsku v provozu kolem 1200 v trných mlýnů, zabezpečujících většinu území před opočetným vznikem bařin. O 100 let později to bylo již 9 000 v trných mlýnů, které se po zásluze staly dominantou a symbolem Holandska. V Rusku dosáhl na začátku 1. světové války počet mlýnů více než dvou set tisíc, které v té době zpracovávaly zhruba 2/3 veškerého obilí. Brzo však byly vytlačeny spalovacími motory a elektromotory.

### 3.3 Výroba elektrické energie

Pro výrobu elektrické energie je zcela zásadní rok 1831, kdy se Michaelu Faradayovi<sup>3</sup> podařilo sestavit vůbec 1. generátor elektrického proudu, tedy stroj umějí přeměnit mechanickou energii na elektrický proud. Jednou z možností jak pohánět rotor generátoru byla větrná energie.

První větrnou elektrárnu na světě postavil Američan Charles F. Brush roku 1888 v Clevelandu ve státě Ohio. Rotor automatické větrné turbíny měl průměr 17 m, skládal se ze 144 lopatek z cedrového dřeva a dosahoval výkonu 12 kW.

První větrnou elektrárnu na evropském území sestavil roku 1891 P. Cour v dánském Askov. Hnací ústrojí tvořilo 6 lopatek, což byly plachty napnuté do rámové konstrukce. Dánský univerzitní profesor P. Cour sestavil i první zkušební větrný tunel s kompresorem, který byl poháněn parním strojem. Dokonce se zabýval i problémem akumulace vyrobené energie, tedy problémem, který je i dnes po více než sto letech stále největší slabinou. Ufí roku 1900 sestavil funkční elektrolyzátor. V něm úspěšně vyráběl vodík elektrolyzou vody stejnosměrným elektrickým proudem z vlastní větrné elektrárny, kterým se na kole svítilo v lampách jeho vlastní konstrukce. Větrná elektrárna po smrti svého konstruktéra o plných 20 let, když byla roku 1929 demontována. Dnes je v objektu bývalé elektrárny zřízeno muzeum tohoto dánského profesora, včetně a vynálezece.



Obr.3.6 Větrná elektrárna v Askov roku 1891 a její konstruktér Poul La Cour

Zdroj:[<http://www.poullacour.dk/engelsk/menu.htm>]

---

<sup>3</sup> Michael Faraday (1791 - 1867) významný anglický chemik a fyzik. Objevitel elektromagnetické indukce.

Impulzem rozvoje lokálních výrobních zdrojů energie byl nedostatek energetických surovin v době první světové války. Roku 1919 získal dánský inženýr Povl Vindig patent na první moderní výrobní elektrárnu s rotorem pracujícím na aerodynamickém principu. Jeho zařízení s názvem Agricco prokázalo, že aerodynamické vrtule mají o polovinu výrobnost účinnost než klasické lopatky se stejnou velkou výrobní plochou. Koncem 20. let minulého století se v Dánsku rozvíjely malé šiferní výrobní elektrárny a v době největšího rozmachu jich bylo dvacet až třicet tisíc. Tato zařízení poháněla hlavně zemědělské stroje (rotovníky, mlátičky), ale i pily, erpadla apod. Konkurence levných kapalných paliv a dalších energetických surovin, zaručujících zásobu kdykoliv potřebnou a levnou elektrickou energii, však v výrobních elektrárnách nedávaly příliš reálné šance na jejich masové rozvoje. [Z historie VTE, 2009]

Ve 30. letech vznikají teoretické předpoklady ke stavbě výkonnějších a účinnějších zařízení. Byly vyprojektovány aerodynamické profily lopatek, odvozeny teorie o ideální účinnosti atp. Roku 1926 vydal Karl Bilau knihu *Šířka vrtule v teorii a praxi* (Die Windenergie in theorie u. Praxis), kde kromě teoretických a praktických základů výrobní energetiky uvádí: *Šířka vrtule si dnes dovedeme představit život kulturního člověka bez železnice a elektrické energie. Jeho spotřeba tepla a světla neustále roste. Vy erpává zdroje energie, jež se mu nabízejí, aniž by si uvědomil, že se tím dopouští drancování... Ještě horší je rabování ropných zásob. Naše automobily a letadla existují sotva čtvrt století, avšak mají neobyčejný apetit... Člověk pocítí ujeť v tvářích tímto negativním zkušením lehkou hrůzu. Souasněmu člověku zřejmě nouze o energii hrozit nebude. Nemě však na své povinnosti myslet i na lidstvo budoucnosti?* Toto si Bilau uvědomoval a publikoval již před čtvrtým stoletím! Jak aktuální jsou tato slova právě dnes. [H.Crome, 2002]

V této době bylo v Sovětském svazu uvedeno do provozu přes 8 000 výrobních agregátů, které pomohly a zmodernizovat tehdy zaostalé sovětské zemědělství. Roku 1931 byla dokonce na Krymu postavena ve své době nejvýkonnější výrobní elektrárna s označením D-30 o výkonu 100 kW. O deset let později spustili v USA výrobní elektrárnu s dvoulistým rotorem o výkonu 1250 kW. Po 4 letech provozu byla však odstavena v důsledku havárie způsobené vibracemi.

Impulzem pro další vývoj výrobních elektráren byla ropná krize v 70. letech. Firmy zabývající se dopravou a skladováním ropy i jinými nepřímo souvisejícími odvětvími byly

nuceny p eorientovat své zam ení. Vznikají tak firmy specializující se na výrobu lopatek, tubus , nebo jiných za ízení v trných elektráren. P íkladem budífl dánská firma Nordtank, která ze svých cisteren pro p epravu ropy sva ovala tubusy VTE.

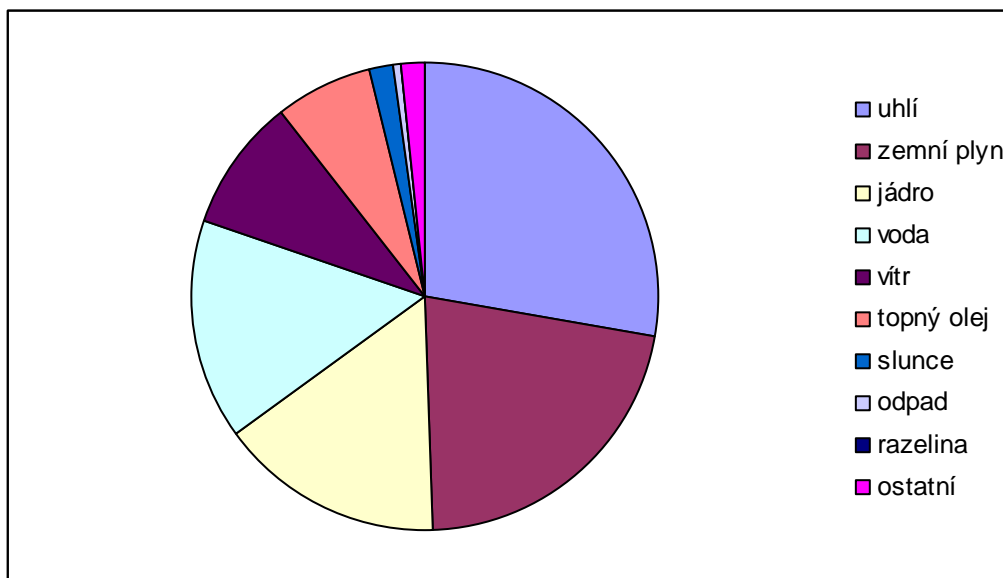
V letech 1975-78 postavily v dánském Tvinde tehdy nejv t-í VTE na sv t . Postavili ji studenti a u ítelé místní st ední -koly. Na betonové 53 m vysoké v fli byla umíst na strojovna se t emi laminátovými lopatkami o délce 27 m. Instalovaný výkon elektrárny je 2 MW. Pro mořnosti místní síť , k nífl je elektrárna p ipojena, v-ak musel být omezen na 960 kW. P evodovka i generátor jsou z 50. let, hlavní osa p vodn pohán la lodní -roub. Tato historická a unikátní elektrárna je po rekonstrukci roku 1993 stále v provozu. [Z historie VTE, 2009]

V posledním desetiletí zaznamenává v trná energetika velmi dynamický celosv tový r st. Roku 2008 byly na celém sv t v provozu VTE s celkovým instalovaným výkonem p es 120 000 MW. To je oproti p edchozímu roku 2007 nár st o 27 %. Nejv t-ím instalovaným výkonem disponují v sou asné dob USA s 25 000 MW, které v posledních letech p edstihly dlouho vedoucí N mecko. Nejv t-í nár st VTE se odehrává v ín , kde v posledních n kolika letech za ala tam j-í vláda výrazn podporovat energetiku z obnovitelných zdroj .

Výroba v trných elektráren v R za ala koncem 80. a za átkem 90. let minulého století. Ukázalo se v-ak, že v trné elektrárny tuzemské výroby nebyly vyzrálým komer ním výrobkem, nebyly ov eny zku-ebním provozem, nepro-ly atesta ním m ením a nebyly ov eny jejich deklarované výkonové k ivky. Tyto elektrárny prod laly pak trnitou cestu odstra ování ady technických závad. V d sledku toho n které VTE nebyly v bec uvedeny do provozu a nebo byly demontovány.

Po roce 1990 se v trná energetika za ala rozvíjet bez odborného zázemí, bez ur ení v trného potenciálu konkrétné lokality, bez znalosti správného umíst ní turbíny v terénu, hlukových emisí, klimatických vliv na elektrárnu a bez znalostí z oblasti silnoprdu a automatického ízení. Tuto etapu lze ozna it jako po-kozující rozvoj v trné energetiky u nás. V letech 1993 afl 1995 vstupují na ná-trh velcí výrobci a dodavatelé v trných elektráren ze zahrani í a zárove i n které typy VTE tuzemských výrobc jíl se da í udržet v provozu na pot ebné úrovni. Tím byla zahájena nová etapa rozvoje v trné energetiky v R.

V rámci EU představovala výroba elektřiny v roce 1995 ve VTE méně než 1 % z celkového objemu výroby. V roce 2009 bylo VTE vyrobeno přes 9 % elektrické energie! Srovnání s ostatními výrobními odvětvími je patrné z následujícího grafu.



Obr.3.7 Podíl energetických zdrojů na výrobě elektřiny v EU v roce 2009.

[Wind in power, 2009]

Prakticky stejný nárůst je zaznamenán i v České republice. Dnes u nás vyrobí VTE s instalovaným celkovým výkonem 190 MW přibližně 245 GWh elektrické energie ročně, což je spotřeba zhruba pro 170 000 lidí. Pro porovnání, největší česká tepelná elektrárna Mělník III má instalovaný výkon 500 MW a Jaderná elektrárna Temelín má instalovaný výkon dokonce 2000 MW. Avšak podíl vtržné energie se bude i nadále zvyšovat. Výhled pro konec roku 2010 činí 230 MW. V rámci EU má ČR závazek vyrobit 8 % elektrické energie z obnovitelných zdrojů. I přes přibývajících nových zdrojů je tento cíl stále nesplněný.

## 4 Praktické využití, výhody a nevýhody v trné energetiky

### 4.1 Praktické využití v trných motor , porovnání jednotlivých typ a jejich ú innosti

V sou asné dob se v trné motory pouffívají p eváfn pro výrobu elektrické energie. Stav jí se samostatné v trné turbíny i veliké v trné farmy s n kolika stovkami turbín (Nejv t-í VTE na sv t je v Texasu a má 627 turbín) . Své nezastupitelné místo mají v trné motory v objektech bez p ívodu elektrické energie, nap . odlehlé zem d lské usedlosti, chaty v horách, polární stanice atp. Získaná energie se bu p ímo vyuffívá jako mechanická práce, nap . k erpání vody, nebo se m fle r zným zp sobem akumulovat, t eba pomocí stla eného vzduchu, nebo elektrolyzou vody vyrobit vodík. V sou asnosti se nejvíce uplat ují následující typy jednotlivých motor .

#### **Mnohalopátkový rotor**

Tento rotor je nejpouffíván j-í u severoamerických farem.

Typické využití: erpání vody, výroba elektrické energie

Po et list rotoru: 4 afl 150

Ú innost: 20 - 43%

Náb hová rychlost: 0,16 m/s

#### **Vrtule**

V sou asné dob nejpouffíván j-í typ

Typické využití: výroba elektrické energie (st ídavý a t ífázový proud)

Po et list rotoru: 1 - 4

Ú innost: ~45 % (max. se uvádí 48 %)

Náb hová rychlost: 3 ó 6 m/s

### Savoni v rotor

Pro svou konstrukční jednoduchost je vyvíjen

hlavně u svépomocí postavených motorů.

Typické využití: erpání vody, výroba

stejnoseměrné elektrické energie

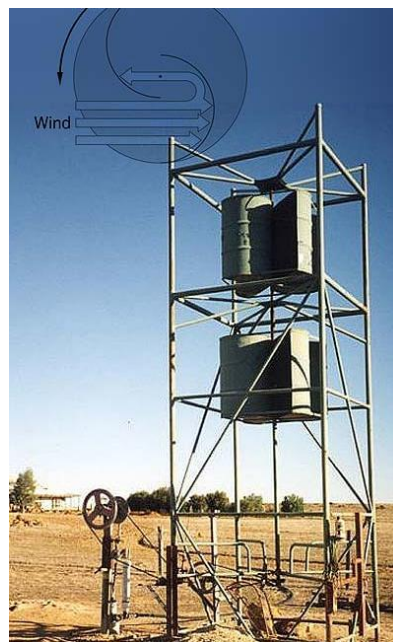
Počet listů rotoru: 2

Účinnost: ~20 (max. se uvádí 23 %)

Nábová rychlost: 2 - 3 m/s

Obvodová rychlost rotoru je výš než rychlost v trů,

proto je často používán pro nábohu Darrierova rotoru.



Obr.4.1 Savoni v rotor z barelů od oleje

Zdroj: [http://www.worldofenergy.com.au/factsheet/wind/07\\_fact\\_wind\\_types.html](http://www.worldofenergy.com.au/factsheet/wind/07_fact_wind_types.html)

### Darrier v rotor

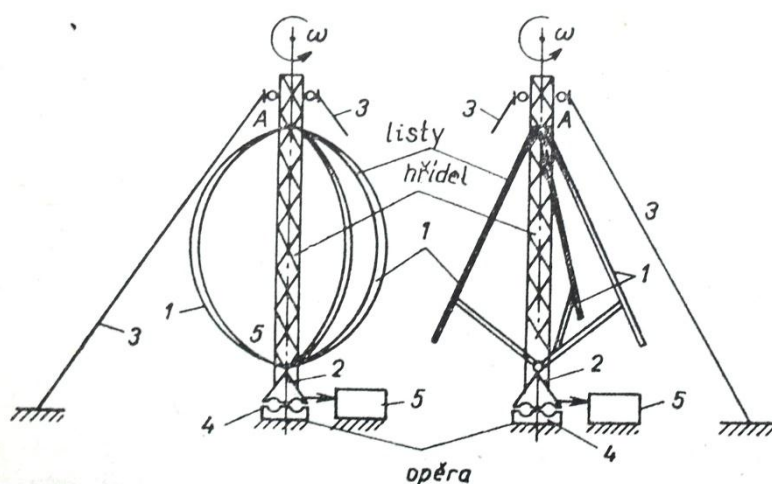
Má poměrně vysokou nábovou rychlost v trů, proto vyžaduje pomoc p i nábohu.

Typické využití: výroba elektrické energie (střídavý a třífázový proud)

Počet listů rotoru: 2 - 3

Účinnost: 38 % (max. se uvádí 48 %)

Nábová rychlost: 5 - 8 m/s



Obr. Darrier v rotor,

1. lopatky rotoru 2. opěra rotoru 3. ukotvení 4. podstavec 5. generátor [Tůfer, 1991]



## 4.2 Výhody a nevýhody v trné energetiky

Krom zcela evidentních výhod a nevýhod v trné energetiky, potařmo VTE, se velmi často setkáváme s vlastnostmi minimálně diskutabilními. Jedni je považují za p ednost, druzí tvrdí pravý opak. Aby si mohl tená ud lat sv j vlastní názor na danou problematiku, je třeba se seznámit s fakty.

Mezi neoddiskutovatelné p ednosti v trné energetiky pat í fakt, ře výroba elekt iny ve VTE je –etrná k řivotnímu prost edí. VTE neprodukují plynné ani tuhé emise, nezat řují řivotní prost edí odpady a nepot ebuji ke svému provozu vodu ani infrastrukturu (nap ř. doprava uhlí do tepelných elektráren). Mají malé nároky na plochu stavení–t a p edstavují minimální zábor zem d lské p dy. ěinnost VTE je automatická a náklady na její provoz a pořadavky na údržbu jsou minimální. Jednou z nejvýznamn j–ích výhod je, ře v trná energie je zcela zdarma a v nevy erpatelném množství.

Naopak jasná nevýhoda tkví ve velké prom nlivosti v tru, který p i v trných nárazech dosahuje desetinásobk provozní rychlosti. B řlná provozní rychlost v tru pro v trné za řzení ění 12 m/s. P i tzv. řstoletémě v tru, což je v trný náraz, který m ře dosahovat rychlostí kolem 70 m/s (252 km/h) je konstrukce v trného za řzení zatřřena 218krát více než p i zatřřením jmenovitém! To plyne ze vztahu 2.2.5. Jelikoř v trné za řzení musí tyto porovy bez problém ůstát, je pot eba VZ dimenzovat na tyto extrémní hodnoty. Takto vysoké bezpečnostní dimenzování je v oblasti techniky ojedin ělé, dokonce vy–í než u dimenzování jaderných za řzení! Z prom nlivosti v tru plyne i dal–í nevýhoda, a to je pom rn malá ů ěinnost. V klimatických podmínkách ěské republiky fouká relativně málo, a tak se u nás ů ěinnost VTE pohybuje pouze kolem 10% z instalovaného výkonu. P i ideálních pov trnostních podmínkách a s moderní technikou je možné na na–em území docílit ů ěinnosti maximálně kolem 15%. Naproti tomu ů ěinnost jaderných elektráren je p es 80%.

A jak je to s on ěmi spornými vlastnostmi?

### **Hluk**

Hlukové emise vycházející z v trných elektráren jsou podstatným faktorem jifl ve fázi plánování. V zásad se jedná o aerodynamický zvuk pocházející z t ení mezi lopatkami rotoru a vzduchu. V ěeských zákonech jsou stanoveny konkrétní limity pro hladiny hluku,

kteře nesmí být překročeny v denní (50 decibel) a noční době (40 decibel). Ve srovnání s okolními zeměmi jsou u nás tyto limity jedny z nejnižších. Již během plánování jsou zpracovávány podrobné studie, které pomocí specializovaných výpočtových modelů mapují akustickou situaci na lokalitě, v etnicky plánovaných elektrárnách. Pro získání kolaudačního rozhodnutí je třeba prokázat splnění limitních hodnot měřením od autorizované firmy. Měření probíhá na několika místech v okolí i v nejbližší obytné budově u elektrárny. Při nízkých limitech hluku je možno docílit i na základě snížení výkonu vlivem natáčení lopatek do méně hlučné podoby. Moderní VTE pracují s nižší úhlovou rychlostí než elektrárny starší, čímž se emise hluku podstatně snižují. Agentura ochrany přírody a krajiny uvádí, že les ve vzdálenosti 200 metrů vydává při rychlostech v truhu 607 m/s přibližně stejný hluk jako v truhové elektrárně ve stejné vzdálenosti.

### **Infrazvuk**

Infrazvuk je označení pro zvuk s frekvencemi nižšími než slyšitelný zvuk (<20 Hz). Typické zdroje v životním prostředí lovka poznamenáném technikou jsou všechny druhy strojů: auta, letadla, vlaky, výrobní stroje, ale i klimatizační zařízení a stavební objekty (výškové budovy, tunely, mosty). V přírodě je vytvářen infrazvuk bouřkami, vodopády nebo také v truhových turbulencích na budovách. Česká legislativa používá pro hodnoty infrazvuku doporučenou hodnotu 90dB. Z měření provedených v České republice u truhových elektrárn vyplynulo, že v truhové elektrárně zvyšují přirozený infrazvuk v daných lokalitách o cca 2dB, přičemž tento ani v tomto případě nedosahuje hodnoty 73dB. Rozdíl 2dB je velice nízký a v truhové elektrárně nemohou mít žádný vliv na obyvatelstvo, protože i jen mírné zvýšení rychlosti v truhě by zároveň narostly přirozené hladiny infrazvuku v přírodě a dosahovaly by vyšších hodnot než 73dB.

Z měření na truhových elektrárnách vyplynulo, že prahové hladiny infrazvuku nebo nízkofrekvenčního hluku obvykle nejsou dosahovány a hladiny slyšitelného hluku jsou ve vzdálenosti obytné zástavby často na hranici slyšitelnosti. Neustálá přítomnost infrazvuku v lidském životním a pracovním prostředí vedla k podrobným dlouholetým výzkumům. Ty ukázaly, že infrazvuk pod prahovou hladinou lze hodnotit jako nevýznamný.

Hladiny infrazvuku a nízkofrekvenčního hluku v okolí truhových elektrárn jsou hluboko pod hygienickými limity. Neexistují žádné důkazy možného ohrožení nebo

poškození osob, které by bylo způsobeno infrazvukem nebo nízkofrekvenčním hlukem vycházejícím z větrných elektráren.

### **Rušení televizního a radiového signálu**

V větrné elektrárny se staví pouze na místech, která byla v projektové fázi schválena správci komunikačních sítí. U některých projektů může dojít k anomálii ve smyslu rušení televizního signálu, kdy točící se rotor vyvolává jev podobný jevu stroboskopickému - elektromagnetické vlnění je stíráno a intenzita signálu kolísá. Totéž způsobují projíždějící automobily nebo vlaky. Zmíněné kolísání je však patrné jen v bezprostřední blízkosti pohybujících se předmětů a navíc se dnes vrtule turbín nevyrábí z kovu, nýbrž z uhlíkových pryskyřic, takže elektromagnetické vlny neodrážejí. Stížnosti se vyskytly zhruba u desítky projektů, a to zejména v místech, kde byla již před stavbou VTE mimořádně nízká kvalita televizního signálu.

### **Hyzdění krajiny**

V větrné elektrárny nesporně tvoří nové dominanty v krajině. Musí se stavět tam, kde je dostatek větru, tedy většinou na kopcích nebo rozlehlých rovinách. To, že jsou vidět, ještě ale neznamená, že pohled do krajiny hyzdí.

Vliv na krajinný ráz je hodnocení z pohledu člověka, které je velmi subjektivní. Někdo turbíny vadí, jinému se líbí. V porovnání s tepelnými elektrárnami a uhelnými doly mohou působit jako moderní prvek, který krajinu oživuje. Navíc je to prvek dynamický, točící se vrtule vnášejí do krajiny pohyb.

Samozejmé je nutné vždy vyhodnotit vliv na krajinný ráz a vytvořit pohledové studie jak bude krajina po výstavbě vypadat, což se zejména je při stavbě telekomunikačních stěžňů, jejichž flezné konstrukce stojí téměř na každém kopci. Při posuzování je brán v potaz počet turbín, jejich rozložení a blízkost jiných větrných farem nebo dalších dominant.

### **Dlouhá návratnost nákladů na výstavbu**

Výkupní cena (2,34 Kč / kWh) je nastavena tak, aby garantovala investorovi ekonomickou návratnost do 15 let. Konkrétní doba návratnosti je pak závislá na daných investičních nákladech ovlivněná především roční průměrnou rychlostí větru na lokalitě a

také použitou technologií, díky níž v ČR nově stavěné moderní stroje s většími rotory a vyššími stěžerami dosahují průměrně roční využitelnosti vyšší, než je tento průměr např. v Německu.

Náklady spojené s výstavbou větrné elektrárny představují nejen nákup stroje, ale také projektování a schvalovací aktivity, náklady spojené se zajištěním pozemků, stavební práce a vyvedení výkonu do sítě. Nutno je počítat i s náklady na údržbu a pojištění stroje. Celkové náklady na postavení jedné větrné elektrárny se tak mohou pohybovat v rozmezí 35 až 40 milionů Kč za instalovaný megawatt výkonu v závislosti na celkovém počtu strojů, rozsahu úprav přístupových komunikací, vzdálenosti a provedení elektrické přípojky. Cena instalovaného megawattu výkonu v uhelné elektrárně se pohybuje kolem 45 milionů Kč, v jaderné kolem 70 milionů Kč. Nejdražší je stavba fotovoltaické elektrárny za 110 mil/MW.

Menší ukázala, že energetická návratnost elektrárny (tedy doba, za kterou větrná turbína vyrobí tolik energie, kolik bylo potřeba na její výrobu) se podle typu stroje a větrného potenciálu místa pohybuje od tří do deseti měsíců.

### **Stroboskopický efekt**

Stroboskopický efekt je stínění světla a stínu, způsobený v tomto případě tím, že se vrtulí. Při přípravě projektu se počítá nejvyšší doba, po kterou v daném místě působení tohoto jevu hrozí a skutečná doba působení podle reálných meteorologických podmínek. Pokud zahrneme svit slunce, oblačnost a mračna, celkově jde zhruba o pět až šest hodin v součtu za celý rok. Program ovládání elektrárny umožní ujeté takové nastavení, aby po dobu několika minut denně, kdy vrhání stínů na domy hrozí, byla elektrárna zastavena.

U prvních větrných elektráren se stávalo, že se slunce odráželo na otáčejících se lopatkách a záblesky obtěžovaly obyvatele. Používání matné barvy listů rotoru tuto nepříjemnost odstranilo.

### **Negativní vliv na zvířata a ptactvo**

Chování ptáků, ale i divokých zvířat v blízkosti větrných elektráren je rozdílné: zatímco některé druhy ptáků staví svá hnízda často v úkrytu generátorových skříní, jiné druhy se okolí elektráren vyhýbají. Otáčející se lopatky pro letící opeřence riziko představují, avšak ne velké. Turbína je pro ně viditelná pekáčková, kterou obléhají.

Nebezpečnější je v noci nebo za mlhy, ale ani tehdy nebyly zaznamenány fatální následky. Ani při pádný stě s otáčením se lopatkou nemusí končit tragicky, přestože její obvodová rychlost na koncích dosahuje až 200 kilometrů v hodině. Kamery zaznamenaly, že vzduchový proud okolo lopatky dokáže ptákem smýknout a tedy zabránit střetu, aniž by ho zranil či usmrtil.

Dle pozorování prováděných na větrných farmách v ČR se počet nalezených mrtvých ptáků pohyboval v rozsahu 1 - 3 kusů v průměru na jednu turbínu a rok, což se srovnává se statistikou mortality ptáků na blízkých silnicích (mizivý údaj). Rovněž statistiky úmrtnosti ptáků na jiných lidských strukturách (stodlary VN a VVN, skleněné plochy, lanové mosty...) vykazují o něco vyšší úhly, než statistiky u větrných elektráren.

Přeslivým naplánováním stanoví se dají dopady větrných elektráren na flóru prostředí ptactva a zvířat obejít, nebo je alespoň omezit na minimum. V oblastech ochrany přírody (zvláště chráněná krajinná území) a oblastech ochrany ptactva (zejména NATURA 2000) se navíc plánovaná stavba větrných elektráren neprovádí.

### **Neekonomičnost výroby**

V průměrném srovnání se může elektřina z větrné elektrárny zdát dražší než z uhelných nebo jaderných elektráren. V tomto porovnání ovšem nejsou započteny náklady související s výrobou v jednotlivých zdrojích. Například zavedení ekologické daně na uhlí jistě bude mít v tomto směru výrazný vliv. Poměr ceny z větrných a klasických elektráren se velmi rychle mění ve prospěch větru. Cena větrné elektřiny rychle klesá s rozvojem této technologie. Náklady na výrobu jedné kilowatthodiny z větru se během posledních dvaceti let snížily na méně než polovinu. Tento trend pokračuje. Jednou VTE s instalovaným výkonem 3 MW se dá během 20 let její provozuschopností vyrobit asi 37krát tolik energie, kolik jí bylo spotřebováno nejen při její výrobě, ale i během provozu a likvidace.

[Mýty a fakta, 2009]

## 5 Závěr

Jak vidno, energie v trnu pomáhala člověku ufl od pradávná a bude mu jist sloužit i nadále. Dnešní civilizované lidstvo je zcela závislé na elektrické energii a její výroba přeměnou v trné energie má před sebou jist významnou budoucnost a je potěba jejího dalšího rozvoje. Současně je však nutné řešit vznikající problémy, ale hlavně řešit je efektivně. V ČR se nedávno objevil problém dopadu výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů na elektrickou rozvodovou soustavu. Připojování nových zdrojů elektrické energie vede k přetřívání rozvodné sítě a v krajním případě by mohl nastat krizový stav, tzv. šblackout (vypadek elektrického vedení na větším území).

Společnost EPS a.s., provozující přenosovou soustavu v ČR, v nedávné době pohrozila odpojením některých VTE, aby nenastal kolaps sítě. Toto řešení se ale jeví jako účelové a nesystémové. Vzhledem k nedostupnosti energie z obnovitelných zdrojů je potěba tuto situaci řešit jinak. V ostatních státech je do sítě dodáváno mnohem více elektřiny z VTE a problémy s přetříváním sítě je netrápí. Česká společnost pro větrnou energetiku

SVE navíc tvrdí, že každá schválená VTE se do sítě vejít musí: *Š Každá elektrárna před schválením energetikou musí zpracovat studii, zda se do sítě vejde a jaký má mít výkon. Teprve potom dostane od energetiky povolení. Je tedy důležité, aby si lidé uvědomili, že souhlas dostávají na základě studie ty zdroje, které mohou být bez potíží pro energetiku připojeny. Nejedná se tedy o žádný chaotický proces!* [Janeček, 2010]

Celosvětový trend ve snižování emisí a zvyšování podílu energie z obnovitelných zdrojů je jist povzbudivý. Avšak tak velkou spotřebu energie, jakou civilizace spolkyá mohou současné technologie výroby z obnovitelných zdrojů pokrýt jen těžko. A ufl se jedná o náhradu fosilních paliv pro spalovací motory biopalivy, nebo náhradu tepelných a jaderných elektráren zdroji vodními a větrnými. Podle předběžných odhadů by bylo možné v Krušných horách postavit 320 až 340 větrných elektráren o celkovém výkonu 170 MW. Toto obrovská větrná farma by však byla schopna nahradit pouze jeden blok starší uhelné elektrárny!

Ruku v ruce se zaváděním šistých zdrojů energie by mělo současně jít i její ekonomické vyuffívání. Lidstvo jako by si neuvědomovalo skutečnou hodnotu elektrické, i jiné energie, a tak jsme dennodenně svědky jejího bezbřehého plýtvání.

řivotní styl obyvatelstva se ke špořivějšímu zatím nemění, a tak se řástečné snižování energetické náročnosti děje prozatím pouze prostědnictvím úspornějších spotřebičů. I

přesto spotřeba energie na Zemi neustále roste. Pozitivním faktem je, že největší podíl nových budovaných elektráren tvoří právě elektrárny větrné.

A tak, jak se zdá, větrná energie začíná opět sbírat vítr do plachet.

## Seznam použité literatury a dalších pramen

- [1] TĚFTER, J. I. *Využití energie v tru*. Praha: SNTL, 1991, 266 s. ISBN 80-03-00616-3
- [2] RYCHETNÍK, V., JANOUŠEK, J., PAVELKA, J. *V trné motory a elektrárny*. Praha: Vydavatelství VUT Praha, 1997, 370 s. ISBN 80-01-01563-7
- [3] CROME, H. *Technika využití energie v tru*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2002, 144 s. ISBN 80-86167-19-14
- [4] KLÁNA, J., AUGUSTA, P. *V-ude potká-motory*. Praha: Nakladatelství Albatros, 1984, 117 s. ISBN 13-705-84
- [5] SEQUENS, E., HOLUB, P. *V trné elektrárny: Mýty a fakta*. 2006. 29 str. ISBN 80-86834-09-3
- [6] GULÁŠ, P. *Plachetnice*. Košice: Nakladatelství Slovart, 1995, 224s. ISBN 80-85871-52-1
- [7] JANEČEK, M. *EPS stráší kolapsem sítí*. SVE: česká společnost pro v trnou energii [online]. 15.02.2010, [cit. 23.02.2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/clanky/ceps-strasi-kolapsem-siti/233>>
- [8] WILKES, J. *Wind in Power*. 2009 european statistics [online] 2010, Dostupný z WWW: [http://www.csve.cz/pdf/cz/Europa-general\\_stats\\_2009.pdf](http://www.csve.cz/pdf/cz/Europa-general_stats_2009.pdf)
- [9] V trná mapa. SVE: česká společnost pro v trnou energii [online]. 19.03.2009, [cit. 23.02.2010]. Dostupný z WWW: <http://www.csve.cz/clanky/detail/35>
- [10] Mýty a fakta o v trných elektrárnách. SVE: česká společnost pro v trnou energii [online]. 04.05.2009, [cit. 23.02.2010]. Dostupný z WWW: <http://www.csve.cz/cz/clanky/myty-a-fakta-o-vetrnych-elektrarnach/69>
- [11] Z historie VTE. *Elektro, odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 04.05.2009, [cit. 23.02.2010]. Dostupný WWW: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26559](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26559)
- [12] DOUBEK, J. *Historie v trných mlýnů sahá až do daleké minulosti*, [online] 2009, Dostupný z WWW: <http://realit.cz/clanek/historie-vetrnych-mlynu-saha-az-do-daleke-minulosti>



## Slovník použitých termínů a zkratk

**VTE** - vodná elektrárna

**VZ** - vodní zářivka

**SVE** - česká společnost pro vodní energii

**VN** - vysoké napětí

**VVN** - velmi vysoké napětí

## Seznam příloh

Příloha . 1: Beaufortova stupnice

Příloha . 2 : Montáž VTE v obci Pchery na kladensku

Příloha . 3 : Montáž VTE v obci Pchery na kladensku

Příloha . 4 : V trná mapa

Příloha 1: Beaufortova stupnice

Rychlost v m/s	Stupeň Beauforta	Označení síly větru	Projev v přírodě	Tlak vzduchu kg/m <sup>2</sup>
0 - 0,2	0	bezvětrí	kouř stoupá kolmo	
0,3 - 1,5	1	vánek	kouř stoupá podle větru	do 0,2
1,6 - 3,3	2	slabý vítr	vítr je cítit na tváři, šelestí listů stromů, větrná směrovka se začne pohybovat	0,2 - 0,9
3,4 - 5,4	3	mírný vítr	listy a větvičky stromů v trvalém pohybu, vítr napíná praporky, slabě čeří hladinu stojaté vody	1,0 - 2,3
5,5 - 7,9	4	dost čerstvý vítr	pohybuje slabšími větvemi, zvedá prach a papíry, napíná praporek	2,4 - 5,0
8,0 - 10,7	5	čerstvý vítr	napíná větší prapory, pohybuje většími větvemi, na stojatých vodách tvoří menší vlny, pro cit je již nepříjemný	5,1 - 9,2
10,8 - 13,8	6	silný vítr	pohybuje silnějšími větvemi a slabšími stromy, hučí v listnatých lesích, sviští dráty, použití deštníku je nesnadné, na vodě tvoří vlny s ojediněle zpětnými vrcholky	9,3 - 15,4
13,9 - 17,1	7	prudký vítr	pohybuje bezlistými stromy střední tloušťky, vlny na stojaté vodě mají četné pěnivé vrcholky, chůze proti větru je namáhavá	15,5 - 23,6
17,2 - 20,7	8	bouřlivý vítr	vítr láme větve stromů, chůze proti větru je značně obtížná, pohybuje silnějšími stromy	23,7 - 34,5
20,8 - 24,4	9	vichřice	působí menší škody na střechách, ulamuje bezlisté větve a menší stromy	34,6 - 47,9
24,5 - 28,4	10	silná vichřice	vyvrací stromy, působí škody na obydlích	48,0 - 64,9
28,5 - 32,6	11	mohutná vichřice	působí velké škody na domech i v lesích, poráží chodce	65,0 - 85,0
32,7 a více	12	orkán	ničivé účinky	nad 85

Příloha 2:



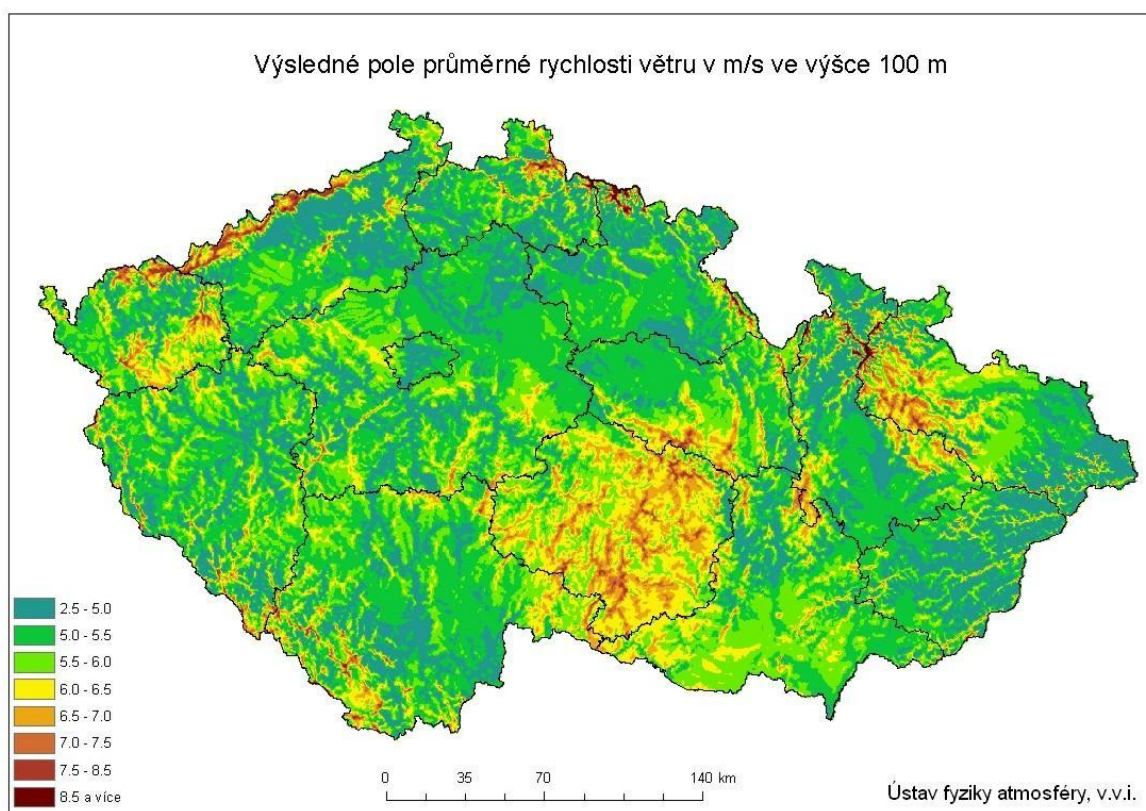
Zdroj: TZBinfo, 2010 Dostupné z WWW:  
<http://forum.tzb-info.cz/docu/diskuze/0046/004614/0008003.jpg>

Příloha 3:



Zdroj: TZBinfo, 2010 Dostupné z WWW:  
<http://forum.tzb-info.cz/docu/diskuze/0046/004614/0008003.jpg>

P íloha 4:



Zdroj: Ústav fyziky atmosféry Akademie v d R, 2009. Dostupné z WWW:  
<http://www.ufa.cas.cz/html/dllouka/u100.jpg>