



## **Středoškolská technika 2013**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **VĚTRNÁ ENERGIE**

**Anastasia Mitul**

Gymnázium Botičská

Botičská 1, 128 01 Praha 2

**Praha 2013**



## **Prohlášení**

*Prohlašuji, že jsem tuto odbornou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jakuba Šafaříka a externího školitele Vadima Mitul. Dále prohlašuji, že jsem práci vypracovala za pomoci legálního programového vybavení a že jsem uvedla veškeré použité zdroje informací.*

*V Praze 15. března 2013*

*Anastasia Mitul*



## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat svému externímu školiteli Vadimu Mitul za poskytování všech potřebných materiálů ke konstrukci. Také děkuji panu Ing. Jiřímu Špičákovi, z České společnosti pro větrnou energii (ČSVE) za poskytnutí informací a možnosti z nich čerpat. Děkuji panu Ing. Evženu Markalousovi za pomoc s formální úpravou práce a také svému školiteli panu Ing. Jakubu Šafaříkovi za užitečné rady a pomoc s měřením.



## **Anotace**

Cílem této práce je sestavení dvou modelů větrných rotorů s vertikální a horizontální osou otáčení. Pokusíme se s pomocí jednoduchých součástek sestavit malou větrnou elektrárnu. Nejdříve se zaměříme na teorii, kde vysvětlíme hlavní principy fungování větrné elektrárny. Nejdůležitější částí této práce je však seznámení se s použitým materiálem a s následnou konstrukcí samotných rotorů. V další části zaměříme pozornost na změření jejich proudu, který je zkoumán v závislosti na rychlosti proudění vzduchu. Posledním bodem našeho výzkumu je porovnat výkon sestavených rotorů se skutečným rotorem větrné elektrárny.

Klíčová slova: větrný rotor, vertikální, horizontální, rychlost proudění vzduchu, proud, výkon.

## **Annotation**

The goal of this project is to construct two wind rotor models – a vertical and a horizontal one. We are going to build a little wind power station using simple components. First we focus on theory which explains the main principle of operation of wind power. The most important part in this project is the choice of all used materials and the principal process of construction. In the next part we are going to find out their current depending on the speed of the air flow. The last part of this research is to compare the power of the two examined models with the power of a real rotor of wind power station.

Key words: wind rotor, vertical, horizontal, the current, the speed of the air flow, the power.





## Obsah

1	Úvod.....	10
2	Přehled literatury.....	11
2.1	Princip vztlaku – práce rotoru.....	11
2.2	Typy rotorů.....	12
2.2.1	Rotory s vertikální osou otáčení.....	12
2.2.2	Rotory s horizontální osou otáčení.....	13
2.3	Větrná elektrárna 21. století.....	13
2.4	Akumulace energie.....	15
2.4.1	Výkonná rovnice větrné elektrárny.....	16
2.4.2	Koeficient účinnosti.....	16
2.5	Problematika umístění.....	16
3	Metodika.....	18
4	Výsledky a diskuse.....	20
5	Závěr.....	23
6	Seznam literatury.....	24
7	Přílohy.....	26

# 1 Úvod

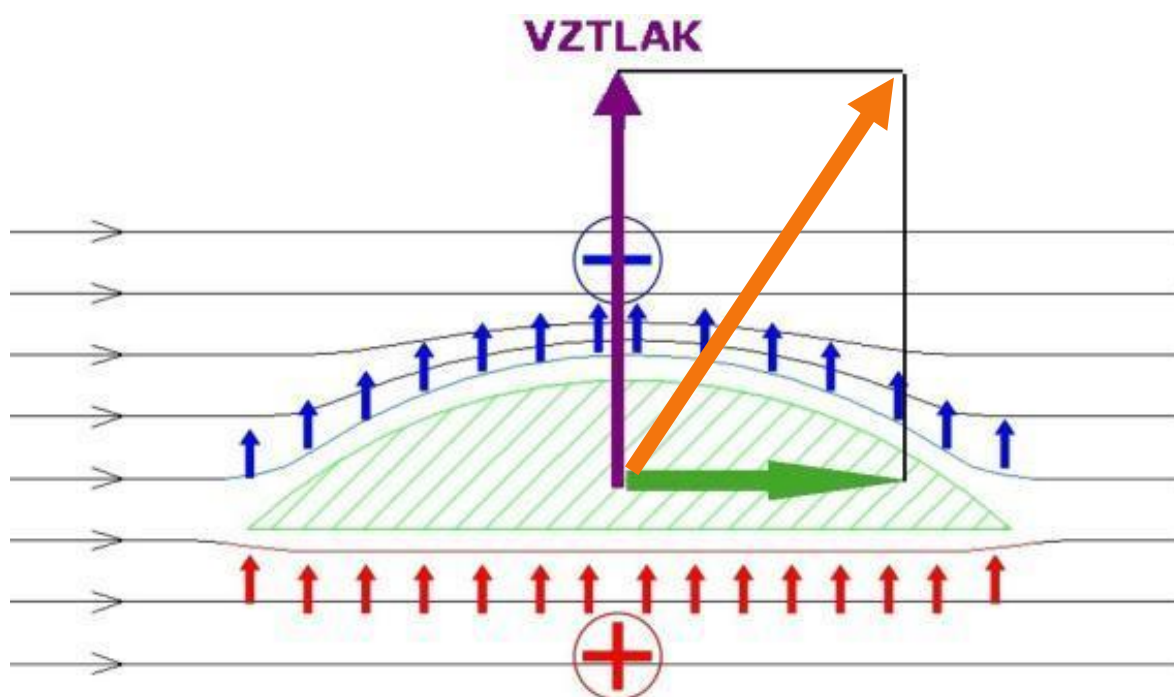
V dnešní době často slycháme, že se dostáváme do obtížného období charakterizovaného nedostatkem energií a pohonných hmot. Přestože víme, že se energie dají získat mnohem účinnějším způsobem z přírodních zdrojů, zatím tuto možnost málo využíváme. Větrná energie mě fascinovala z toho důvodu, že není nebezpečná a její výroba je šetrná k životnímu prostředí. V atmosféře dochází k neustálému proudění vzduchu, tudíž je velmi výhodné využít toto proudění k získávání energie. Sestrojit však rotor, který by pracoval na maximální výkon, není zatím možné. Je ale důležité znát podstatu větrné energie nejen z přírodního, hlediska ale také z hlediska ekonomického. Provedení analýzy alespoň dvou typů rotorů, umožní potvrdit názor, že získat energii z větru je spolehlivé a časově neomezené řešení.

## 2 Přehled literatury

Větrná zařízení, sloužící k přeměně mechanické energie na elektřinu, zásobování vodou či jako mechanický pohon, jsou vždy výkonná, úsporná a dostupná. Hlavním cílem elektrárny je zásobování energií, a hlavním cílem člověka je vyrobit co nejúčinnější stroj.

### 2.1 Princip vztlaku – práce rotoru

Nejdůležitějším principem větrné elektrárny je přeměna pohybové energie vzdušného proudu vzduchu, prostřednictvím otáčejícího se rotoru, na mechanickou energii. Podstatou tohoto jevu je vztlak, který vzniká při obtékání lopatky proudícím vzduchem.



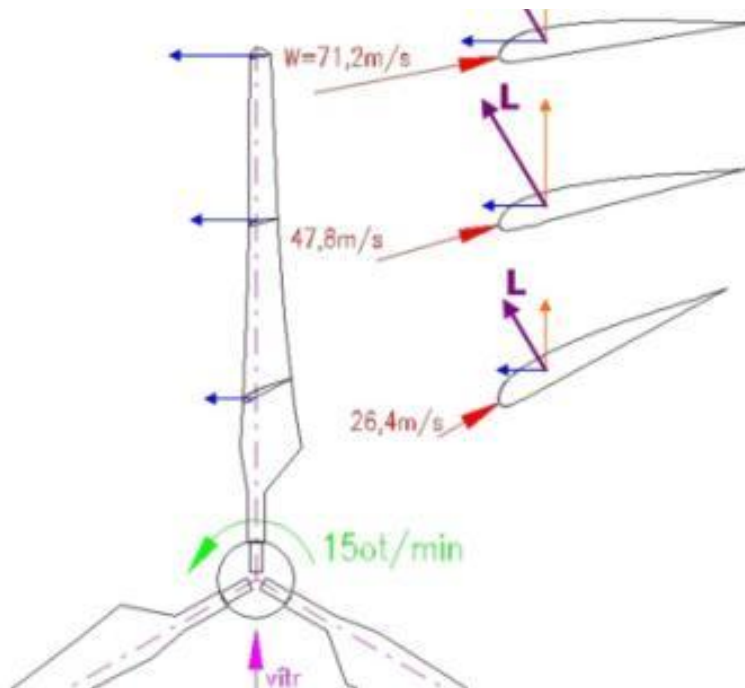
Obrázek 1. Pomocí vektorového skládání, zjistíme výslednou aerodynamickou sílu (1)

Mějme (Obrázek 1) kruhovou výseč, která odpovídá tvarem rotorovému listu. V ohraničeném úseku proud vzduchu nad i pod profilem výseče, dorazí na druhý konec úseku (směr doprava) za stejný čas. To znamená, že rychlost proudění nad profilem je vyšší a tudíž je tu nižší tlak (označen modře jako podtlak), zatímco pod profilem má proudění menší rychlost a je tu tudíž vyšší tlak (označen červeně jako přetlak). Výsledná síla podtlaku a přetlaku je vztlaková síla (fialová šipka), která je vždy kolmá na nabíhající proud vzduchu. Vzniká zde též odporová síla (zelená šipka), která s přibývajícím rychlostí větru roste. Velikost vztlaku a odporu se mění v závislosti na tom, pod jakým úhlem a jakou rychlostí je profil ofukován. Následně, pomocí vektorového skládání, zjistíme výslednou aerodynamickou sílu (oranžová šipka), která rovněž závisí na rychlosti větru, hustotě vzduchu a na tvaru obtékaného tělesa.

Vznik aerodynamické síly umožňuje pohyb rotoru. Aby listy rotoru mohly využít proudění větru i při rychlosti 3 m/s, musejí být otočené tak, aby byly stále optimálně

ofukovány. Proto se profil listu otočí do určité polohy, aby vzniklý vztlak byl vždy kolmý na nabíhající proud vzduchu. Udržování listů v této poloze umožňuje efektivnější práci rotoru a tím i maximální zisk energie. (1)

Z důvodu měnící se rychlosti vzduchu podél rotorového listu, se mění také úhel nabíhajícího vzduchu. Příklad (Obrázek 2) ukazuje, jak rychlost nabíhajícího proudu se vektorově skládá v různých místech podél rotorového listu. Proud vzduchu (červená šipka) směřuje doprava na vrchol úseku, rotorový list (modře) směřuje doleva. Proto vzniká v každém úseku jiná odporová síla (modrá šipka), jiná velikost vztlaku (oranžová šipka) a také jiná velikost výsledné aerodynamické síly (fialová šipka). Aby rychlost a účinnost rotoru byla vyvážená, musí se tento tvar profilu přísně dodržovat. K tomu, aby listy rotoru odebíraly maximální energii větru, musí být vytvarovány určitým způsobem (záleží na výrobci). (2)



Obrázek 2. Vznik vztlaku na profilu rotorového listu (2)

## 2.2 Typy rotorů

### 2.2.1 Rotory s vertikální osou otáčení

Pro tento typ rotorů je charakteristická zjednodušená konstrukce a nezávislost na směru větru. Nevýhodou je však nízký koeficient využití větrné energie.

#### 2.2.1.1 Karuselový větrný rotor

Osy větrného kola pracují ve vertikální rovině. Princip otáčení je založen na působení odporové síly povrchu, která závisí na proudění vzduchu. Proudění kolem větrného kola působí jen na polovinu listů, zatímco druhá polovina listů je kryta tzv. obrázkovou nebo

displejovou deskou. To zajišťuje jednosměrné a vyvážené proudění vzduchu působící na plochu lopatky. (viz. Obrázek 8 )

### **2.2.1.2 Savoniův větrný rotor**

Má zakřivené pracovní plochy, polokruhovitěho nebo ledvinovitěho tvaru. Větrný tok působí jinak ve směru a proti směru rotoru. Důležitý je vzniklý moment síly, který roztočí rotor. Nevýhodou jsou malé otáčky a malá účinnost. (viz. Obrázek 9 )

### **2.2.1.3 Darrieův větrný rotor**

V tomto případě se využívá výtahová síla, která se vytváří na zakřivených lopatkách majících průřez profilu ve tvaru křídla. Má relativně malý počátečný moment síly, avšak velkou rychlost. (viz. Obrázek 10 )

## **2.2.2 Rotory s horizontální osou otáčení**

Do této skupiny patří i bubnové rotory (Obrázek 11 ), které pracují na stejném principu jako karuselové. Obvykle v dnešní době mají listy specializovaný aerodynamický profil. Jsou to rotory, které mají buď jeden nebo více než 50 listů. Jsou rychloběžné, obvykle mají automatické řízení výkonu a automatické natáčení větrného rotoru a listů. Díky tomu mají přibližně trojnásobnou účinnost než u karuselových a bubnových motorů. (3)

## **2.3 Větrná elektrárna 21. století**

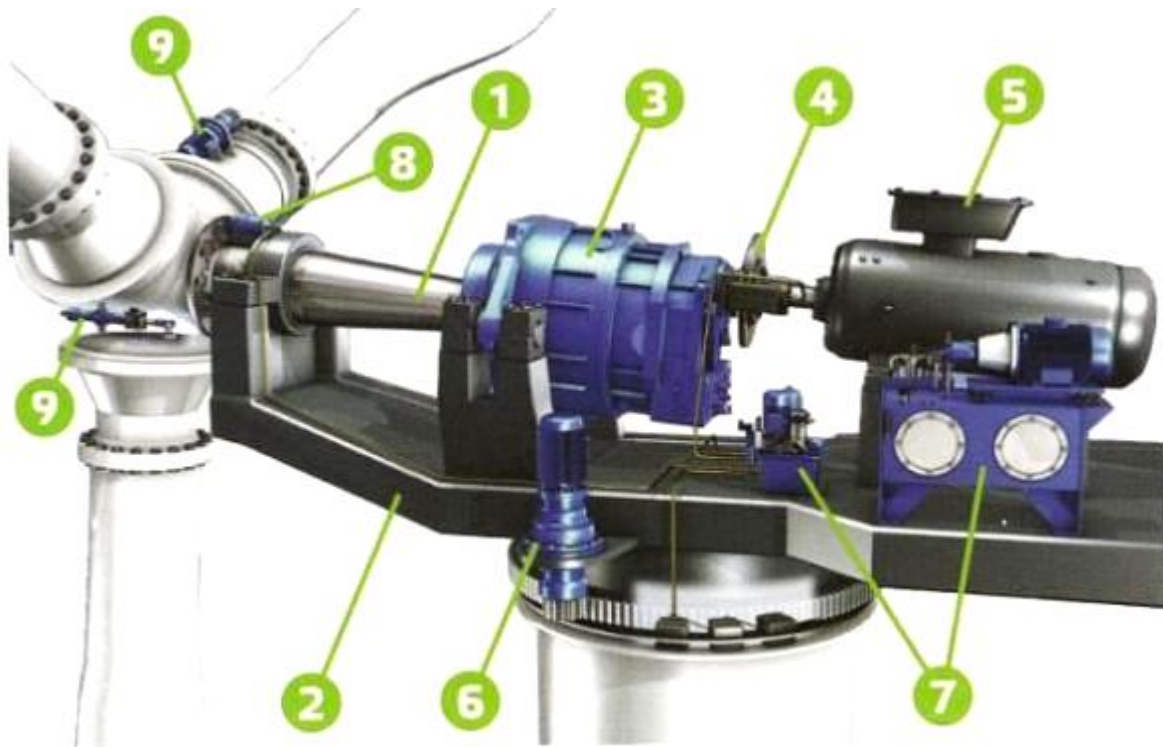
Abychom měli přehled o tom, jak funguje větrná elektrárna, a vysvětlili si základní principy získávání energie, popíšeme si a vysvětlíme vnitřní systém gondoly.

### **2.3.1.1 Rotor**

V dnešní době se staví jako standard trojlistý rotor, složitě sestavený na aerodynamickém principu. Listy jsou tzv. sklolaminátové skořepiny, složené ze 3 částí poloskořepiny a 15 vrstev skelné tkaniny. Hmotnost jednoho listu je 6 tun a standardní délka 45 m. Listy musejí být dostatečně lehké, aby je vítr dokázal roztočit již při rychlosti větru 3 m/s, a zároveň dostatečně silné, aby vydržely tíhu větrných poryvů až do rychlosti 25 m/s. Otáčky rotorů závisejí na velikosti listu, na celkovém průměru rotoru. Čím je průměr rotoru větší, tím menší je počet otáček. (4)

#### **Anemometry**

Jsou umístěny na gondole. Měří rychlost a směr proudění vzduchu. Tím posílají vstupní údaje do větrné elektrárny, která se otáčí do určitého směru pro max. účinnost (5).



Obrázek 3. Uvnitř strojovny

① Hlavní hřídel

Je to část stroje určena pro přenos krouticího momentu z listů na další systém, tj. převodovku. (6)

② Nosný ocelový rám

Mohutné podélné těleso ze svařených ocelových plátů. Slouží jako podpora veškerých součástí strojovny. (7)

③ Převodovka

Převádí pohyb hřídele na vyšší rotační rychlost generátoru. Její konstrukce záleží na konkrétním typu větrné elektrárny. Důležitá vlastnost převodovky je její tichost a vysoký koeficient bezpečnosti při větrných poryvech a schopnost pracovat při teplotě od  $-40^{\circ}\text{C}$  až po  $+45^{\circ}\text{C}$ . (8)

④ Spojka a brzda generátorové hřídele

Spojka kompenzuje vzniklé útočné špičky při poryvech větru a třecí brzda má za úkol zastavit pohon rotoru do 5 sekund v krizových situacích.

⑤ Generátor

Mění otáčivou mechanickou energii na elektrickou. Používá se synchronní nebo asynchronní generátor. Záleží na výrobci a na samotné konstrukci systému. (9)

⑥ Elektropohon natáčení strojovny do azimutu větru

Celá strojovna, která je usazená na stožáru, se pomocí točícího se kuličkového ložiska natočí v závislosti na směru větru. Podle pokynu řídicího systému elektropohonu, které jsou připevněny k rámu strojovny, otočí strojovnu na pravou nebo na levou stranu. Řídicím systémem jsou anemometry. (10)

#### ⑦Hydraulický pohon

Je používán hlavně pro brzdu, natáčení listů nebo jako parkovací brzda. Toto zařízení zajišťuje přesné, rychlé a zároveň citlivé přenášení výkonu. (10)

#### ⑧Parkovací brzda rotoru

Slouží jako pojistka v době, kdy je elektrárna mimo provoz.

#### ⑨Systém natáčení listů

Zajišťuje max. příjem energie větru. Listy se otáčejí kolmo na nabíhající proud vzduchu. (10)

### 2.3.1.2 Stožár

#### Prstencový

Jako standard se v Evropě staví 3–5 segmentový (o délce 20 m) ocel-tubusový stožár, vysoký 40–110 m, o hmotnosti 150–220 tun. Uvnitř stožáru je výtah, žebřík a kabeláž, která odvádí vyrobenou elektřinu do sítě. Veškerá technologie uvnitř stožáru je připevněna nebo pověšena na magnetech, jako např. žebřík. Je to z důvodu zajištění minimálního působení vnějšího napětí na stěny stožáru a také z hlediska životnosti. (11)

#### Příhradový

Staví se pro elektrárnu vyšší než 110 m. Je ekonomicky výhodný a je jednodušší na přepravu a přípravu. Nejvyšší příhradová elektrárna v Evropě je Führlander, nachází se ve východním Německu. Je vysoká 160 m a spolu s listy dosahuje 205 m. (11)

#### Betonový

Je stavěn z kruhové, polokruhové nebo čtvrtkruhové betonové skořepiny, která je složena na místě v jeden prstenec pomocí ocelových výztuží. (11)

### 2.3.1.3 Betonový základ

Je čtvercového nebo kruhového půdorysu, o výšce 1,8–2 m a rozloze 16×16 m, vyroben z betonu. Celková hmotnost činí 1150–1250 tun. (12)

## 2.4 Akumulace energie

Základní součástí akumulace energie je transformátor, který mění proud vystupující z generátoru na potřebné napětí. Buď v gondole elektrárny, v patě stožáru nebo v tzv.

rozvodně, která má ochranné a řídicí prvky sítě. Dále proud zemním kabelem putuje do rozvodné sítě, transformován na požadované napětí.

Největší zásluha co do množství akumulace energie patří rotoru. V závislosti na rozměru listů se zvětšuje výkon a tím i množství vyrobené energie. Standardní větrná elektrárna má průměr rotoru 90–100 m a výkon 2 MW. V budoucnosti se uvažuje postavit elektrárny o průměru rotoru 160 m a o výkonu 20 MW. Výhodou bude větší výkon, více energie, zásobování většího regionu a menší pravděpodobnost turbulentního proudění. Nevýhodou je složitější konstrukce, která bude potřebovat větší rychlost větru a s tím souvisí i výběr vhodné lokality.

Problémem akumulace energie je velká proměnlivost intenzity větru, který je hlavním zdrojem energie. Proto se využívají co nepřesnější zařízení, která zajišťují vyrovnávání procesů během proměn jako např. skladování energie v případě nedostatku výkonu nebo i vyšší efektivnost využití proudění vzduchu. (5)

#### 2.4.1 Výkonná rovnice větrné elektrárny

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

$\rho$  – hustota vzduchu (za normálních podmínek: 1,225 kg/m<sup>3</sup>)

$V^3$  – rychlost větru (m/s)

$c_p$  – koeficient účinnosti energie větru (bez jednotky, převede se na %)

$S$  – obtékaná plocha větrného rotoru (standard – 137 m<sup>2</sup>) (5)

#### 2.4.2 Koeficient účinnosti

Závisí na typu větrné turbíny, kvalitě větru a na dalších větrných parametrech. Moderní rotory s aerodynamickými lopatkami dosáhnou účinnosti od 0,43 až 0,47. To znamená, že se využije 43–47 % energie větrného proudu. Jinak max. teoretický koeficient účinnosti je 0,593, ale prakticky toho není možné dosáhnout. (13)

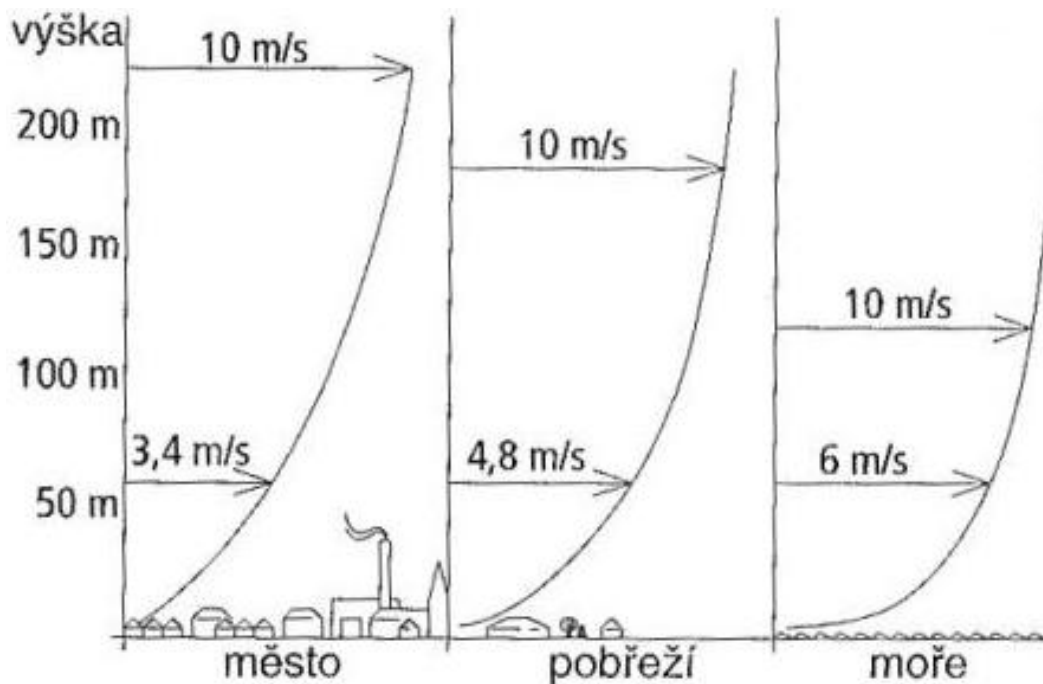
### 2.5 Problematika umístění

Velký vliv na rychlost větru má především roční období. Mění se klima by mělo představovat výraznou nerovnost z hlediska větrné energetiky. Největší vzrůst výkonu je v zimě, právě tehdy, kdy se zvyšuje spotřeba energie. A nejmenší výkon je v létě, kdy spotřeba elektřiny je minimální. Důvodem jsou pravděpodobně změny tlakového spádu v průběhu roku, které závisejí na dané oblasti a na dalších místních vlivech.

Dalším problémem je síla a proudění větru, která závisí na správném stanovišti elektrárny. „*Profil rychlosti větru závisí na charakteru povrchu země: s rostoucím počtem*



a výškou překážek na zemi stoupají isoventy (čáry stejné rychlosti větru) do větších výšek. V důsledku toho se nad územím s měnící se nadmořskou výškou snižuje rychlost větru ve stejné výšce nad povrchem“ (5 str. 12). (viz. Obrázek 4)



Obrázek 4. Rychlost proudění vzduchu v závislosti na výšce (5)

Další vliv na rychlost proudícího větru má struktura povrchu krajiny neboli tzv. drsnost povrchu. I malé překážky, jako jsou např. křoviny či vysoká tráva, zpomalují rovnoměrné proudění vzduchu, což vyvolává turbulentní proudění, a tím vznikají velké výkyvy při práci rotoru a celé elektrárny. Musí platit, že: „V hlavní směru větru musí stát větrné kolo od překážky ve vzdálenosti, která je dvacetinásobkem výšky překážky, a musí být s tímto odstupem nejvyšší stavbou, má-li být proudění kolem něho do jisté míry bez turbulencí. Čím vyšší je stožár, čím volnější je krajina, tím větší bude výnos, protože šance na proudění vzduchu s malým podílem turbulencí značně závisí na charakteru povrchu a na výšce instalace“ (5 str. 13).

Hluk, který je důsledkem práce otáčejícího se rotoru a celého systému uvnitř strojovny, také ovlivňuje výběr umístění elektrárny. Dříve, než je rozhodnuto o stavbě elektrárny, proběhne v daném terénu kontrolní hygienické měření na bázi speciální hlukové studie. (5)

### 3 Metodika

Naším cílem je sestrojít funkční větrný rotor tak, aby odpovídal míře možností jeho využití v jednoduché experimentální praxi za pomoci proudění vzduchu z ventilátoru.

Abychom mohli porovnat a zjistit výkon větrného rotoru, zvolili jsme dva typy rotoru, které již jsou uvedeny v přehledu literatury. Jako nejvíce rozdílné rotory z hlediska profilu, byly zvoleny rotor s vertikální a rotor s horizontální osou otáčení. Důležitou součástí při sestavení těchto modelů je nákres, který popisuje vnitřní kostru rotoru. Aby se součástky navzájem doplňovaly a fungovaly, je nutné je zvolit tak, aby pro navržený projekt byly co možná nejvýhodnější. Součástky, které jsme použili pro sestavení každého rotoru, byly ze stejného materiálu, aby se předešlo tíhovému výkyvu.

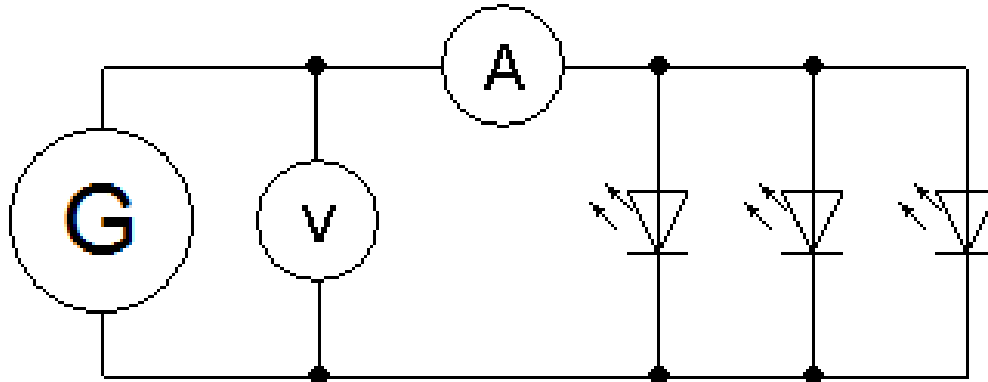
Rotor s vertikální osou otáčení je postaven podle modelu (viz. Obrázek 12). Další součástky jsou doplněny pro běžnou funkci větrného rotoru. V naší konstrukci jsou použity jednotlivé díly z magnetofonu. Pro spojování těchto součástek jsme použili tavné lepidlo a karbonové tyčky. Rotor má 6 listů ledvinového tvaru umístěných v pravidelném šestiúhelníku. Šířka jednoho listu je 10 cm a délka 35 cm. Průměr rotoru je cca 30 cm. Každý list je zhotoven z plexiskla a je připevněn lepidlem na uhlíkovou kulatinu, ta pak připojením k ložisku plní funkci středu rotoru. Mezi ložiskem a listem je vynecháno místo asi 5 cm, aby se navzájem neovlivňovali.

Funkci hlavního hřídele plní ocelová kulatina, která je připojena pevně k podstavci. Jako převodovka slouží jedno velké dřevěné oběžné kolo, které je připojeno ke hlavnímu hřídeli a menší oběžné kolo připojené k motoru. Oba kruhy jsou spojeny tenkou, ale pevnou gumovou páskou. Dále generátor převádí mechanickou energii na elektrickou. Nedílnou součástí vertikálního rotoru je displejová deska, v našem případě ze skla. Díky displejové desce jsou otáčky rotoru vyrovnané jednosměrným prouděním vzduchu. Celá konstrukce je zajištěna držákem z neřezového materiálu, jenž je připevněn ke stěně.

Druhý model, rotor s horizontální osou otáčení, je ze stejného materiálu a součástek jako model první (viz. Obrázek 13). Listy aerodynamického tvaru o délce 30 cm a o šířce 10 cm jsou postavené do pravidelného šestiúhelníku. Průměr rotoru je cca 66 cm. Díky danému tvaru se rotor bude točit větší rychlosti a tím vyrábět velké množství energie. Podstava je dřevěný čtverec (OSB deska), ke kterému je připevněn stožár.

Tempo růstu elektrického proudu závisí na rychlosti otáčení rotoru, a ty závisí na rychlosti proudění větru. Pomocí anemometru jsme měřili rychlost (m/s) proudění vzduchu z ventilátoru, který měl tři stupně otáček, a multimetrem jsme měřili velikost proudu. Přepínáním na vyšší stupeň ventilátoru se měnily hodnoty proudu a napětí. Na každém stupni jsme měřili asi 60 sekund. Pak se přepínalo na další stupeň. Výsledky měření jsou dva grafy znázorňující závislost elektrického proudu na rychlosti proudění vzduchu. Schéma obvodu (viz. Obrázek 5). Generátor (G) převádí mechanickou energii

na elektrickou. Do obvodu je zapojen voltmetr (V) měřící napětí a ampérmetr (A) měřící proud. Další ukázkou zvyšujícího se napětí jsou 3 různobarevné svítivé diody, připojené do obvodu, které se postupně rozsvěcovaly podle rostoucích hodnot napětí. Měření probíhalo v uzavřené místnosti.



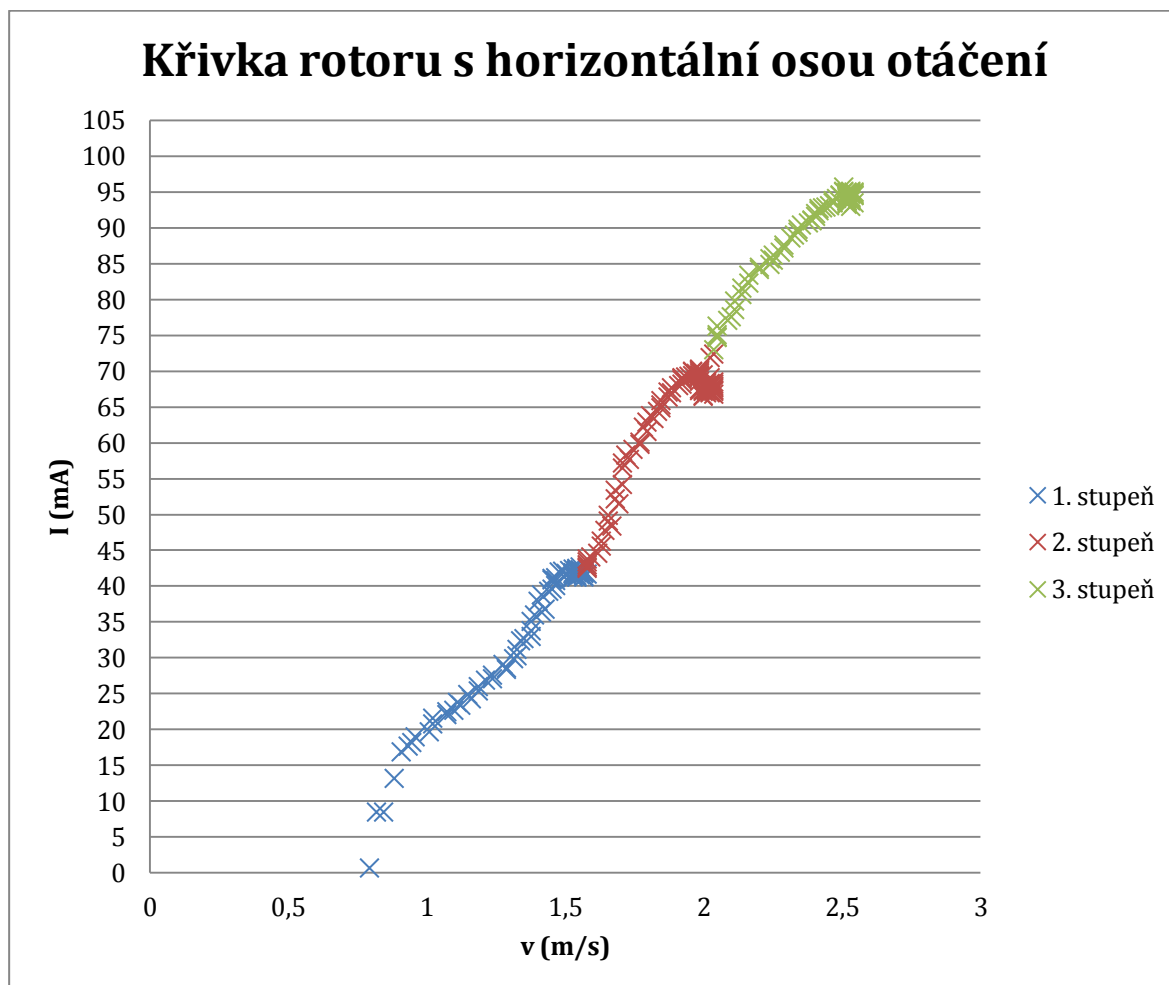
Obrázek 5. Schéma zapojení obvodu.

Na základě různých grafů dvou typů rotorů jsme porovnali jejich funkčnost, výhody a nevýhody konstrukce a celkový výkon.

Konstrukce a funkčnost modelů je zdokumentována na přiloženém CD.

## 4 Výsledky a diskuse

V každém z následujících grafů je vidět elektrický proud, který postupně vzrůstá se zvyšující se rychlostí proudění vzduchu. Vzduch byl hnán stolním ventilátorem, který jsme postupně přepínali na vyšší stupně otáček.

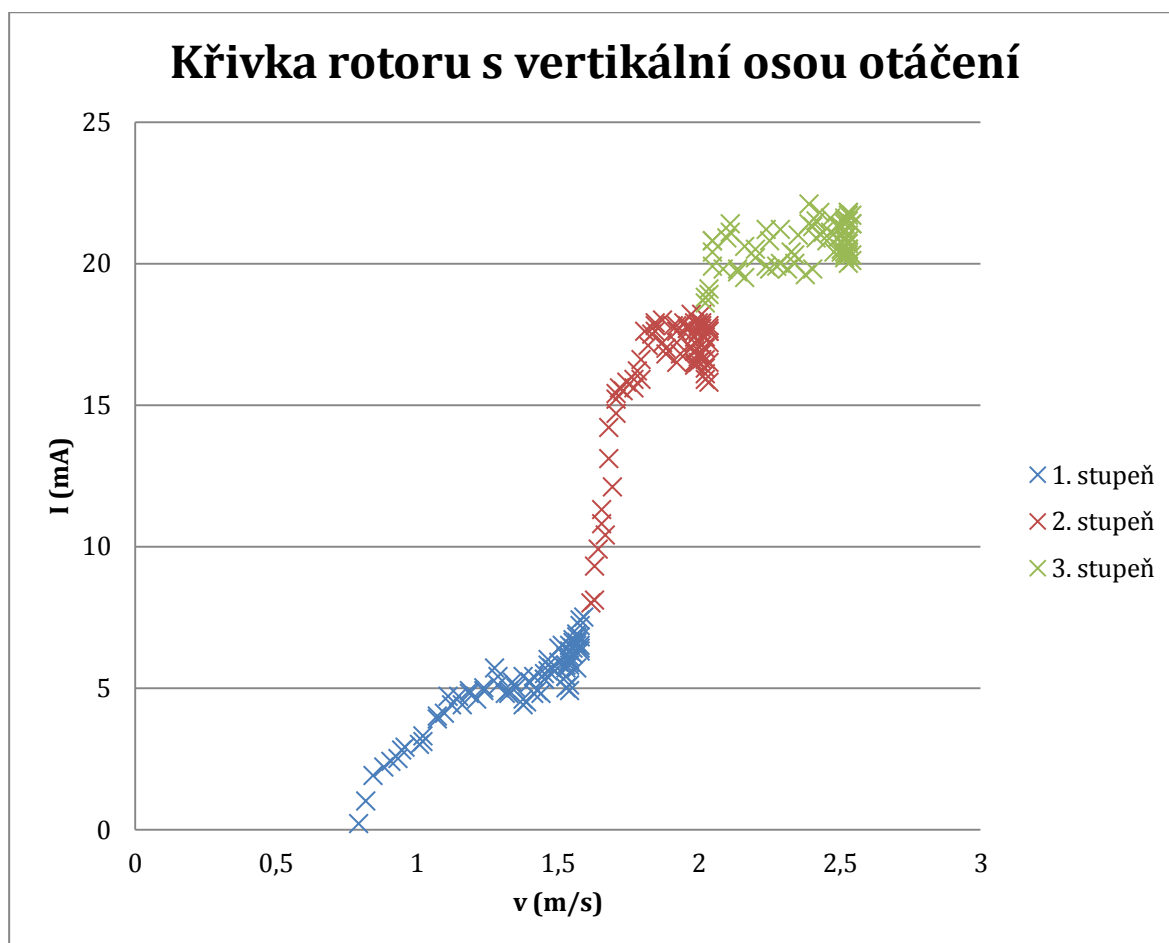


Obrázek 6. Závislost proudu na rychlosti proudění vzduchu u rotoru s horizontální osou otáčení.

Graf znázorňuje lineárně rostoucí proud v závislosti na rychlosti proudění vzduchu z ventilátoru, jenž působí na rotor ze vzdálenosti 10 cm. Zjistili jsme maximální hodnoty napětí, proudu a rychlosti rotoru v každém stupni. Celkový výkon (Watt) zjistíme vynásobením zjištěného max. proudu (Ampér) a max. napětí (Volt)  $P = I \times U$ .

Tabulka 1. Hodnoty rotoru s horizontální osou

stupeň	v (m/s)	max. U (V)	max. I (mA)	P (W)
1	1,56	1,86	42,50	0,07905
2	2,00	2,70	68,20	0,18414
3	2,54	3,58	94,80	0,339384



Obrázek 7. Závislost proudu na rychlosti prouděného vzduchu u rotoru s vertikální osou otáčení.

Z grafu je vidět téměř lineárně rostoucí křivka s výraznými odchytkami. Znovu jsou zaznamenávány stejné hodnoty jako u prvního grafu.

Tabulka 2. Hodnoty rotoru s vertikální osou

stupeň	v (m/s)	max. U (V)	max. I (mA)	P (W)
1	1,56	0,63	7,50	0,004725
2	2,00	1,04	18,20	0,018928
3	2,54	1,30	21,60	0,02808

Očekávali jsme, že rotor s horizontální osou bude výkonnější, jelikož byl postaven tak, aby tvarem se podobal skutečnému větrnému rotoru. Díky svým proporcím a aerodynamickému tvaru využívají listy maximální energii proudícího vzduchu. Vzhledem ke konstrukci proud a také výkon dosáhly větších hodnot než u vertikálního rotoru. Avšak rotor s vertikální osou je postaven na základě kombinace karuselové a Savoniovy větrné turbíny. I přes robustní konstrukci lze při větší rychlosti větru dosáhnout slušného výkonu. Nevýhodou jsou pomalé otáčky, které ovlivňují celkový jeho výkon.

Podle výpočtu jsme zjistili, že rotor s horizontální osou je o 8,27 % výkonnější než rotor s vertikální osou otáčení. Avšak v porovnání se skutečným větrným rotorem o průměru 10 m, který při rychlosti vzduchu 4 m/s dodá výkon 1000 W, má náš rotor s horizontální osou při stejné rychlosti vzduchu 0,74567 % jeho výkonu a rotor s vertikální osou otáčení 0,09908 % výkonu skutečného rotoru. Daný výkonový rozdíl potvrzuje i fakt, že skutečný rotor váží přibližně 5 tun, zatímco náš model dosahuje hmotnosti stovek gramů.

## 5 Závěr

Podařilo se nám postavit malý prototyp větrné elektrárny. Cílem bylo zjistit, jaký typ rotoru je nejvýkonnější a zdali je vůbec možné dosáhnout dobrého výkonu.

Samotná konstrukce rotoru nebyla vůbec nákladná, obtížnější bylo sestavení a připojení všech potřebných součástek. Hlavní části rotorů byly samotné listy, které musely odpovídat aerodynamickému tvaru.

Jako vypovídající charakteristika, jenž nám popíše účinnost rotoru, byla zvolena závislost elektrického proudu, vyrobeného rotorem, na rychlosti vzduchu. Je zde dobře vidět růst proudu v závislosti na zvyšujícím se proudu vzduchu a odchylky daného rotoru. Zjistili jsme, že méně výkonným rotorem je rotor s vertikální osou otáčení. Kvůli své robustní konstrukci a vertikálnímu postavení není vhodný pro malou rychlost vzduchu. Je třeba zvýšit rychlost na více než 1 m/s, aby se rotor roztočil a mohl vyrobít proud alespoň o 20 mA k rozsvícení diody o napětí 1,7 V. Výhodu tento rotor má v odolnosti vůči měnícímu se směru proudícího vzduchu.

Nejlepší a nejvýkonnější je rotor s horizontální osou otáčení. Díky své poloze a tvaru listů využívá téměř maximální energii větru. Účinnost rotoru závisí také na směru větru. Rotor je méně zatížen konstrukcí a má menší odporovou plochu vůči atmosférickému tlaku. Navíc celková hmotnost konstrukce je výrazně menší než u vertikálního rotoru. Už při rychlosti méně než 1 m/s je rotor schopen dodat 20 mA a rozsvítí jednu z diod.

Abychom si mohli vyrobit svoji vlastní elektrárnu, nepotřebujeme velké náklady a složité součástky. Je třeba se zaměřit na hlavní princip otáčení a přenosu energie. Výraznou pomocí životnímu prostředí se může stát rotor s horizontální osou, který je dostatečně výkonný a spolehlivý. Tento typ elektráren je jen malou součástí výroby elektrické energie, je to však jen část budoucích plánů ekologického získávání energie.

## 6 Seznam literatury

1. Vznik vztlaku. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/vznik-vztlaku/307>.
2. Aerodynamika rotoru větrné elektrárny. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/aerodynamika-rotoru-vetrne-elektrarny/308>.
3. **Jakov, Šefter**. *Využití energie větru*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00616-3.
4. Konstrukce rotorového listu. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. <http://www.csve.cz/cz/clanky/konstrukce-rotoroveho-listu-vetrne-elektrarny/311>.
5. **Crome, Horst**. *Technika využití energie větru*. Ostrava : Nakladatelství HEL, 2002. str. str.12. ISBN 80-86167-19-4.
6. Hlavní hřídel větrné elektrárny. *Česká společnost větrné elektrárny*. [Online] 2012. <http://www.csve.cz/cz/clanky/hlavni-hridel-vetrne-elektrarny/325>.
7. Nosný rám strojovny. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/nosny-ram-strojovny/326>.
8. Převodovka větrné elektrárny. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/prevodovka-vetrne-elektrarny/327>.
9. Generátor větrné elektrárny. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: ] <http://www.csve.cz/cz/clanky/generator-vetrne-elektrarny/329>.
10. Hydraulické systémy větrné elektrárny. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/hydraulicke-systemy-vetrne-elektrarny/331>.
11. Stožár: ocelový, betonový, příhradový. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/detail-kategorie/stozar/86>.
12. Betonový základ. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 7. 4 2012.] <http://www.csve.cz/clanky/betonovy-zaklad/305>.
13. Ветряной двигатель . *Библиотека по агрономии*. [Online] 2011. [Citace: 4. 2 2012.] <http://agrolib.ru/rastenievodstvo/item/f00/s00/e0000276/index.shtml>.
14. Velikost rotorového listu větrné elektrárny. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 7. 4 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/velikost-rotoroveho-listu-vetrne-elektrarny/309>.

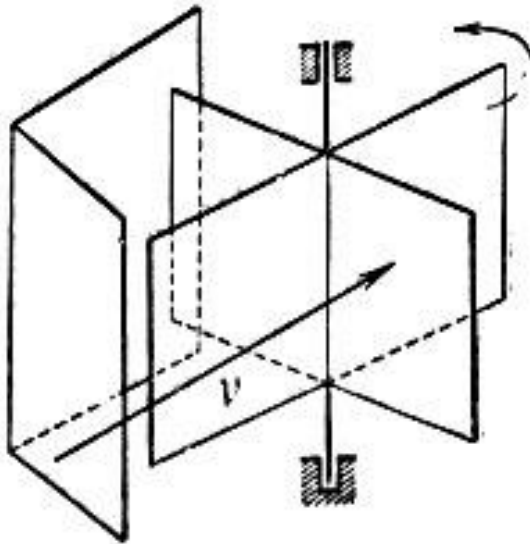


15. **Augusta P., Dufková M., Hrůza J., aj.** *Velká kniha o energii*. Praha : L.A. Consulting Agency, 2001. ISBN 80-238-6578-7.

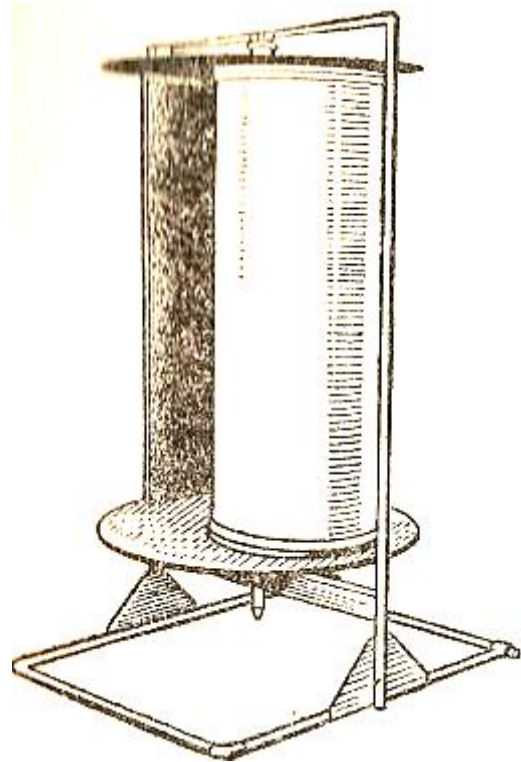
16. Spojení mezi převodovkou a generátorem. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/spojeni-meziprevodovkou-a-generatorem/328>.

17. Systém natáčení strojovny. *Česká společnost pro větrnou energii*. [Online] 2012. [Citace: 6. 2 2012.] <http://www.csve.cz/cz/clanky/system-nataceni-strojovny/330>.

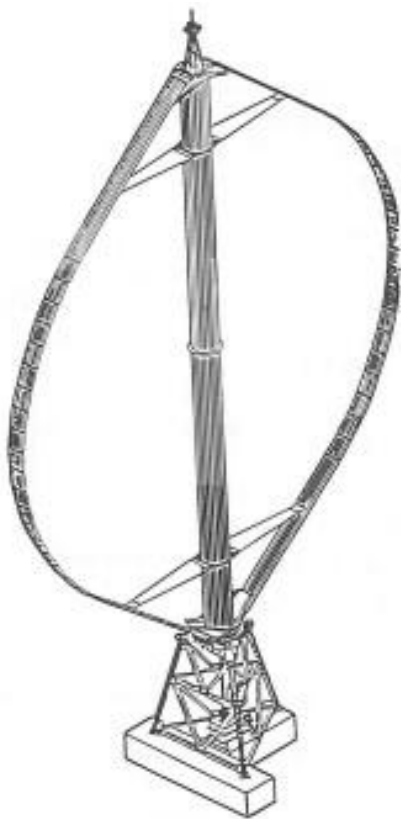
## 7 Přílohy



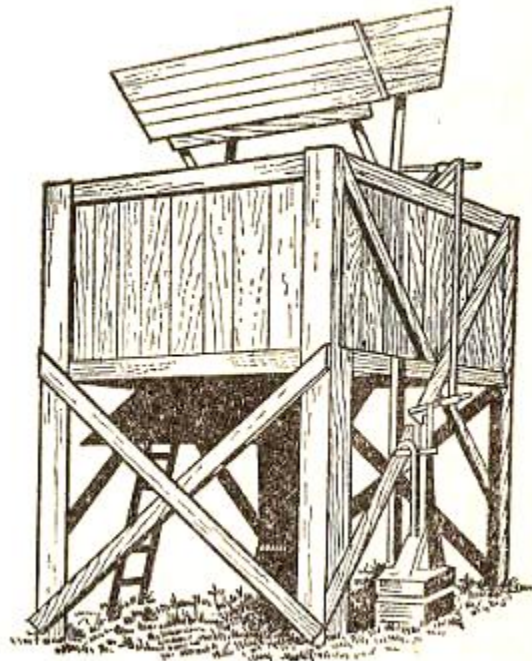
Obrázek 8 (3)



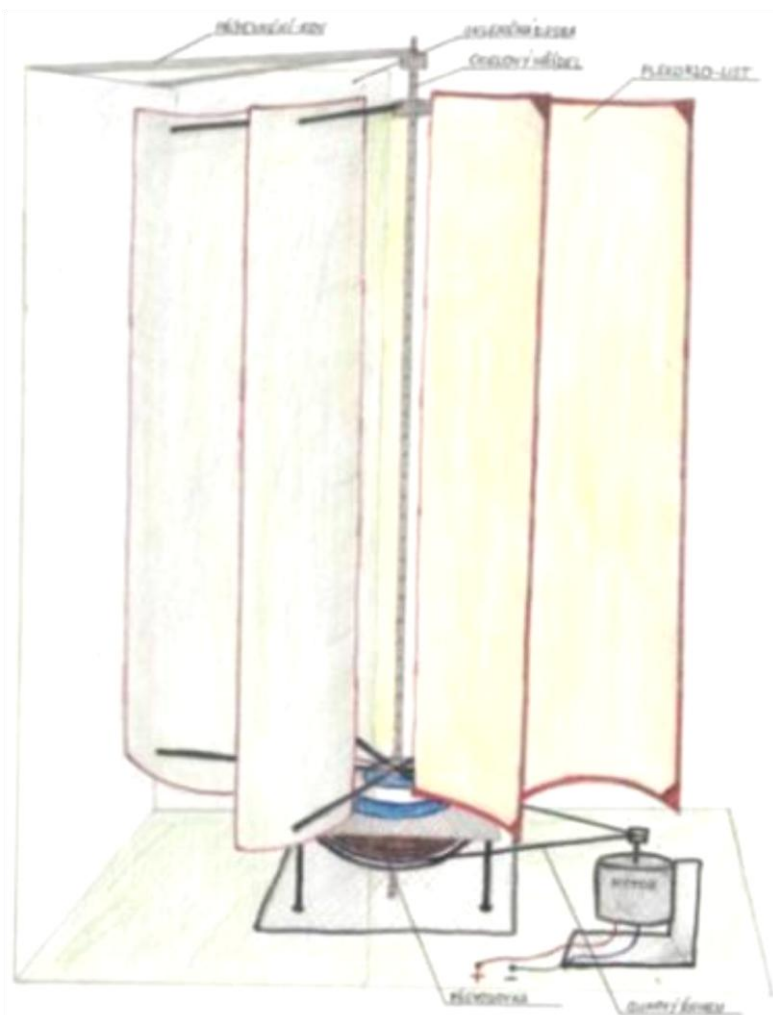
Obrázek 9 (3)



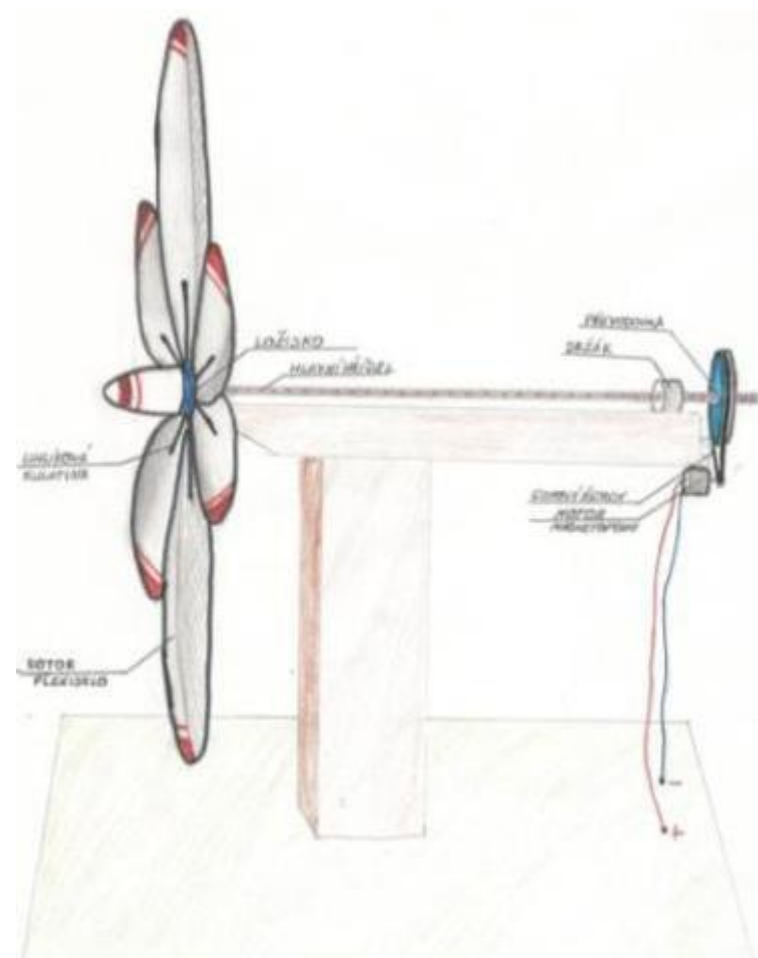
Obrázek 10 (3)



Obrázek 11 (3)



Obrázek 12 (autorka)



Obrázek 13 (autorka)