

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

VYUŽITÍ ENERGIE VĚTRU S AKUMULACÍ

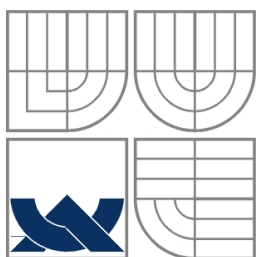
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

GABRIEL MÉSZÁROS

BRNO 2009





VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## VYUŽITÍ ENERGIE VĚTRU S AKUMULACÍ

UTILIZING OF WIND ENERGY WITH ACCUMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

GABRIEL MÉSZÁROS

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. JIRÍ POSPÍŠIL, PH.D.

BRNO 2009

**Abstrakt:**

Tato práce v úvodu pojednává o větrných elektrárnách, jejich hlavními částmi a jejich rozdělením podle konstrukce a výkonu. Jsou popsány technologie sloužící k uchování energie, protože podmínky pro výrobu energie z větru nejsou konstantní (bezvětrí, bouřky, atd.). Popsané technologie se porovnávají z hlediska ekonomie a po technické stránce. Na závěr je proveden základní návrh systému s akumulací.

Klíčová slova: větrná energie, větrné elektrárny, akumulace energie, akumulátory

The introduction of this paper deals with wind-powerplants, their components and distribution according to their construction and output. Technologies of accumulation of energy are described, because the conditions for energy production from wind are not constant (windlessness, storms, etc.). The technologies are compared in terms of economics and technology. A basic design for a system with accumulation is made at the end of the thesis.

Keywords: wind energy, wind-powerplants, energy accumulation, accumulators

**Bibliografická citace**

MÉSZÁROS, G. *Využití energie větru s akumulací*. Brno, VUT-FSI., 2009, 35 s.

### **Čestné Prohlášení**

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci *Využití energie větru s akumulací* jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

### **Poděkování**

Děkuji tímto za cenné rady, připomínky a věnovaný čas odborným konzultacím při vypracování mé bakalářské práce Ing. Jirímu Pospíšilovi, Ph.D.

V Brně dne 29. května 2009

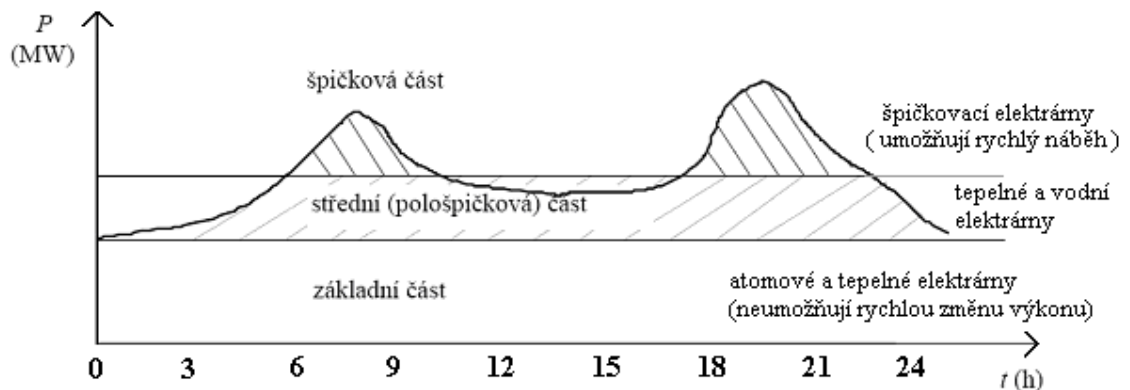
.....  
podpis

**Obsah:**

1 Úvod .....	2
2 Větrné elektrárny .....	3
2.1 Hlavní části větrných elektráren .....	4
2.2 Rozdělení VEn podle konstrukce .....	5
2.2.1 Rotory s vertikální osou rotace .....	5
2.2.2 Rotory s horizontální osou rotace .....	7
2.3 Rozdělení větrných elektráren podle výkonu .....	9
3. Výkon větrné elektrárny .....	10
4. Možnosti akumulace VEn .....	13
4.1 Chemická, elektrochemická akumulace .....	14
4.1.1 Olověné akumulátory .....	14
4.1.2 Pokročilé elektrochemické akumulátory .....	16
4.1.3 Vodíková akumulace s elektrolýzou vody .....	17
4.1.4 Průtokové baterie .....	19
4.2 Mechanická akumulace .....	21
4.2.1 Přečerpávací vodní elektrárny .....	21
4.2.2 Tlakovzdušné akumulární elektrárny .....	22
4.2.3 Setrvačnickové akumulátory .....	24
4.3 Elektrická akumulace .....	26
4.3.1 Kondenzátor .....	26
4.3.2 Supravodící magnetické akumulátory .....	26
5. Všeobecné hodnocení akumulárných technologií .....	28
6. Návrh systému s akumulací větrné energie .....	29
6.1 Výpočet energetických požadavků .....	29
6.2 Návrh větrného motoru a akumulátoru .....	32
6.3 Ekonomické zhodnocení akumulárního systému .....	33
7. Závěr .....	34
8. Seznam použité a doporučené literatury .....	35

## 1. Úvod

Ve střední Evropě dochází k největšímu odběru elektrické energie tzv. k energetickým špičkám ráno po šesté hodině, když se spouští výroba v továrnách a pak kolem osmnácté hodiny večer, když se v domácnostech zapínají elektrické spotřebiče. Mezi půlnocí a pátou hodinou ranní zas naopak spotřeba elektrické energie klesá. Tyto změny ve spotřebě můžeme vidět na diagramu spotřeby (Obr.1.). Spotřeba také závisí na dalších faktorech (roční období, počasí, atd.).



Obr.1  
Denní diagram spotřeby

Základní část spotřeby pokrývají jaderné, velké tepelné a průtočné vodní elektrárny, protože jejich výkon není vhodné měnit a nereagují dostatečně rychle. Střední část spotřeby zajišťují tepelné elektrárny a menší vodní elektrárny. Vzroste-li odběr i nad jejich kapacitu spouštějí se špičkovací elektrárny, jakými jsou akumulární a přečerpávací vodní elektrárny a elektrárny s plynovou turbínou, případně se odběr kryje elektrinou z dovozu. Elektroenergetické sítě na světě se rozrůstají, jejich propojení umožňuje vzájemnou výpomoc při výpadku některého z velkých zdrojů a při překonávání špiček odběru.

Cena dovezené elektrické energie se ovšem v čase špiček mnohonásobně vzrůstá a proto se vyvíjejí, ověřují a hledají nové způsoby, jak přece jen vyrobenou elektrickou energii efektivně akumulovat a posléze s ní výhodně obchodovat. Jelikož výkon větrných elektráren závisí na rychlosti větru, která je ovšem časově nestálá, je vhodné takto získanou energii skladovat a využít jej při energetických špičkách, nebo při výpadku zdrojů elektrické energie. V oblasti "malé energetiky" je nejvíce rozšířená elektrochemická akumulace pomocí olověných akumulátorů. "Velká" energetika se zase opírá v nynější době hlavně o přečerpávací vodní elektrárny. Představím vám však ještě další způsoby akumulace elektrické energie, které se teprve prověřují a intenzívně se vyvíjejí.



## 2. Větrné elektrárny

Prvními stroji, které větrnou energii přeměnily na energii jinou byly větrné mlýny. V 11.století se rozšířily na Středním východě a ve 13. století se začaly používat i v Evropě. Holandsko je používalo za účelem odvodňování mokřin a jezírek v ústí Rýna. V polovině 19. století zde pracovalo okolo 9000 větrných motorů, většinou o výkonu desítek kW. Všechny tyto větrné motory, ale pracovaly na odporovém principu a jejich účinnost nedosahovala ani 20 %, právě proto se po rozšíření parního stroje v minulém století, ztratily větrné motory na významu.

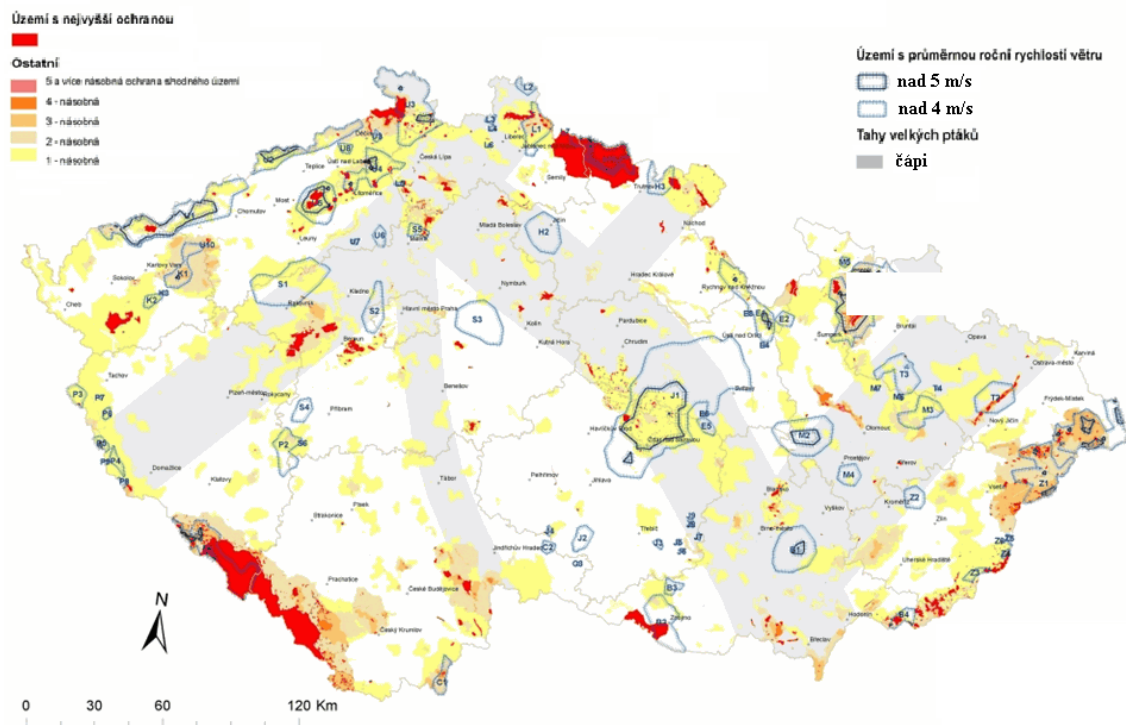


Obr 2

Větrný motor na Jalte s vrtulí o průměru 30m

Vývoj se ale nezastavil a ve třicátých letech 20. století se vyvinuly motory pracující na vztlakovém principu, kdy vítr obtéká lopatku s profilem podobným letecké vrtuli. Vyvíjely se různé typy, např. větrný motor postavený na Jalte na Krymu v roce 1931 o výkonu 100 kW. (Obr.2) Ve vývoji rovněž pokračovaly státy jako Dánsko, USA, Francie, Německo, kde stojí za zmínku velmi dokonale propracovaný motor o výkonu 100 kW Hutter-Algaier, který patřil k nejuspěšnějším na světě. V šedesátých letech však došlo k výraznému útlumu všech projektů větrných motorů, protože jimi vyrobená elektrická energie byla při tehdejších cenách paliv výrazně dražší než z tepelných elektráren. Zájem o využití větrné energie se znovu projevil na začátku 70. let minulého století. Důležitým impulsem pro rozvoj větrné energetiky bylo embargo na vývoz ropy do průmyslově vyspělých zemí vyhlášené na podzim roku 1973. V ČR došlo k rozkvětu větrných elektráren v letech 1990-1995. V současné době se větrné elektrárny nacházejí na více než padesáti lokalitách.

Celkový instalovaný výkon větrných elektráren v ČR v roce 2008 přesáhl 112 MW



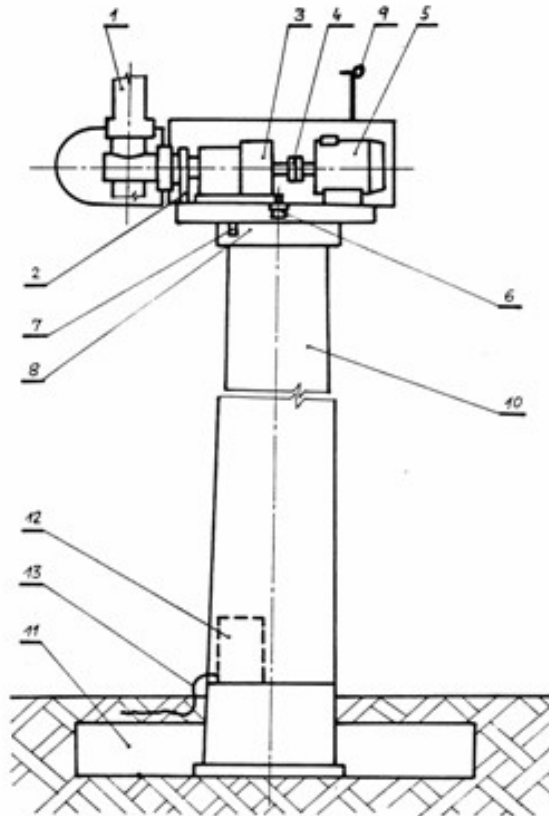
Obr.3

Území vhodná pro stavbu VE a rozbor závažnosti střetů s ochranou přírody

## 2.1 Hlavní části větrných elektráren

Když se podíváme na větrnou elektrárnu hned si všimneme její hlavní části a řekli bychom že nimi jsou: rotorová hlavice s listy, strojovna a samotná věž elektrárny. Tudíž vidíme jen její vnější části. Podrobněji jsou uvedené části větrných elektráren na obr.4

Struktura střední a velké větrné elektrárny je velmi podobná. Rozdíl je často jen ve velikosti a dimenzování mechanických částí a pak v provedení gondoly/strojovny a samotné věže. Velké elektrárny mají dutý tubus věže se schodištěm či výtahem a velkou strojovnu.



Obr.4

### Popis částí velké větrné elektrárny:

- 1 - rotor s rotorovou hlavicí a listy
- 2 - brzda rotoru
- 3 - planetová převodovka
- 4 - spojka
- 5 - generátor
- 6 - servo-pohon natáčení strojovny
- 7 - brzda točny strojovny
- 8 - ložisko točny strojovny
- 9 - čidla rychlosti a směru větru
- 10 - několikadílná věž elektrárny
- 11 - betonový armovaný základ elektrárny
- 12 - elektrorozvaděče silnoproudého a řídicího obvodu
- 13 - elektrická přípojka

## 2.2 Rozdělení VE podle konstrukce

Spektrum provedení VE je velmi široké. Důležité charakteristické vlastnosti různých typů provedení jsou:

- aerodynamický princip
  - o odporové
  - o vztlakové
- počet listů rotoru
  - o jednolisté
  - o dvojlísté
  - o třílísté turbíny
  - o vícelísté turbíny
- rychloběžnost
  - o pomaluběžné
  - o rychloběžný
- počet otáček rotoru
  - o stálý
  - o nestálý
- poloha hřídele rotoru
  - o horizontální,
  - o vertikální
- možnost regulace výkonu
- typ generátoru
  - o synchronní
  - o asynchronní
  - o stejnosměrného proudu
- způsob zapojení při výrobě proudu ( přímo nebo přes proudový meziobvod)

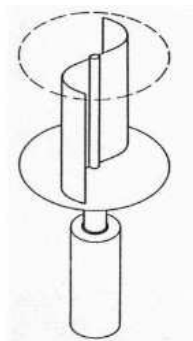
Nejnazší je rozdělit větrné elektrárny podle konstrukčních hledisek. Rozlišujeme je podle polohy osy otáčení větrného rotoru. Z tohoto hlediska se rozlišuje rotor s vertikální a horizontální osou otáčení.

### 2.2.1 Rotory s vertikální osou rotace

Elektrárny pracující se svislou osou otáčení, využívají buď odporový princip - typ Savonius, jako misky anemometru (Obr.5)



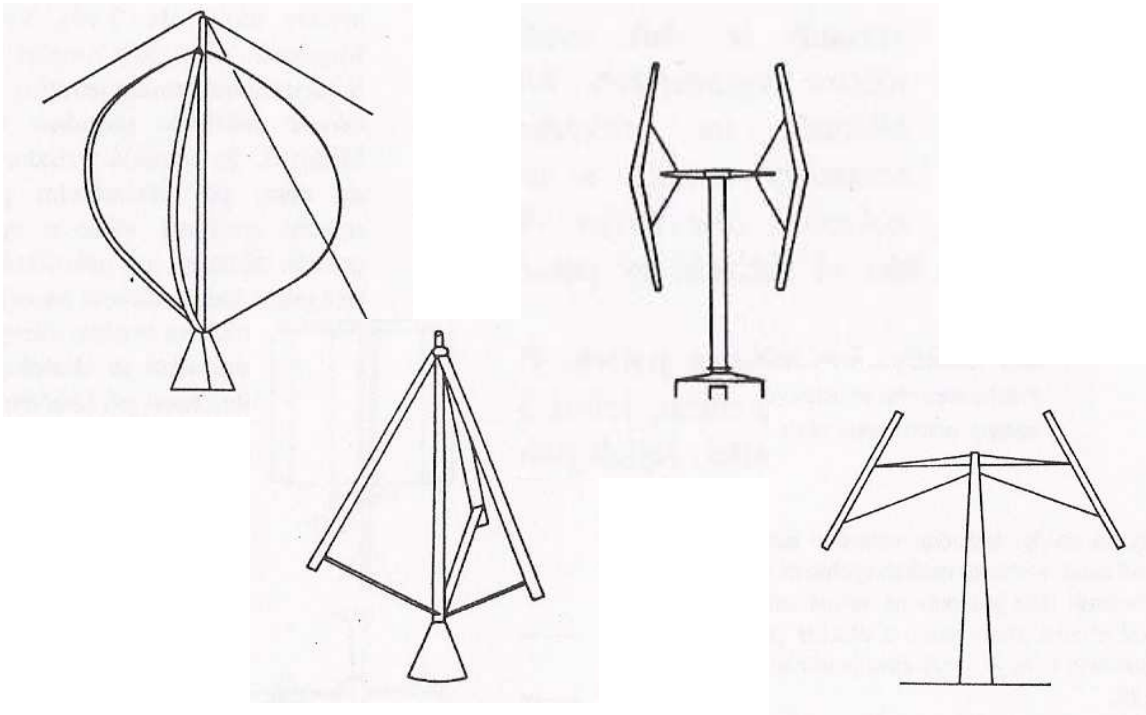
anemometr



Savonius

Obr.5 Rotory využívající odporový princip

nebo vztlakový princip - typ Darrieus (Obr.6).



Obr.6 Různé vyhotovenia Darrieova rotoru

Existují ale i jejich kombinace, které využívají jak odporový tak i vztlakový princip (Obr.7).



Obr.8 Savonius Darrieus

Výhodou elektráren se svislou osou je jejich nezávislost na směru větru, vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnost (40-50 %). Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem, tzn. i menší rychlost větru a tím nemožné samospouštění (potřeba rozběhnout elektromotorem) a obtížná regulace.

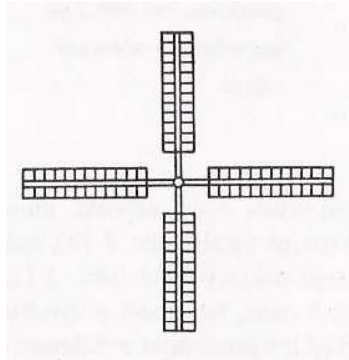
### 2.2.1 Rotory s horizontální osou rotace

Větrné motory pracující s vodorovnou osou otáčení a na vztlakovém principu jsou nejrozšířenějším typem motorů přeměňujících větrnou energii. Vyrábějí se až do výkonů několika megawattů. Některé typy se ale více ujali než ostatní. Pro výrobu elektrické energie se například využívají hlavně rotory s vrtulovými listy.

Můžeme je rozdelit do tří podskupin:

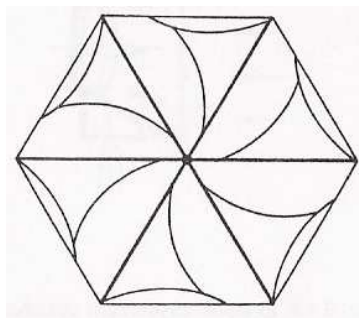
- klasické větrné mlýny
- pomaloběžné větrné motory
- rychloběžné větrné motory

Větrné mlýny se rozšířily hlavně v zemích na pobřeží oceánů a moří jako je Holandsko, Dánsko, Velká Británie, atd'... Tyto větrné motory se používali jako mlýny a také i k pohonu vodních čerpadel. U Baltického a Severního moře se používaly rotory se čtyřmi lopatkami, které byly nastaveny proti větru tak, že se tímto uložením natáčela střecha s lopatkami nebo celá horná část budovy, jejichž typický rotor lze vidět na obr.9. Výkon se řídil změnou velikosti plochy lopatek, takže se svinovali jednotlivé menší plachty zakrývající dřevěnou kostru lopatek.



Obr.9 Jeden z typických rotorů větrného mlýna

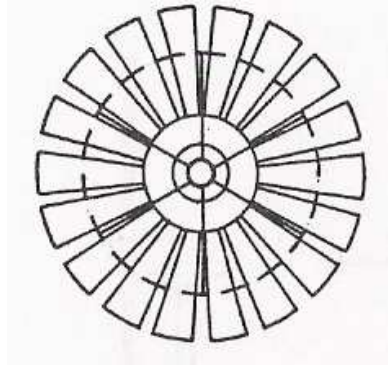
V okolí Středozemního moře se místo pevných rámců lopatek používali plachty s trojúhelníkovým tvarem(Obr.10).



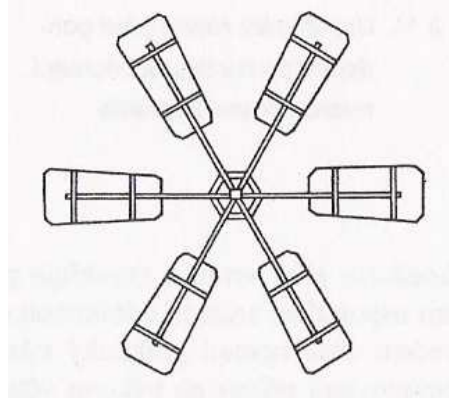
Obr.10 Plachtový rotor větrného mlýna

Pomaloběžné větrné motory se objevily v USA, kde se používali k pohonu čerpadel pro účely fariem a pro napájení dobytka. Rotor je tvořen velkým počtem jednoduše tvarovaných lopatek (obr.11). U moderních větrných motorů používaných k pohonu čerpadel dochází ale k přechodovému řešení, kdy počet lopatek je snížen na 6 až 8 podle velikosti rotoru (obr.12). Vyrábějí se až do průměru rotoru 9 metrů, byli však vyrobeny i

větší. S ohledem na velkou hmotnost, nároky na regulaci a na celkové namáhání konstrukce není účelné jejich průměr dále zvětšovat. Výhodou tohoto typu větrného motoru je jeho snadná a nenáročná výroba. K nevýhodám patří jejich velká hmotnost, kterou ovlivňuje hmotnost rotoru, který je téměř celý vyplněný lopatkami. Další nevýhodou je působení axiální síly i při zastavení rotoru.

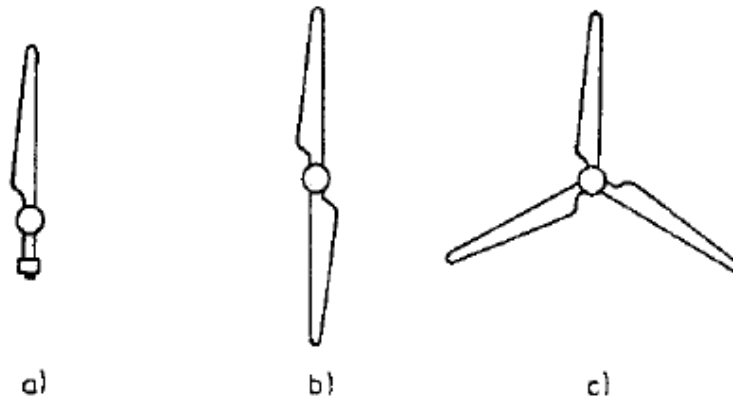


Obr.11 Takzvaný americký typ větrného motoru



Obr.12 Rotor moderního větrného čerpadla

Rychloběžné větrné motory mají rotor nejčastěji v provedení jako jedno, dvou nebo třílistou vrtuli, s pevnými nebo natáčecími listy (obr.13).



Obr.13 a)jednolistá s protizávažím b)dvoulistá c)třílistá

Tento typ motorů se používá hlavně při výrobě elektrické energie, mohou ale pohánět i jiné stroje (např.:kompresory,odstředivá čerpadla...) Vrtulové listy mají u všech větších větrných motorů velmi kvalitní aerodynamický profil, který se mění po celé délce listu tak, aby byla dosažena vysoká účinnost v co největším rozsahu pracovních výkonů a současně, aby byly respektovány požadavky pevnosti a provozní spolehlivosti. Výhodou je jejich relativně malá hmotnost, která se pohybuje při výkonech 50-100 kW od 5 do 7 kg na 1 m<sup>2</sup> plochy rotoru. Nevýhodou rychloběžných rotorů je v jejich obtížném rozjíždění při malých rychlostech větru. Pokud nemají systém na usnadnění rozjíždění,pak se rozjíždí teprve při rychlostech větru kolem 5 m.s<sup>-1</sup>.Při rychlostech kolem 4 m.s<sup>-1</sup>se velmi obtížně využívá energie větru pro tento typ motorů a množství takto získané energie je malé.

## 2.2 Rozdělení VE podle výkonu

Většina lidí si často představí pod pojmem větrná elektrárna obrovské sloupy s velkými vrtulemi a se značnými výkony. Ty jsou samozřejmě důležité pro výrobu elektřiny dodávané do elektrické sítě, ale pro malé odberatele a lidi jednotlivce až tak zajímavé nejsou. V jejich stínu pak nalezneme mikroelektrárny, které se vyznačují malými rozměry (několik m) a využívají se pro napájení mobilních nebo v přírodě a krajině osamocených zařízení, jakými jsou například měřicí stanice. Větší verze těchto elektráren pak mohou v klidu zásobovat elektřinou chaty či chalupy, příp. i rodinné domky. Podle těchto předpokladů se větrné elektrárny delí podle výkonu do čtyř skupin:

### **Mikroelektrárny**

- výkon do cca 1 kW
- pro napájení jednotlivých zařízení
- nedodávají energii do sítě
- na svém výstupu dávají napětí 12V nebo 24V

### **Malé elektrárny**

- výkon do cca 15 kW
- pro napájení velkých zařízení nebo stavení
- obvykle nedodávají energii do sítě
- na svém výstupu dávají napětí 230V (případně 400V)

### **Středně velké elektrárny**

- výkon do cca 100 kW
- pro napájení několik stavení
- obvykle dodávají energii do el. sítě
- konstrukčně se velmi podobají velkým elektrárnám, rozdíl je mnohdy jen ve velikosti jednotlivých dílů zařízení a také v provedení stroje a věže samotné

### **Velké elektrárny**

- výkon stovky kW až jednotky MW
- slouží pro napájení vesnic a měst
- vždy dodávají energii do sítě
- mají asynchronní nebo synchronní generátor, dodávající střídavý proud o napětích 660V a vyšších

### 3. Výkon větrné elektrárny

Výkon větrných elektráren pochází z kinetické energie pohybujícího se vzduchu. Tato energie je vyjádřena elementárním vztahem (1)

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

$E_K$  kinetická energie vzduchu [J]  
 $m$  hmotnost vzduchu [kg]  
 $v$  rychlost vzduchu [m/s]

Objemový průtok  $\dot{V}$  je objem v našem případě plynu (vzduchu), který proteče daným průřezem za jednotku času

$$\dot{V} = v \cdot A \quad (2)$$

Hmotnostní průtok  $m$  je definován jako hmotnost daného média, která protéká průřezem za jednotku času

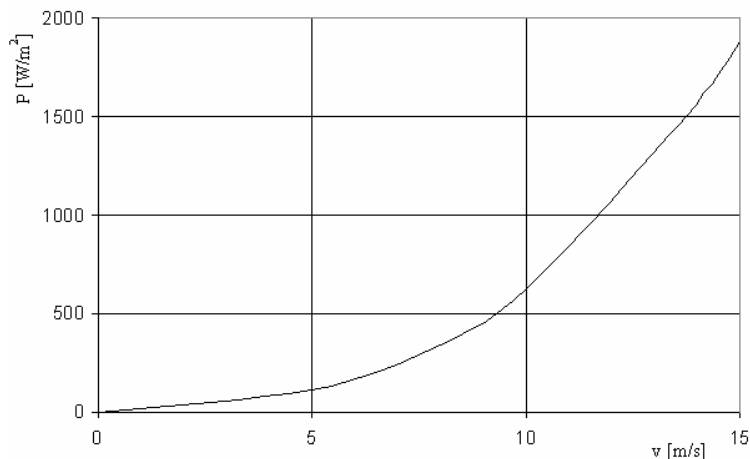
$$m = \rho \cdot A \cdot v \quad (3)$$

Energie větru se vztahuje vždy k určité ploše. Při větrných elektrárnách je tato vztažná plocha určena kruhovou plochou rotoru. Teoretický výkon nesený větrem se pak počítá dle rovnice (4)

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

$P_0$  výkon větru [W]  
 $m$  hmotnostní tok [kg/s]  
 $v$  rychlost větru [m/s]  
 $\rho$  hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>]  
 $A$  plocha rotoru [m<sup>2</sup>]

Výkon větru roste exponenciálně se zvyšující se rychlostí větru, tuto závislost můžeme zkontrolovat podle diagramu na Obr.14. Z grafu je taky patrné, že teprve při vyšších rychlostech větru je výkon dostatečně veliký, abychom ji mohli efektivně využívat.

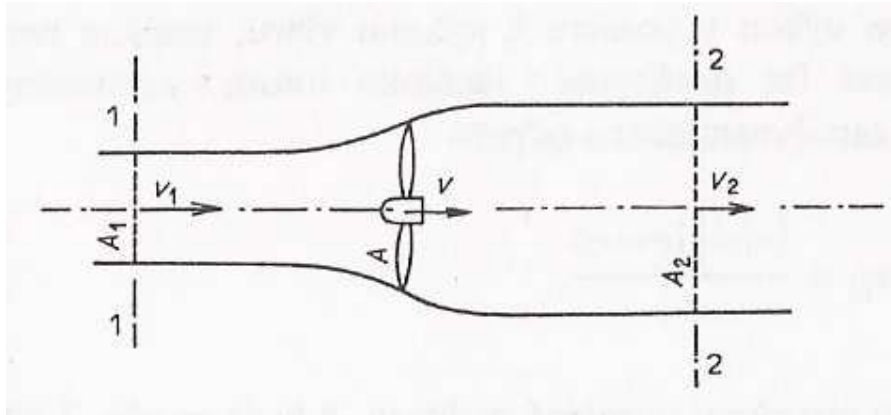


Obr.14 Závislost výkonu větru na jeho rychlosti



Výkon získaný pomocí větrného motoru se vypočítá z rozdílu výkonu  $P_1$  před rotorem a výkonu  $P_2$  za rotorem.

$$P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_2 \cdot v_2^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (A_1 \cdot v_1^3 - A_2 \cdot v_2^3) \quad (5)$$



Obr.15

Na obrázku 15 je znázorněn idealizovaný větrný motor, který je omezen dvěma plochami 1 a 2, kde vzduch protéká průřezy  $A_1$  a  $A_2$  rychlostmi  $v_1$  a  $v_2$ . V rovině vrtule s plochou rotoru  $A$  je rychlost větru  $v$ . Jelikož se v tomto omezeném prostoru nepřenáší ani energie a ani hmota, platí rovnice kontinuity (6).

$$v_1 \cdot A_1 = v \cdot A = v_2 \cdot A_2 \quad (6)$$

Dosazením tohoto vztahu do rovnice (5) dostáváme výkon ze změny kinetické energie

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (7)$$

Z čehož vyplývá, že maximální výkon větrného motoru získáme, když se rychlost  $v_2$  na výstupu je rovna nule. To by znamenalo, že vítru odebereme veškerou energii a tudíž se zastaví, avšak toto je z hlediska fyziky nemožné. Kdyby se hmota za rotorem zastavila, došlo by k tzv. "ucpání" plochy pro následující vzdušnou hmotu. Ale může nastat i opačný jev, když rotor žádnou energii větru neodebere. Proto se musí najít optimální poměr  $v_2 / v_1$ , kdy bude výkon maximální.

Průměrná rychlost média vzhledem k disku rotoru bude

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (8)$$

Následně získáme výkon odebraný rotorem větru v závislosti na rychlosti větru dosazením (8) do vzorce (7)

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (9)$$

Vyjádřením tohoto výkonu v poměru k výkonu větru získáme ideální účinnost  $\eta_i$ , které lze dosáhnout jedině na idealizovaném větrném motoru s nekonečným počtem lopatek pracujících bez aerodynamického odporu.

$$\eta_i = \frac{P}{P_0} = \frac{(v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2)}{2v_1^3} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{v_2}{v_1} - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^3 \right) \quad (10)$$

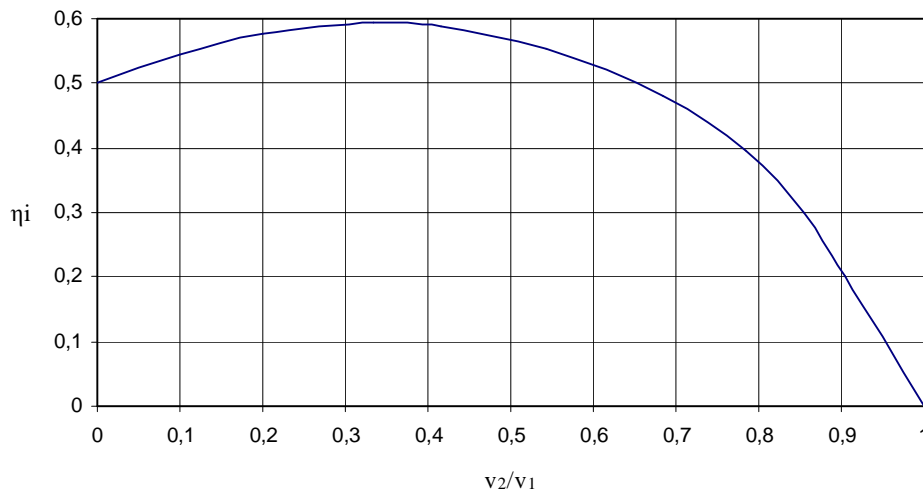
Závislost účinnosti pro různé poměry rychlostí  $v_2/v_1$  můžete vidět na Obr.16. Podle Betzova pravidla, stupeň účinnosti je maximální, když se na rotoru sníží rychlost větru o dvě třetiny.

Důkazem je derivace  $\eta_i$  (10) podle poměru  $\frac{v_2}{v_1}$  s následným řešením při  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ , kdy je rovnice rovna nule.

$$\frac{d\eta_i}{d\left(\frac{v_2}{v_1}\right)} = \frac{1}{2} \left( 1 - 2 \cdot \frac{v_2}{v_1} - 3 \cdot \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) = 0 \quad (11)$$

Podle toho je tedy maximálně dosažitelnou účinností označovanou též jako Betzovou účinností

$$\eta_{i\max} = \frac{16}{27} = 0,5926 \quad (12)$$



Obr.16

## 4. Možnosti akumulace větrné energie

Akumulace je proces umožňující “uskladnění energie” s vhodným umístěním a ve vhodném tvaru, aby byla připravena pro použití ve vhodný čas a v požadovaném množství. Zařízením, které se používají na uskladnění energie se obecně říká akumulátory. V české elektroenergetické názvosloví se ale pojem “akumulátor” používá skoro vždycky výhradně na zařízení pracující na principu elektrochemické akumulace elektrické energie.

Akumulace, nebo zálohování elektrické energie získané z větru je nezbytná kvůli časovému nerovnoměrnosti produkce a kolísání výkonu větrných elektráren. Pro zálohování se nejběžněji používají soustrojí s benzínovým nebo naftovým motorem, závisí na požadovaném výkonu. Ovšem neustále se vyvíjejí a zlepšují technologie akumulace, které zřejmě brzy nahradí tyto záložní zdroje energie a také přispějí k odstranění problému energetických špiček.

V současnosti se považuje za nejdůležitější 4 způsoby akumulace:

- **Chemická nebo elektrochemická akumulace**  
označuje akumulaci elektrické energie přeměněné na chemickou energii a využívá se v chemických bateriích nebo v akumulátorech. V případě potřeby se transformují zpět na elektrickou energii.
- **Mechanická akumulace využívá**  
akumulaci potenciální energie nebo kinetické energie. Potenciální energie se uchovává ve vodních nádržích nebo ve formě stlačeného vzduchu. Kinetická energie se akumuluje pomocí setrvačnicků, které se v současnosti téměř nevyužívají, ale možnosti jejich praktické aplikace se zkoumají.
- **Elektromagnetická akumulace je založená**  
na akumulování energie formou elektromagnetického pole. Jako akumulátor může sloužit kondenzátor nebo cívka. Tento způsob uchovávání energie je poměrně nový a je předmětem usilovného bádání..
- **Tepelná akumulace označuje akumulaci**  
energie ve formě tepla. Využívá se buď běžný ohřev teplotnosné látky, nebo se využije přeměna skupenství látky.

Nejdůležitějšími parametry akumulace jsou:

- **celková účinnost**, podíl využité energie k vložené energii. uvádí se v procentech
- **měrná hustota energie** udávaná v kWh.m<sup>-3</sup> a ve Wh.kg<sup>-1</sup> hovoří o rozměrech a o hmotnosti použité technologie.
- **doba přepnutí** prozrazuje, za jaký čas po nabití z nich můžeme energii odebrat a také nás zajímá doba akumulace, čas po který se náboj energie dokáže udržet.

## 4.1 Chemická, elektrochemická akumulace

### 4.1.1 Olověné akumulátory

První olověný akumulátor sestavil roku 1859 francouzský fyzik a badatel Gaston R. Planté. V současnosti nejnovější akumulátory stále pracují na rovnakém principu.

Velmi zjednodušeně se dá říct, že olověný akumulátor tvoří dvě olověné desky (elektrody) ponořené do vodou zředěné kyseliny sírové. Jeden článek akumulátoru tvoří jeden pár desek s jmenovitým napětím 2V, když zapojíme více článků do série vytvoříme akumulátorovou baterii. Proces odehrávající se při nabíjení a vybíjení můžeme vyjádřit chemickou rovnicí:



Při nabíjení se tvoří kyselina sírová a elektrolyt houstne, na kladné elektrodě se usazuje červenohnědý oxid olovičitý ( $\text{PbO}_2$ ), záporná elektroda se pokryje šedou vrstvou pórovitého olova. Na svorkách páru elektrod můžeme změřit napětí 2,1 V. Hustota elektrolytu je spolehlivou známkou stavu akumulátoru.

Při vybíjení probíhá opačná chemická reakce: elektrolyt řídne (vytváří se  $\text{H}_2\text{O}$ ) a na kladné a záporné elektrodě se usazuje síran olovnatý ( $\text{PbSO}_4$ ). Napětí článku by neměla klesnout pod 1,75 – 1,8 V.

#### Akumulátory se rozdělují podle následujících parametrů:

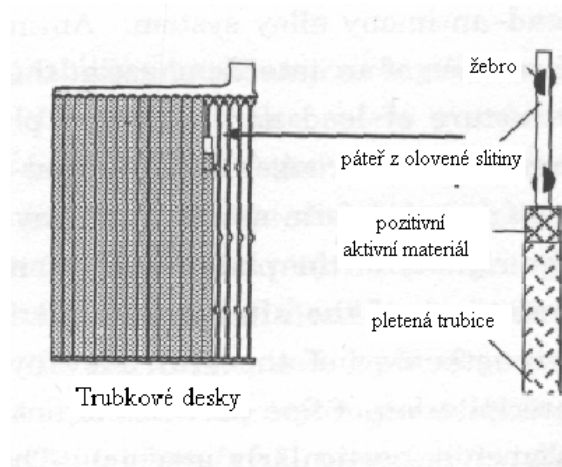
- podle technologie
  - se zaplavenou konstrukcí – autobaterie, staniční baterie
  - VRLA (Valve Regulated Lead Acid) - ventilem řízené olověné akumulátory
    - AGM (Absorbed Glass Mat) – elektrolyt nasáklý ve skelné vatě
    - Gelové – elektrolyt se nachází v gelové formě
- podle typu elektrod
  - deskové
  - trubkové – někdy nazývané pancéřové
  - spirálové
- podle použití
  - záložní – bezpečnostní systémy
  - startovací – autobaterie
  - trakční – golfové vozítka, vysokozdvizné vozíky

Nejrozšířenější jsou asi deskové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí používané hlavně v automobilovém průmyslu. Cenově jsou jednoznačně nejvýhodnější s pořizovací cenou 50 Euro/kWh ovšem na úkor hustoty energie, která činí  $50 \text{Wh/dm}^3$ . Díky její ceně ji můžeme použít na akumulaci větrné energie pro domácí účely. Kvůli životnosti pouze 3,5 – 5 roků se ale celkové náklady stoupají. Nejvíce rozšířené automobilové akumulátory s napětím 12 V mají kapacitu 50 Ah (ampérhodin) s výdrží až 500 nabíjecích cyklů. Ovšem aby sme je mohli využít v průmyslovém akumulování 1MWh museli bychom sme instalovat cca. 25 tun akumulátorů.

Olověné akumulátory s deskovými elektrodami (obr.x) se zaplavenou konstrukcí vykazují mnohem větší životnost – cca. 12 let při 50 % DOD (hloubka vybití) a jejich pořizovací cena se pohybuje kolem 150 Euro/kWh. Příkladem může být typ SEC-T-RANGE (USA Obr.17) s garantovanou životností 1200+ cyklů při vytěžení 80% DOD v každém cyklu. Při jejich použití nastává důsledkem výrazné stratifikace (hromadění elektrolytu o vyšší koncentraci u dna nádoby) k postupné nevratné sulfataci elektrod a snižování životnosti. Tento problém můžeme vyřešit nuceným pohybem elektrolytu a to buď speciálním míchacím zařízením, nebo upraveným dobíjením s úmyslným vývinem plynů. Nevýhoda akumulátorů se zaplavenou konstrukcí spočívá v jejich zvýšeném nároku na obsluhu, protože vyžadují kontrolu stavu elektrolytu a dolévání destilované vody, také je nelze provozovat v jakékoli poloze.

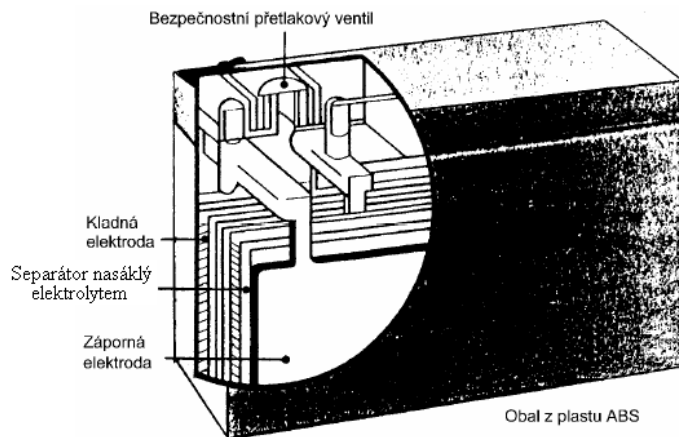


Obr.17  
SEC-T-RANGE



Obr.18 Trubkový typ elektrod

Ventilem řízené olověné akumulátory (VRLA) jsou výsledkem dlouholetého vývoje v oblasti akumulátorů pro zálohovací systémy. Díky snaze o minimalizování požadavků na údržbu jsou nyní hermeticky uzavřené akumulátory zcela funkční bez údržby během celé doby jejich životnosti. Kvůli znehybnění elektrolytu mohou pracovat v libovolné poloze, při přepravě nehrozí únik elektrolytu do prostředí, takže riziko havárií nebezpečných pro životní prostředí je minimalizováno. Pro znehybnění elektrolytu se používají dva rozdílné koncepty, elektrolyt je buď nasáklý v pórech separátoru ze skelných vláken (AGM Obr.19) nebo je ve formě gelu.



Obr.19 AGM akumulátor se separátorem ze skelných vláken

Životnost VRLA akumulátorů s deskovými elektrodami at' už AGM, nebo s gelovým elektrolytem vykazují životnost – cca 5 let s cenou zhruba 100 Euro/kWh. Akumulátory s trubkovými elektrodami s gelovým elektrolytem nevyžadují údržbu po celou dobu životnosti - tj. cca 8-12 let při konečné kapacitě 80%. Nevýhodu ovšem najdeme v jejich pořizovací ceně, která přesahuje 200 Euro/kWh. Jejich použití je pro profesionální systémy s důrazem na spolehlivost a životnost bez ohledu na náklady.

Díky své vysoké účinnosti (cca. 80%) přeměny chemické energie na elektrickou energii se akumulátory uplatňují jako zálohovací zdroje i jako zdroje pro napájení přenosných zařízení. Akumulátory lze zapojovat sériově i paralelně, vyrábí se s rozsáhlou nabídkou typů a kapacit, což umožní nalézt vyhovující řešení pro každé použití.

#### 4.1.2 Pokročilé elektrochemické akumulátory

Mezi pokročilé elektrochemické akumulátory zcela jistě patří Ni-Cd akumulátory používané zejména pro akumulátorové nářadí a pro mobilní elektroniku. Jsou sestaveny z článků o napětí 1,2 V. Mezi výhody při jejich použití patří: spolehlivost provozu při extrémních podmínkách, vysoká hustota energie na jednotku objemu ( $150 \text{ Wh/dm}^3$ ) a na jednotku hmotnosti ( $40 \text{ Wh/kg}$ ) dobře tolerují přebíjení i převybití. Jejich životnost je přibližně 2000 cyklů. Jejich nevýhoda spočívá v tom, že trpí tzv. pamětovým efektem, což výrazně snižuje kapacitu akumulátoru, když se před nabitím zcela nevybijí. Kvůli výhradám vůči obsahu vysoce jedovatého kadmia se upouští od výroby těchto akumulátorů.

Nikl-metal hydridový akumulátor (Ni-MH), je jeden z nejčastěji používaných druhů akumulátorů. Má přibližně dvojnásobnou kapacitu než jemu podobný Ni-Cd akumulátor, jsou ale podstatně dražší s pořizovací cenou 500 Euro/kWh. Životnost se udává v rozmezí hodnot 500 – 1000 cyklů při 80% DOD. K nevýhodám patří jejich relativně vysoké samovybití a problematické určení stavu nabití.

Železo-niklové akumulátory byly vynalezeny T. A. Edisonem před sto lety. Tento typ akumulátoru je tvořen katodou z nikl-oxihydroxidu ( $\text{NiOOH}$ ) a z anody ze železa, které jsou ponořeny do elektrolytu na bázi hydroxidu draselného (KOH). Články mají jmenovité napětí 1,4 V. Mají větší životnost než předchozí typy s přibližně 3000 cykly, avšak jejich kapacita je menší. Kvůli jednoduché údržbě je nejvíce využívá železnice.

Kromě těchto celkem rozšířených akumulátorů se ve světě vyvíjejí akumulátory s organickými elektrolyty např. z propylenkarbonátu pracující při běžných teplotách, kde anodu tvoří sodík nebo lithium a jako katoda může sloužit chlorid měďnatý ( $\text{CuCl}_2$ ), chlorid nikelnatý ( $\text{NiCl}_2$ ) a fluorid nikelnatý ( $\text{NiF}_2$ ).

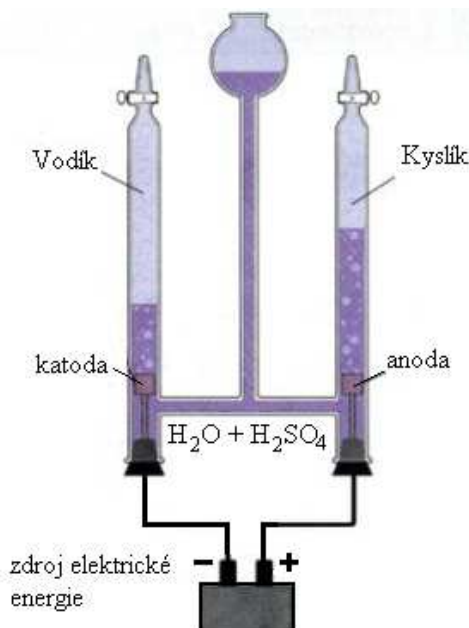
Ověřují se sodíko-sírové akumulátory pracující při teplotě okolo  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  s až desetkrát větší kapacitou a asi pětinašobnou životností než běžné olovené akumulátory. Jejich výhodou je cena a dostupnost použitých materiálů.

### 4.1.3 Vodíková akumulace s elektrolýzou vody

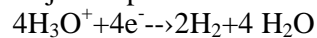
Vodík je důležitou chemickou surovinou, která se dokonce označuje jako palivo 21. století, protože spotřeba a cena strategických fosilních paliv stoupá, ale jejich zásoby se stenčují. Při spalování vodíku taktéž nevznikají žádné škodlivé plyny, které by přispívaly k zhoršování skleníkového efektu. Produktem spalování je čistá voda, ze které můžeme opět vyrobit vodík. Jako pohonná hmota se používá v raketové technice, v palivových člancích a intenzivně se vyvíjejí technologie pro pohon motorých vozidel se samotným vodíkem.

Jedním z řešení akumulace elektrické energie je elektrolýza vody, kde takto získaný vodík představuje umělé palivo. Elektrolýza je jedou z nejstarších metod, které se používají na výrobu vodíku. Protože se jedná o finančně náročnější metodu získávání vodíku, je tento proces vhodný tam, kde je přístupný levný zdroj elektrické energie. K takovýmto zdrojům zcela jistě patří energie získaná z větrných elektráren. Samotný proces elektrolýzy má vysokou účinnost konverze kolem 80 - 85%. Spotřeba elektrické energie při procesu konverze je asi 4,3 kWh/m<sup>3</sup>. Výrobní cena je asi 2/3 ceny vodíku získaného z parního reformingu, ovšem při produkci kolem 1 milionu m<sup>3</sup>.

Elektrolýza probíhá následným chemickým procesem: při průchodu proudu dochází k uvolňování vodíku na katodě a kyslíku na anodě. Při reakci se spotřebovává elektrická energie a voda. Jelikož voda má vysoký měrný elektrický odpor (při 295 K je  $\rho=2,27 \cdot 10^5 \Omega \cdot m$ ) je zapotřebí zvýšit její vodivost použitím vodných roztoků elektrolytu. V praxi se nejčastěji setkáváme s použitím roztoku kyseliny sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), nebo hydroxidu draselného (KOH), který má ze všech dostupných elektrolytů nejvyšší vodivost. Elektrody se vyrábí z ušlechtilých kovů, které nereagují s přítomnými látkami.

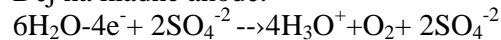


Děj na záporné katodě:



Přichází elektrony ze záporného pólu zdroje a dochází tak na katodě k redukci a vzniku vodíku

Děj na kladné anodě:



Odchází elektrony do kladného pólu zdroje a dochází tak na anodě k oxidaci a vzniku kyslíku

Obr.20 Hoffmannův elektrolyzér



Pro skladování vodíku lze použít mnoho metod. Při malých množstvích se používají jednoduché beztlaké plovákové zásobníky s vodním uzávěrem. Pro skladování většího množství plynného vodíku se obvykle používají tlaky mezi 30-200 MPa. Tlakové nádoby se vyrábějí bez použití svaru z nízkouhlikové oceli. Energeticky je méně náročné skladovat stlačený plynný vodík než jej skladovat v kapalně formě. Další možností jak skladovat velké množství vodíku v plynné formě je skladování v podzemních úložištích. Jedná se o akumulaci ve vytěžených solných dolech, nebo v jeskyních zemního plynu s kapacitami



Obr.21 Skladování plynného vodíku ve velkokapacitních zásobnicích

dosahujícími hodnot až několika 100 milionů m<sup>3</sup>. Tato metoda se využívá na několika místech světa, např. v Amarillu v Texasu (850 mil. m<sup>3</sup>), v Beynesu ve Francii (330 mil. m<sup>3</sup>), anglickém Billingtonu (2,2 mil m<sup>3</sup>), atd.. Tlak takto skladovaného vodíku se pohybuje kolem 11 MPa.

Skldování kapalného vodíku je podobná, je však energeticky i finančně náročná, totiž vodík třeba ochladit pod teplotu varu (při normálním tlaku je teplota varu -253 °C). Náročný zkapalňovací proces znamená ztrátu až 30% energie, uchovávané v kapalném vodíku. Kapalný vodík je vzhledem k jeho fyzikálně-chemickým vlastnostem skladován v nádržích vybavených tepelnou izolací a pod vysokým tlakem.



Obr.22 Autocisterna s kapalným vodíkem o kapacitě 30 000 litrů

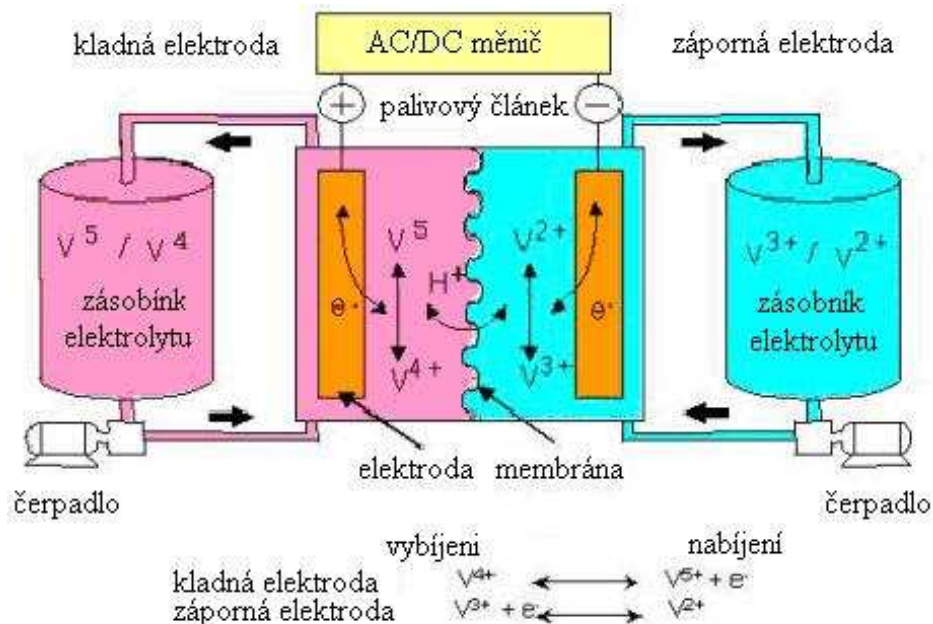
Akumulaci energie ve formě vodíku zkoušejí v provozu na norském ostrově Utsira, zde dvě větrné elektrárny vyrábí 2 x 600 kW elektrické energie, z níž část se využívá k elektrolytické výrobě vodíku. Za bezvětří se na výrobu elektrické energie používají palivové články. Tento pilotní projekt měl běžet od roku 2003 do konce roku 2005, ale byl o tři roky prodloužen.



#### 4.1.4 Průtokové baterie

S rozvojem energeticky významných obnovitelných zdrojů elektrické energie, pokročil také výzkum a vývoj elektrochemických akumulátorů, které slouží hlavně k vyrovnávání výkyvů jejich výkonů. V nedaleké budoucnosti by mohli tyto zařízení nahradit záložní motorové soustrojí, nebo špičkovací elektrárny jedoucí na fosilní paliva, které produkují největší množství skleníkových plynů. Vývoj průtokových baterií byl zahájen téměř před 30 lety. V roce 1984 v univerzitních laboratořích vznikli první prototypy s výkonem několik kW

Průtokové akumulátory, neboli baterie využívají k akumulaci energie vratné elektrochemické reakce odehrávající se mezi dvěma solnými roztoky (elektrolyty). Podstatou této redukčně-oxidační reakce je schopnost některých prvků existovat ve více valenčních uspořádáních. Konstrukce mohou využívat elektrolyty s obsahem vanadu, zinku nebo sodíku. Základem systému jsou dva navzájem oddělené zásobníky s elektrolytem, regenerátor (slouží k nabíjení) a bateriový článek s iontovou membránou (zde se uvolňují elektrony). Účinnost těchto systémů je na úrovni 75% při velkých a 65% při malých zařízeních. Akumulátorům se nemění ani účinnost ani kapacita i po více než 12000 nabíjecích cyklů. Očekávaná životnost těchto zařízení je více než 10 let, ale po výměně opotřebovaných membrán v palivovém článku se životnost snadno prodlužuje.

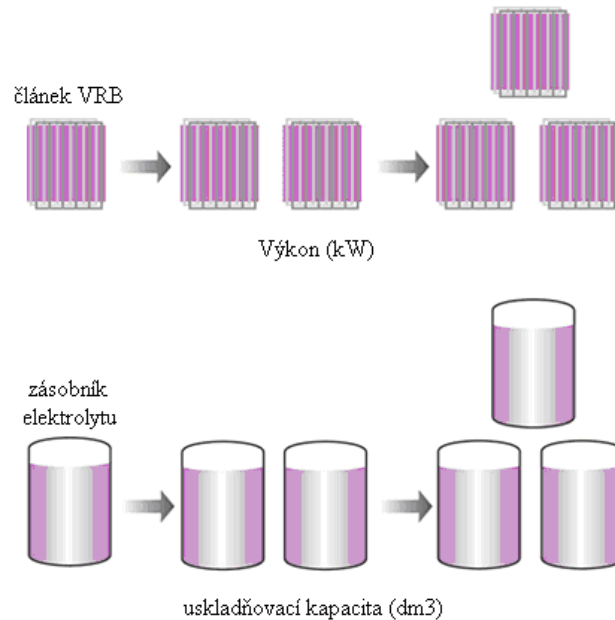


Obr.23 Princip funkce vanadového redukčně-oxidačního článku

Z obrázku X je zjevné, že funkce článku VRB a funkce vodíkových palivových článků je podobná. Výhodou článků VRB oproti palivovému článku je jejich reverzibilita, protože v tomto elektrochemickém měniči může probíhat nabíjení i vybíjení podobně jako u klasických akumulátorů, jejich elektrické parametry jsou taktéž podobné s elektrickými parametry akumulátorových nebo palivových článků. Kapacita závisí jenom od množství elektrolytu v zásobnicích. V případě dodávky větších výkonů po dobu více než 8 hodin, jsou náklady na 1kWh výhodnější než u klasických olovených akumulátorů.

Největší výhodou VRB baterií je však v jejich stupňovatelnosti a modulaci. To znamená, že výkon i kapacitu uskladnění lze zvýšit nebo snížit nezávisle. Jmenovitý výkon totiž určuje počet článků v baterii, čili přidáním dodatečných článků můžeme zvýšit jejich

výkon. Kapacitu určuje množství elektrolytu v zásobníku, tedy když vyměníme menší nádobu za větší, nebo přidáme dodatečné nádrže, zvýšíme tím kapacitu.



Obr. 24 Zvýšení výkonu a kapacity u průtokových akumulátorů

Instalace průtokových baterií se již nějakou dobu uplatňují v kombinaci s větrnými elektrárnami, kde energie akumulovaná v elektrolytu pokrývá krátkodobé výpadky získávání energie při bezvětří nebo vichřicích a také se používá pro překlenutí energetických špiček. V současnosti nejvíc zařízení tohoto typu staví Japonsko, které je jedním z předních výrobců průtokových baterií. Na obrázku 25. můžeme vidět jeden v Japonsku instalovaných VRB zařízení s jmenovitým výkonem 4MW s kapacitou 6MWh spolupracující s větrnou farmou k vyrovnávání fluktuace výkonu. Největším známým velkým projektem je stavba VRB zařízení pro větrnou farmu v Irsku s akumulací kapacitou 12 MWh. Cílem projektu je průběžná akumulace elektrické energie produkované větrnou farmou a dodávat ji do rozvodné sítě zejména v době energetických špiček, kdy je nákupní cena elektřiny nejvyšší.



Obr. 25

Přehled ve světě instalovaných průtokových baterií:

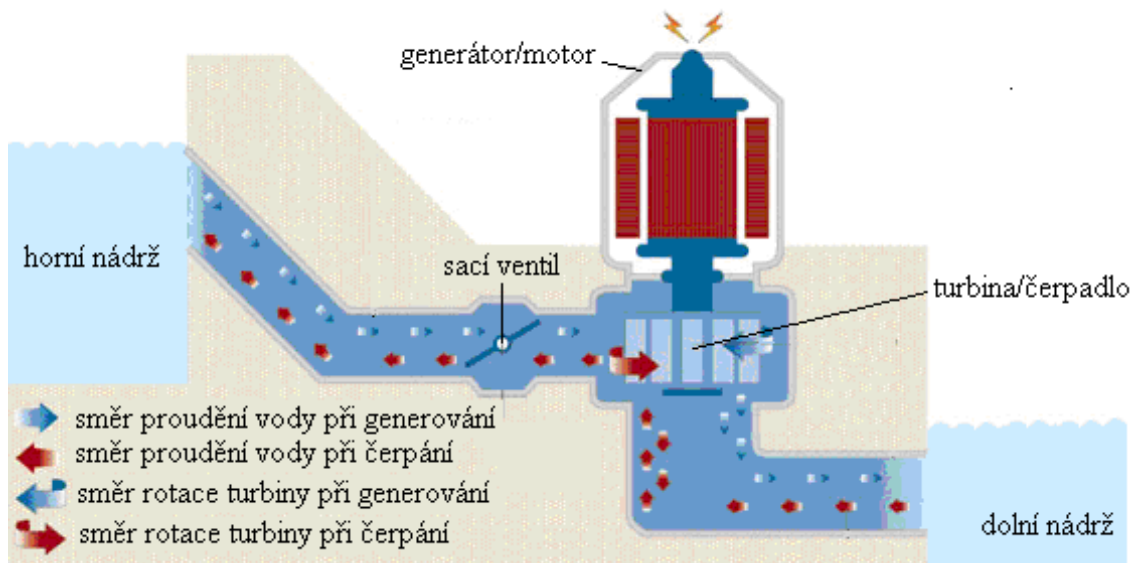
- 1.5MW - UPS zálohovací systém v závodě vyrábějícím polovodiče - Japonsko
- 275 kW - vyrovnávač výkonu na větrné farmě Tomari Wind Hills v Hokkaidu, Japonsko
- 200 kW, 800kWh - stabilizace výkonu na větrné farmě Huxley Hill na King Island, Austrálie (pilotní projekt VRB zařízení)
- 250 kW, 2MWh - stabilizátor výkonu v Castle Valley, Utah

## 4.2 Mechanická akumulace

### 4.2.1 Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)

Přečerpávací vodní elektrárna je takový typ vodní elektrárny, která akumuluje elektrickou energii prostřednictvím potenciální energie vody. Tato metoda uchování energie se jeví jako finančně nejvýhodnější, přičemž je výroba navíc ekologicky nezávadná.

V principu jde o soustavu dvou výškově rozdílně položených nádrží spojených spádovým potrubím o velkém průměru, na němž je v dolní části uložena turbína spojená s generátorem. V době zvýšeného odběru (energetické špičky) se z horní nádrže vypouští voda do dolní nádrže přes turbínu, která vyrábí pomocí generátoru elektrickou energii pro elektrizační soustavu. Následně pak, když je dostupná "levná elektřina", např. v noci elektrárna se chová jako velký spotřebič elektrické energie a voda se čerpá z dolní nádrže do horní. Rozvoj přečerpávacích elektráren v roce 1930 vedl k vývoji reverzibilních turbín, které mohou pracovat jako turbíny, nebo po změně směru otáčení jako čerpadla.



Obr.26 Průřez přečerpávací vodní elektrárnou

Akumulace přečerpávací vodní elektrárnou je doposud jediný technicky proveditelný způsob, jak uchovávat velké množství elektrické energie po delší dobu. Význam těchto elektráren se zvyšuje rovněž rozšiřováním použití alternativních zdrojů energie (v současnosti zejména větrné energie), jejichž výkon je značně kolísavý. Účinnost přečerpávacího cyklu současných soustrojí umožňují akumulaci s účinností 75 - 80 %, což znamená, že na každou vyrobenou kWh v generátorovém režimu je nutné v čerpacím režimu vynaložit asi 1,3 kWh. Velkou výhodou PVE je fakt, že dokáží velmi rychle reagovat na požadavky zvýšeného odběru elektrické energie (obvykle 3-6 min) a nezatěžují životné prostředí odpady. Vyžadují minimální obsluhu i údržbu a lze je ovládat na dálku. Životností, která je odhadována na cca. 100 let vysoce předčí ostatní metody akumulace. K nevýhodám patří jejich časově a finančně náročná výstavba a závislost na geologických podmínkách daných míst.

Největší přečerpávací elektrárna v České republice je PVE Dlouhé Stráně (Obr. 27) vybudované v Jeseníkách, která v sebe ukrývá dvě největší a nejvýkonnější reverzní soustrojí v Evropě. Dílo se skládá z těchto částí: horní nádrž, nacházející se v nadmořské výšce 1350 m, dolní nádrž ve výšce 750 m, dvě generátor-motory a dvě Francisovy turbíny s výkonem 2x 325MW. Obě turbíny dohromady vydají za 1/3 výkonu JTE Temelína.



Obr. 27 PVE Dlouhé stráně



Obr. 28 PVE Dalešice

PVE v České republice:

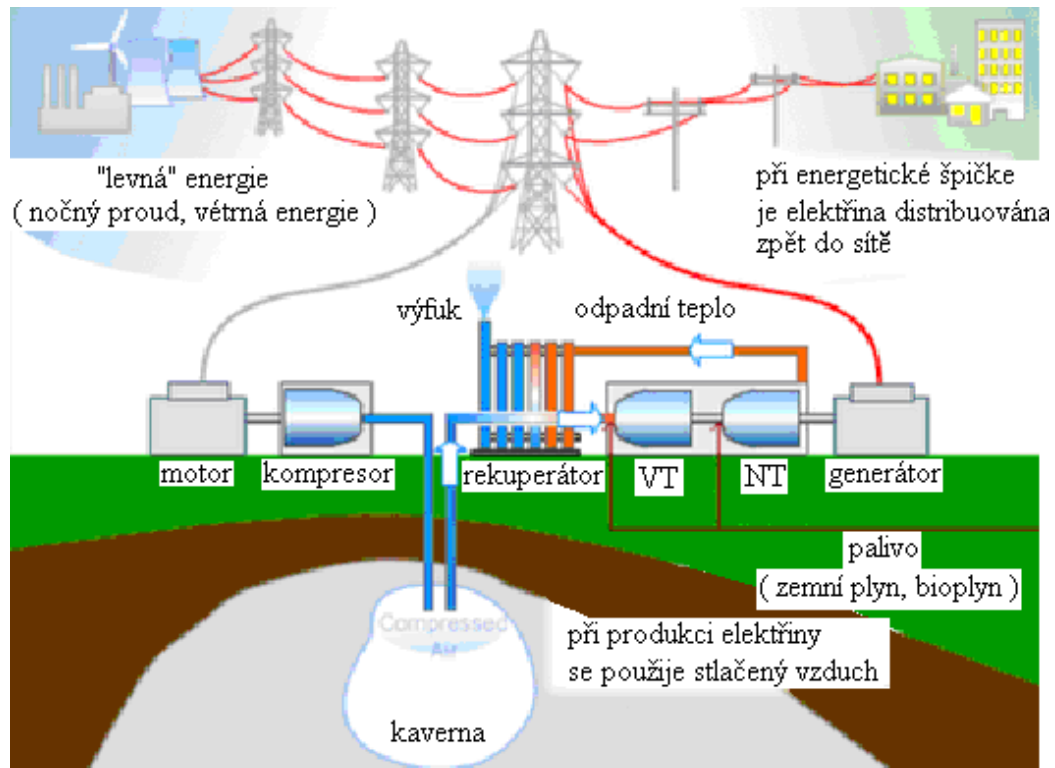
Lokalita:	Počet soustrojí	Instalovaný výkon (MW)	Rok uvedení do provozu
Dalešice	4	450	1978
Dlouhé Stráně 1	2	650	1996
Štěchovice II	1	45	1948

Světový žebříček přečerpávacích elektráren vede PVE Bath County v americké Virginii s instalovaným výkonem 2100MW (6 x 350MW). Novou cestu k budování PVE prosazuje Japonsko, které na ostrově Okinawa vybuodovalo přečerpávací mořskou elektrárnu, která jako první na světě přečerpává mořskou vodu do umělé nádrže ve výšce 150 m nad mořem. Týmto projektem se otevírá přečerpávacím elektrárnám nové uplatnění na mořských pobřežích všech kontinentů.

#### 4.2.2 Tlakovzdušná akumulární elektrárna

Tlakovzdušné akumulární elektrárny (Compressed-air energy storage – CAES), jsou variantou špičkovací elektrárny s plynovými turbínami, spotřebují ale až o 40% méně plynu pro výrobu stejného množství elektrické energie. Při pohonu generátoru konvenční plynové turbíny se totiž až 2/3 energie získané spalováním paliva spotřebuje na pohon kompresoru, která je nezbytná pro provoz turbíny. Proto bylo už před desítkami let navrženo, aby se oddělil provoz turbíny časově i mechanicky od provozu kompresoru. V takovémto případě totiž můžeme využít celkový potenciál plynové turbíny na výrobu elektrické energie. Funkci kompresoru může po dobu několika hodin zastávat stlačený vzduch odebíraný z podzemního zásobníku.

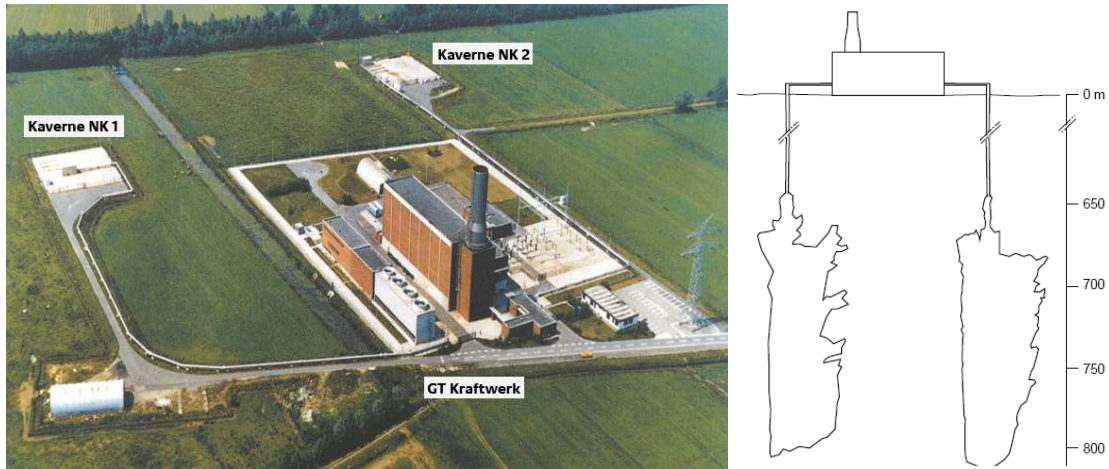




Obr. 29 Teoretický návrh základní koncepce systému CAES

Zkomprimovaný vzduch lze skladovat ve vhodných podzemních jeskyních, opuštěných dolech, nebo ve speciálních podzemních nádržích, tato operace ovšem zvyšuje finanční náročnost projektu. Tlak vzduchu v kaverně se pohybuje od 5 do 7,5 MPa ( v připravovaném projektu až 10,5 MPa ). Elektromotor pohánějící kompresor můžeme napájet odebráním noční přebytečné elektřiny nebo energií získaných z obnovitelných energetických zdrojů (zejména z větrných elektráren). Účinnost CAES elektrárny je v rozmezí 40 – 45% , při využití tepla vzniklého kompresí vzduchu se účinnost zvyšuje. Výstavba elektrárny je značně závislá na geologických podmínkách, zde ale můžu připomenout, že i v ČR existují podzemní dutiny (slouží např. na skladování ZP), které jsou vhodné úvahy. Každé řešení této elektrárny je jedinečné, kvůli aplikaci na různé podmínky. Hlavně proto se ve světě komerčně využívají jenom dvě elektrárny založené na principu CAES:

První tlakovzdušnou elektrárnou byla elektrárna se jmenovitým výkonem 290 MW postavená v Hundorfu v Německu v roce 1978 (Obr.30). Komprimovaný vzduch je tady uchovávan ve dvou solných jeskyních s objemem 150 000 m<sup>3</sup> a pod tlakem cca 7 MPa. Zařízení je schopno dodávat do elektrické soustavy po dobu tří hodin 290MW elektrické energie.



Obr. 30 Elektrárna CAES Hundorf, Německo

Druhou komerčně využívanou aplikací elektrárny CAES je elektrárna uvedená do provozu roku 1991 ve městě McIntosh ve státu Alabama (Obr.31). Do sítě je schopná dodávat 110 MW po dobu 26 hodin. Výroba elektrické energie najede za méně než 14 min.



Obr.31 CAES ve státě Alabama, USA

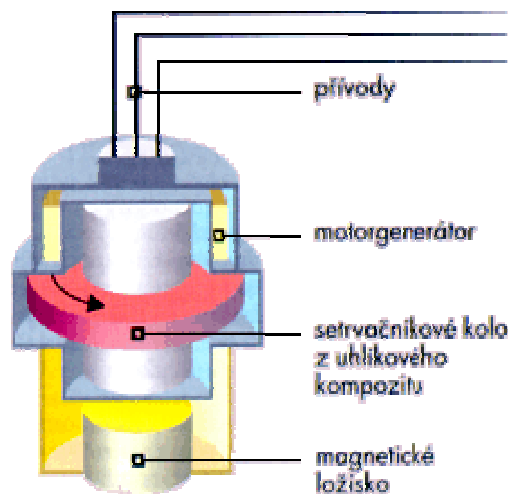
Třetí elektrárna je ve fázi projektování a je ze všech největší s výkonem 2700 MW, je plánována pro výstavbu ve městě Norton, Ohio. Tento 9-turbínový závod bude komprimovat vzduch na 10,42 MPa. ve vápencovém dole v hloubce 670 m.

Vyvíjí se i možný nástupce tohoto systému pod názvem AA-CAES (Advanced Adiabatic...), který by na pohon generátoru nepoužíval plyn, ale adiabatické teplo vzniklé při kompresi vzduchu do dutiny. Může dosáhnout až 70% procentní účinnosti. Demonstrační elektrárna má být uvedena do provozu kolem roku 2012.

#### 4.2.3 Setrvačnick

Je nejstarším akumulátorem energie, protože už před tisíckami let využívali hrnčíři setrvačnosti rotujících těles použitím hrnčířského kola pro výrobu keramiky. Setrvačnickové baterie uchovávají elektrickou energii ve formě kinetické energie rotující se hmoty. Akumulační cyklus probíhá následovně: při "nabíjení" se rotor setrvačnickového akumulátoru roztočí motorgenerátorem napájením proudem a pak při odběru rotor roztáčí motorgenerátor,

který produkuje elektrickou energii. Účinnost přeměny je na úrovni 85 až 95 procentech. Tření snižuje čas akumulace, proto je třeba ho zminimalizovat např. použitím magnetických ložisek.(Obr.32)

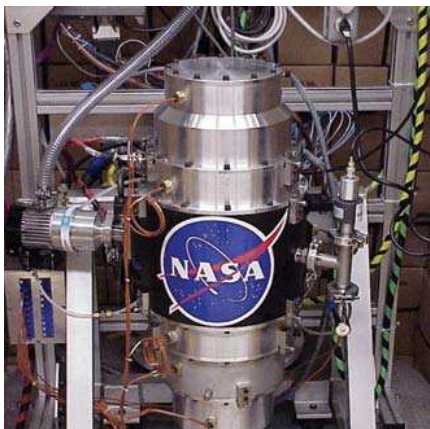


Obr. 32 Setrvačnickový akumulátor s magnetickým ložiskem

Klasické rotory setrvačnicku jsou vyrobeny z oceli a jejich otáčky jsou omezeny na několik tisíc za minutu. Pokročilé setrvačnicku používají rotory z uhlíkových vláken a magnetická ložiska, což znamená, že mohou dosáhnout 40 až 60 tisíc otáček za minutu. Setrvačnickové baterie zajišťují napájení během krátké doby mezi výpadkem napájecího zdroje a zprovozněním záložního zdroje. Svoji veškerou energii dokáží odevzdat za pouhých pár vteřin na úkor svojich otáček. Tato schopnost setrvačnicků se využívá když je zapotřebí značného množství energie na velmi krátkou dobu, například při tokamaku a laserových experimentech.

Za zmínku stojí využití setrvačnickových akumulátorů v dopravě, jak bylo tomu ve Švýcarsku již před čtyřiceti lety. Zkoušeli se tady tzv. gyrobusy - trolejbusy s jedenapůltunovým setrvačnickem s kapacitou kolem 10kWh, které vystačilo na jízdu od jedné zastávky s nabíjením k druhé (cca. 2 km). Setrvačnickové pohony jsou považovány za velmi perspektivní, zatím jsou však stále ještě ve stádiu výzkumu.

Setrvačnicku jsou v dnešní době schopny skladovat téměř stejné množství energie na jednotku hmotnosti jako chemické akumulátory. Nevýhodou je technologická náročnost výroby a z toho pramenící vysoká pořizovací cena, která nemůže konkurovat ostatním metodám akumulace.



Obr.33 Setrvačnicková baterie G2 testovaná na mezinárodní vesmírné stanici s 60 000 ot/min z kompozitních materiálů

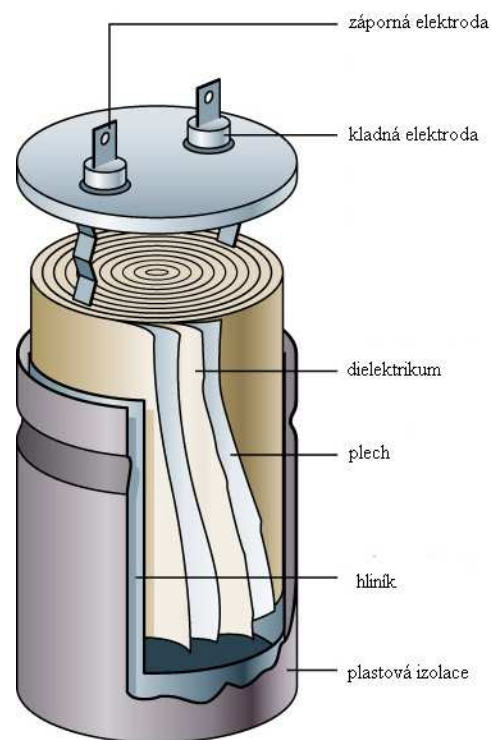
## 4.3 Elektrická akumulace

### 4.3.1 Kondenzátor

Kondenzátory jsou elektrotechnické součástky, které uchovávají elektrický náboj a tím i potenciální elektrickou energii. Používají se nejčastěji v elektrických obvodech jako filtrační prvky na odfiltrování stejnosměrné složky napájecího napětí.

Princip uchovávání energie (elektrického náboje) je následovný: Na dvě vodivé desky se přivádí elektrický náboj s opačnou polaritou, které se vzájemně přitahují elektrickou silou. Při kontaktu nábojů s opačnou polaritou se totiž náboje neutralizují. Dielektrikum vložené mezi tyto desky nedovolí aby se částice s nábojem dostaly do kontaktu a umožňuje tak uchování většího množství náboje. Konstrukce klasického kondenzátoru je na obrázku 34.

Kapacita kondenzátoru závisí na vlastnostech dielektrika, vzdálenosti, rozměrech a geometrickém uspořádání desek. Běžné typy kondenzátorů se vyrábějí v rozsahu jednotek pF až mikroF. Jejich kapacita je proto relativně malá (max asi 0,05 kWh) a pro skladování velkého množství energie nevyužitelná. Nové typy kondenzátorů, které běžně dosahují kapacity 1 až 1000 F se nazývají superkondenzátory, které v budoucnu mohou nahradit současné akumulátory. Množství energie uložené na jednotku hmotnosti je ale zatím nižší než u klasických elektrochemických akumulátorů (3-5 W.h/kg pro superkondenzátory a 30-40 W.h/kg pro akumulátory). Kvůli použití speciálních materiálů a výrobních technik je jejich cena značně vysoká (400-500 Eur/kWh). Jinak ale převažují výhody: velmi rychlé nabití a vysoké vybíjecí proudy, životnost okolo 500 000 cyklů a účinnost vyšší než 95%. V budoucnu si superkondenzátory zcela jistě najdou uplatnění jako krátkodobé zálohovací zdroje, nebo jako zdroje malých elektrických spotřebičů (mobilní telefony, mp3 přehrávače, atd.) určitě



Obr. 34

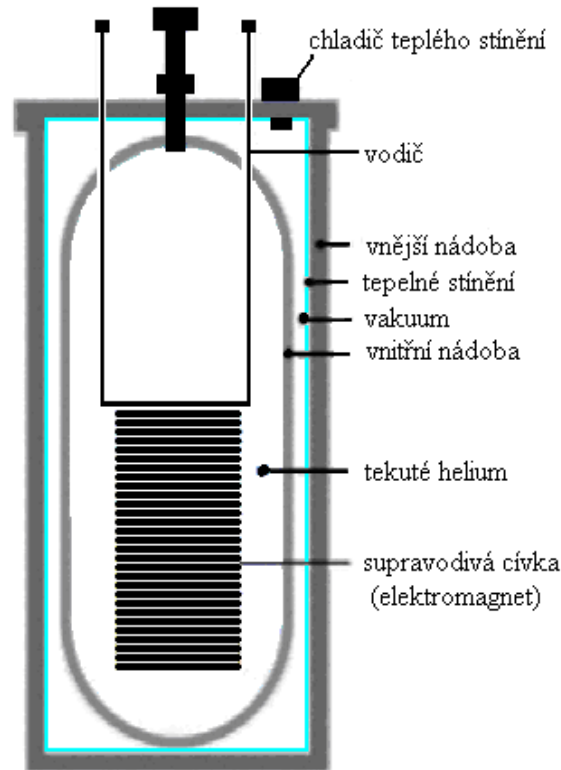
### 4.3.2 Supravodící magnetické akumulátory

Supravodivost byla objevena nizozemským vědcem jménem Kammerlingh Onnes, který si při experimentu v roce 1911 všiml, že elektrický odpor v rtuti ochlazeném heliem klesl na neměřitelnou hodnotu. Tento stav, při kterém odpor v látkách téměř zmizí byl pojmenován supravodivostí. V dnešní době umíme supravodivost vyvolat v řadě dalších kovů, slitin, dokonce i ve speciální keramice a ne jenom při teplotě kapalného helia. Provádí se mnoho experimentů s motory a generátory, které mají vinutí ze supravodivých materiálů a také se zkoumá možnost beztrátového přenosu elektrické energie supravodivými kabely.

Pojem supravodivý magnetický akumulátor energie (SMES) vznikl na půdě university ve Wisconsinu v 70-tých 20. století. Energie je akumulována v magnetickém poli vytvořeném stejnosměrným proudem v cínce ze supravodivého materiálu. V takovém



případě v cívce nedochází k odporovým ztrátám a je zřejmé, že jde o velmi výkonný způsob akumulace. K jediným ztrátám energie zde dochází při napájení chladicího zařízení, který udržuje cívku v supravodivém stavu. Typické zařízení SMES zahrnuje tři části: srdcem celého zařízení je supravodivá cívka, energetický systém s měničem napětí pro nabíjení a vybíjení a kryotechnika k udržení supravodivé teploty cívky. Při transformaci stejnosměrného napětí na střídavý dochází ke ztrátám 3-4% ale i tak dosahuje systém účinnosti kolem 95%



Obr. 35 Popis supravodivého akumulátoru

Kvůli vysoké spotřebě energie na chlazení a limitům množství uschovávané energie je systém SMES v současnosti používán jenom na krátkodobou dodávku elektřiny (0,1 – 1 sekunda). Proto je obvykle používána na zlepšení kvality energie. SMES systémy mohou mít výkony od 1 až do 100 MW. Vysoká cena supravodičů představuje hlavní omezení pro široké komerční využití této metody akumulace. Přesto se několik menších akumulátorů používá v závodech na výrobu čipů a polovodičových součástek, kde i výpadek několika málo sekund může způsobit velké škody ve výrobě. Tady se hodí jejich schopnost velmi rychlého přepnutí.

O budoucnosti supravodivých akumulátorů mluví studie, které se zabývají energetickými supravodivými akumulátory o kapacitě až 4 000 MW, schopných nahradit přečerpávací vodní elektrárny. Ztráty se započtením příkonu kryotechniky mají být menší než 1 %!

## 5. Všeobecné hodnocení akumuláčnych technologií

Chceme-li zhodnotit akumulaci energií jako celek, pak jednotlivé soustavy akumulování jsou porovnány v tab. 1 a 2. Tabulka 1 porovnává metody akumulace z hlediska technických parametrů. Tabulka 2. porovnává parametry, které lze použít pro základní propočty z ekonomického hlediska.

Druh	Soustava	Měrná hustota energie		Účinnost (%)	Kapacita (kw.h)
		( W.h.kg <sup>-1</sup> )	( kWh.m <sup>-3</sup> )		
Elektrický	kondenzátor	0,01 – 0,05		do 50	max asi 0,05
	cívka	10	do 20	90 – 95	10 <sup>5</sup> - >10 <sup>7+</sup> )
Elektrochemický	Pb/PbO <sub>2</sub>	35 – 50	(7 – 9). 10 <sup>5</sup>	<80	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5+</sup> )
	Ni/Cd	75	(5 – 8).10 <sup>5</sup>	<80	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>3</sup>
	Na/S	150 – 240		68	10 <sup>4</sup> - >10 <sup>5+</sup> )
	Li/S	130 – 230		68	10 <sup>4</sup> až >10 <sup>5+</sup> )
	Redox	<55		78 – 80	500 – 5000
Chemický	H <sub>2</sub> ( plyn) 15 MPa	39 000	405	22 – 52	
	H <sub>2</sub> (kapalina) hydrid	39 000 600	2600 3600	18 – 43 21 – 50	
	absorbce 4 MPa			20 – 47	
Mechanický	setrvačník	250 - 300	1400	85 - 95	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4+</sup> )
	CAES	34	17	40 – 45	<10 <sup>3</sup>
	stlačený vzduch			<67	>10 <sup>5+</sup> )
	Akumulační vodní nádrž			75 – 80	>10 <sup>7+</sup> )
Tepelný	Vodní zásobník (50 K)	60		50 – 90	>10 <sup>5+</sup> )
	Parní zásobník			60 – 90	
	Hydratovaná sůl	<70			
	Latentní teplo	<100		33	

+) – špičkově

Tab. 1 Vybrané technické parametry akumulací

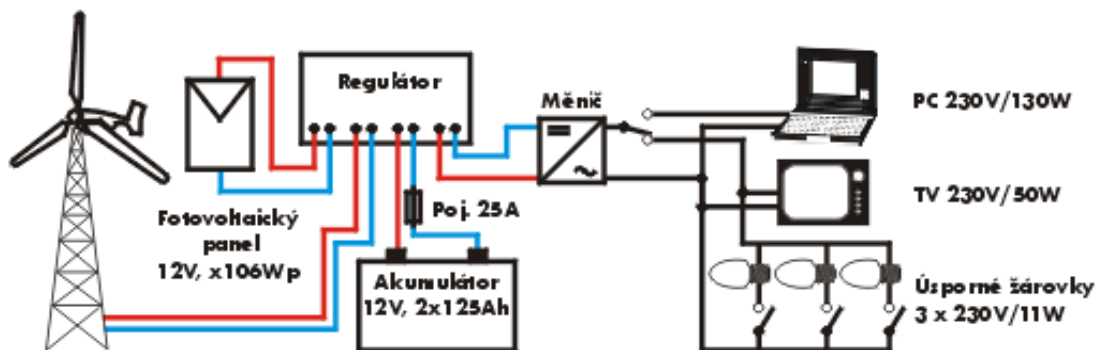
Ukazatel	chemická	Vodíková	tepelná	Setrvač- níková	Elektromag- netická	hydraulická	Pneuma- tická
Minimální ekonomická kapacita (MW.h)	10	10	$6 \cdot 10^2$	10	$10^4$	$10^4$	$10^2$
Výpočtové investice (EUR. $\text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	135	230	80 - 320	300	400 - 500	150 - 250	200
Životnost roků	10 - 20	30	20	20 - 30	30	70	50
Účinnost energetické přeměny (%)	70 - 80	40 - 55	vysoká	<95	90 - 95	70	45
Investice na 1 rok životnosti EUE. ( $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{r}$ ) <sup>-1</sup>	9 - 18	10	5 - 20	13,3	16,7 - 20	4 - 6	11,5

Tab. 2 Důležité ekonomické vlastnosti akumuláční soustavy

Poměr mezi hodnotami uvedenými v tab. X a tab. X bude znamenat určitý rámcový ukazatel pro vzájemné porovnání jednotlivých způsobů mezi sebou. Podle srovnání se jeví jako nejvýhodnější hydraulická akumulace, hlavně kvůli své dlouhé životnosti. Rozšiřování této technologie je naneštěstí značně omezený geografickými a geologickými podmínkami, takže je třeba zkoumat ostatní způsoby. Naopak jednoznačně nejdražší metodou je elektromagnetická akumulace, kvůli velmi drahým materiálům. Ostatní způsoby vycházejí přibližně na rovnaké úrovni.

## 6. Návrh systému s akumulací větrné energie

V současné době je na trhu značný výběr malých větrných elektráren s výkony několika jednotek kW, které jsou schopné poskytovat dostatečný výkon pro napájení chaty bez přístupu k elektrizační síti, nebo se podílet na napájení běžného rodinného domu. Neměli bychom ovšem zabudnout na změny ve výkonu větrné elektrárny a proto by měla být samozřejmostí akumulace elektrické energie v tomto případě nejčastěji do olověných akumulátorů. Navíc je vhodné doplnit solárními panely a systémem, který řídí přerozdělování výroby elektrické energie. Takáto kombinace je vhodná zejména proto, lebo když nefouká vítr, tak zvyčajně svítí slunce a naopak. Návrh takového systému můžeme prohlédnout na Obr. 36.



Obr. 36 Napájecí systém s kombinací VE, akumulátoru a fotovoltaického panelu

## 6.1 Výpočet energetických požadavků

V našem případě budeme řešit malou větrnou elektrárnu s akumulací větrné energie do olověného akumulátoru kdesi na hoře Vtáčnick při Žarnovici v SR, kde můžeme předpokládat rychlost větru kolem 8 m/s po dobu nejméně 10 hodin denně.

Spotřebiče elektrické energie	Výkon [ W ]	Denní využití [ h ]	Počet Spotřebičů
úsporná žárovka	15	3	6
trubicová zářivka	18	3	
stolní lampa	15	2	2
Počítač(notebook)	40	4	
LCD televize	70	3	
hudební mikro systém	60	4	
vodní čerpadlo	150	3	
chladnička	200	24	
mikrovlnná trouba	400	2	

### Výpočet požadované kapacity akumulátoru:

Vyjdeme ze vzorce pro výpočet výkonu střídavého proudu:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

P – výkon střídavého proudu [ W ]

U – napětí [ V ]

I – proud [ A ]

$\varphi$  - fázový posuv mezi proudem a napětím [ - ]

Protože se jedná o čisto odporové spotřebiče kde činný výkon je rovna zdánlivému – celý výkon je využit a proto je  $\varphi = 0$

Můžeme tedy spočítat hodnotu odebíraného proudu spotřebiči:

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U}$$

žárovky :  $I = P/U = ( 6 \times 15 ) / 230 = 0,4 \text{ A}$

zářivka :  $I = 18 / 230 = 0,08 \text{ A}$

stolní lampa:  $( 15 \times 2 ) / 230 = 0,13 \text{ A}$

počítač :  $40 / 230 = 0,17$

LCD televize :  $70 / 230 = 0,3 \text{ A}$

mikro systém :  $60 / 230 = 0,26 \text{ A}$

vodní čerpadlo :  $200 / 230 = 0,87 \text{ A}$

chladnička :  $300 / 230 = 1,34 \text{ A}$

mikrovlnná trouba :  $400 / 230 = 1,74 \text{ A}$

Spočítáme odběr elektrického náboje jednotlivých spotřebičů ze vzorce

$$Q = I \cdot t$$

Q – elektrický náboj [ Ah ]

t – doba odběru náboje [ h ]

žárovky :  $Q = I \times t = 0,4 \times 3 = 1,2 \text{ Ah}$

zářivka :  $0,08 \times 3 = 0,24 \text{ Ah}$

stolní lampa :  $0,13 \times 2 = 0,26 \text{ Ah}$

počítač :  $0,17 \times 4 = 0,68 \text{ Ah}$

LCD televize :  $0,3 \times 3 = 0,9 \text{ Ah}$

mikro systém :  $0,26 \times 4 = 1,04 \text{ Ah}$

vodní čerpadlo :  $0,65 \times 3 = 2,61 \text{ Ah}$

chladnička :  $0,86 \times 24 = 32,16 \text{ Ah}$

mikrovlnná trouba :  $1,74 \times 2 = 3,48 \text{ Ah}$

Požadovaná kapacita akumulátoru se vypočítá ze vztahu

$$Q_{\text{celk.}} \times \text{rezervní faktor} = [ \text{Ah} ]$$

$Q_{\text{celk.}}$  – náboj odebratý všemi spotřebiči

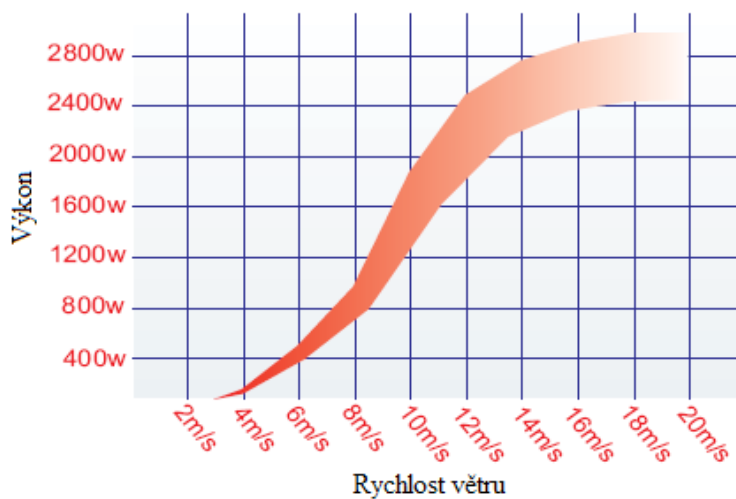
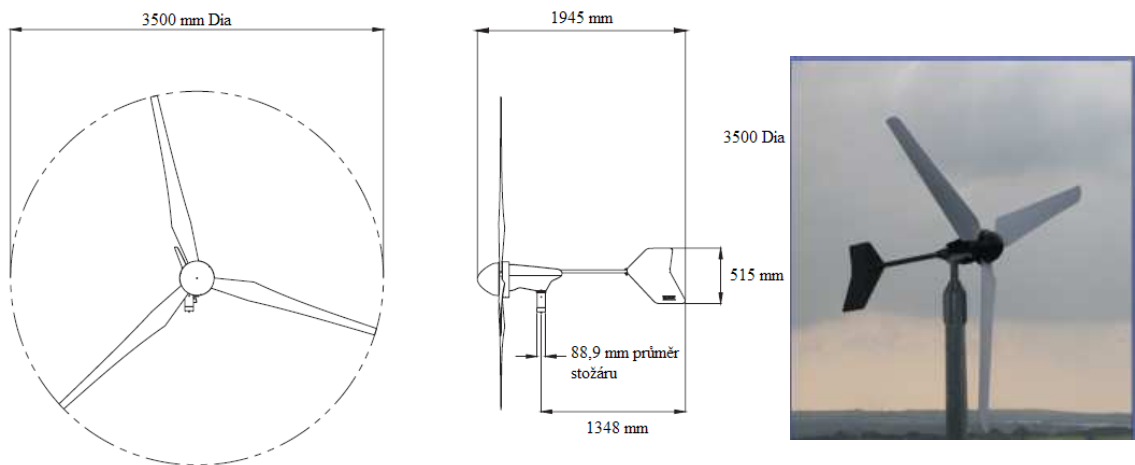
rezervní faktor – pro trakční akumulátory 1,7  
pro gelové akumulátory 1,3

$$( 1,2 + 0,24 + 0,26 + 0,68 + 0,9 + 1,04 + 2,61 + 32,16 + 3,48 ) \times 1,7 = \underline{\underline{72,37 \text{ Ah}}}$$

## 6.2 Návrh větrného motoru a akumulátoru

Zohledněním co nejnižších investičních nákladů pro náš účel nejlépe vyhovuje malá větrná elektrárna Merlin ( typ GA-MRLN-001 ) s výkonem 1100W od firmy Samrey generators & turbines s.r.o. s následovnými parametry:

<b>Navrhovaný výkon:</b>	1100 W ( 8 m/s ) a při 200 ot/min
<b>Výkon při 12 m/s:</b>	2500 W
<b>Maximální výkon:</b>	2900 W
<b>Napětí:</b>	240 V AC s integrovaným AC/DC měničem
<b>Průměr rotoru:</b>	3500 mm
<b>Minimální rychlost větru:</b>	3 m/s
<b>Odstavení:</b>	18 m/s
<b>Stožár:</b>	10-20 m
<b>Životnost:</b>	20 let
<b>Záručná doba na strojovnu:</b>	2 roky



Obr. 37 Výkonová křivka větrné elektrárny

Akumulátory do akumulačního systému třeba volit v závislosti na spotřebičích, které se hodláme použít. Vybíjení se totiž mění podle druhu spotřebičů a lze ji rozdělit přibližně takto:

- každodenné zatěžování ( rodinné domy, nočné osvětlení, atd' )
- sezónné vybíjení ( víkendy, dovolené a pod. )
- výjimečný odběr (poplašné systémy)

Pro každodenné zatěžování je vhodný vybrat akumulátor s co největší životností. Tomuto požadavku nejvíce vyhovují staniční baterie s životností kolem 1200 nabíjecích cyklů. Existují i speciálně pro potřeby větrné akumulace konstruované akumulátory, mají ale vyšší pořizovací cenu než předchozí typ. Kapacita staničních akumulátorů se mnohdy uvádí ve vztahu k 20 hodinovému provozu Pro občasně využití lze volit i jednoduché a levné startovací akumulátory, ale jejich životnost je omezena na dobu kolem tří let, nebo na přibližně 100 nabití-vybití.

Pro spočítanou požadovanou kapacitu baterie 72,37 Ah nejlépe vyhovuje akumulátor GPL12750 s kapacitou 75Ah od firmy CSB.

### 6.3 Ekonomické zhodnocení akumulačního systému

Spočítáme nejprve denní spotřebu elektrické energie všech spotřebičů:

Spotřebič	Výkon [ W ]	Denní využití [ h ]	Denní spotřeba [ W.h ]
Úsporná žárovka	15 x 6	3	270
Trubicová zářivka	18	3	54
Stolní lampa	15 x 2	2	60
Počítač(notebook)	40	4	160
LCD televize	70	3	210
Mikro systém	60	4	240
Vodní čerpadlo	200	3	600
Chladnička	300	24	7200
Mikrovlákná trouba	400	2	800
<b>Celková denní spotřeba</b>			<b>9594</b>

Při každodenném využití stejného množství energie se za rok spotřebuje  
 $365 \times 9594 \text{ Wh} = 3502 \text{ kWh}$  elektrické energie.

Investiční náklady na realizaci větrné elektrárny s akumulací energie jsou následovné:

#### Stavební část:

Vypracování projektu	5000 Kč
Betonový základ větrné elektrárny	9000 Kč

#### Funkční část:

větrná elektrárna (předpokladaná životnost 20 let)	129 600 Kč
- měnič je integrován v samotné elektrárně	
akumulátor GPL12750 (životnost 10 – 12 let)	4690 Kč

celkové investiční náklady (IN): **148 300 Kč**

Návratnost peněžních prostředků při financování vlastním kapitálem:

Roční výnos, nebo spíš v našem případě úsporu vypočítáme vynásobením průměrné ceny 1 kWh, která činí cca 4,2 Kč a celkové roční spotřeby.

$$CU = C \times RS = 4,2 \times 3502 = \underline{14\,708,4 \text{ Kč}}$$

CU – roční úspora [ Kč ]

C – průměrná cena 1 kWh [ Kč/kWh ]

RS – roční spotřeba [ kWh ]

Návratnost ( $T_{s1}$ ) získáme podělením investičních nákladů s roční úsporou:

$$T_{s1} = IN / CU = 148\,300 / 14\,708,4 = \underline{10,1 \text{ let}}$$

$T_{s1}$  – návratnost

Návratnost při kterém se využije 50%-ná státní dotace na stavbu OZE se počítá:

$$T_{s2} = (IN / 2) / CU = (148\,300 / 2) / 14\,708,4 = \underline{5,05 \text{ let}}$$

$T_{s2}$  – návratnost se státní dotací

## 7. Závěr

Ve své práci jsem se zabýval větrnými elektrárnami, jejich hlavními částmi, rozdělením podle konstrukce a výkonu. Rozdělení větrných elektráren, které uvádím neobsahuje všechny vynalezené, ani zkonstruované typy větrných rotorů, ale z hlediska základního uspořádání je dostačující. Rozhodnout zda postavit či nepostavit větrnou elektrárnu záleží zejména na rychlosti větru v dané oblasti. Vítr je neregulovatelný a proměnlivý zdroj energie a proto je její výkon velmi nespolehlivý, proto jsem se zabýval v další části své bakalářské práce s technologiemi akumulace energie. Vyjmenoval jsem a popsal typy akumulačních metod a zhodnotil je z technologického a ekonomického hlediska.

Vyrábět si vlastní energii a neplatit za ní elektárenským spoločenstvem se zdá být lákavou investicí, pokud ale bereme v úvahu financování větrné elektrárny s akumulací z vlastních zdrojů, je zřejmé z návratnosti  $T_{s1}$ , že se jedná o dlouhodobou investici, kterou je třeba si dobře rozmyslet zda se vyplatí. To ale neplatí při financování s pomocí státní dotace, která značně snižuje dobu návratnosti. Ziskovost je značně závislá na výši investičních nákladů a životnosti zařízení. Výška měrných nákladů na 1 kW větrné elektrárny roste, klesající velikostí elektrárny. Nejlevněji vychází vyrobená energie při výkonech 300 až 500 kW. Je vhodné malou větrnou elektrárnu skombinovat s jinými zdroji obnovitelných energií, např. s fotovoltaickými články, protože se takto vyrovnává fluktuace výkonu.



## 8. Seznam použité a doporučené literatury:

### Literatura:

- [1] V.Rychetník, J.Janoušek, J.Pavelka : Větrné motory a elektrárny, Praha, 1997, ČVUT
- [2] Fritz Crotofino, Klaus-Uwe Mohmeyer, Dr.Roland Scharf : Huntorf CAES: More than 20 Years of Successful Operation, spring 2001, Orlando, Florida, USA
- [3] Petr Křivák, Petr Bača : Současné možnosti akumulace elektrické energie ve fotovoltaických aplikacích, Ústav elektrotechnologie, FEKT Vysoké učení technické v Brně
- [4] Jan Kazda : Supravodivý akumulátor energie, Západočeská Univerzita v Plzni, 2004
- [5] Jan Gregor, Lukáš Radil, Jiří Uher : Nové možnosti akumulace velkých objemů elektrické energie, FEKT VUT v Brně
- [6] Daniel Vašata, Jan Hošek, Emil Doležal : Setrvacníky a jejich využití, FJFI, CVUT
- [7] Ing. Václav Kolár : VÝROBA A ROZVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE, VŠB-TU Ostrava 2005
- [8] Ing. Jan Motlík, CSc., Libor Šamánek, RNDr. Josef Štek : Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR, Praha, 2007
- [9] Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D. : Olověné akumulátory, Západočeská Univerzita v Plzni
- [10] Ing. Michal Šváb, *ENVIROS, s.r.o.* Trendy ve vývoje vodíkového hospodářství, Česká energetická agentura, 2006
- [11] Zdeněk Bukáček : Větrné elektrárny se savoniovým rotorem, VUT v Brně, 2007
- [12] I. Jiříček, V. Rábl : Výroba vodíku, 2005

### Elektronické zdroje:

- [13] [www.simopt.cz/energyweb/web/index.php](http://www.simopt.cz/energyweb/web/index.php)
- [14] [xerius.jergym.hiedu.cz](http://xerius.jergym.hiedu.cz)
- [15] [cs.wikipedia.org](http://cs.wikipedia.org)
- [16] [czech.eco-energy.info](http://czech.eco-energy.info)
- [17] [si.vega.cz/clanky/vodikove-hospodarstvi/](http://si.vega.cz/clanky/vodikove-hospodarstvi/)
- [18] [www.electricitystorage.org](http://www.electricitystorage.org)
- [19] [www.ckdnoveenergo.cz](http://www.ckdnoveenergo.cz)
- [20] [automatizace.hw.cz/clanek/2006102901](http://automatizace.hw.cz/clanek/2006102901)
- [21] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- [22] <http://diskuse.elektrika.cz/index.php/topic,1599.0.html>
- [23] [proatom.luksoft.cz](http://proatom.luksoft.cz)
- [24] [old.mendelu.cz](http://old.mendelu.cz)
- [25] [www.energ.cz](http://www.energ.cz)
- [26] [www.ekovatt.cz](http://www.ekovatt.cz)

- [27] [www.energetika.cz](http://www.energetika.cz)
- [28] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- [29] [www.elektrika.cz](http://www.elektrika.cz)
- [30] [www.kalista.cz](http://www.kalista.cz)
- [31] [www.k-report.cz](http://www.k-report.cz)
- [32] [www.alternativni-zdroje.cz](http://www.alternativni-zdroje.cz)
- [33] [www.vrbeasteurope.sk](http://www.vrbeasteurope.sk)
- [34] [jartiuch.wordpress.com](http://jartiuch.wordpress.com)
- [35] [www.xantiacub.cz](http://www.xantiacub.cz)
- [35] [www.infojet.cz](http://www.infojet.cz)