



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ A JEJÍ AKUMULACE

ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES AND ITS STORAGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ NAVRÁTIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. et Ing. JAN ŠKVAŘIL

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Navrátil

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energie z obnovitelných zdrojů a její akumulace

v anglickém jazyce:

Energy from renewable sources and its storage

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je problematika výroby a uskladnění energie z obnovitelných zdrojů se zaměřením na elektrickou energii.

Cíle bakalářské práce:

1. Proved'te rešerši obnovitelných zdrojů energie a akumulace energie.
2. Zhodno'te možnosti využití obnovitelných zdrojů energie a akumulace energie v praxi.

Seznam odborné literatury:

Motlík J., Šamánek L., Štekl J., et al.: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, Praha, ČEZ, a.s., 2007. 144 s.

Mukund R. Patel: Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation, Taylor & Francis, Inc., 2005, ISBN 0-8493-1570-0

Cenka M.: Obnovitelné zdroje energie, Praha, FCC PUBLIC, 2001, 2. upravené a doplněné vydání, 208 s, ISBN 80-901985-8-9

Vedoucí bakalářské práce: Ing. et Ing. Jan Škvařil

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 22.10.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Práce se zabývá obnovitelnými zdroji energie a možnostmi akumulace. Je zaměřena na výrobu elektrické energie. Jsou zde představeny druhy obnovitelných zdrojů vhodné k výrobě elektřiny. Ve druhé části je přehled všech systémů používaných k akumulaci energie. V závěru práce je provedeno zhodnocení obnovitelných zdrojů a porovnání způsobů akumulace.

Abstract:

This work deals with renewable sources of energy and storage options. It is focused on electricity generation. There are presented types of renewable resources suitable for electricity production. The second part is an overview of all systems used for energy storage. In the conclusion is an assessment of renewable sources and a comparison of methods of energy storage.

Klíčová slova:

Obnovitelné zdroje, energie, akumulace, vodní, solární, vodní.

Key words:

Renewable sources, energy, accumulation, wind, solar, water.

Bibliografická citace

Navrátil, O. *Energie z obnovitelných zdrojů a její akumulace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 39s. Vedoucí diplomové práce
Ing. et Ing. Jan Škvařil

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Energie z obnovitelných zdrojů a její akumulace vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. et Ing. Jana Škvařila. Vycházel jsem ze svých znalostí, odborných konzultací a z použitých pramenů a literatury uvedených v Seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 27. května 2010

Ondřej Navrátil

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. et Ing Janu Škvařilovi, za odborné vedení, cenné rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce. Rád bych také poděkoval rodině za její trpělivost a porozumění ve dnech strávených psaním této bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Druhy obnovitelných zdrojů	8
2.1 Sluneční energie	8
2.1.1 Fotovoltaické panely	8
2.1.2 Solární komíny	9
2.1.3 Solární žlaby	10
2.1.4 Solární věže.....	11
2.2 Voda	12
2.2.1 Typy turbín.....	13
2.2.2 Přílivové – slapové elektrárny	14
2.3 Větrná energie	14
2.3.1 Konstrukce větrné elektrárny	15
2.4 Další druhy obnovitelných zdrojů energie	16
2.4.1 Biomasa.....	16
2.4.2 Geotermální energie	17
3. Akumulace energie	18
3.1 Elektrochemické akumulátory	18
3.1.1 Olověné akumulátory	18
3.1.2 NiCd akumulátory.....	20
3.1.3 NiMH akumulátory	20
3.1.4 Ostatní typy	20
3.1.5 Výhody a nevýhody	20
3.2 Setrvačnickové baterie	21
3.2.1 Výhody a nevýhody	22
3.3 Stlačený plyn	23
3.3.1 Výhody a nevýhody	24
3.4 Akumulace vody	24
3.4.1 Výhody a nevýhody	25
3.5 Supravodivé magnetické zásobníky	26
3.5.1 Výhody a nevýhody	26

3.6	Superkondenzátory.....	27
3.6.1	Výhody a nevýhody	27
3.7	Tepelné zásobníky.....	27
3.7.1	Zásobníky k vytápění budov.....	27
3.7.2	Tepelné zásobníky k výrobě elektrické energie	28
4.	Technicko – ekonomické zhodnocení.....	30
5.	Závěr	34
6.	Bibliografie	35
	Seznam zkratek.....	38
	Seznam obrázků.....	39
	Seznam tabulek.....	39

1. Úvod

Žijeme v době, kdy jsme si zvykli na dostatečné množství levné energie. Energetické otázky nás dlouho nezajímaly. V současnosti, kdy raketově stoupá spotřeba energie ve světě, musíme zajistit dostatečné množství pro všechny. Od roku 2001 do roku 2007 se spotřeba elektrické energie u deseti států, které jsou největšími odběrateli na světě, zvýšila o 26%. [1] Do roku 2050 očekávají ekonomičtí analytici, že se státy označované jako BRIC (Brazílie, Rusko, Indie, Čína) stanou vedoucími ekonomikami světa. S hospodářským růstem těchto ekonomik bude stoupat i jejich spotřeba elektřiny. Je důležité, abychom sestavily rozumný energetický mix. Zabezpečit vzrůst poptávky nejen v těchto státech by částečně mohly i obnovitelné zdroje energie (OZE).

Většina vědců se domnívá, že se nezadržitelně blíží doba vyčerpání zásob fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn). Nárůst spotřeby a následné snížení dodávky fosilních paliv se musí začít řešit. S tímto úzce souvisí potřeba alternativního druhu energie.

Největšími výhodami OZE oproti konvenčním zdrojům elektrické energie (uhelné, jaderné elektrárny) je fakt, že nepotřebují žádné palivo pro svůj provoz a při výrobě nevznikají žádné nežádoucí odpadní produkty (mimo energii z biomasy).

Podpora obnovitelných zdrojů energie je i ze strany většiny vlád. Při podpisu Kjótského protokolu v roce 1997 se země společenství OSN zavázaly snížit o 5,2 % podíl šesti skleníkových plynů vypouštěných do ovzduší do roku 2012. Hodnoty vypouštěných plynů budou porovnávány s hodnotami z roku 1990 respektive 1995. K ratifikaci bylo nutné, aby smlouvu podepsalo alespoň 55 států a aby podíl států v Dodatku I činil alespoň 55%. Smlouva vstoupila v platnost po dlouhých jednáních až v roce 2004. [2]

Další mezinárodní smlouvou, která upravuje výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů v EU je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/77/ES ze dne 27. září 2001, ve které se členské státy zavázaly zvýšit podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na 12% z celkové roční spotřeby elektřiny do roku 2010.

Na konci roku 2009 se také uskutečnilo jednání státníků na ekologickém summitu OSN v Kodani. Bohužel, vzhledem k neshodám politických představitelů vzešla z jednání nezávazná dohoda. Státníci pouze schválili ustanovení o snížení emisí skleníkových plynů a vzali na vědomí, že růst průměrné teploty na planetě Zemi by neměl překročit 2 °C ročně. Žádné limity ani kontrolní mechanismy ale nebyly schváleny. Jednání má pokračovat v roce 2010. [3]

Práce je rozdělena do tří kapitol. První částí je zaměřena na stručný popis jednotlivých obnovitelných zdrojů vhodných k výrobě elektrické energie a na způsob výroby elektřiny z nich. V druhé kapitole jsou nastíněny možnosti akumulace energie. V poslední kapitole je provedeno zhodnocení obnovitelných zdrojů a porovnání způsobů akumulace.

2. Druhy obnovitelných zdrojů

Pro účely práce nejprve shrnu druhy obnovitelných zdrojů a možnosti výroby elektrické energie z nich.

2.1 Sluneční energie

Slunce můžeme považovat za základní zdroj života na zemi. Je to žhavá koule složená z vodíku a helia. V jádru dochází k termonukleární reakci, během níž dochází k vzniku velkého množství energie. Bez energie, které slunce vyzařuje do okolního vesmíru, by na naší Zemi byla teplota - 270°C.

2.1.1 Fotovoltaické panely

Základním systémem pro výrobu elektrické energie ze slunečního záření jsou fotovoltaické panely využívající specifických vlastností polovodičových materiálů. Fotovoltaický článek se skládá ze 2 vrstev krystalického křemíku. Vrstvy jsou upraveny tak, že horní tvoří polovodič typu N a spodní typ P. [4] Účinnost fotovoltaických panelů se dle různých zdrojů pohybuje v rozmezí 14-17%, ale v laboratorních podmínkách bylo dosaženo i účinnosti 40%. Pro výrobu elektřiny využíváme pouze určitou část světelného spektra. K maximálnímu využití dochází při dopadu elektronů v rozmezí 1,1 eV¹ až 1,7 eV. Tuto skutečnost označujeme Shockleyův-Queisserův limit neboli Zakázané pásmo. [5] U fotonů s vyšší energií se spotřebuje pouze odpovídající část, fotony s nižší energií projdou skrz bez užitku.

V roce 2008 nastal v ČR obrovský rozmach výstavby solárních elektráren s fotovoltaickými panely. Aby stát dodržel evropskou Směrnicí 2001/77/ES byla uměle zvýšena výkupní cena energie ze solárních elektráren. Tento rozvoj byl z velké části způsoben i spekulativními investicemi do výstavby. Z obav o přetížení přenosové sítě a z velkého navýšení kapitálu potřebného k vyplácení výkupních cen byl v roce 2010 systém dotací omezen.

V následujícím přehledu jsou uvedeny nejvýznamnější typy materiálů, používaných ke konstrukci solárních panelů. V grafu č. 1 je zobrazen podíl jednotlivých polovodičových materiálů ve světě.

Monokrystalické panely

V současné době nejrozšířenější generace panelů, využívá technologii křemíkových článků. Křemíkové krystaly jsou vyráběny tažením křemíkových tyčí o délce až 300 mm. Ty se poté rozřežou na tenké podložky. Nevýhodou je velká spotřeba křemíku a ostatních

¹ eV - Elektronvolt – jednotka energie a práce, rovná se kinetické energii, kterou elektron získá urychlením ve vakuu napětím jednoho voltu. [30]

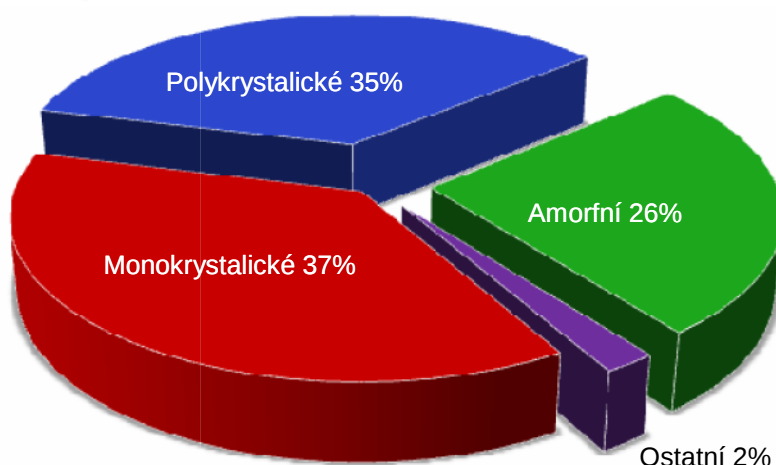
prvků. Křemík je sice nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře, ale ostatní používané prvky by se mohly brzy stát nedostatkovými. Účinnost je asi 13 – 17%.

Polykrystalické panely

K jejich výrobě se používá také křemík, ale jednotlivé podložky jsou menší. Z toho vyplývá, že jsou levnější. Bohužel i účinnost je nižší. Pohybuje se kolem 14 %, výjimečně až 16 %. Tyto panely využívají i nepřímé sluneční záření. Není nutné je natáčet a ideálně směřovat jako monokrystalické panely.

Amorfní panely

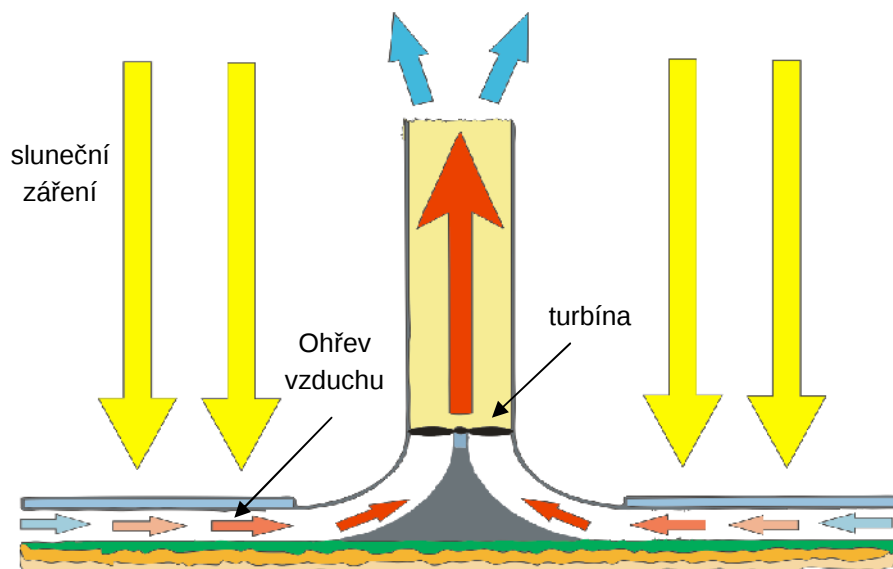
Tenká vrstva napařovaného křemíku je nanесena na sklo nebo fólii. Účinnost je nejnižší, pohybuje se kolem 8%. Tyto panely patří k nejlevnějším. Jsou vhodné pro použití, kde není investor omezen prostorem. Pro stejný výkon jako monokrystalické panely potřebujeme 2x větší plochu.



Graf 1: Použití polovodičových materiálů ve světě [4]

2.1.2 Solární komíny

Princip solárního komínu je založen na přirozeném proudění vzduchu, kdy se využívá skutečnosti, že horký vzduch stoupá vzhůru. Plocha elektrárny je pokryta skleněnou „střechou“, uprostřed je komín, kterým proudí horký vzduch ohřátý v prostoru mezi zemí a skleněnou vrstvou do chladnějších vrstev atmosféry. V nasávacích otvorech, umístěných u paty komínu jsou zabudovány větrné turbíny, ty jsou proudem vzduchu roztáčeny a generují elektrický proud. Turbíny mohou být umístěny i v samotném komínu, tak jak je to na obrázku 1. [6]



Obrázek 1 Princip solárního komína

2.1.3 Solární žlaby

Moderní technologie výroby elektřiny ze slunečních paprsků. Jedná se vlastně o běžnou parní elektrárnu, která nevyužívá k ohřevu vody spalování paliva v kotli, ale důmyslný systém parabolických zrcadel. Počítačově řízené zrcadlové žlaby (obr. 2) soustředí paprsky slunce do ohniska, ve kterém vede potrubí s teplotonosnou kapalinou (speciální olej). Olej předává tepelnou energii vodě, která se mění na páru a horká pára pohání turbínu s generátorem.

Nevýhodou tohoto řešení je velká spotřeba vody. Např. elektrárna ANDASOL ve Španělsku spotřebuje 27,6 litrů vody za vteřinu, zajistit tak velké množství vody v suchých oblastech může být obtížné. Podrobněji je popsána elektrárna Andasol v kapitole 3.7.2.

Druhým, velice výrazným, nedostatkem je ekonomická náročnost. Postavit elektrárnu s výkonem 2 bloků JE Temelín by stálo asi 500 miliard korun (cca polovina státního rozpočtu ČR). [7]



Obrázek 2. Elektrárna Andasol, Španělsko [8]

2.1.4 Solární věže

Elektrárna je složená ze zrcadel uspořádaných do kružnice nebo půlkružnice. Zrcadla směřují paprsky na špičku věže (do ohniska), která je umístěna v jejich centru. Teploty v tepelném sběrači se pohybují mezi 500 až 1500 °C. Na vrcholu věže se ohřívá teplovodivé médium, které se odvádí do transformační jednotky. V ní se tepelná energie předává vodě v sekundárním okruhu, která se mění na páru a roztáčí parní generátor. Příkladem takového zařízení je elektrárna Solar Two v USA na obrázku 3.



Obrázek 3 Elektrárna Solar two, Mohavská poušť, USA [9]

2.2 Voda

Voda je životodárná kapalina, bez ní by život na naší planetě nebyl možný. Základním principem při výrobě elektřiny z vody je využití její kinetické energie. Pohybovou energii voda získává ze svého koloběhu. Ten funguje, díky nekončícímu vypařování do atmosféry a následným působením gravitačního pole země, již miliardy let. Už staří egyptané si uvědomovali, že tento proces, je možný jen díky slunečnímu záření. Využití pohybové energie vody jako obnovitelného zdroje, spočívá nejčastěji v její přeměně na energii rotačního pohybu a poté v generátorech na energii elektrickou.

Princip transformace kinetické energie vody na rotační energii se používá od starověku, kdy vznikaly první vodní mlýny. Mlýnská kola se roztáčela a díky důmyslným převodovým mechanismům byly poháněny stroje na mletí mouky, vodní hamry apod. První vodní turbíny byly zkonstruovány až v 19. století.

Svou polohou je Česká republika vhodná k použití vodních elektráren. Nachází se na rozvodí tří moří a většina řek u nás pramení. Jelikož kopcovitý povrch dává řekám potřebný spád, tak možnost využití je daleko více než v nížinatých oblastech. [4]

Vodní elektrárny se dělí podle výkonu na 2 základní druhy.

- Malé vodní elektrárny: mají výkon do 10 MW
- Velké vodní elektrárny: ty mají výkon 10 a více MW

V současné době už se kvůli ekologickým dopadům s žádným větším vodním dílem v „západním“ světě, ale ani u nás nepočítá. Mimo Afriku a Asii je většina lokalit vhodných pro stavbu elektráren již využita. S rozrůstající hustotou osídlení je prosazení a vybudování velkých elektráren ve vhodných lokalitách téměř nemožné.

Možností pro vybudování malých vodních elektráren je ale stále dost. V České republice tvoří dosud využitý potenciál u MVE zatím asi 1/3 z celkového možného výkonu 1570 GW h/rok. [10]

Malé vodní elektrárny mají nezastupitelnou roli ve výrobě elektřiny v řadě zemí, např. v Rakousku nebo v Severských zemích. Většina řek u nás pramení. V ČR je stále dostatek lokalit vhodných k výstavbě MVE, jejich síla je ale rozptýlená na velkém území. Mohou být využity například i lokality po starých vodních mlýnech apod.

2.2.1 Typy turbín

Konstrukčních provedení vodních turbín je celá řada, v přehledu uvádím jen ty nejpoužívanější (obr. 4).

- Násoskové turbíny – jednoduché vrtulové turbíny, průměr 300-600 mm, pro malé zdroje energie. Vhodné pro spád 2 - 6 m, účinnost 72-80%. [4]
- Peltonova turbína - vhodná pro malé průtoky a velké rozdíly hladin, rovnotlaká, vhodná pro vyšší tlaky (v horských oblastech), spády vyšší než 30 m. Rychlost proudu vody je vyšší, než obvodová rychlost kola.
- Francisova turbína - vhodná pro aplikace, kde je možné zajistit konstantní průtok a rozdíl hladin (2- 200m). Je to přetlaková turbína, je možné ji používat i jako reverzní v přečerpávacích elektrárnách.
- Kaplanova turbína – můžeme nastavovat postavení lopatek, proto je vhodná do oblastí s nestálým průtokem. V ČR nejpoužívanější. Pro spády 2-80 m. [11]
- Bánkiho turbína – jednoduchá rovnotlaká turbína. Odolná, jednoduše vyrobitelná, jedná se o válcovou turbínu. Účinnost turbíny závisí na průtoku vody, minimálně je však 65%. Je vhodná pro spády 5-60 m [4]



Obrázek 4 Oběžná kola vodních turbín – Francisova, Kaplanova, Peltonova, Bánkiho [12] [13]

2.2.2 Přílivové – slapové elektrárny

Slapové vodní elektrárny využívají změn výšky vodní hladiny, během přílivu a odlivu, které jsou způsobeny gravitačními silami Země a Měsíce. Často se jedná o hráze kolem pobřeží, v nichž jsou umístěny turbíny. Voda pohání turbínu prouděním při střídavých změnách výšky vodní hladiny. Tyto elektrárny jsou zatím ve vývoji, jejich účinnost není příliš vysoká. Navíc často ničí unikátní podmořský život v pobřežních oblastech.

Největší přílivová elektrárna je ve Francii u Saint Malo. Rozdíl hladin moře je jeden z největších na světě. Dosahuje až 14 metrů. Elektrárna se nachází v ústí řeky Rance. Má 24 turbín o průměru 5,8 m. Maximální výkon je 240 MW. [12]

2.3 Větrná energie

Větrná energetika se zabývá využíváním energie větru k výrobě elektrické energie. Vítr vzniká následkem rozdílných tlaků v atmosféře. Masy vzduchu se pohybují z míst s vyšším tlakem do míst s nižším tlakem. Větrného proudění jako zdroj energie se využívá od starověku, v této době vznikaly jak vodní mlýny, tak mlýny větrné.

Prosadit stavbu větrné elektrárny bývá často velmi složité. Větrné elektrárny mají řady odpůrců, negativní názory jsou hlavně na to, že vítr neproudí stále. V průběhu roku klesá využitelnost během období, kdy je absolutní bezvětří, nebo také během dní, kdy je tak silný vítr, že musí být elektrárna odstavena. Velmi často kritizovanou vlastností je i hlučnost větrné elektrárny. Aerodynamický hluk je způsoben obtékáním proudu vzduchu kolem listů vrtule a gondoly. A dále je hluk vytvářen mechanickými částmi – převody, spojkou, generátorem. Obvodová rychlost konců listů by měla být do 60 m/s. Při vyšších rychlostech vzniká trvalý rušivý hluk. [4] Problémům s hlukem se dá předcházet stavbou zařízení ve vzdálených oblastech nebo na mělčinách v pobřežních vodách oceánů (viz obr. 5). Diskutabilní je také zásah do estetického vzhledu krajiny. Odpůrci argumentují faktem, že větrníky narušují přirozené výhledy.

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím vhodnost lokality pro výstavbu VE², je rychlost větru. Požadovaná průměrná rychlost v dané lokalitě musí být alespoň 6 m/s. Ekonomicky využitelná je rychlost od 5 m/s do 25 m/s. Při rychlostech 25 m/s a vyšších se větrné elektrárny vypínají, aby nedošlo k poškození.



*Obrázek 5 Větrná farma v průlivu La Manche, u pobřeží Holandska.
(foto archiv autora)*

2.3.1 Konstrukce větrné elektrárny

Konstrukční stránka výroby energie je již dostatečně zpracována. Vychází z mnoha zkušeností získaných ze stovek elektráren po celém světě, kdy některé jsou v provozu i desítky let. Základními stavebními prvky je sloup (stožár), gondola s technickým zařízením, vrtulová hlava a vrtulové listy.

Sloup může být kónický, válcový nebo příhradový (podobně jako stožáry elektrického vedení). Listy vrtule jsou připojen k vrtulové hlavě, ta mnohdy obsahuje i mechanismus pro natáčení lopatek. Tímto se optimalizuje výkon celé elektrárny. V gondole je vrtule napojena přes spojku a převodovku na generátor.

² VE – Větrná elektrárna

2.4 Další druhy obnovitelných zdrojů energie

V následující kapitole popíši ještě dva druhy OZE – biomasu a geotermální energii. Tyto dva zdroje jsem se rozhodl popsat zjednodušeně. Oba dva zdroje jsou plnohodnotnými druhy OZE, ale jsou poněkud specifické. Energii z nich vyrobenou není potřeba akumulovat v drahých zařízeních. Biomasu stačí uskladnit ve skladech nebo zásobnících ještě před samotnou výrobou elektřiny a geotermální energie proudí k povrchu planety téměř nepřetržitě.

2.4.1 Biomasa

Definice biomasy nám říká, že se jedná o hmotu organického původu. Jedná se o nejvýznamnější obnovitelný zdroj. Ve skutečnosti jde o akumulovanou formu slunečního záření. Lidstvo používá biomasu již od objevu ohně. Dřevo slouží jako palivo již desítky tisíc let. Archeologické záznamy dokazují, že v době 50 – 100 tisíc let př. n. l. člověk pravidelně používal oheň. [14] Až v současné době jsou technologie zpracování biomasy na nejvyšší úrovni. Potřebné palivo – rostlinné i fekální hmoty neustále dorůstají. V energetice se nejvíce využívá suchá biomasa (dřevo, sláma, zemědělské zbytky, energetické rostliny), nebo mokrá biomasa (kejda).

Procesy při spalování biomasy:

- termochemické procesy (Spalování, zplynování, pyrolýza)
- biochemické procesy (metanové, lihové kvašení, výroba biovodíku)
- lisování olejů a následná úprava (výroba bionafty a přírodních maziv) [15]

Obor zpracování biomasy je natolik komplexně propracován, a rozsáhlý, že jeho popis je na samostatnou práci. Proto popíši jen 2 základní procesy – výroba bioplynu a spalování tuhé biomasy (dřevěných pelet).

Bioplynové stanice jsou zařízení pro anaerobní fermentaci organických látek. Jejich hlavním produktem je bioplyn, který můžeme dále používat jako zdroj energie. Je důležité mít precizně zpracovaný projekt pro bioplynovou stanici, stanice potřebuje mít zajištěné dodávky paliva i odbytiště vyrobeného plynu a odpadního tepla.

Dřevěné pelety jsou ekologické palivo. Jedná se o slisovanou dřevní hmotu ve tvaru válečků o průměru 6 – 20 mm a délce 1 – 5 cm. Jsou určeny ke spalování ve speciálně upravených kotlích. Vhodné jsou zejména k vytápění menších objektů nebo rodinných domů. K výhodám patří hlavně jednoduché skladování (v pytlích) v suchém prostředí s neomezenou dobou skladování a minimální popel při spalování.

2.4.2 Geotermální energie

Teplo, které se vytváří v zemském jádru, můžeme také využít k výrobě energie. Existují dva způsoby jak zprostředkovat jeho využití. Ze středu Země teplo postupuje k povrchu, kde ohřívá podzemní vody. V místech, kde je zvýšená tektonická činnost, vystupují horké prameny na povrch. Tyto lokality jsou vhodné k stavbě geotermálních elektráren. Horké prameny mohou být použity k vytápění budov a skleníků, nebo mohou být napojeny na turbíny generující elektrický proud.

Druhým způsobem jak se k tepelné energii dostat, je pomocí hlubokých vrtů. V některých oblastech je nárůst teploty až 55°C na 1 km hloubky. Do vrtu se přivede teplonosné médium, které se v podzemí ohřeje a následně přivede na povrch.

Nevýhodou geotermální energie je fakt, že je dostupná jen v určitých lokalitách. Ve světě je pouze mizivé procento těchto elektráren. Největší význam má ale tento druh OZE na Islandu, kde se používá k ohřevu vody, vytápění budov i k dodávkám elektřiny. Další podstatnou nevýhodou je fakt, že stavba geotermální elektrárny je velmi nákladná.

[15]

3. Akumulace energie

Elektrická energie je univerzálním nosičem potenciálu. Můžeme ji snadno konvertovat na jiný druh energie, například na mechanickou energii motoru, nebo na tepelnou energii ohřívače apod. Nevýhodou elektrické energie je to, že se obtížně skladuje. V současnosti je téměř všechna vyrobená energie okamžitě spotřebována v síti. Neexistují žádná skladiště pro přebytečnou elektřinu, která by se použila v případě nedostatku nebo výpadku dodávek. [16]

S tímto úzce souvisí i problematika energie vyrobené z OZE. Největším nedostatkem obnovitelných zdrojů je fakt, že zdroje energie jsou nestálé. Slunce svítí zrovna, když elektřinu nepotřebujeme, vítr fouká nepravidelně, atd. Všechny obnovitelné zdroje jsou ovlivňovány počasím, klimatickými podmínkami, ročním obdobím, denní dobou atd.

V této kapitole jsou uvedeny následující způsoby akumulace energie:

- Elektrochemické akumulátory
- Setrvačníky
- Supravodivé cívky
- Stlačený vzduch
- Přečerpávací vodní nádrže
- Supravodivé cívky
- Superkondenzátory
- Akumulační nádrže

3.1 Elektrochemické akumulátory

Akumulátor je zařízení, které slouží k opakovanému ukládání a vybírání elektrické energie. Základním parametrem každého akumulátoru je jeho kapacita – množství elektrické energie, které je akumulátor schopen akumulovat a zase vydat. Udává se v Ah^3 . Vyrábí se v kapacitách 1-10 000 Ah. Dalším parametrem je životnost akumulátoru. Ta se udává jako doba, za kterou se celková kapacita sníží na 80% původní hodnoty.

3.1.1 Olověné akumulátory

Jsou nejběžněji používané druhy akumulátorů. Jejich výroba je poměrně dobře zvládnutá. Vyrábějí se v různých kapacitách. Používají se u téměř 99% aplikace při akumulaci energie z PV panelů. [17]

³ Ah – Ampérhodina. Hodnota 10 Ah znamená, že akumulátor dokáže dodávat proud 1 A po dobu 10 hodin nebo také 10 A po dobu 1 hodiny atd. [31]

Základem akumulátoru je článek s olověnými elektrodami, které jsou ponořeny v elektrolytu kyseliny sírové (nazýváme také automobilový design). Většina akumulátorů je složena z několika článků (několik párů olověných desek mezi kterými je roztok kyseliny).

Rozlišujeme 3 základní druhy olověných akumulátorů:

- Startovací – někdy také mělký cyklus – je vhodný zejména pro použití v automobilech, protože dokáže rychle dodat velké množství energie.
- Staniční – akumulátory, které slouží jako záložní zdroje. Jsou neustále zapojené do sítě, kdy je paralelně odebírán proud ze sítě, v případě výpadku je odepírán proud z akumulátoru
- Trakční – hluboký cyklus – slouží k opakovanému vybíjení a nabíjení do plné kapacity, použití např. v automobilech na elektřinu (elektrovozíky apod.) [18]

Bohužel tyto olověné akumulátory nemají dlouhou životnost, jen 0,5 – 3 roky podle podmínek provozu. Ale díky nízké ceně se používají především v domácích aplikacích nebo v rozvojových zemích. [17]

Další možností konstrukce jsou tzv. trubkové akumulátory. Ty se používají hlavně ve velkých, průmyslových (např. i fotovoltaických) aplikacích. Nevýhodou je, že u dna se hromadí vyšší koncentrace elektrolytu a dochází k poškození elektrod, tím ke snížení životnosti a zničení akumulátoru. Tomuto jevu jde zabránit přidáním míchacího zařízení nebo speciálním režimem nabíjení s vývinem plynů. Tyto baterie mají životnost až 8 let.

Problémem při používání olověných akumulátorů se zaplavenou konstrukcí je to, že je potřeba kontrolovat množství a stav elektrolytu. Akumulátory tedy většinou potřebují pravidelnou údržbu a smí se také používat pouze v jedné poloze. [17]

Poslední rozšířený druh olověných baterií je typ VRLA⁴ baterie, které nepoužívají tekutý elektrolyt. Existují dvě rozdílné varianty. Elektrolyt je nasáknutý v pórech ze skelných vláken AGM⁵ nebo je elektrolyt tvořen gelovou výplní (ozn. GEL)

Tyto baterie jsou uzavřené, bezúdržbové, obsahují pouze pojistný ventil pro případ poruchy. Výhodou oproti klasickým zaplaveným akumulátorům je především vyšší kapacita při stejných rozměrech. Baterie může být používána v libovolné poloze, v baterii je velmi malý objem volného elektrolytu, takže nedochází k velkým škodám při nehodách. Životnost se podle různých zdrojů pohybuje v rozmezí 5 až 8 let. [19]

Gelové baterie se montují například do invalidních vozíků, jelikož jsou bezpečné i pro používání uvnitř budov, také se instalují do větrných kluzáků, protože jsou schopné

⁴ VRLA baterie valve - regulated lead-acid battery – ventilem regulované olověné baterie

⁵ AGM - Absorbent Glass Mat – nasáková látká ze skelných vláken

odolávat velkým teplotním změnám. AGM baterie se používají jako zdroje na polárních monitorovacích stanicích, nebo v moderních automobilech s jednotkami pro rekuperaci energie apod.

3.1.2 NiCd⁶ akumulátory

Jedna elektroda je tvořena hydroxidem nikelnatým a druhá je vyrobenou z cadmia. Obě elektrody jsou oddělené nylonovými separátory a umístěné v elektrolytu hydroxidu sodného. Kromě toho je používání kadmia kvůli negativním vlivům na životní prostředí omezováno a NiCd akumulátory jsou nahrazovány NiMH. [16]

Mezi největší výhody patří spolehlivost za extrémních podmínek, vysoká hustota energie na daný objem, odolnost proti přepólování, přebíjení. Životnost je více než 500 cyklů. Mezi nevýhody patří hlavně vyšší pořizovací cena, cca 6-8krát vyšší než VRLA akumulátory. [17] Další podstatnou nevýhodou je, že tyto baterie mají velký paměťový efekt, který degraduje kapacitu.

3.1.3 NiMH⁷ akumulátory

NiMH akumulátory mají podobné vlastnosti jako NiCd baterie. Jejich cena je ale cca 10 – 12x vyšší, než srovnatelný olovený akumulátor. Vysoká cena je způsobena vysokou cenou drahých kovů používaných při výrobě a také dražší výrobou. S příchodem nových technologií výroby, se počítá s poklesem cen. Vzhledem k dobrým vlastnostem a přiměřené ceně se používají převážně v přenosných zařízeních. [17]

3.1.4 Ostatní typy

Existují i další druhy akumulátorů – lithium polymerové, lithium iontové atd. I přes své malé rozměry mají velkou kapacitu, navíc nejsou citlivé na samovybíjení ale vzhledem k jejich vysoké pořizovací ceně se používají jen v malých aplikacích (mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, atd.).

3.1.5 Výhody a nevýhody

Všechny typy baterií jsou vhodné ke spojení s obnovitelnými zdroji energie. V různých konfiguracích mohou fungovat úspěšně jako technicky velmi jednoduchá zařízení k akumulaci energie. Nabízí se například možnost kombinace solárních panelů na povrchu přístrojů (kryty mobilních zařízení, víka notebooků, střechy dopravních prostředků, atd.) a následné akumulace energie do zabudovaných akumulátorů. Další možností je vybudování soustavy baterií v budovách, pro lokální použití, jež budou dobíjeny energií z malých

⁶ NiCd - Nickel-cadmium - Nikl-kadmiový akumulátor

⁷ NiMH - Nickel-metal hydride - Nikl-metal hydridový akumulátor

elektráren umístěných v blízkosti budov (solární kolektory, malé vodní a větrné elektrárny atd.).

3.2 Setrvačnickové baterie

Setrvačné síly, vyvolané rotací tělesa kolem osy, jsou jedním ze základních stavebních prvků ve vesmíru, bez nich by se všechny planety rozpadly. Setrvačné síly udržují pohromadě nejen jednotlivé planety, ale i celé galaxie. Energie, která pohání rotaci země je nepředstavitelná. Jelikož jsou setrvačné síly pro nás tak důležité a jejich přítomnost považujeme za samozřejmost, zdá se jako velmi dobrá myšlenka, využít setrvačnosti k uchování energie.

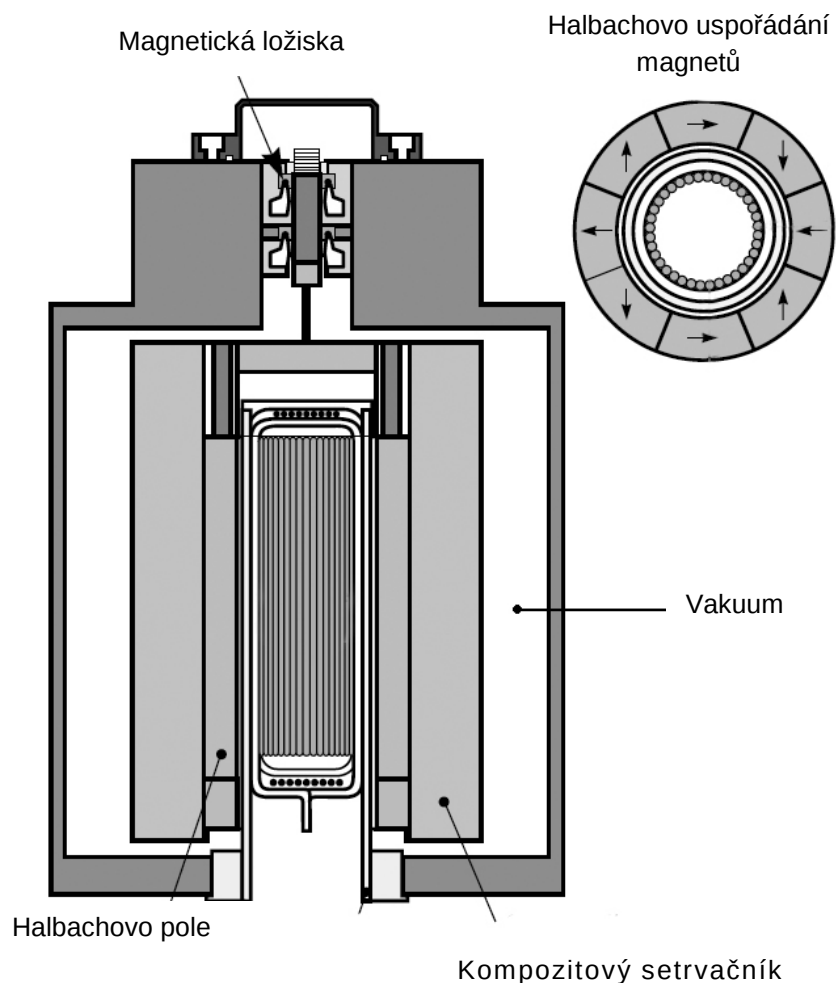
Setrvačníky se ve strojích používají ke stabilizaci otáček. I v České republice se běžně používají obrovské mnohatunové setrvačníky v elektrárnách ke stabilizaci zátěžových změn. Jedná se sice pouze o akumulaci na krátké časové úseky v řádech sekund, ale díky vysoké hmotnosti setrvačníku zůstává frekvence 50 Hz v síti stabilní.

Další použití setrvačníků ke stabilizaci otáček je ve spalovacích motorech, ve strojích (soustruhy, frézy,...).

Setrvačníky uchovávají energii ve formě kinetické energie. Jejich použití u obnovitelných zdrojů se nabízí hlavně při spojení s větrnou elektrárnou. Například v rodinném domě, přes noc a během dne bude větrná elektrárna setrvačnick roztačet a následně za bezvětrí, bude energie do sítě čerpána ze setrvačnicku. Ztráty v setrvačnicku jsou vlivem tření poměrně velké, proto je vhodné použít elektromagnetická ložiska případně celý setrvačnick uzavřít do vakua.

Účinnost takovýchto setrvačnickových akumulátorů je přibližně 80% při roztáčení a asi 60% při opětovném čerpání energie. Celková účinnost podle různých zdrojů vychází lehce přes 50%. Nejnovější elektromechanické baterie (EMB) mají účinnost až 92%. Existují dvě základní koncepce.

- Nízkootáčkové – mají těžký velký setrvačnick a otáčky se pohybují v řádech tisíců až desetitisíců. Váha setrvačnicku je 100 kg i více obvykle jsou z oceli apod..
- Vysoceotáčkové - v jejich nitru se otáčí setrvačnick rychlostí 60 000 otáček za minutu. Setrvačnick je vyroben z kompozitu a díky magnetickému poli a statorovému vynutí je roztáčen nebo brzděn. Magnety kolem cívky jsou poskládány do tzv. Halbachova pole, jsou tedy uspořádány tak, aby magnetické pole bylo velmi silné (obr. 6).



Obrázek 6 Řez EMB baterií [20]

3.2.1 Výhody a nevýhody

K největším výhodám těchto systémů patří vysoká účinnost, minimální opotřebení, velmi dlouhá životnost. Samovybíjení je nezávislé na provozních podmínkách, obvyklá doba samovybíjení je v řádech týdnů až měsíců. Baterie neobsahuje žádné nebezpečné chemikálie jako u elektrochemických akumulátorů a velkou výhodou jsou nízké provozní náklady a náklady na údržbu. [20] K nevýhodám řadím vysokou pořizovací cenu a technickou náročnost zařízení, protože je potřeba zajistit, aby nedošlo k roztrhnutí pláště baterie. Nekontrolovatelný setrvačnick s 60 tisíci otáčkami, by se stal velmi nebezpečným.

3.3 Stlačený plyn

Akumulace mechanické energie, též nazývané jako pneumatická baterie. Systém funguje tak, že vzduch je stlačován pomocí kompresoru do zásobníku. V případě potřeby je energie ze zásobníku spotřebovávána. Schematické znázornění je na obr. 7.

Energie stlačeného vzduchu může být akumulována třemi způsoby:

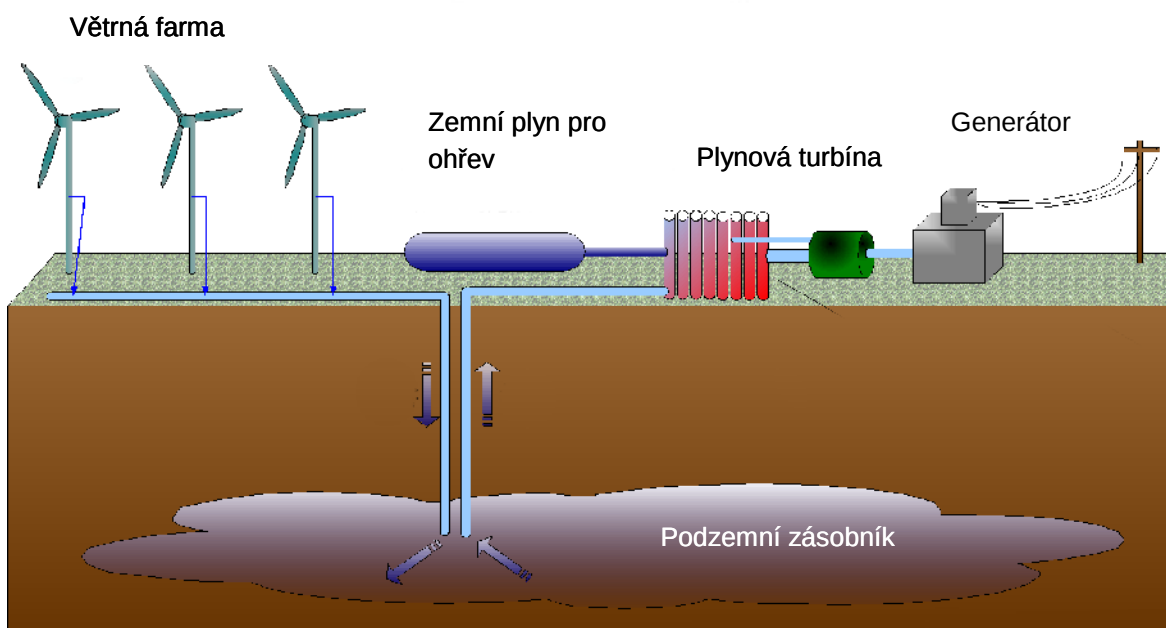
- Adiabaticky – při kompresi je vzniklé teplo odváděno a akumulováno. Při následném čerpání energie je opět použito k ohřevu plynu. Tento postup je pouze teoretický, v praxi neexistuje žádné zařízení, které by tento způsob používalo. Teoretická účinnost je vysoká, blíží se k 100%. V praxi se však očekává účinnost kolem 70%. Teplo vzniklé při kompresi může být ukládáno buď v pevné hmotě (beton, kameny), nebo v kapalinách (horký olej, solné lázně).
- Izotermicky – teplo vzniklé při kompresi je odváděno do atmosféry jako odpad. Při následné expanzi musí být plyn opět zahříván. Teplo předávané ve výměnících sice snižuje účinnost, ale systém je jednodušší, než předchozí varianta, využívající adiabatickou kompresi.
- Izotermická komprese a expanze za konstantní teploty – tato technologie je vhodná pouze pro pomalé dodávky energie, vyžaduje velmi účinné výměníky tepla. [21]

Na světě zatím existují pouze dvě elektrárny, které akumulují přebytečnou energii ve stlačeném vzduchu. Elektrárna Huntorf v Německu a elektrárna McIntosh, ve státě Alabama, v USA, další provozy jsou v plánu.

Elektrárna Huntorf v severním Německu byla postavena jako první zařízení svého druhu v roce 1978. K úschově stlačeného plynu využívá 2 solné jeskyně o objemu 300 000 m³. Elektrárna slouží k pokrytí výkonových špiček. Od doby postavení má za sebou asi 7000 cyklů. Kapacita je 300 MW. Doba vybíjení jsou asi 2 hodiny.

Druhou elektrárnou je McIntosh v USA o výkonu 110 MW. Byla postavená v roce 1991. K ohřevu plynu pro expanzi využívá částečně rekuperaci tepla, vzniklého při kompresi. Objem podzemní jeskyně je 5,2 milionu m³. Zásobník může dodávat energii až 26 hodin. Rozběh pro čerpání energie trvá asi 10 minut. [22]

S využitím izotermické komprese a expanze počítá plánovaná elektrárna od společnosti GCAES. Tato společnost se zabývá projektováním a vývojem technologií pro skladování energie v podobě stlačeného vzduchu. Nabízí modulární řešení s kapacitami 2 – 1000 MW a s dobou dodávky akumulované energie 8 – 300 hodin. [23] Projekt této elektrárny má být realizován v roce 2010 ve spojených státech. K akumulaci by měla sloužit kaverna vybudovaná v podzemí. [21]



Obrázek 7 Schéma zařízení pro akumulaci pomocí stlačeného vzduchu [24]

3.3.1 Výhody a nevýhody

K výhodám patří vysoká účinnost, rychlé rozběhnutí odběru energie (10 minut), relativně jednoduché zařízení a levná výstavba. K nevýhodám patří také spotřeba zemního plynu, který se používá k ohřevu při expanzi plynu. [25] Nedostatek vhodných jeskyní, které by byly k akumulaci použitelné, snižuje možnosti instalace nových elektráren. Jako další alternativa podzemních zásobníků se nabízí využití nepoužívaných hlubinných dolů.

3.4 Akumulace vody

Další možnou alternativou k uskladnění elektřiny na dobu její potřeby, je možnost akumulovat elektrickou energii na základě přečerpávacích vodních elektráren. Přečerpávací elektrárny využívají gravitační silové pole země. Jsou konstruované jako dvě vodní nádrže s rozdílnou nadmořskou výškou, které jsou spojené podzemním potrubím. Na spojovacím potrubí je turbína, která je schopna obousměrného provozu. Může pracovat jako klasická vodní elektrárna při proudění vody z horní nádrže do spodní. V případě přebytku elektrické energie se chod turbíny obrací a stává se z ní čerpadlo, které čerpá vodu zpět do horní nádrže, aby jí bylo dostatek v době vyšší spotřeby energie.

V současnosti většina přečerpávacích vodních elektráren akumuluje energii produkovanou velkými tepelnými nebo jadernými elektrárnami. U těchto elektráren se velmi těžko reguluje výkon a mimo špičku se tedy jejich energie spotřebovává k naplnění horních nádrží přečerpávacích elektráren. V době odběratelské špičky je poté možné využít vodní díla k dodávkám elektřiny, na kterou nestačí kapacita jaderných/tepelných

elektráren. Stejná možnost využití se nabízí i při akumulaci energie z obnovitelných zdrojů.

V české republice jsou v provozu tři přečerpávací vodní elektrárny. Jejich přehled je v tabulce 2. Všechny používají reverzní Francisovu turbínu (obr 8).



Obrázek 8 Francisova turbína [26]

Tabulka 1: Přečerpávací vodní elektrárny v ČR [27]

Vodní dílo	Výkon [MW]	Spád [m]	Zákl. informace	V provozu od / posl. modernizace
Dlouhé Stráně	650	534,3	v centru Jeseníků, horní nádrž na kopci Mravenečník	1996/2007
Dalešice	450	60-90	spodní nádrž Mohelno, pracuje v kooperaci s JE Dukovany	1978/neproběhla
Štěchovice II	45	220	nedaleko Prahy, horní nádrž na kopci Homole	1947/2005

3.4.1 Výhody a nevýhody

Ze všech metod skladování energie jsou přečerpávací elektrárny nejefektivnější. Jsou schopné akumulovat největší kapacitu energie (až 2000 MW) po neomezenou dobu. Provozní náklady a náklady na údržbu jsou poměrně nízké. K dalším výhodám patří i velmi rychlý rozběh systému do režimu odběru energie (10 s - 10 minut).

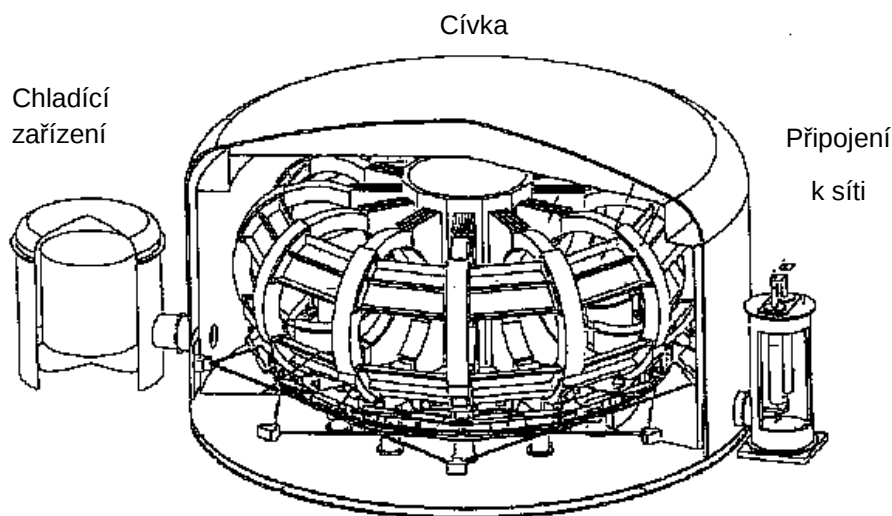
K nevýhodám patří složitost stavby, je nutné vybudovat dvě velké vodní nádrže a spojit je podzemním potrubím. Počáteční náklady k postavení přečerpávací elektrárny jsou velmi vysoké. Stavba nádrží je náročná z ekologického hlediska. Jde o velký zásah do krajiny. Místa, která jsou ke stavbě vhodná, se nacházejí většinou v odlehlých horských oblastech, kde často není rozvinutá infrastruktura ani vedení vysokého napětí atd.

3.5 Supravodivé magnetické zásobníky

SMES⁸ je zařízení, které používá k ukládání energie cívek a magnetů. Energie je uložena v magnetickém poli, které je vytvořeno stejnosměrným proudem. Cívka je chlazena na supravodivou kritickou teplotu. Supravodivost je stav materiálu, při kterém nemá materiál žádný vnitřní odpor. Tento jev byl objeven v roce 1911. [22] K dosažení nulového odporu je potřeba ochladit vodič na supravodivou kritickou teplotu. Podle materiálového složení vodiče se supravodivá teplota pohybuje mezi 10-100°K.

3.5.1 Výhody a nevýhody

Ztráty systému po nabití jsou velmi malé, ale velkou nevýhodou je potřeba silného chladicího zařízení. Ke zlepšení spolehlivosti pomáhá uložení cívek do lázně s tekutým dusíkem. Vzhledem k tomuto faktu a vysoké ceně supravodivých cívek se tento systém používá pouze k akumulaci na krátký čas. Účinnost zařízení je velmi vysoká, dosahuje až 95%. [22] Další podstatnou výhodou je rychlost nabití a vybití. Přepínání do režimu odběru energie trvá zlomek vteřiny. A cívka může být během pár minut opět nabitá. Tento cyklus se téměř bez ztrát může neustále opakovat. Důvodem tak vysoké rychlosti je to, že nedochází k žádné přeměně energií jako u přečerpávacích elektráren nebo u stlačeného vzduchu. Plusem systému je také fakt, že neobsahuje žádné nebezpečné chemické náplně jako olověné akumulátory. Schematické znázornění je na obrázku 9.



Obrázek 9 Koncepční návrh supravodivého magnetického zásobníku. [22]

⁸ SMES z angl. Superconducting Magnetic Energy Storage – volně přeloženo jako Supravodivé magnetické ukládání energie.

3.6 Superkondenzátory

Kondenzátor je základní elektrotechnická součástka. V elektrických obvodech se používá pro akumulaci proudu na krátkou dobu. Mezi dvěma deskami kondenzátorů s opačným nábojem je vrstva dielektrika. Nabízí se myšlenka, použít je k akumulaci energie na dlouhou dobu. Hustota energie je u superkondenzátorů asi desetkrát větší než u klasických akumulátorů při stejné velikosti. Elektrody superkondenzátorů jsou odděleny dielektrikem v podobě uhlíkových nanotubic. Tyto akumulátory se dají používat ke stabilizaci rozvodné sítě, očekává se taky použití v automobilech a přenosných kapesních zařízeních.

3.6.1 Výhody a nevýhody

Uváděná životnost je delší, než životnost zařízení, která mají tato zařízení pohánět. Počet nabíjecích cyklů je až v řádech milionů. [22] Prozatím ale kapacita nedosahuje takových hodnot jako lithium iontové baterie, navíc jsou superkondenzátory velmi drahé.

3.7 Tepelné zásobníky

Jiná možnost akumulace elektrické energie je ukládat ji ve formě tepla do tepelných zásobníků. Existují různé konstrukce. Jejich tepelných zásobníků je vhodné zejména v kombinaci se solárními kolektory, kdy můžeme ohřívat přímo skladovanou kapalinu, která poté předává teplo do zásobníků. Jelikož je tato práce zaměřena zejména na elektrickou energii, uvedu zde jen okrajově tepelné zásobníky pro akumulaci tepla sloužícího k vytápění budov.

3.7.1 Zásobníky k vytápění budov

Základní dělení je podle teploty média. Pro účely vytápění budov se používají zásobníky na vodu s teplotou do 90°C. Teplota je ze zásobníku následně distribuována do rozvodů.

Základní dělení se provádí podle akumulované teploty:

- Nízkoteplotní – 40 – 60°C základní druh tepelných zásobníků, není třeba brát ohled na stratifikaci⁹. Nejjednodušší je připojit přívod teplé vody z kolektorů do horní části a odběr vody do spodní části zásobníku.
- Vysokoteplotní - 60 – 90°C složitější než nízkoteplotní. Z důvodů citlivosti na stratifikaci je nutné přivádět vodu do nejbližších teplotních pásem. Pokud máme

⁹ Stratifikace – citlivost na rozvrstvení teplot, u dna nádrže je nižší teplota než v horní části.

vodu o teplotě 80°C tak ji přivádíme do úrovně 80°C. Pokud máme vodu o teplotě 60°C přivádíme ji ke dnu zásobníku, do oblasti s vodou o teplotě 60°C. [28]

3.7.2 Tepelné zásobníky k výrobě elektrické energie

Další možností akumulace energie je ukládat ji do zásobníků s daleko vyšší teplotou média, než je bod varu vody. To znamená nutnost použití jiné kapaliny. Tento způsob akumulace je instalován v solární elektrárně Andasol. Jako akumulární médium je použito směsi dusičnanu sodného (60%) a směsi dusičnanu draselného (40%). Ohřívaný olej, který proudí parabolickými zrcadly, předává část své energie ve výměníku solnému roztoku, část slouží k provozu turbíny a k výrobě elektřiny. Ohřátý solný roztok se uchovává v tzv. „horké“ nádrži (390°C). V době, kdy je potřeba energii vyrábět je kapalina z nádrže čerpána přes výměník a odchází do „studené nádrže“ (290°C). Z výměníku proudí ohřátý olej k turbíně, která dodává do sítě proud. [7]

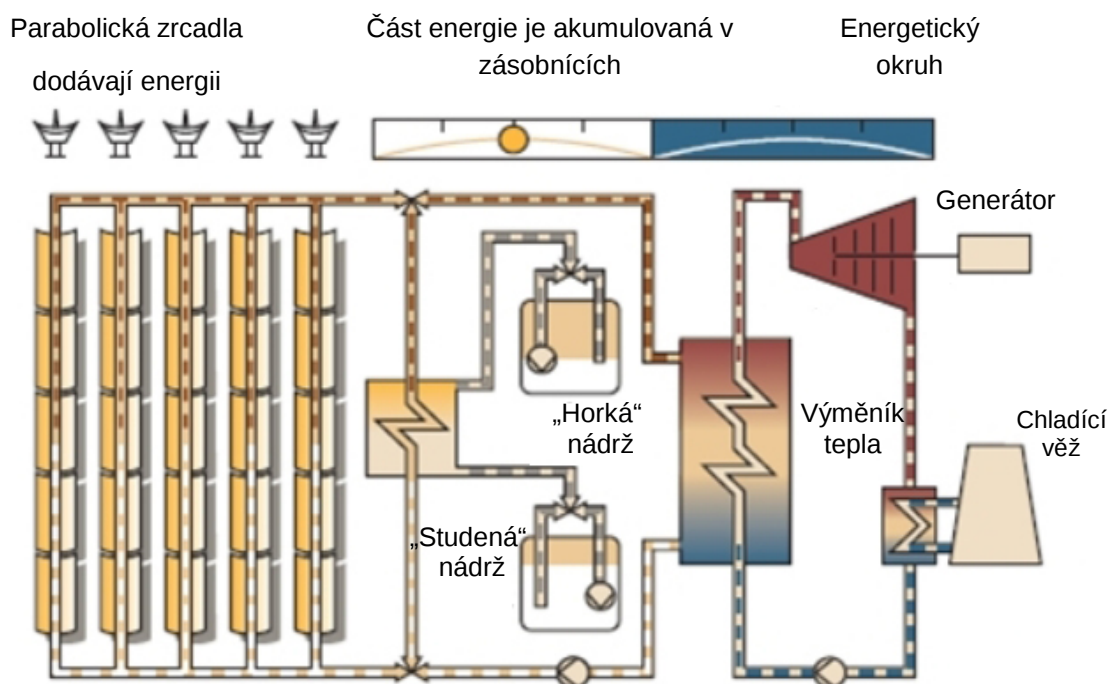
Tento zásobník zvyšuje dobu, po kterou je v elektrárně možné vyrábět elektrický proud na zhruba dvojnásobnou délku. Energie uložená v zásobníku vydrží asi na 7 hodin plného výkonu. [7] Elektrárna je tedy schopna dodávat elektřinu i uprostřed noci. Princip chodu elektrárny je znázorněn na obrázcích 10 a 11.

Zásobník má tyto parametry:

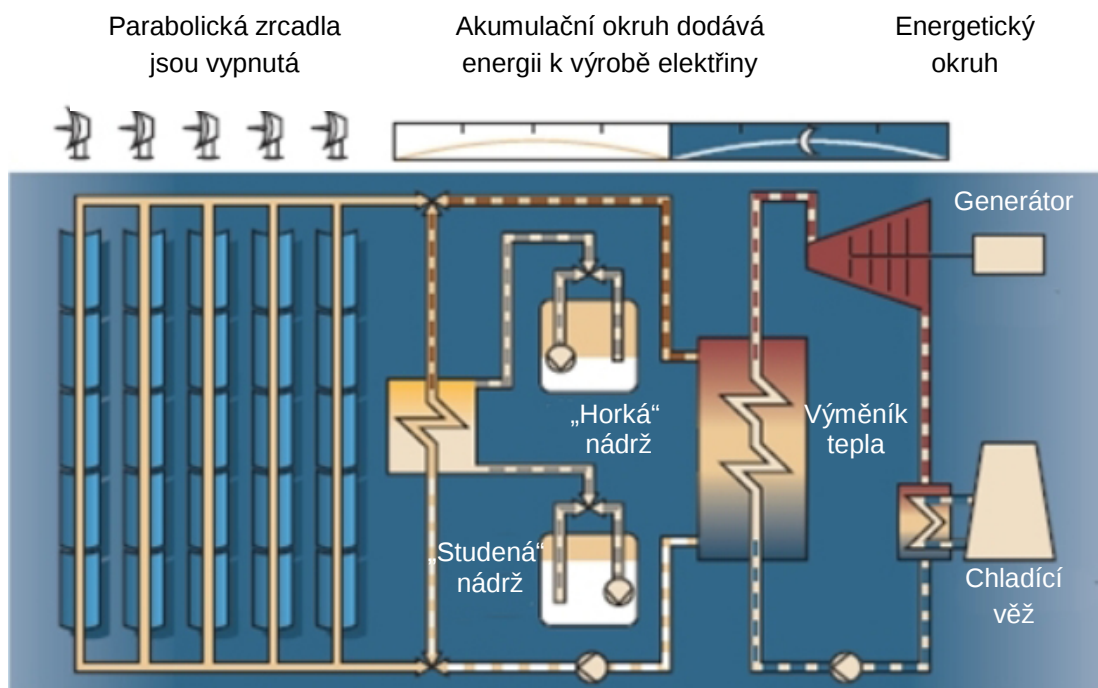
- 2 nádrže, průměr 36, výška 14 m
- 28 500 tun - akumulárního roztoku umožňuje provoz 7,5 hodiny za plného výkonu. Uskladněno je asi 375 MWh. [7]

3.7.3 Výhody a nevýhody

Ztráty tepla tvoří významný podíl, proto jsou tepelné zásobníky vhodné ke skladování energie na dobu hodin maximálně několik dní. Nevýhodou je i velká spotřeba vody. Teplo ze zásobníku je předáváno ve výměníku vodě, která roztáhá parní turbínu. Přebytková pára je odváděna do chladicí věže, kde část kondenzuje a část se odpařuje do atmosféry.



Obrázek 10 Andasol I – Denní režim – elektřina je vyráběna v parní turbíně a současně je dobíjen tepelný zásobník. [7]



Obrázek 11. Andasol I – Noční režim – ze zásobníků je odebírané teplo k výrobě elektřiny. [7]

4. Technicko – ekonomické zhodnocení

Volba využití obnovitelného zdroje vychází vždy z klimatických podmínek, které se v dané lokalitě nachází. Velkou roli hraje i ekonomická situace investora. Při komerčním využití se každý investor snaží dosáhnout minimálních nákladů a maximálních zisků. Často není možné porovnávat jednotlivé druhy OZE navzájem. Podmínky pro použití jednoho zdroje v dané lokalitě se diametrálně liší od použití jiného.

K volbě způsobu akumulace je potřeba přistupovat zodpovědně. Nelze jednoznačně říct, který způsob akumulace je nejvhodnější, každý má své pro a proti a je vhodný k jinému účelu. Porovnávání jednotlivých systémů s jiným je neefektivní, pokud neznáme další souvislosti.

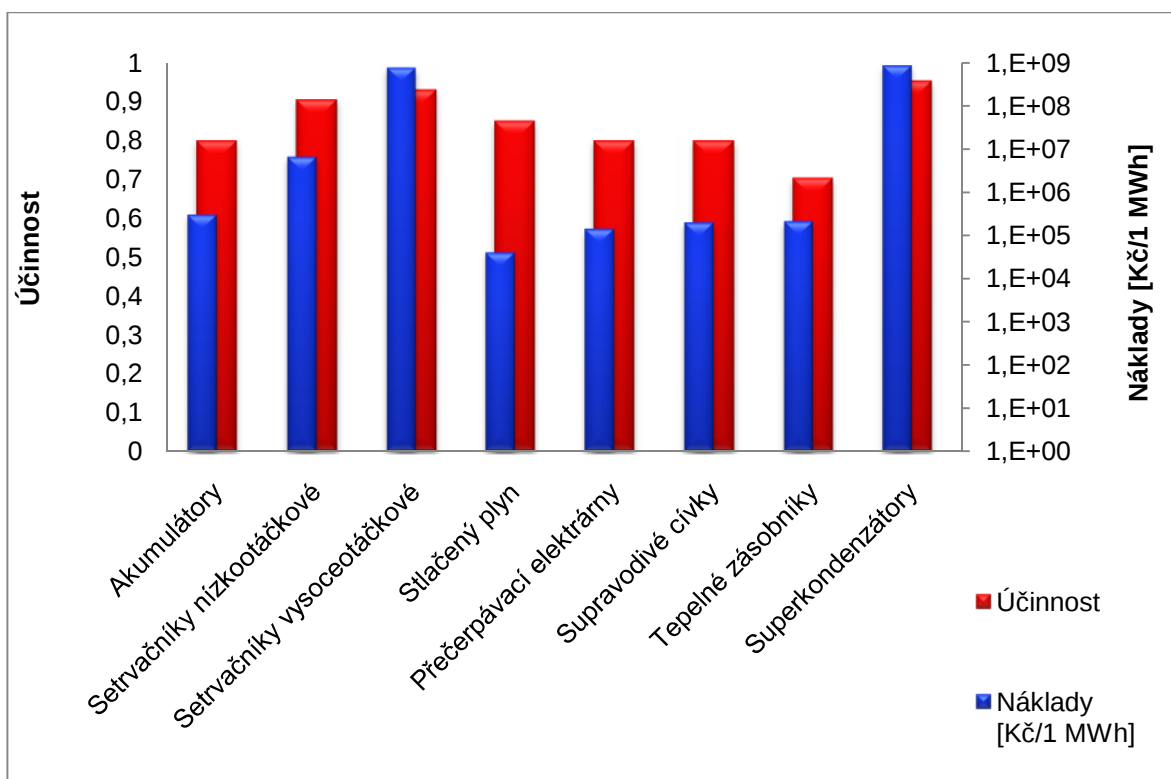
V následující tabulce jsou uvedeny některé klíčové vlastnosti jednotlivých způsobů akumulace energie včetně vybraných parametrů. Je velmi pravděpodobné, že se bude s narůstajícím počtem vyrobených zařízení koncová cena snižovat. V tabulce 2 jsou uvedeny parametry pro aplikace skladování energie ve velkém měřítku.

Tabulka 2: Srovnání vybraných parametrů akumulace energie. [7] [22]

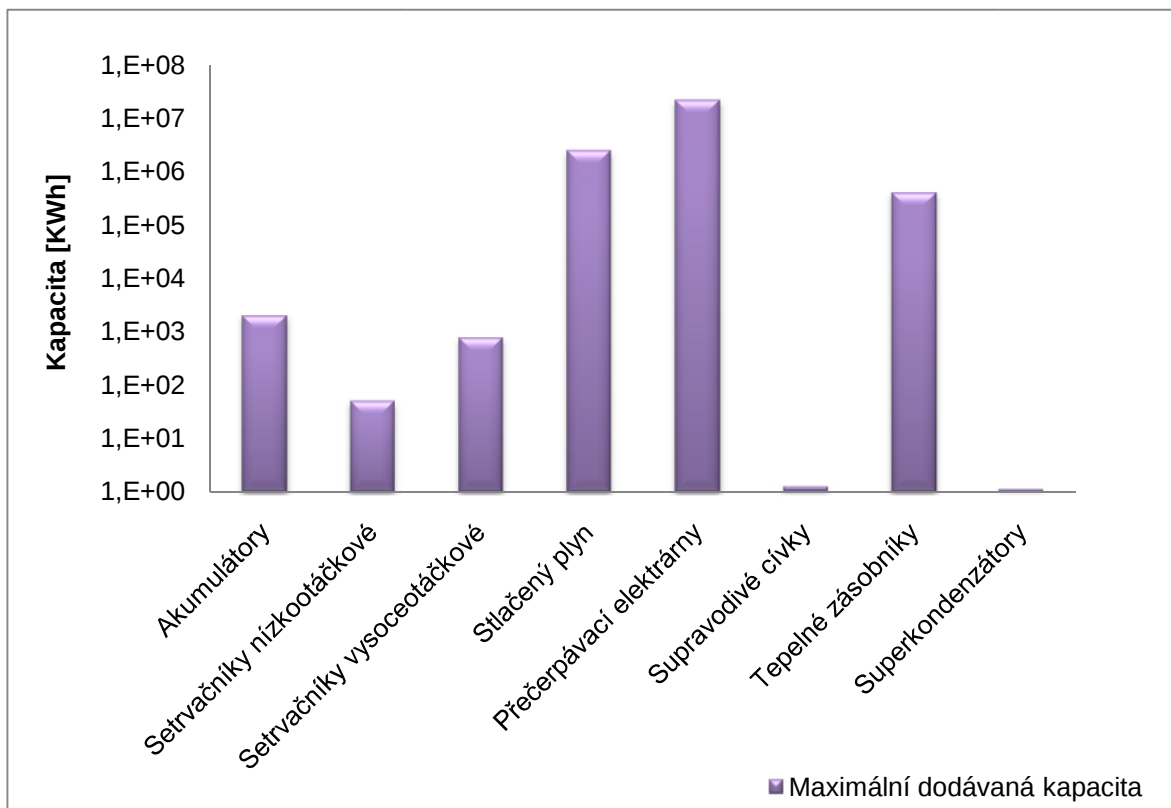
		Náklady [Kč/1 MWh]	Váha [kg/1 MWh]	Nejvyšší účinnost	Maximální dodávaná kapacita [kWh]	Životnost [roky]
Akumulátory		300 000	30	0,8	0,3/2000	10
Setrvačníky	Nízkootáčkové	6 000 000	7500	0,9	50	20
	Vysocetáčkové	750 000 000	3000	0,93	750	20
Stlačený plyn		40 000	2,5	0,85	2 400 000	30
Přečerpávací elektrárny		140 000	3000	0,8	22 000 000	40
Supravodivé cívky		200 000	10	0,8	0,8	40
Tepelné zásobníky		200 000	76	0,7	375 000	40
Superkondenzátory		800 000 000	10	0,5	0,5	40

Astronomické částky u superkondenzátorů a setrvačnicků vycházejí z faktu, že tak velké zásobníky neexistují, hodnota je ovlivněna přepočtem na 1 MWh.

Graf 2: Závislosti účinnosti a vynaložených nákladů na 1 MWh.



Graf 3: Graf porovňavající maximální dodávanou kapacitu jednotlivých akumulacních zařízení.



V grafu č. 2 je zobrazena závislost nákladů přepočtených na 1 MWh a celkové účinnosti. Na svislé ose vpravo jsou zapsány logaritmické hodnoty představující náklady, na svislé ose vlevo je účinnost. Z grafu vyplívá, že nejvyšší účinnost a zároveň nejnižší pořizovací náklady mají akumulace stlačeného plynu a přečerpávající vodní elektrárny.

Z druhého grafu je vidět, že nejvyšší kapacitu je možno akumulovat v přečerpávacích elektrárnách nebo v zásobárnách stlačeného plynu. Supravodivé cívky a superkondenzátory jsou zatím ve fázi vývoje, jejich kapacita je nízká a pořizovací náklady vysoké.

Je třeba rozlišit, jestli chceme vyrábět a skladovat energii pro malé odběry nebo pro zapojení do celostátní rozvodné sítě. Pro objekty, které nejsou napojeny k síti (osamocené objekty, horské chaty, vědecké stanice) je nejvhodnější využít zdroj, který má v dané lokalitě nejvyšší intenzitu. Na trhu je mnoho zařízení pro „domácí“ použití (malé vodní a větrné elektrárny, solární kolektory, apod.). K akumulaci pro tyto objekty je zatím nejjednodušší a nejlevnější používat elektrochemické akumulátory. Bohužel velkou nevýhodou je jejich krátká životnost (10 let), náročná údržba a samovybíjení. Paradoxem ovšem je, že pokud je objekt napojen na dodávky solární energie, je v ČR výhodnější dodávat energii do sítě za státem garantované výkupní ceny.

Elektrochemické baterie jsou použitelné v mnoha různorodých aplikacích. Jsou malé, levné, bezpečné, dají se přizpůsobit přesně na naše požadavky. Jsou vhodné pro kapesní zařízení, je možné je používat v automobilech i pro domácí použití.

Setrvačnickové akumulátory jsou vhodné spíše do speciálních vědeckých aplikací. Ale tento systém může být využit například u vlaků nebo automobilů. (Už v roce 1953 jezdil po švýcarských městech gyrobus, který používal k pohonu setrvačnick s rychlostí 3000 otáček za minutu. Autobus jezdil od zastávky k zastávce na energii setrvačnicku a na zastávce se zase setrvačnick nabil pomocí proudu přiváděného do speciálních trolejí. [29] Tento projekt byl zrušen kvůli technické složitosti.) Nevýhodou setrvačnickového pohonu je vznik setrvačného momentu. Ten ale můžeme velmi jednoduše vyrušit použitím dvou setrvačnicků otáčejících se proti sobě. Podobně se v automobilech dá uplatnit i energie stlačeného vzduchu. Francouzský výrobce MIDI vyrábí vozidla poháněná stlačeným vzduchem.

Zbývající možnosti – tepelné zásobníky, přečerpávací elektrárny je nutné používat pouze ve velkých měřítcích. Vybudovat takový projekt je technicky velmi složité. Počáteční investiční náklady jsou vysoké, ale náklady na provoz jsou přijatelné.

Akumulaci v celostátním měřítku je nutné dobře zvážit. Tyto projekty jsou finančně velmi náročné a jejich prosazení je i vzhledem k různým politickým a ekonomickým názorům problematické. Akumulační zařízení ale nemusí být napojeny pouze na obnovitelné zdroje, jsou vhodné i k akumulaci přebytečné energie z elektráren jaderných nebo uhelných. Příkladem je například přečerpávací vodní dílo Dalešice, které pracuje v součinnosti s jadernou elektrárnou Dukovany. Obrovskou výhodou akumulačních

zařízení je fakt, že jsou schopny vyrovnávat náhlé změny v poptávce. Regulace uhelných a jaderných elektráren je velmi náročná a zdlouhavá. Okamžitá regulace je takřka vyloučena. Náhlé výkyvy v síti může kompenzovat právě možnost energii akumulovat nebo ji rychle do sítě dodávat. Jako stabilizátory sítě mohou zabránit vzniku nebezpečných blackoutů¹⁰. První vážný výpadek nastal v USA v roce 2003, kdy se rozpadla elektrická síť v několika státech. V Evropě jsme se s podobnými neočekávanými výpadky také již několikrát setkali.

¹⁰ Blackout - výpadek elektřiny způsobený náhlou a vysokou poptávkou na obrovském území.

5. Závěr

Tato práce se zabývá využitím obnovitelných zdrojů k výrobě elektrické energie. Největší nevýhodou obnovitelných zdrojů je jejich nestálost a proměnlivost. Tyto nedostatky můžeme odstranit využitím akumulčních jednotek, které budou drahocennou energii skladovat do doby spotřeby. V první části práce jsem popsal obnovitelné zdroje energie. Zaměřil jsem se převážně na OZE, které jsou vhodné k výrobě elektřiny a k akumulaci energie. Okrajově jsem popsal i biomasu a geotermální energii, u kterých není akumulace nezbytná.

V části o akumulaci jsem popsal často používané i méně známé možnosti uskladnění energie. Jako nejekonomičtější se jeví přečerpávací vodní elektrárny nebo kaverny akumulující stlačený plyn. Společnosti zabývající se akumulací energie musí také zvážit ekonomickou návratnost investice. Relativně levné energii z fosilních paliv se těžko konkuruje. V budoucnosti ale budeme muset hledat alternativní řešení energetických dodávek.

Energetické zdroje hrají i důležitou strategickou roli. Energie se dá přenášet na velké vzdálenosti jen velmi složitě, proto je i z politického hlediska nezbytné, aby státy byly energeticky nezávislé.

Zásoby neobnovitelných surovin (ropa, uhlí, zemní plyn, jaderné palivo) budou pravděpodobně vyčerpány během několika příštích generací. Závislost na těchto zdrojích je velmi vysoká. I po vytěžení fosilních paliv je důležité zachovat trvale udržitelný rozvoj na Zemi. Narůstající energetickou poptávku musíme uspokojit. Nový neobjevený zdroj nekonečného množství energie je zatím v nedohlednu. Jednou z možností je jaderná energetika a jako doplňkový zdroj levné energie by mohly být právě obnovitelné zdroje, doplněné o akumulční jednotky. Akumulční jednotky by ale mohly tvořit i zásobárnu elektřiny během kritických špiček nebo blackoutů. Je potřeba sestavit vyvážený energetický mix. Měli bychom brát ohled i na příští generace.

6. Bibliografie

- [1] Nation Master. *Energy Statistics*. [Online] 18. 12 2008. [Citace: 20. 3. 2010.] http://www.nationmaster.com/graph/ene_ele_con-energy-electricity-consumption.
- [2] Svítíl, Radek. Ekolist.cz. *Co přináší Kjótský protokol?* [Online] 15. 2 2005. [Citace: 13. 3. 2010.] <http://ekolist.cz/zprava.shtml?x=218958>.
- [3] jm, ČTK. ihned.cz. *Svět promarnil šanci, dospěl jen k nezávazné dohodě o ochraně klimatu*. [Online] Economia a.s., 19. 12 2009. [Citace: 14. 4. 2010.] <http://zahranicni.ihned.cz/c1-39539950-svet-promarnil-sanci-dospel-jen-k-nezavazne-dohode-o-ochrane-klimatu>.
- [4] Cenko, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha : FCC PUBLIC s. r. o., 2001. ISBN 80-901985-8-9.
- [5] Bechník, Bronislav. *Technická zařízení budov. Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie*. [Online] 30. 3 2009. [Citace: 20. 3 2010.] <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5517>.
- [6] Global Greenhouse Warming. *Solar Tower*. [Online] [Citace: 15. 3. 2010.] <http://www.global-greenhouse-warming.com/solar-tower.html>.
- [7] Nejedlý, Petr. *nejedly.blog.idnes.cz. Sluneční high-tech Andasol-1*. [Online] 15. 7 2009. [Citace: 12. 3. 2010.] <http://nejedly.blog.idnes.cz/c/93035/Slunecni-high-tech-Andasol-1.html>.
- [8] Gollmer, Rainer. *www.rainergollmer.com. Andasol, Neue energie*. [Online] [Citace: 3. 3 2010.] <http://www.rainergollmer.com/andasol-neue-energie/>.
- [9] EnergyWeb. *Solar Two*. [Online] [Citace: 15. 5. 2010.] <http://www.energylan.sandia.gov/photo/photos/1440/144005D.jpg>.
- [10] Czech Renewable Energy Agency. *Vodní energie*. [Online] [Citace: 3. 4. 2010.] <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/vodni-energie/>.
- [11] Sedláček, Jíří. *ok1zed.sweb.cz. Energie vody*. [Online] 2008. [Citace: 22. 4. 2010.] http://ok1zed.sweb.cz/s/el_vodniel.htm.
- [12] Hobza, Otakar. *Nadřevo.cz. Vodní elektrárny*. [Online] [Citace: 21. 4. 2010.] <http://nadrevo.blogspot.com/2009/11/vodni-elektrarny.html>.
- [13] *www.ttk.ptt.hu. Universitas Quinqueecclesiensis*. [Online] [Citace: 22. 4. 2010.] <http://www.ttk.ptt.hu/ami/phare/energ/Image48.gif>.
- [14] *wikipedia.org. Fire*. [Online] 18. 5 2010. [Citace: 24. 5 2010.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Fire>.
- [15] Alternativní zdroje energie. *Obnovitelné zdroje energie*. [Online] [Citace: 22. 4. 2010.] <http://www.alternativni-zdroje.cz>.

- [16] Patel, Mikund R. *Wind and solar power systems : design, analysis, and operation*. 2nd edition. Boca Raton : Taylor & Francis, Inc., 2006. ISBN 0-8493-1570-0.
- [17] Křivák, Petr. *Současné možnosti akumulace elektrické energie ve fotovoltaických aplikacích*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Ústav elektrotechnologie, 2007.
- [18] Weigel, Dušan. Auto Press. *Nabíjení a nabíječe - jak dostat z akumulátoru maximum*. [Online] 10 2007. [Citace: 4. 4. 2010.] <http://www.autopress.cz/?page=17.nabijeni-a-nabijece-jak-dostat-z-akumulatoru-maximum>.
- [19] Clark, M.S. battcon.com. *LEAD-ANTIMONY, LEAD-CALCIUM, LEAD-SELENIUM, VRLA, NI-CD. WHAT'S IN A NAME?* [Online] 2009. [Citace: 10. 4 2010.] http://www.battcon.com/PapersFinal2009/ClarkPaper2009FINAL_12.pdf.
- [20] Post, Richard F. Lawrence Livermore National Laboratory. *A New Look at an Old Idea - The Electromechanical Battery*. [Online] Science and technology review, Duben 1996. [Citace: 12. 4. 2010.] https://www.llnl.gov/str/pdfs/04_96.2.pdf.
- [21] General compression. GCAES. [Online] [Citace: 17. 4. 2010.] <http://www.generalcompression.com/gcaes.html>.
- [22] Juvonen, Matti. Imperial College. *Energy Storage*. [Online] 7. 2 2003. [Citace: 17. 4. 2010.] http://www.doc.ic.ac.uk/~matti/ise2grp/energystorage_report/node1.html.
- [23] Lawson, Ian. PR Newswire. *General Compression*. [Online] [Citace: 17. 4. 2010.] <http://www.prnewswire.com/news-releases/general-compression-closes-on-17-million-of-financing-commitments-to-build-utility-scale-energy-storage-system-85036707.html>.
- [24] Rohatensky, Robert J. SHPEGS. *Compressed Air Wind Electrical Generation System*. [Online] únor 2007. [Citace: 21. 5. 2010.] <http://energytower.org/cawegs.html>.
- [25] Gardner, John. Boise State University - College of Engineering. *Overview of Compressed Air Energy Storage*. [Online] 12 2007. [Citace: 17. 4. 2010.] <http://coen.boisestate.edu/WindEnergy/resources/ER-07-001.pdf>.
- [26] Capture 3D. *Turbines 3D*. [Online] [Citace: 3. 5. 2010.] <http://www.capture3d.com/Images/Applications/turbines-3DmeasureFig9big.jpg>.
- [27] wikipedia.cz. *Přečerpávací vodní elektrárna*. [Online] [Citace: 10. 5. 2010.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Přečerpávac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektrárna.
- [28] Kramoliš, Petr. Technická zařízení budov. *Zásobníky tepla*. [Online] 18. 5. 2004. [Citace: 16. 4. 2010.] <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1950>.
- [29] photo.proaktiva.eu. *Gyrobús: a great idea takes a spin*. [Online] Červenec 2008. [Citace: 22. 4. 2010.] http://photo.proaktiva.eu/digest/2008_gyrobús.html.
- [30] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování*. [Online] 14. 6 2000. [Citace: 5. 5 2010.] http://www.unmz.cz/cz/4/264_00_mpo.pdf.

[31] Dvořák, Jaroslav. Ford club. *Vše o akumulátorech II*. [Online] 06. 12 2007. [Citace: 10. 3. 2010.] http://www.fordclub.eu/article_detail.php?id=58&lang=cze.

Seznam zkratek

BRIC	Brazílie, Rusko, Indie, Čína
OZE	Obnovitelné zdroje energie
OSN	Organizace spojených národů
EU	Evropská unie
eV	Elektronvolt
Ah	Ampérhodina
JE	jaderná elektrárna
VE	větrná elektrárna
PV	fotovoltaický
kW	kilowatt
MW	megawatt
MWh	megawatt hodina
GWh	gigawatt hodina
MVE	malá vodní elektrárna
VRLA	valve - regulated lead-acid battery
AGM	Absorbent Glass Mat
NiCd	Nickel - cadmium
NiMH	Nickel - metal hydride
EMB	Elektromechanická baterie
SMES	Superconducting magnetic energy storage

Seznam obrázků

Obrázek 1: Princip solárního komína	10
Obrázek 2: Elektrárna Andasol.....	11
Obrázek 3: Elektrárna Solar two	12
Obrázek 4: Oběžná kola vodních turbín.....	14
Obrázek 5: Větrná farma	15
Obrázek 6: Řez EMB baterií	22
Obrázek 7: Schéma zařízení pro akumulaci pomocí stlačeného vzduchu	24
Obrázek 8: Francisova turbína.....	25
Obrázek 9: Koncepční návrh supravodivého magnetického zásobníku.....	26
Obrázek 10: Andasol I – Denní režim	29
Obrázek 11: Andasol I – Noční režim	29

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přečerpávající vodní elektrárny v ČR.....	25
Tabulka 2: Srovnání vybraných parametrů akumulace energie.....	30