

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Bakalářská práce

**Možnosti akumulace elektrické energie vyrobené
z obnovitelných zdrojů**

Jakub Tuháček

© 2015 v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra mechaniky a strojnictví

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Tuháček

Technologická zařízení staveb

Název práce

Možnosti akumulace elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů

Název anglicky

Options in Accumulation of Electricity Produced by Renewable Sources

Cíle práce

Sestavit rešeršní práci o možnostech akumulace elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů ve formě energie elektrické, mechanické, chemické, a dalších. Poukázat na rizika vznikající v přenosových soustavách v souvislosti s využíváním obnovitelných zdrojů energie a diskutovat předpokládaný vývoj energetických úložišť.

Metodika

Zmapování v současnosti využívaných obnovitelných zdrojů energie a analýza možností akumulace v nich vyráběné elektrické energie. Upřesnění cílů práce. Sestavení rešerše odpovídající cílům práce. Zmapování dopadů výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů na elektrárenskou rozvodnou síť. Diskuse o dopadech výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů na rozvodnou síť.

Doporučený rozsah práce

35 stran textu

Klíčová slova

akumulátor, přečerpávací vodní elektrárna, setrvačnick, solná tavenina, přenosová soustava,

Doporučené zdroje informací

DVOŘÁK, Petr, BAČA Petr, PLÉHA David. Akumulace elektřiny [online]. Vystaveno 9. 5. 2011. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>

Electric Storage Association – power quality, power supply[online]. Vystaveno 2011. Dostupné z: [www: http://www.electricitystorage.org/](http://www.electricitystorage.org/)

LIBRA, Martin, POULEK Vladislav. Solární energie, fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. 1. vydání. Praha, ČZU v Praze, 2005, 122 s. ISBN 80-213-1335-8.

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 21. 1. 2013

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 2. 2013

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti akumulace elektrické energie vyrobené z alternativních zdrojů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 4. 2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Doc. Ing. Pavlu Neubergerovi Ph.D. za odborné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a psaní této práce.

Možnosti akumulace elektrické energie vyrobené z alternativních zdrojů

Options in acumulation of elektricity produced by renewable recources

Souhrn

Práce se zabývá možnostmi akumulace elektrické energie v rámci elektroenergetických systémů. S rostoucím trendem vývoje výroby elektřiny z alternativních zdrojů je třeba poukázat na rizika, která jsou s touto činností pevně spojena. Jedná se především o nekontrolovatelný tok elektrizační soustavou, a vysokou produkci energie i mimo špičku.

V práci jsou zmíněny všechny dnes dostupné akumulární systémy, vhodné pro použití v elektrizační soustavě. Všechna tato zařízení mají společnou jednu věc a to rychlý náběh oproti konvenčním elektrárnám. Nejedná se tak pouze o systémy akumulární ale zároveň i regulační.

Summary

This thesis deal with possibilities in acumulation of electrical energy in electric power systems. With the growing trend of development of electricity generated from renewable sources it is necessary to point out the risks that are assiciated with power generated by these sources. These are mainly uncontrolled flow of electric power systems, and high production in at off-peak time.

There are also mentioned all currently available storage systems suitable for use in elektrik power system. All these devices have one thing in common and that is quick built that is better than conventional power plants. So it is not only storage systems but also control.

Klíčová slova: akumulátor, přečerpávací vodní elektrárna, setrvačnick, solná tavenina, přenosová soustava

Keywords: acumulator, pump storage electrocity, flywhell, molten salt, transmission system

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	10
2.1	Úkoly práce	10
3	ELEKTROENERGETIKA	11
3.1	Přenos elektrické energie	12
3.2	Hlavní požadavky DS	12
3.3	Transformace energie	13
3.4	Alternativní zdroje energie	13
3.4.1	Solární energie	15
3.4.2	Větrná energie	17
3.4.3	Vodní energie	20
3.4.4	Energie biomasy	22
4	AKUMULACE ENERGIE	24
4.1	Technologie akumulčních zařízení	24
4.1.1	Elektrochemický akumulátor	25
4.1.2	Vodík	28
4.1.3	Přečerpávací vodní elektrárna	31
4.1.4	Energie stlačeného vzduchu	32
4.1.5	Gravitační elektrárna	33
4.1.6	Setrvačnick	34
4.1.7	Superkondenzátory	35
4.1.8	Solná tavenina	37
4.2	Vliv AZE na přenosovou soustavu	38
4.3	Vliv AZE na životní prostředí	41
5	DISKUZE A ZÁVĚR	42

Seznam použitých symbolů a zkratk

AZE	Alternativní zdroje energie
CAES	Compressed air energy storage
ČEPS	Název společnosti provozovatele české přenosové soustavy
DS	Distribuční soustava
ES	Elektrizační soustava
EWEA	The European Wind Energy Association
FEMP	Federal Energy Management Program
IEEE	Institut of Electrical and Electronics Engineers
MVE	Malé vodní elektrárny
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PS	Přenosová soustava
SMES	Superconducting Magnetic Energy Storage

1 ÚVOD

Práce se zabývá akumulací elektrické energie z hlediska elektroenergetiky. První částí práce je úvod do problematiky elektrotechniky přenosových a distribučních sítí. Jsou zde popsány základní podmínky fungování elektrizační soustavy. V práci se odkazují na výrobu elektrické energie vyrobené z alternativních zdrojů a to hlavně těch, které nejsou časově stabilní. Opakem alternativních elektráren jsou konvenční elektrárny spalující fosilní paliva, které mají řadu nevýhod, ale z hlediska energetických zdrojů jsou v současné době nenahraditelné. Fosilní paliva však mají limity z hlediska budoucí vyčerpatelnosti, nerovnoměrném geografickém rozložení a produkcí nežádoucích látek při jejich spalování.

AZE (alternativní zdroje) jsou buď obnovitelné nebo relativně nekonečné zásobárny energie a je pouze na člověku, zda tyto přírodní zdroje bude používat. Jsou zde zahrnuti přírodní zdroje, jejichž užíváním člověk nevypouští do atmosféry škodlivé látky. V současné době se jedná spíše o začínající trend využívání těchto zdrojů, a to především díky silné legislativní podpoře od Evropské unie, díky které je nutno vykupovat energii vyrobenou v AZE i v době s nižší spotřebou.

Jednou z možností je akumulovat elektrickou energii ve formě, ve které může setrvat po dobu minimálně několika hodin. Tím se vyrovná rozdíl mezi výrobou a spotřebou a konvenční elektrárny tak nemusí snižovat výkon, čímž mohou dále pracovat v klasickém režimu bez ohledu na danou meteorologickou situaci. V současné době se uchovává malé množství přebytečné energie a přebytek výkonu se řeší odpojením klasických elektráren od distribuční sítě.

2 CÍL PRÁCE

Sestavit rešeršní práci o možnostech akumulace elektrické energie vyrobené z alternativních zdrojů ve formě energie elektrické, mechanické, chemické, a dalších. Poukázat na rizika vznikající v přenosových soustavách v souvislosti s využíváním alternativních zdrojů energie a diskutovat předpokládaný vývoj energetických úložišť.

2.1 Úkoly práce

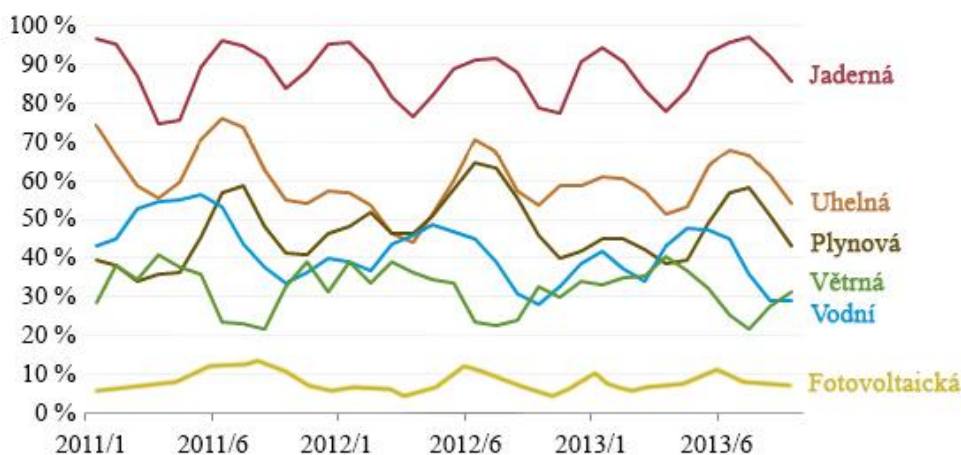
- uvést čtenáře do problematiky elektroenergetiky
- vyjmenovat a popsat alternativní zdroje elektrické energie
- vyjmenovat a popsat stroje a zařízení pro uchovávání elektrické energie
- vyjmenovat a popsat problémy elektrizační soustavy vznikající v souvislosti s výrobou z alternativních zdrojů
- diskutovat možné legislativní změny

3 ELEKTROENERGETIKA

Elektroenergetika je vědní obor zabývající se výrobou a přenosem elektrické energie. Jedná se o poddruh energetiky, která se zabývá všemi možnými energetickými zdroji, jako jsou např. uhlí, ropa, plyn, jaderné palivo a v moderním pojetí i alternativní zdroje v podobě slunce, větru, vody a dalších potencionálních zdrojů šetrných k životnímu prostředí.

Elektrárna je zařízení určené k přeměně jedné formy energie na formu elektrickou. Během tohoto procesu se transformuje daná forma energie na formu využitelnější. Při každé přeměně energie dochází ke ztrátám, neboť dle 2. zákona termodynamiky neexistuje tepelný oběh se 100 % účinností (většina dnes instalovaného výkonu se vyrábí za pomoci tepelné energie a proto pro tyto procesy platí i termodynamické zákony).

Důležitým ukazatelem každé elektrárny je koeficient ročního využití. Jedná se o měřitelnou hodnotu charakterizující procentuelní využití každého energetického zdroje. Ukazuje nám kolik elektrické energie bylo tímto zdrojem vyrobeno v poměru k jejímu maximálnímu instalovanému výkonu. Na obr. 1 je znázorněn koeficient ročního využití různých elektráren, které lze v ČR běžně najít. Elektrárny s nejnižším koeficientem využití jsou fotovoltaické, neboť po většinu dní v roce nesplňují požadavky sítě na připojení. Vypovídací hodnotou tedy není instalovaný výkon elektrárny, ale množství skutečně vyrobené elektrické energie (www.eia.gov).



Obrázek 1 Koeficient ročního využití běžných elektráren (www.eia.gov)

3.1 Přenos elektrické energie

Přenos elektrické energie je prováděn pomocí elektrizační soustavy (ES) rozdělené do dvou stupňů. První stupeň je nazýván přenosová soustava (PS) a jedná se o část přenosu elektrické energie na větší vzdálenost za pomoci vysokého napětí. Jde o páteřní síť vedení velmi vysokého napětí, jejíž rozvoj je dlouhodobě plánován. Druhou částí je distribuční soustava (DS), která se nachází mezi transformovny 110 kV a uzlovými transformovny v přilehlých oblastech spotřeby elektrické energie. Posledním stupněm před spotřebou je rozvodná síť, která zavádí elektrickou energii v rámci územního plánu. V současné době využíváme třífázové soustavy.

Z třífázové rozvodné sítě nízkého napětí můžeme odebírat dvě různá napětí. Mezi jednotlivými fázemi je napětí sdružené ($U_s = 380 \text{ V}$), mezi jednou fází a nulovým vodičem pak napětí fázové ($U_f = 220 \text{ V}$). Po připojení České republiky k EU v rámci evropské integrace si přenosová soustava vyžádala mírné změny i v přenosových a rozvodných soustavách. Došlo ke zvýšení jmenovitého napětí z 380 V na 400 V, resp. z 220 V na 230 V. Evropská rozvodná a přenosová soustava používá kmitočet sítě 50 Hz, na rozdíl od soustav v USA a Japonsku. (Augusta, 2001)

3.2 Hlavní požadavky DS

Hlavní technické předpisy, které musí uživatelé připojení k DS dodržovat definuje dokument pravidel pro provozování distribučních soustav (PPDS). Dokument sestává ze dvou hlavních částí a to předpisů pro připojení do DS a provozních předpisů.

Z technického hlediska je nejdůležitější určit normované parametry dodávané elektřiny z DS. Ta je popsána v příloze 3 dokumentu PPDS a zahrnuje výčet charakteristik, které musí všechna zařízení připojená to DS splňovat. Je zde zahrnut kmitočet sítě, velikost napětí, výchylky napětí, rychlé změny napětí, nesymetrie fází, harmonické a meziharmonické proudy a přerušení dodávek napájecího napětí. Žádné zařízení nesmí být připojeno do DS, pokud nespĺňuje jedno nebo více z uvedených pravidel. Elektrárny pracující na základě klimatických podmínek mají časté problémy se splněním požadavků na DS a proto nesmí být po většinu roku do ES připojeny. To má za následek nižší koeficient využití pro větrné a solární elektrárny.

3.3 Transformace energie

Energii lze přeměňovat z jednoho stavu do stavu druhého a to vždy s nižší účinností, než 100 %, neboť platí zákon zachování energie. Říkáme, že energie mění svoji formu. Zařízení, díky kterým lze této změny dosáhnout, jsou vypsána v tabulce 1. V rámci elektroenergetiky nás zajímají procesy přeměny různých druhů energií na energii elektrickou a naopak.

Tabulka 1 - Stroje a zařízení pro vzájemnou přeměnu energie (Augusta, 2001)

	mechanická	tepelná	elektrická	chemická
mechanická →	turbína	tření	alternátor	
tepelná →	tepelný stroj	radiátor	termočlánek	endotermická reakce
elektrická →	elektromotor	elektrické topidlo	transformátor	elektrolýza
zářivá →	tlak. zařízení	sluneční kolektor	fotočlánek	fotosyntéza
chemická →	výbušnina	hoření	galvanický článek	chemická reakce
jaderná →	jaderný výbuch	jaderný reaktor	termočlánek	změny ozáření

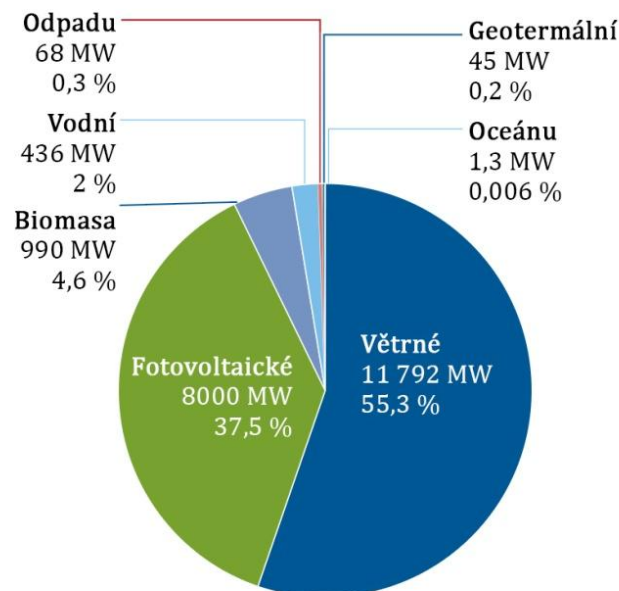
3.4 Alternativní zdroje energie

Alternativní zdroje energie (AZE) jsou definovány zákonem 180/2005 sb., který vešel v platnost 31. března 2005. Tento zákon konkretizuje jednotlivé druhy energie využívané pro získání elektrické energie a zároveň určuje jejich podporu oproti konvenčním energetickým zdrojům. Alternativním zdrojem se rozumí nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, slunečního záření, vody, půdy, biomasy, skládkového plynu, kalového plynu, bioplynu a biomasy. Hlavní část podpory vychází z § 4, kde je uvedeno, že provozovatel distribuční soustavy je povinen přednostně připojit výrobce elektřiny z alternativních zdrojů, pokud o to výrobce požádá. To může mít negativní dopad na přenosovou i distribuční soustavu, neboť jsou do ES připojovány zdroje, které nemají současné pokrytí v podobě dostatečného odběru. Je tedy důležité rozlišovat zdroje předvídatelné a nepředvídatelné.

Jelikož jsou AZE ve většině případů malými zdroji, odlehčují tak přenosovou soustavu vedoucí od velkých elektráren do všech oblastí ČR. Jedná se tak o zdroje, které by měli reagovat na poptávku el. energie a pokrývat lokální spotřebu.

Význam využívání těchto zdrojů plyne především ze snížení spotřeby fosilních paliv, které mají řadu nevýhod. Z ekologického hlediska je to hlavně důraz na snižování produkce oxidů síry a dusíku a zároveň snížit objem polétavého prachu v ovzduší. Vysoké znečištění vznikající v konvenčních elektrárnách má za následek snížení kvality ovzduší pro skupinu obyvatel bydlící v blízkosti těchto elektráren. Dalším problémem je logistika uhlí od dolu k elektrárně. Řešením je pak stavba elektráren v blízkosti dolu, což má za následek mimo snižování kvality ovzduší i přebytek elektrické energie daleko od spotřebitelů. V neposlední řadě je pak nevýhoda v přírodním rozdělení fosilních paliv napříč státy. Tento fakt má za následek vznik konfliktů národních měřítek, kde země bez možnosti těžby uhlí a ropy se cítí být závislé na dobré vůli států s touto možností (Kuvajt, Irák, Rusko). Všechny tyto nevýhody pak řeší produkce energie pomocí alternativních zdrojů.

Na obrázku 2 můžete vidět instalovaný výkon, resp. zastoupení v procentech nových AZE v Evropské unii za rok 2014. Jednoznačně dominují větrné elektrárny, jejichž výstavba v severním moři neustále roste.

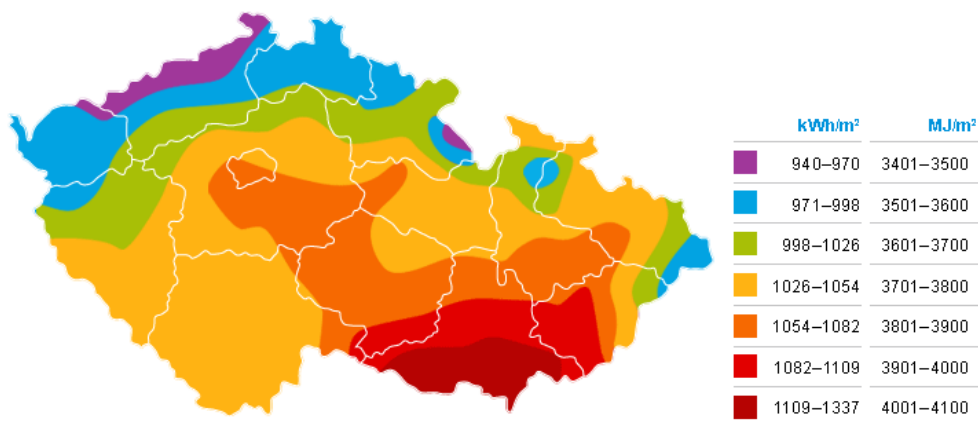


Obrázek 2 Nový instalovaný výkon z AZE v EU za rok 2014 (výroční zpráva EWEA)

3.4.1 Solární energie

Sluneční energie dopadající na Zemi vzniká na Slunci termonukleární přeměnou. Dvě jádra vodíku se sloučí a vytvoří deuterium, které se spojí s dalším vodíkem a vznikne helium, přičemž vylétne částice foton (světelná částice). Tato subatomární částice cestuje vesmírem celkem 8 minut a 19 sekund, než dopadne na povrch Země, kde ji lze použít k přeměně na využitelný zdroj energie. (Bahcall, 2001)

Slunce je jediná hvězda v sluneční soustavě a jedná se tak o největší zdroj energie (reálná životnost Slunce je omezena na jednotky miliard let a jedná se tak o alternativní, nikoli obnovitelný zdroj). Veškerá energie, kterou máme na Zemi, snad kromě jaderné, vzniká právě na Slunci. Ta část energie, která dopadla na Zemský povrch, je akumulována jak ve fosilních palivech, tak v biomase a to fotosyntetickou přeměnou anorganických látek na látky organické. Využití právě dopadající solární energie je možné dvěma různými způsoby. Využít tuto energii k ohřátí vody (vznik páry) a dále zacházet s párou jako s nosným médiem energie stejně jako v tepelných elektrárnách. Další možností je přeměnit energii přímo na elektrický proud. (Libra, 2007)



Obrázek 3 Roční úhm slunečního záření nad ČR (www.mojeelektrarna.cz)

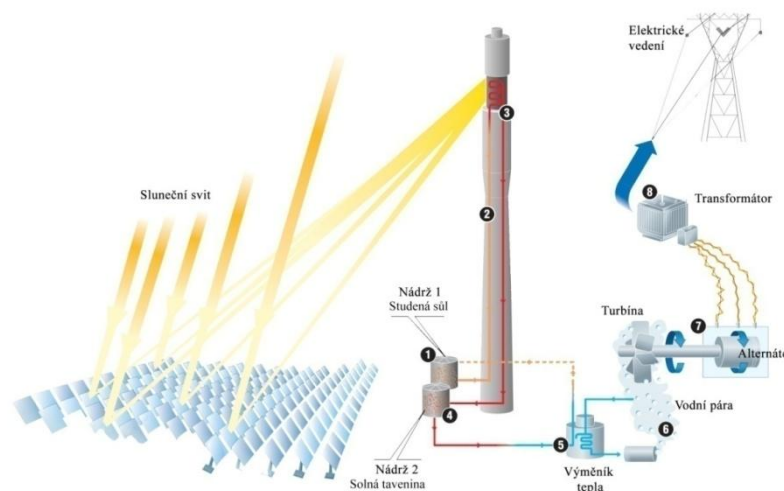
Mezi dnes nejrozšířenější způsoby využití sluneční energie patří přímá přeměna solární energie na elektrickou ve fotovoltaických panelech. Foton, nebo fonon (tepelná částice), vstoupí do fotovoltaického článku a dodá dostatek energie některým elektronům, aby je uvolnil od svého atomu. Přechod přes zakázaný pás působí na tyto elektrony tak, že se mohou volně pohybovat a tím zprostředkovávají vedení

elektrického proudu. Fotovoltaické panely produkují stejnosměrný proud a hodí se tak především k nabíjení chemických článků. Dnes nejvyužívanější metodou je použití střídačů napětí (zařízení, které vytvoří sinusový průběh napětí ze stejnosměrného) a zacházení s tímto zdrojem energie jako s ostatními, konvenčními elektrárnami. (Hersch, 1982)

Hlavní nevýhodou užívání solárních panelů je jejich nízká účinnost. Tato veličina je ovlivňována především nasměrováním proti slunci a stíněním různými předměty (nejčastěji ostatními panely). V dnešní době jsou využívány panely otáčející se v takovém směru, že paprsky dopadají kolmo na panel po většinu dne. V praxi se setkáváme primárně s jednovrstvými PV panely, které přemění dopadající energii na elektrickou přibližně z 15 %. Užíváním vícevrstvých panelů v laboratorních podmínkách dosáhneme účinnosti až 40 % a dá se tedy očekávat vývoj soustředěný hlavně na zvyšování účinnosti jednovrstvých panelů a snižování výrobních nákladů vícevrstvých panelů. (www.solar-facts.com)

Mezi další nevýhody patří složitá recyklace PV panelů po skončení životnosti a právě relativně krátká životnost. Tento problém není příliš aktuální, neboť k rozmachu výroby energie těmito zařízeními došlo teprve nedávno tj. v roce 2005.

Vhodnost projektu nové solárních elektrárny na území ČR vychází primárně z lokality, ve které by se elektrárna měla nacházet. Na obrázku 3 je jasně vidět, že nejvhodnější podmínky jsou na jižní Moravě, kde dopadne ročně průměrně 1350 kWh/m². Výsledné množství získané energie už závisí pouze na účinnosti konkrétního panelu.



Obrázek 4 Technologická zařízení tepelné solární elektrárny (www.torresolenergy.com)

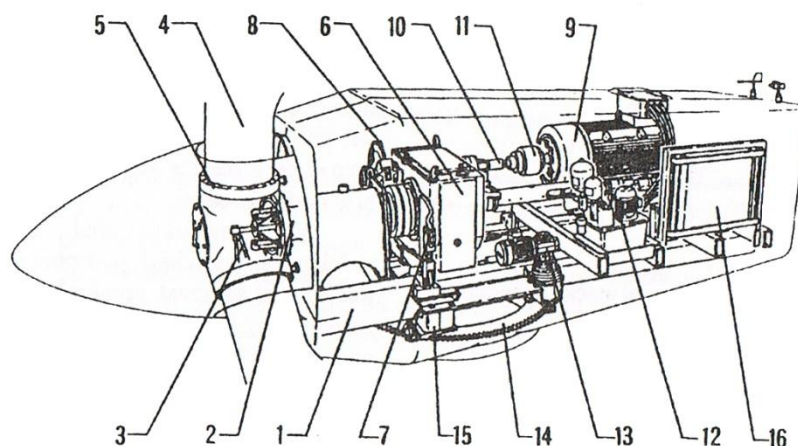
Dalším druhem zařízení využívající sluneční záření je tepelná solární elektrárna. Jedná se o komplex, jehož součástí jsou odrazná zrcadla, věž s absorberem tepla, parogenerátorem a klasickou tepelnou turbínou. Záření je z velké plochy koncentrováno do malého místa na vysoké věži, kde dochází k ohřevu roztoku dusičnanu draselného a dusičnanu sodného, který se následně shlukuje v izolované nádrži. Výhodou tohoto řešení je především možnost produkce elektrické energie i v noci, neboť teplo v solné tavenině je zde skladováno po dobu až 15 hodin pro trvalý provoz elektrárny. Nevýhodou termální elektrárny je horší dostupnost vody v poušti, popř. dostatečně velký prostor v oblastech s dostatkem vody.

3.4.2 Větrná energie

Vítr je proudění vzduchu, které vzniká pomocí rozdílných tlaků v různých vrstvách atmosféry, nerovnoměrnému zahřívání zemského povrchu a rotací Země. Větrnou energii lidstvo využívá již tisíce let v mnoha odvětvích, avšak především v oboru zemědělství při mletí obilí, či na moři k pohybu plachetnic. Pro převod energie větru na rotační pohyb hřídele se v minulosti používaly větrné mlýny, které od té doby prošly důležitým vývojem a dnes tato zařízení nazýváme větrnými turbínami. V současné době rozdělujeme turbíny podle aerodynamického principu na odporové a vztlakové. Podle orientace rotoru se pak rotory rozdělují na horizontální a vertikální. (Augusta, 2001)

Turbíny pracující na principu třecího odporu, využívají silový účinek tečných napětí při povrchu obtékaného tělesa. Využívá se tedy viskozita vzduchu, který se opírá o povrch listu vrtule. Třecí odpor využíváme pro tělesa s oblými hranami s maximální tloušťkou do 20% délky. Tlakový odpor těles je dán silovým účinkem normálových napětí. Využívá se tedy nesymetrické rozložení tlaků nad a pod obtékaným tělesem. Tlakový odpor využíváme pro tělesa s ostrými hranami s maximální tloušťkou větší než 20% délky.

Dnes nejrozšířenějším typem větrných turbín, využívaných v elektroenergetice, jsou třílisté horizontální vztlakové turbíny, kde vítr obtéká profil lopatky podobným způsobem jako je proudění vzduchu na povrchu letecké vrtule. Nákres typické větrné elektrárny můžete vidět na obrázku 5. Strojovna se skládá z brzdy, rotoru, převodovky, spojky, generátoru, servopohonu strojovny a senzoru pro snímání rychlosti a směru větru. (Rychetník, 1997)



Obrázek 5 Schéma horizontální větrné elektrárny (1 tuhý rám, 2 hlavní hřídel, 3 hlava vrtule, 4 listy vrtule, 5 příruba, 6 převodová skříň, 7 nosník převodovky, 8 kotoučová brzda, 9 alternátor, 10 kardan, 11 kluzná spojka, 12 hydraulická jednotka, 13 převodovka, 14 natáčecí kolo, 15 řídicí jednotka, 16 centrální řídicí jednotka) (Rychetník, 1997)

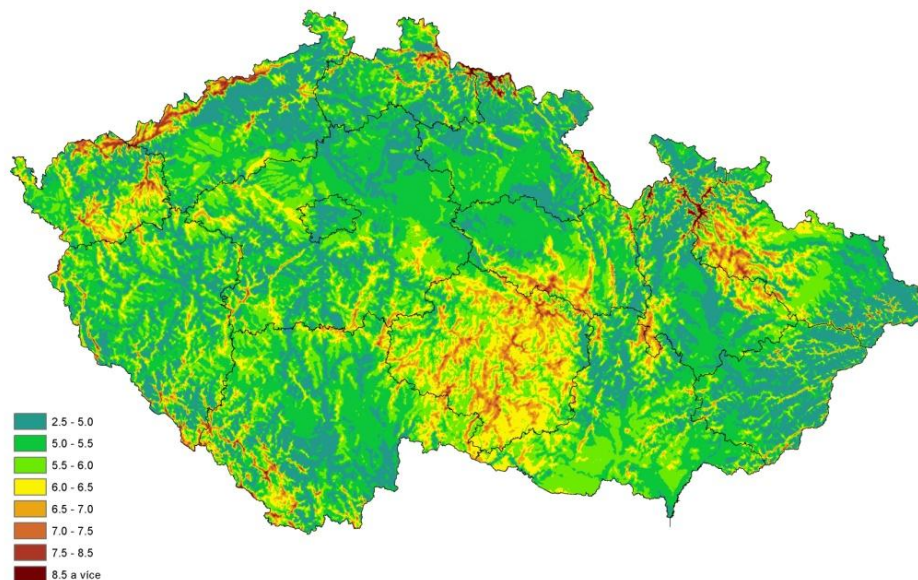
Větrná energie je spolu se solární a vodní energií považována za absolutně čistou a v dnešní době hojně propagovanou formou výroby elektrické energie z alternativních zdrojů. Problém nastává při pohledu na využitelnost instalovaného výkonu. Zatímco elektrárny spalující fosilní paliva mají využitelnost 85 - 90 %, větrné elektrárny po většinu svého života elektřinu neprodukuje. Jejich využitelnost je na hranici 30 %, neboť jsou velmi závislé na rychlosti a kvalitě větru. Často se v praxi stává, že elektrárna nepracuje z důvodu příliš slabého větru. V opačném případě může být elektrárna odstavena kvůli příliš silnému či nárazovému větru. Při provozu je tedy důležitý hlavně přírodní faktor, který nelze ovlivnit a způsobuje tak největší problémy spojené s provozem větrných elektráren. (www.csvts.cz)

Dalším faktorem omezujícím rozvoj této technologie je narušení krajinného rázu. Ve většině lokalit, kde by v budoucnu měli stát větrné elektrárny vznikají petice proti stavbám takových rozměrů. Ty argumentují především zkušenostmi jiných lokalit, kde taková elektrárna stojí. Mezi nejčastější stížnosti patří ohrožování ptactva, vznik stroboskopických světelných efektů, rušivé zvuky a již zmiňované narušení krajiny. Nutno podotknout, že například povrchové těžení uhlí na severu Čech drastickým způsobem zničilo krajinu, která nemá sebemenší šanci na obnovu v budoucnosti. Moderní stavby větrných elektráren jsou pouze dočasným zařízením a v případě absolutní potřeby je možno tato zařízení zlikvidovat během krátkého časového úseku.

Navíc jsou zde i lidé, kterým se větrné elektrárny vzhledově líbí a poukazují na fakt, že jsou symbolem čisté a nekonečné energie. Zbývá tedy subjektivně posuzovat každou stavbu zvlášť. Východiskem pro celé odvětví zabývající se větrnou energetikou je umístění elektráren do míst, kde vítr fouká nepřetržitě po celý rok a kde vysoké stožáry nikomu nevadí.

Ve Velké Británii, Dánsku, Nizozemsku a Německu se osvědčila konstrukce větrných elektráren umístěných na moři blízko pobřeží. Na rozdíl od pevniny zde vítr fouká mnohem silněji a celé zařízení tak má o 50 % větší energetickou výtěžnost. Díky silnějšímu větru je zde možnost použít i rotory s větším průměrem a to až do velikosti 160 m. Elektrárny se staví do 20 km od pobřeží do hlouky 25 m a výška věže nad hladinou moře činí min. 70 m. (www.odbornecasopisy.cz)

Životnost větrných elektráren je stanovena na 20 - 25 let provozu. Ta je ovlivňována především povětrnostními vlivy na listy vrtulí a celkovým zatížením přenosu energie větru do generátoru. Všechny součásti elektrárny mají omezenou životnost a dimenzují se tedy na zmiňovaných 25 let.



Obrázek 6 Úhrn větrných oblastí nad ČR ve 100 m nad povrchem (www.ufa.cas.cz)

3.4.3 Vodní energie

Využitelná energie vody spočívá v jejím koloběhu po Zemi. Účinkem sluneční energie se voda vypařuje z oceánů a povrchu Země a zvedá se ve formě vodních par do atmosféry. Tento jev je odborně nazýván evapotranspirace. Rotací Země a pohybem atmosféry do sebe naráží teplotní masy, ve kterých pára kondenzuje a ve formě deště, či sněhu dopadá zpátky na zemský povrch. Tento nekonečný cyklus je označován jako koloběh vody. Voda nabírá potenciální energii při svém stoupaní do atmosféry a kinetickou energii pomocí gravitace, která na ni působí při průtoku korytem řeky.

Pokud se budeme snažit využít mechanickou energii vody, musíme ji pomocí turbíny převést na pohyb rotační. K tomuto účelu byla vynalezena vodní kola, která byla v historii nejčastěji používaná na hamrech a mlýnech.

Dlouhodobou snahou zlepšit provozní vlastnosti a účinnost vodních kol se jako výsledek vědeckého bádání a přesných výpočtů zrodily vodní turbíny. V principu rozlišujeme turbíny reakční (přetlakové), které dokážou využít kinetickou i tlakovou energii vody, a turbíny akční (rovnotlaké) využívající převážně energii kinetickou. (Augusta, 2001)

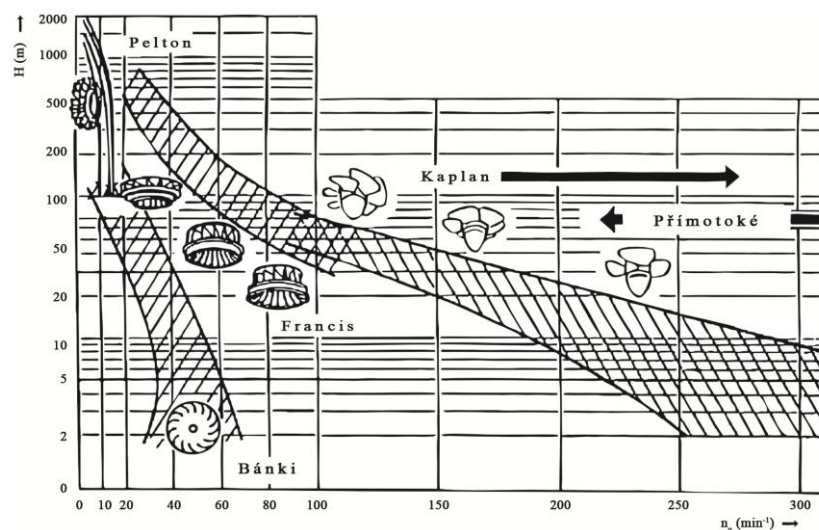
Volba typu turbíny závisí především na měrných otáčkách turbíny a spádu vodního díla. Měrné otáčky vychází z podobnosti hydraulických strojů, kde bereme v úvahu průtok vody $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, spád (rozdíl horní a spodní hladiny vody) 1 m a otáčky turbíny s ohledem na počet pólů alternátoru a převodovým poměrem mezi hřídelí alternátoru a turbínou. (Polák, 2013)

Teoreticky vznikly 3 druhy turbín obecně používaných ve vodních elektrárnách u nás i po světě. Jedná se především o Peltonovu, Francisovu a Kaplanovu turbínu. Podle obrázku 5 je vidět, že Peltonova turbína je vhodná především pro vysoké spády a její použití v rámci ČR by bylo neúčinné. Proto se pro podmínky zdejší, relativně ploché, krajiny využívají hlavně turbíny Francisova a Kaplanova. Jediná Francisova turbína pak má možnost pracovat i v reverzním chodu, tzn. v čerpadlovém režimu. Tohoto jevu se využívá například u přečerpávacích a gravitačních elektráren.

Vodní turbíny jsou extrémně energeticky účinná zařízení a vykazují ztráty pouze v jednotkách procent. Tyto ztráty jsou způsobeny mechanickým třením v ložiskách na hřídeli spojené s turbínou, dále pak kavitací, jejíž vliv je nutno omezovat hlavně z důvodu povrchové ochrany lopatek a v poslední řadě je to vírový výstup vody

z turbíny. Vír vznikající za turbínou představuje zbytkovou energii, která nebyla využita. V případě správného návrhu se účinnosti turbín pohybují kolem 90 %.

Pokud se bavíme o alternativních zdrojích energie jako o šetrných k životnímu prostředí, je potřeba zdůraznit klady a zápory právě vodní energie, jejíž dopady na ekosystém jsou častými předměty diskuzí, jež se o tomto zdroji energie vedou. Toto téma bylo probírané i na speciálním symposiu v roce 1998 na mezinárodní konferenci s názvem The Land-Water Interface (Rozhraní mezi vodou a zemí). Hlavními problémy flóry (všech živočichů) může být například genetická izolace druhů prostřednictvím fragmentací biotopů. K rozdělení biotopu dojde právě při stavbě velkých přehrad a druhy jsou izolovány od sebe hrází. Dále dochází k narušení biodiverzity (rozmanitosti) jednotlivých živočišných druhů. (Rosenberg, 2000)



Obrázek 7 Graf s vyznačenými úseky možného použití jednotlivých typů turbín (Polák, 2013)

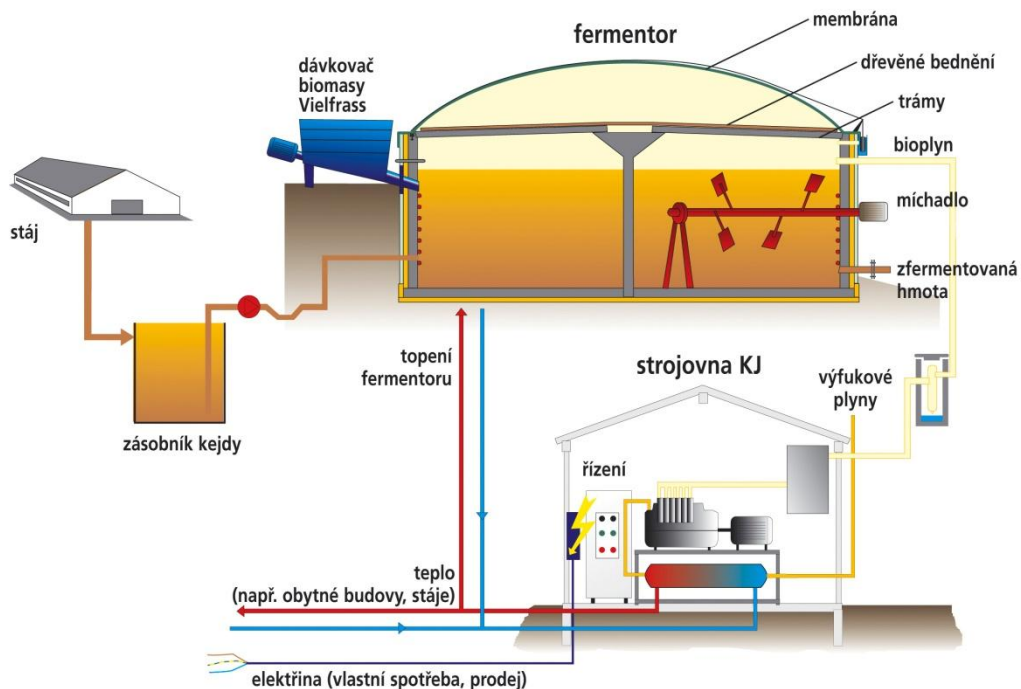
Vodní elektrárny jsou v dnešní době brány jako nejdůležitější zdroje energie z hlediska vyrovnávání přebytečného výkonu v přečerpávacích elektrárnách a pokrytí deficitu výkonu při vysokém odběru. Obecně lze říci, že se jedná o zdroje doplňkové, zajišťující jinou energetickou formu užitku, než tradiční zdroje. Ty mají mnohem větší výkon, než elektrárny vodní, ale jejich připojení od sítě (popř. odpojení) je velmi časově i energeticky náročné. Malé vodní elektrárny (MVE) se tak mohou použít jako zdroj pro nastartování větší elektrárny např. pokud by nastal hromadný výpadek všech zařízení v soustavě, tzv. blackout.

3.4.4 Energie biomasy

Dle přesné definice biomasa představuje živý i neživý biologický materiál, který lze použít pro získání energie. Získávána může být buď záměrně výrobní činností, nebo se jedná o druhotné využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby. Úmyslně pěstovaná biomasa může být např. řepa, obilí, třtina, brambory, olejniny a energetické dřeviny. V odpadovém hospodářství zemědělských podniků můžeme narazit na slámu, větve, odpady živočišné výroby a odpady vznikající při zpracování krmiv a potravin. Biomasa sama o sobě není nijak energeticky využitelná a musíme ji přeměnit na formu využitelnou. (Pastorek, 2004)

Biomasu můžeme na nositele energie přeměnit například pomocí chemické přeměny. Děje se tak spíše u menších kotlů, kde pomocí vystavení povrchu dřeva vysoké teplotě vzniká dřevoplyn, který je následně spalován v oddělené komoře. To má za následek vyšší účinnost celého kotle, resp. procesu spalování. Biologickou přeměnou lze biomasu přeměnit anaerobní fermentací na bioplyn s vysokým obsahem metanu, který se následně spaluje v bioplynové stanici. (Pastorek, 2004)

Vstupními surovinami do bioplynové stanice jsou exkrementy hospodářských zvířat, zemědělské produkty a zemědělsko-průmyslové odpady. Smícháním silážované kukuřice a kejdy vznikne směs vhodná pro výrobu bioplynu, která je přečerpána do fermentoru. Dopravené substráty jsou postupně promíchávány, aby se zabránilo vzniku usazenin a plovoucích vrstev. Pomocí nástěnného ohřevu horkou vodou je směs ohřívána na teplotu 40 °C, aby byl umožněn vznik bioplynu. Složení bioplynu je v 60 % z metanu a zbytek tvoří oxid uhličitý, vodní pára, vodík a sirovodík. Jelikož vodní pára a sirovodík způsobují během následného zužitkování plynu problémy, musí být tyto látky z plynu odstraněny. Dále už je plyn spalován v kogeneračních jednotkách uvnitř stanice. Až 30 % odpadního tepla z chladicího oběhu generátorů je použito na ohřev fermentorů. Tomuto soběstačnému procesu nemusí být dodáváno žádné dodatečné teplo. Zbylé teplo může být použito pro vytápění budov a domů poblíž stanice. (firemní materiál Bioconstruct)



Obrázek 8 Schéma bioplynové stanice s kogenerační jednotkou (www.agrikomp.de)

Výroba energie z biomasy se děje z 60 % právě v bioplynových stanicích. Zbytek tvoří tvorba biopaliv, které nejsou pro elektroenergetické účely využitelné a domácí kotle spalující štěpku, pelety a jiný biologický odpad. Na rozdíl od ostatních AZE je výroba elektřiny v bioplynových stanicích charakterizována stabilním výkonem, což technicky ulehčuje napojení do přenosové soustavy. Ve spolupráci s přenosovou soustavou se může jednat o výborný špičkový energetický zdroj sloužící zároveň k regulaci distribuční sítě. (www.eagri.cz)

Mezi negativní vlastnosti bioplynových stanic lze zařadit jejich vysokou spotřebu biologicky rozložitelných materiálů konkrétně pěstovaných pro tyto účely. Jedná se především o kukuřici a řepku, jejíž navyšující produkce způsobuje půdní problémy hlavně ve svažitých polích. Vodní eroze a snižování retenčních vlastností krajiny má za následek nižší schopnost půdy pohlcovat vodu. Výsledkem těchto problémů jsou častější povodně.

4 AKUMULACE ENERGIE

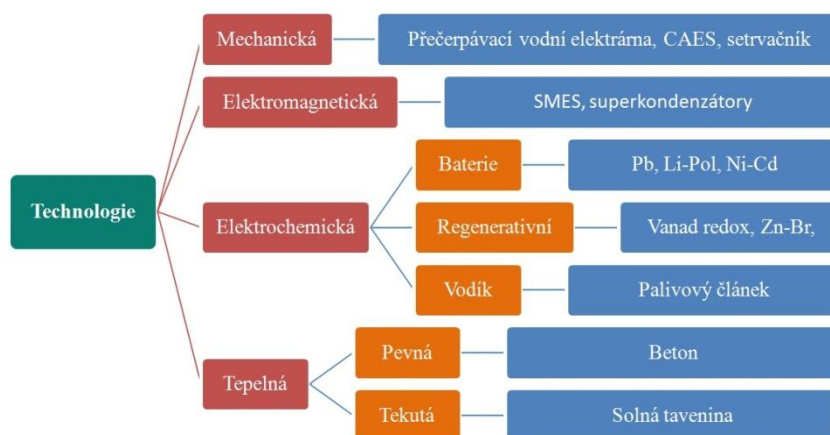
Akumulace je obecný fyzikální termín pro uchování a zpětné využívání energie. Patří sem např. pružiny, setrvačníky, chemické články apod.. Tématem této práce není vyjmenovat všechny možné akumulátory energie, ale pouze takové, které jsou schopné pracovat v ES soustavě.

Zpravidla využíváme elektrickou energii, kterou dodáme nosnému médiu (např. voda, vzduch, elektrolyt, ...) a energii v něm uložíme. V budoucnu lze pak některými procesy energii opět využít a přeměnit jí zpět na elektřinu. Při každém procesu přeměny vznikají ztráty (viz. kap. 3.3), a proto nás zajímá i celková účinnost každého zařízení. Účinnost celého procesu je pak součinem všech účinností dějů, které se v tomto procesu vyskytují.

4.1 Technologie akumulárních zařízení

Základní typy akumulace můžeme rozdělit podle technologie, resp. podle formy, ve které energii uložíme. V současné době jsou využívány 4 druhy akumulátorů (mechanické, elektromagnetické, elektrochemické a tepelné), neboť elektrickou energii v původní formě skladovat neumíme. Jednotlivé technologie jsou uvedeny na obr. 9, včetně příkladů zařízení, které je pro danou formu možné využít.

Požadovanou vlastností každého akumulátoru je jeho reakční doba, tj. za jak dlouho je schopen dosáhnout maximálního výkonu, neboť se nejedná pouze o systémy akumulace elektrické energie, ale zároveň prvky regulace výkonu v ES.



Obrázek 9 Technologie akumulace elektrické energie (Gatzen, 2008)

Důležitou vlastností každého nositele energie je jeho energetická hustota. V tabulce 2 je seznam dnes dostupných technologií akumulace elektrické energie společně s konvenčními palivy. Uhlovodíková paliva mají několikanásobně větší hustotu energie na jeden kilogram a jejich dostupnost brání širšímu využívání elektrických zdrojů.

Tabulka 2 - Seznam hustot energií jednotlivých nositelů (www.evscroll.com)

Seznam nositelů energií	kJ/kg	kWh/kg
Stlačený vodík	143 000	39,72
Benzín	47 200	13,11
Nafta	45 400	12,01
LPG	46 400	12,89
Dřevo	16 200	4,50
Lithium-vzduchové baterie	4 800	1,33
Zinek-vzduchové baterie	3 200	0,89
Li-Ion	720	0,20
NiMH	288	0,08
Pb	100	0,03

4.1.1 Elektrochemický akumulátor

Dnes nejrozšířenějším typem akumulace elektrické energie je její převedení na chemickou formu a uložení v elektrochemických akumulátorech. Chemické články se rozdělují na primární a sekundární. Primární články jsou použitelné pouze jednou a nemají možnost opětovného nabíjení. Oproti nim stojí sekundární články, které lze využívat několik stovek až tisíců cyklů. Ty fungují na principu dvou chemických reakcí (nabíjení/vybíjení), které vyvolávají vratné změny na elektrodách a v elektrolytu. Společnými znaky každého akumulátoru je jejich složení. Elektrochemické akumulátory se skládají z dvou elektrod a elektrolytu. Ten může mít různé skupenství. Nejčastěji se využívá tekutá směs kyseliny a vody, avšak v poslední době se vývoj soustředí především na elektrolyty pevného skupenství. Ty mají výhodu oproti tekutým v jejich nenáročném údržbě. Jednotlivé typy akumulátorů se pak rozlišují podle materiálu a typu elektrolytu.

Napětí produkované elektrochemickými akumulátory je vždy stejnosměrné a hodnota napětí jednoho chemického článku se pohybuje v hodnotách od 1 do 2 V. Pokud chceme získat napětí větší, je třeba sériově zapojit jednotlivé články do baterií. V praxi

se můžeme běžně setkat s bateriemi o těchto napětích.

- 3 V - přenosná elektronická zařízení
- 6 V - motocyklové baterie a některá složitější elektronická zařízení
- 12 V - automobilové baterie
- 24 V - napájení pro pohony lehkých zařízení

Nyní si rozdělíme jednotlivé druhy akumulátorů, podle použitého materiálu elektrod. Je třeba zdůraznit, že ne všechny druhy mají takové vlastnosti, které bychom v elektroenergetice potřebovali.

- **Olověné (Pb)**

Akumulátory s olověnými elektrodami patří mezi nejstarší, nejznámější a nejvíce rozšířené typy. Elektrolytem je zředěná kyselina sírová, která v roztoku disociuje na kladné vodíkové ionty a záporné síranové ionty. Tento druh akumulátoru se nehodí pro instalace, kde dochází k hlubokému vybíjení, neboť na jeho elektrodách může docházet k sulfataci. Ta vede ke snížení výsledné kapacity. Hlavní využití našly v automobilovém průmyslu, kde se jedná o ideální zdroj pro startování vozidla. (www.odbornecasopisy.cz)

- **Nikl-metal hydridový akumulátor (NiMH)**

Jedná se o novější typ nikl-kadmiových akumulátorů, u kterých byl ekologický problém s použitím kadmia. Kladná elektroda je tvořena z hydroxidu niklu, záporná pak kovovou slitinou. Elektrolytem je v tomto případě alkalický hydroxid draselný. Základní typ tohoto akumulátoru není vhodný pro rychlé nabíjení a ani velké vybíjecí proudy. Existují však speciálně upravené typy používané např. pro akumulátorové ruční nářadí. V těchto aplikacích je potřeba jak vysokých vybíjecích proudů, tak rychlé nabití. (www.battex.info)

- **Lithiový akumulátor (Li-Ion, Li-Pol)**

Katoda Li-Ion akumulátorů je tvořena z oxidu kovu (LiCoO_2), anoda je z uhlíku s vrstevnatou strukturou. Elektrolyt tvoří lithná sůl (LiPF_6) rozpuštěná v organickém karbonátu. Li-ion akumulátory mají velkou hustotu energie i účinnost s vysokým jmenovitým napětím 3,6 V. Nedostatkem je vysoká cena a škodlivost hlubšího vybíjení projevující se snižováním životnosti baterie. Díky

malé velikosti a hmotnosti jsou Li-ion akumulátory vhodné pro použití v přenosných zařízeních a pro krátkodobé zálohování. Při porovnání typů Li-Ion a Li-Pol je druhý zmiňovaný asi o 15 % lehčí, ale o 20 % objemnější. Li-Pol má navíc lepší napěťové charakteristiky v mraze. (www.oze.tzb-info.cz)

- **Průtoková baterie (VRB)**

Průtokové, neboli vanadium-redox baterie jsou poměrně novou technologií. Jsou nabíjeny stejně, jako konveční baterie, ale skladování je prostřednictvím tekutého elektrolytu. Tento elektrolyt je pomocí čerpadel vháněn do zásobních tanků a z nich je zpět přiváděn do chemického článku. Z toho plyne, že se jedná o mohutnější zařízení s vysokou energetickou hustotou (28 až 43 kWh.m⁻³). Princip VRB článku je blízký funkci palivových článků, ale oproti nim může v tomtéž měniči probíhat jak nabíjení, tak vybíjení podobě jako v klasických typech akumulátorů. (Mastný, 2011)

Polysulfidová bromová baterie je další typ průtokové baterie, kde jako elektrolyt pracují roztoky bromidu sodného, a polysulfidu. Při vybíjení a nabíjení procházejí membránou procházejí kladné ionty sodíku. Tato technologie se jeví jako perspektivní pro velké akumulární stanice v místech uzlů přenosové soustavy. Dostupné informace hovoří o výkonu 12 MW a kapacitě 120 MWh. (Mastný, 2011)

- **Zinek-vzduch (Zinc-Air)**

Zinkové baterie jsou nejnovější typy chemických článků a do budoucna se s nimi počítá jako náhrada za lithiové akumulátory. Baterie používá zinek jako anodu, který má různé výhody (nízká cena, bohaté zdroje, netoxicity). Jako katoda je použit okolní vzduch, který není třeba skladovat v oddělených nádržích. Hustota energie v těchto článcích je zhruba dvojnásobná (cca 470 Wh.kg⁻¹), než při použití lithium iontových baterií (cca 200 Wh.kg⁻¹). Využití by měli najít jak v přenosných elektronických zařízeních, elektromobilech, tak ve velkých stacionárních stanicích. (Hongyun, 2014)

Všechny akumulátory mají společný princip ukládání elektrické energie. Vybitý akumulátor se nabíjí tak, že reakční produkty se převedou elektrickým proudem zpět na reaktanty. Dané chemické rovnice jsou znázorněny v tabulce 3.

Tabulka 3 - Chemické reakce jednotlivých akumulátorů (www.oze.tzb-info.cz)

Akumulátor	Reakce
Pb	$Pb + 2H_2SO_4 + PbO_2 \leftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$
NiMH	$MH + NiO(OH) \leftrightarrow M + Ni(OH)_2$
Li-ion	$Li_1CoO_2 + Li_1C_6 \leftrightarrow C_6 + LiCoO_2$
VRB	$V^{2+} + VO^{2+} + 2H^+ \leftrightarrow V^{3+} + VO^{2+} + H_2O$
Zn	$2Zn + O_2 \rightarrow 2ZnO$

Výhody užívání chemických akumulátorů jsou dnes obecně známé. Každé přenosné elektronické zařízení funguje právě díky akumulátorům těchto typů. NiMH, Li-ion a Zn akumulátory lze použít v aplikacích s výkony mnohem nižšími, než by bylo ve výkonové elektrotechnice potřeba. Další nevýhodou je omezený a relativně nízký počet cyklů za životnost baterie. Z elektroenergetického hlediska, tj. akumulátory s vysokými výkony, se dají uplatnit hlavně vanad-redox baterie, které mají kapacitu až desítky MWh a výkony v řádů MW. Jedná se o prvky ES, které jsou schopny pokrýt lokální výkyvy toků energie.

4.1.2 Vodík

Vodík je nejrozšířenější prvek v celém vesmíru a třetí nejrozšířenější prvek na Zemi, kde se však volný vodík za běžných podmínek nevyskytuje. Největší množství vodíku na Zemi je vázáno ve sloučeninách, resp. v molekule H₂O (voda), která pokrývá většinu zemského povrchu. Molekulový vodík je stabilní a díky vysoké hodnotě vazebné energie i málo reaktivní. Oproti tomu vodík ve stavu zrodu je velmi reaktivní a reaguje s celou řadou látek. Díky palivovým článkům můžeme z reakce vodíku a kyslíku produkovat i stejnosměrné napětí. Výroba čistého vodíku je však velmi energeticky náročná a proto můžeme pohlížet na výrobu vodíku jako na určitý druh akumulace elektrické energie. (www.tabulka.cz)

Vodík je možno vyrobit několika způsoby. Vstupní surovinou může být voda, či fosilní paliva jako zemní plyn nebo ropa. Jelikož se tato práce zabývá akumulací elektrické energie vyrobené z alternativních zdrojů, v úvahu připadá pouze výroba elektrolýzou

vody.

Elektrolýza je proces, kdy vlivem stejnosměrného proudu vodivým roztokem dochází k oddělení kationtů (kladně nabyté ionty) a aniontů (záporně nabyté ionty), které jsou v roztoku obsaženy. Pro výrobu vodíku se jako roztok používá voda, proto je vhodné vyrábět vodík elektrolýzou pouze v případě dostatečného přístupu k vodě a nízké ceny elektrické energie. Na katodě dochází k produkci vodíku, na anodě kyslíku. Zařízení, ve kterém dochází k těmto reakcím se jmenuje elektrolyzátor. Dle rovnice (1) zjistíme, že ze dvou molekul vody dostaneme čtyři molekuly vodíku a dvě molekuly kyslíku. Účinnost tohoto procesu se pohybuje v rozmezí od 70 do 80 %. (www.paliva.vscht.cz)

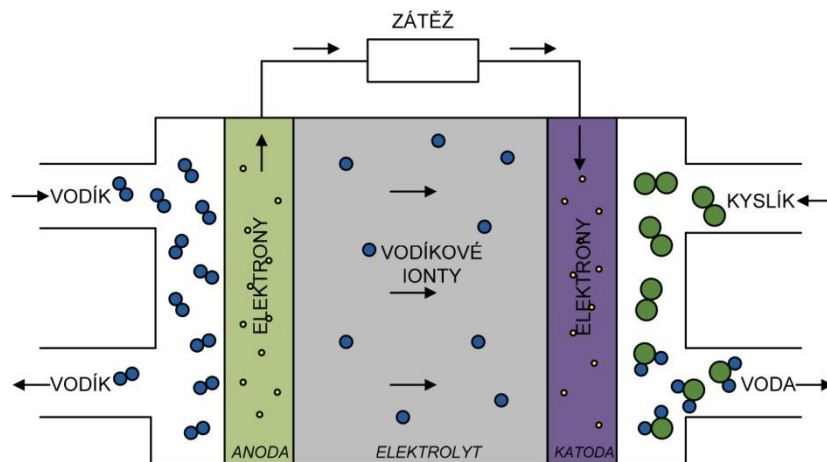


Zatímco v elektrolyzátoru probíhá rozklad vody, v palivovém článku probíhá opačná reakce. Vstupem do palivového článku je pouze vodík a kyslík, výstupem z něj pak voda a elektrická energie. Typy palivových článků se rozdělují podle provozní teploty na nízkoteplotní (60 ÷ 130 °C), středněteplotní (160 ÷ 220 °C) a vysokoteplotní (600 ÷ 1050 °C). Dále můžeme palivové články dělit podle použitého elektrolytu. (Porš, 2002)

- **PEMFC** – Elektrolyt tvořený pevnou polymerní iontoměničovou membránou.
- **AFC** – Elektrolyt tvořený hydroxidem draselným KOH.
- **PAFC** – Elektrolyt tvořený kyselinou fosforečnou H₃PO₄.
- **MCFC** – Elektrolyt tvořený roztaveným karbidem lithia.
- **SOFC** – Elektrolyt tvořený tuhým keramickým materiálem Zr₂O.
- **DMFC** – Elektrolyt tvořený membránou ze syntetického materiálu.

Typ článku nám zároveň určuje i jeho možnosti využití. Pro přenosné aplikace je vhodné použít typy PEMFC a DMFC, neboť se jedná o nízkoteplotní články s výkonem maximálně v desítkách wattů. S rostoucím výkonem článku roste lineárně i jeho hmotnost, resp. rozměry, které jsou pro použití v přenosných systémech limitující. Pro stacionární zdroje je vhodné využít články SOFC, MCFC a PAFC (popř. PEMFC). Při instalaci palivového článku takového typu již není rozhodující rozměr, nýbrž jeho

výkon. Palivové články instalované pro použití ve stacionárních zařízeních mohou dosahovat výkonů od jednotek kW po několik desítek MW. Tento typ záložního zdroje je využitelný např. jako náhradní zdroj napětí v rodinných domech. Dnes velmi perspektivní je využívání palivových článků PEMFC v automobilovém průmyslu. Ty dosahují výkonu jednotek kW a jsou tak dostatečné k produkci dostatku elektřiny pro pohon vozidla. Speciální kategorií jsou články typu AFC, které se využívají ve vesmírných programech. (Jílek, 2013)

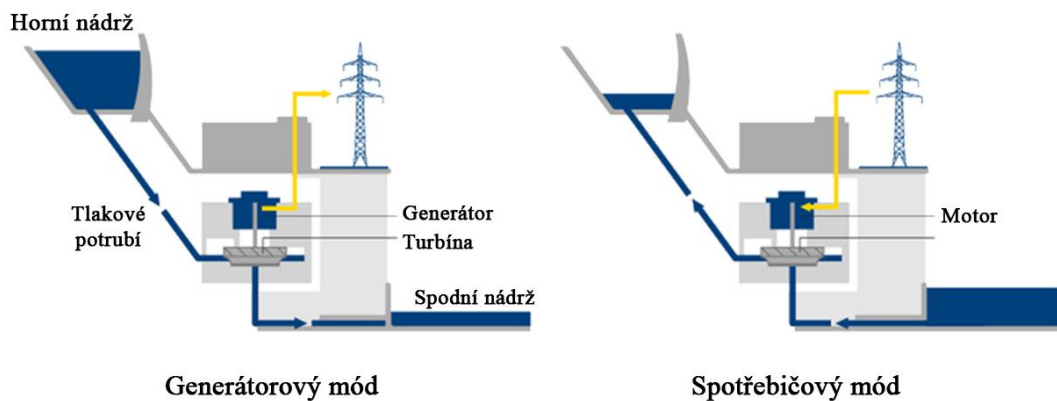


Obrázek 10 Základní princip palivového článku (Mastný, 2011)

Výhody využívání vodíku, jako nosného média energie, jsou především v jeho skladovatelnosti, resp. převozu na místo spotřeby. V automobilovém průmyslu se jedná o nejreálnější nosič energie, neboť doplňování tohoto paliva do automobilu se časově rovná doplňování benzínu či nafty. Opadá tedy dlouhé nabíjení chemických článků, jež jsou dnes v elektromobilech využívány. Výstupem z reakce tvorby elektrické energie je pouze čistá voda, to znamená absolutní bezemisnost při provozu elektromobilů s vodíkovým pohonem. Nevýhodou vodíku je jeho reaktivnost v běžném prostředí a velmi vysoká hořlavost. Hořením kyslíku a vodíku se dosahuje teploty okolo 3000 °C. Je tedy nezbytné zajistit absolutní bezpečnost při zacházení s tlakovými lahvemi, ve kterých se čistý vodík skladuje.

4.1.3 Přečerpávací vodní elektrárna

Přečerpávací vodní elektrárna pracuje na principu akumulace elektrické energie ve formě potenciální energie vody. Elektrárna se skládá z horní a dolní nádrže, tlakového potrubí a strojovny. Technologická zařízení jsou podobná, jako v případě klasické vodní elektrárny, pouze s možností reverzace chodu turbíny a její změny z turbínového režimu na čerpadlový. V době přebytku energie v ES může turbína vytlačit vodu ze spodní do horní nádrže a v době špičky ji může opačnou cestou získat. Energie je tedy transformována z elektrické na kinetickou a dále pak na potenciální, kde může setrvat po delší časový úsek. Dále se s ní zachází, jako v klasické vodní elektrárně.



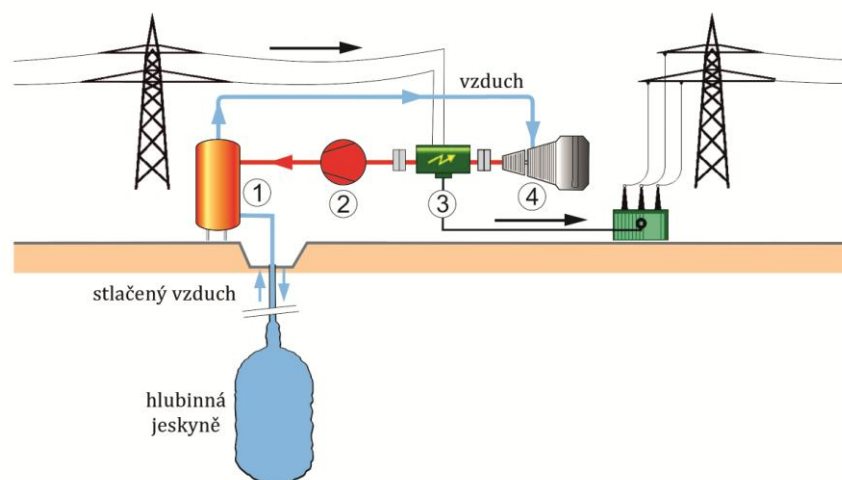
Obrázek 11 Schéma přečerpávací vodní elektrárny (www.thehea.org)

Účinnost celého procesu akumulace je dána součinem účinností jednotlivých složek, které se v tomto procesu objevují. Ztráty jsou dány hlavně účinností turbíny a alternátoru, přičemž výsledná účinnost se pohybuje kolem 70 - 85 %. Hlavní nevýhoda spočívá v počáteční investici a výběru vhodné lokality pro dané zařízení. V okolí projektované elektrárny musí být dostatečný rozdíl hladin horní a spodní nádrže a zároveň musí být zajištěn dostatečný sklon mezi těmito nádržemi. Výhodou je pak reakční doba elektrárny, která může mít plný výkon během několika desítek sekund. Přečerpávací elektrárna pomáhá stabilizovat tok v ES a obecně se dá říci, že se jedná o špičkovou elektrárnu (elektrárnu pokrývající pouze denní výkonovou špičku). Životnost celého zařízení je pak závislá na kvalitě pláště horní nádrže, neboť ten bývá nejčastějším důvodem rekonstrukcí, ale obecně se udává životnost řádově několik desítek let. (www.energystorage.com)

V České republice jsou celkem 3 přečerpávací vodní elektrárny. Jedná se o Dalešice, Dlouhé stráně a Štěchovice. Elektrárna Dlouhé stráně má největší revezní turbínu v Evropě (325 MW), spád 511 m a celkový instalovaný výkon v turbínovém režimu 2 x 325 MW (resp. 2 x 312 MW v čerpadlovém režimu). Objem horní nádrže je 2,72 mil. m³. (www.cez.cz)

4.1.4 Energie stlačeného vzduchu

Systémy elektráren CAES (Compressed Air Energy Storage) pracují na podobném principu, jako přečerpávací vodní elektrárna, ovšem místo potenciální energie kapaliny je zde využita tlaková energie plynu. Komplex se skládá z turbíny, motoru, resp. generátoru, kompresoru a ohříváče, resp. chladiče vzduchu.



Obrázek 12 Schematické znázornění technologických zařízení CAES systémů, 1 ohříváč/chladič vzduchu, 2 kompresor, 3 motor/generátor, 4 vzduchová turbína (www.ees-magazine.com)

Při nadbytku energie v síti je možno vhnět stlačený vzduch do podzemní nádrže a zvyšovat postupně tlak. Tomuto stavu říkáme kompresní mód a slouží k ukládání energie. Komprese probíhá v několika stupních, přičemž vzduch se musí zároveň chladit. Doprovodným efektem komprese je vznik tepla, které je třeba uschovat, neboť se jedná o energii, jejíž nevyužití by zvyšovalo ztráty celého systému. K chlazení vzduchu se používají tepelné výměníky, které ukládají přebytečné teplo do oleje (300 °C), nebo solné taveniny (600 °C). Stlačený vzduch je uložen ve velkých

podzemních solných jeskyních při teplotě 40 °C a tlaku 10 MPa. Ve druhé fázi se stlačený vzduch uvolní a putuje opět přes výměníky, kde získá další energii v podobě uloženého tepla. Tomuto stavu říkáme generátorový mód. Tlak vzduchu roztáčí lopatky turbíny, která má podobnou konstrukci, jako v klasické tepelné elektrárně. (www.energyacademy.org)

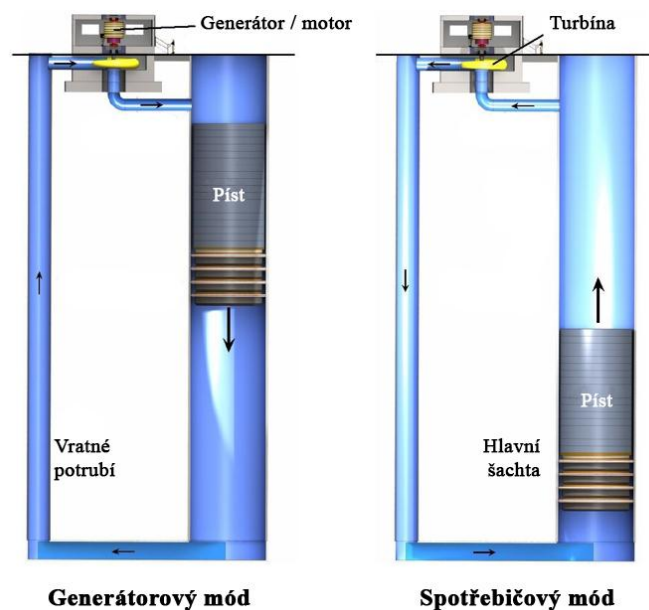
Tento druh akumulace má perspektivní budoucnost díky jeho nesporným výhodám. Účinnost celého procesu dosahuje až 70 %, přestože že výzkum tavných solí pro akumulaci tepla je vcelku nová disciplína. Se zvyšováním účinnosti absorpce vznikajícího tepla při kompresi bude stoupat i účinnost celého zařízení. Jedná se o jeden ze systémů navržených pro akumulaci velkých výkonů s reakční dobou několika minut. Z hlediska regulace ES jde o vynikající prvek, který pomáhá stabilizovat výkonové vlny, které přirozeně přichází během dne. Dále jde o zařízení, které je schopno dodat dosatek energie při hromadném výpadku proudu, tzv. blackoutu. Nevýhodou je vyšší počáteční investice do zařízení a závislost na lokalitě, ve které je možnost takové zařízení postavit (nevyužitě jeskyně). (www.energystorage.org)

4.1.5 Gravitační elektrárna

Jedná se o absolutně nový typ elektroenergetického úložiště, který využívá jednoduché hydromechanické zákony a gravitaci. Úložiště se skládá z dvou šachet, pístu a vodní turbíny. Šachty jsou rozdílných průměrů a ve spodní části se spojují v jednu velkou podzemní nádrž. Celý systém je pak neprodyšně uzavřen, neboť stlačitelný vzduch by snižoval účinnost procesu.

Při menším odběru ze sítě (většinou v noci) je použita el. energie k pohonu turbíny v čerpadlovém režimu. Čerpaná voda (do menší z šachet) pohybuje těžkým pístem (uloženým v šachtě větší). V období s nejvyšší poptávkou el. energie se hmotnost pístu uvolní, což tlačí vodu zpět do menší šachty. Zvýšení tlaku se projeví obrácením směru proudění vody a její potenciální využití pomocí turbíny v generátorovém režimu. Celý režim pracuje pod povrchem Země a dosahuje účinnosti až 80 %.

Výhodou takového řešení uložení přebytečné energie je jeho minimální zásah do okolní krajiny. Stejně jako v případě systému CAES je celý komplex uložen pod povrchem země. Systém je navržen pro akumulaci energie v řádech jednotek gigawatt, což jej činí vhodným pro pracování v ES.

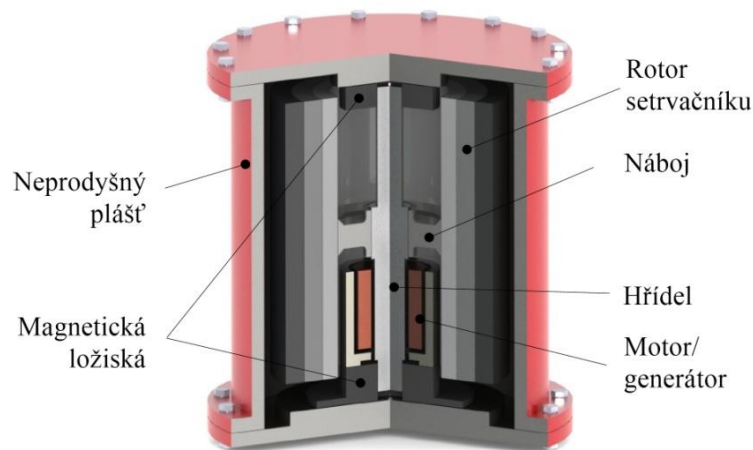


Obrázek 13 Znáromění gravitační elektrárny (www.greenpatentblog.com)

4.1.6 Setrvačnick

Setrvačnick je točivé zařízení určené pro akumulaci kinetické energie, které využívá momentu setrvačnosti hmoty tělesa. Energie je v setrvačnicku akumulována pomocí roztočeného rotoru, uloženého, v ideálním případě, v magnetických ložiscích. Výhodou využití kinetické energie je její perfektně zvládnutá transformace, na energii elektrickou. Velikost akumulované energie je závislá na momentu setrvačnosti a rychlosti otáčení setrvačnicku.

Dle FEMP (federal energy management program) můžeme rozdělit typy setrvačnicků na nízkootáčkové a vysokootáčkové. Nízkootáčkové dosahují rychlosti v řádech tisíců otáček za minutu, zatímco vysokootáčkové i desetitisíců. Zrychlením otáček setrvačnicku na dvojnásobek dosáhneme čtyřikrát většího množství akumulované energie, neboť ta roste s druhou mocninou rychlosti. Počet otáček je potřeba zohlednit i při návrhu takového zařízení. Zatímco nízkootáčkové setrvačnický jsou vyráběny ve většině případů z oceli, vysokootáčkové bývají vyrobeny z uhlíkových vláken, nebo kompozitních materiálů, které dokáží uchovat i sedmkrát více kinetické energie. Při vyšších rychlostech je třeba zároveň zohlednit i odpor těles spojených se setrvačnickem (ložiska) a odpor vzduchu. Použitím magnetických ložisek lze dosáhnout levitace setrvačnicku ve vzduchu a tudíž i snížení třecích ztrát na minimum. (www.energy.gov)



Obrázek 14 Složení setrvačnicku (www.wikipedia.org)

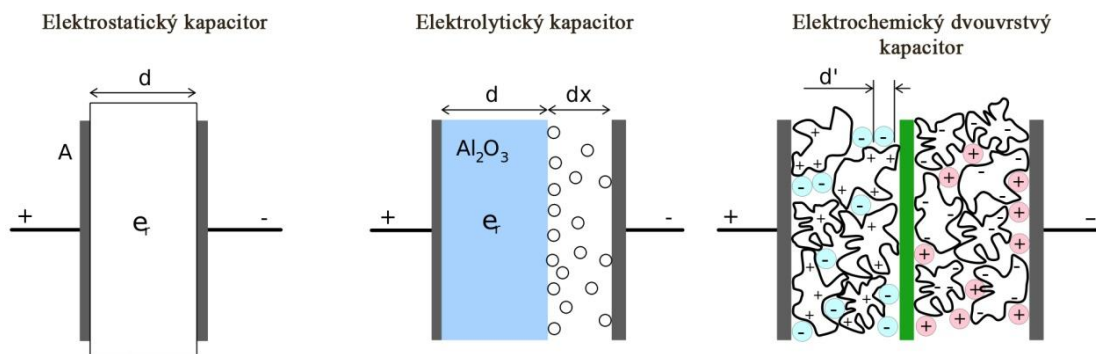
Je třeba si uvědomit, že setrvačnický jsou součástí točivých zařízení, určené především pro stabilizaci jejich otáček. Frekvence sítě je přímo závislá na otáčkách alternátoru v elektrárnách, a to znamená, že setrvačnický lze v elektrizační soustavě využít pro vyrovnávání výkyvů frekvence. Další výhodou je rychlá reakční doba na přebytek energie v síti a možnost akumulace velkého množství energie (setrvačnický mají cca pětikrát větší hustotu energie, než elektrochemické akumulátory). Využívají se tedy spíše jako podpůrné systémy náhradních zdrojů tzv. UPS systémů. Setrvačnický převezme roli zdroje energie ihned po výpadku napětí ze sítě a je schopen dodávat energii v řádech jednotkách sekund, což je nezbytná doba pro naběhnutí záložních zdrojů, kterými bývají často naftové generátory. (www.claverton-energy.com)

4.1.7 Superkondenzátory

Kondenzátor je společně s cívkou a rezistorem základní prvek většiny elektrotechnických obvodů. Je složen z dvou vodivých desek, které nazýváme elektrodami a izolantu (dielektrika), který tyto desky odděluje. Kondenzátor slouží k uchování elektrického náboje v elektrostatickém poli. Jednotka, kterou vyjadřujeme jeho výslednou kapacitu se nazývá farad. Nabíjí se stejnosměrným napětím na elektrodách, které způsobí, že pozitivní a negativní částice směřují k protějškům na elektrodách. Pokud je kondenzátor nabitý, chová se v obvodu jako elektrický zdroj.

Rozdíl mezi klasickým kondenzátorem a superkondenzátorem, je v jeho kapacitě. Zatímco klasické elektrostatické kondenzátory dosahují kapacit nanofarad,

superkondenzátory jsou schopny udržet náboj o velikosti tisíců farad. Kapacita kondenzátoru závisí na ploše elektrod, jejich vzájemné vzdálenosti a permitivitě dielektrika. Superkapacitory nemají dielektrikum pevného skupenství, ale používají buď elektrostatickou dvouvrstvou kapacitanci nebo elektrochemickou pseudokapacitanci, popř. jejich kombinace. Použitím kapacitance místo pevného dielektrika docílíme přiblížení vrstev elektrod na vzdálenost 0,3 nm, což je několikanásobně méně, než u klasických kondenzátorů. U dvouvrstvých superkapacitorů jsou elektrody vyrobeny z uhlíku, v případě pseudokapacitance jsou pak elektrody vyrobeny z vodivých polymerů. (Béguin, 2013)



Obrázek 15 Rozdělení kondenzátorů (www.wikipedia.org)

Napětí jednoho superkondenzátoru je cca 2,7 V. Pro dosažení vyššího napětí se kondenzátory řadí sériově. To má však za následek nežádoucí zmenšení výsledné kapacity. Dále musíme dbát na přesné napětí v obvodu, neboť by při jeho překročení docházelo k přetěžování všech kondenzátorů. (www.elektronovinky.cz)

Nevýhodou používání superkondenzátorů, jako akumulčních jednotek větších výkonů, je lineární vybíjecí charakteristika. Napětí na elektrodách kondenzátoru se snižuje společně s jeho kapacitou, což má za následek nevyužití většiny energie, kterou kondenzátor uchoval. Vybíjecí napěťová charakteristika u elektrochemického článku vykazuje velmi vysokou stálost napětí po celý průběh vybíjení. Napětí výrazněji klesá až při 90 % vybití akumulátoru. Nestálost napětí kondenzátoru je velmi vážný problém při použití v ES soustavě, která klade vysoké nároky na zdroje k ní připojené. Další nevýhodou je vysoké samovybíjení. Ze 100 % kapacity se na 50 % kapacity kondenzátor vybije cca za měsíc. (www.ultracapacitor.net)

Superkondenzátory se využívají v aplikacích, ve kterých je potřeba dodat či přijmout velké množství elektrické energie ve velmi krátkém čase. Mohou zastoupit zdroj napájení při jeho výpadku s prakticky nulovým zpožděním. Dále mají velmi vysokou účinnost (větší než 95 %) a životnost. Ta v některých případech dosahuje hodnot až statisíce cyklů za život. Je třeba zdůraznit, že kondenzátor je navrhnout k neustálému nabíjení a vybíjení za velmi krátký časový úsek. Nedá se tedy hovořit o nahrazení elektrochemických akumulátorů superkondenzátory. Oba systémy se mohou vzájemně doplňovat a využívat svoje přednosti.

4.1.8 Solná tavenina

Aplikace tepelného uchování solární energie v solné tavenině je v poslední době jednou z nejdiskutovanější, vzhledem k možnosti produkce elektrické energie po celý den. Ohřev a následné zužitkování vnitřní energie solné taveniny probíhá díky solární energii ve speciálních termálních elektrárnách. Stručně je zařízení solární termální elektrárny popsáno v kap. 3.4.1, proto se nyní budeme zabývat konkrétními zařízeními, které jsou v tomto komplexu přítomny.

Z celkové vyzářené solární energie na povrch Země dopadne pouze polovina. Zbytek se odrazí od atmosféry a mraků zpět do vesmíru. Využitelnou část (zbylých 50 %) je třeba účinně přeměnit na teplo a to pak předat látce s vysokou měrnou hustotou energie. (Augusta, 2001)

Kolektory, které odráží solární energii, jsou rozděleny do dvou skupin podle stupně koncentrace, a to na koncentrované a nekoncentrované. Nekoncentrované kolektory mají stejnou pohlcovací a absorpční oblast, zatímco koncentrovaná konkávní odrazná zrcadla zaměřují sluneční záření na mnohem menší příjmovou oblast. To vede ke zvýšenému toku tepla a zvýšení termodynamické účinnosti procesu díky vyšší teplotě. (Kalogirou, 2004)

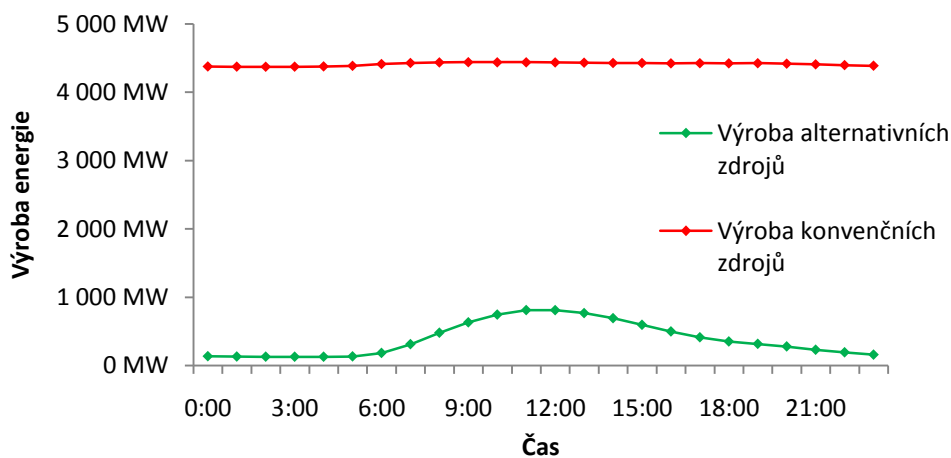
Absorbéry jsou speciální výměníky tepla, které převádí solární energii na tepelnou energii pracovního média. Jako nositel tepla může být použit buď vzduch, voda, olej, nebo v našem případě roztok soli. Roztoky roztavených solí jsou považovány za ideální materiál pro použití v termálních elektrárnách díky tepelné stabilitě při vysoké teplotě, nízkém tlaku par, nízké viskozitě, vysoké tepelné vodivosti, nehořlavosti a netoxicitě. Výzkumný tým prof. Zhao a prof. Wu zaznamenal nové směsi solí s ultranízkými

tavicími teplotami. Jejich soli se skládají z KNO_3 , LiNO_3 a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, přičemž tavicí teplota těchto směsí je od 76 do 80 °C. Dále mají o 80 % nižší viskozitu, než syntetické oleje a dobrou chemickou stabilitu i při teplotách převyšující 500 °C. (Tian, 2013).

4.2 Vliv AZE na přenosovou soustavu

V kap. 3.4 jsou již popsány alternativní zdroje, avšak pokud se chceme zabývat jejich vlivy na elektrizační soustavu, je třeba rozdělit tyto zdroje na předvídatelné a nepředvídatelné. Mezi předvídatelné zdroje patří bioplynové stanice, vodní elektrárny a solární termální elektrárny. Všechny mohou utlumit produkci a v době s nižším výkonem tak sami akumulují část nevyužitou energii. Nepředvídatelné zdroje jako větrné a fotovoltaické elektrárny jsou k elektrizační soustavě připojovány na základě meteorologických podmínek. To znamená, že nikdo neví kdy a jak dlouho bude zdroj produkovat dostatek výkonu.

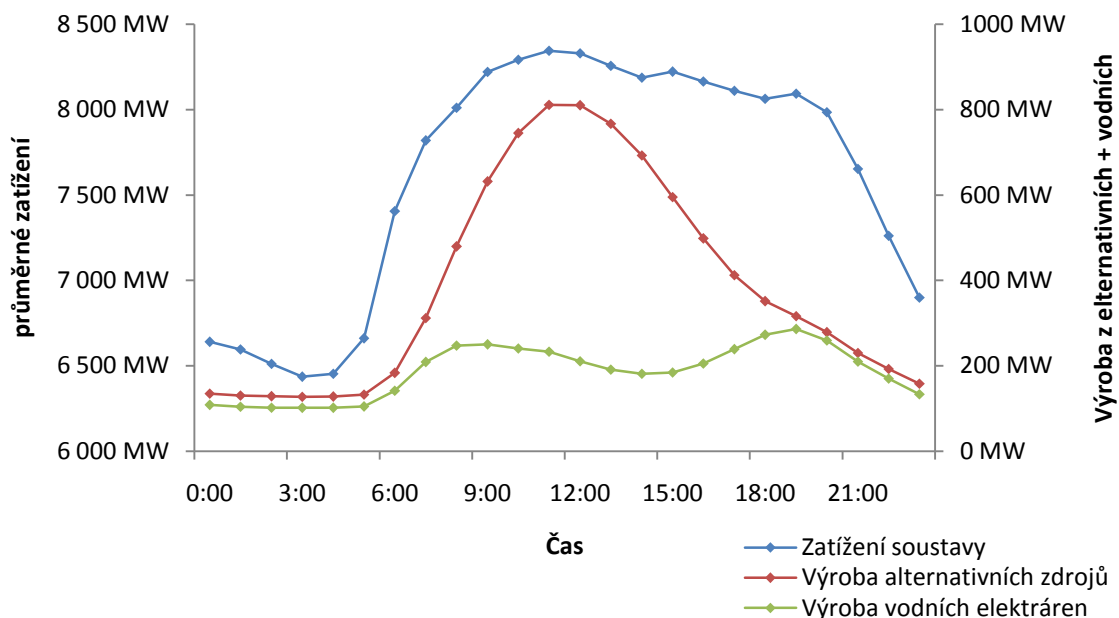
Společnost ČEPS (Česká Přenosová Soustava) zveřejňuje na svých webových stránkách data o produkci energie, rozdělené podle druhu zdroje. Můžeme tedy využít těchto možností a porovnat množství vyrobené energie z alternativních a konvenčních zdrojů v průběhu dne. Jako konvenční zdroje jsou uvedeny paroplynové a jaderné elektrárny. Mezi zdroje alternativní jsou zařazeny fotovoltaické a větrné elektrárny. Výroba vodních elektráren je regulovatelná a využívá se hlavně k pokrytí špiček během dne (viz. obr. 16). Data výroby bioplynových stanic nejsou k dispozici.



Obrázek 16 Výroba elektráren podle druhů v čase

Na obr. 15 vidíme jasný lineární trend výroby konvenčních zdrojů, jejichž denní rozptyl je v průměru 70 MW. Ten je dán hlavně omezenou regulovatelností výkonu těchto zdrojů. Naopak výroba ze zdrojů alternativních je jasně závislá na čase a v průběhu dne se mění. Denní rozptyl je v případě alternativních zdrojů až 700 MW.

Data jsou průměrem hodinových měření za 4 roky tj. od 1. 1. 2010 do 31. 12. 2014. Hodnoty výroby jsou součtem všech elektráren daného typu připojených k elektrizační soustavě. Zatížením soustavy rozumíme okamžitou hodnotu činného výkonu, kterou soustava v dané chvíli přenáší.

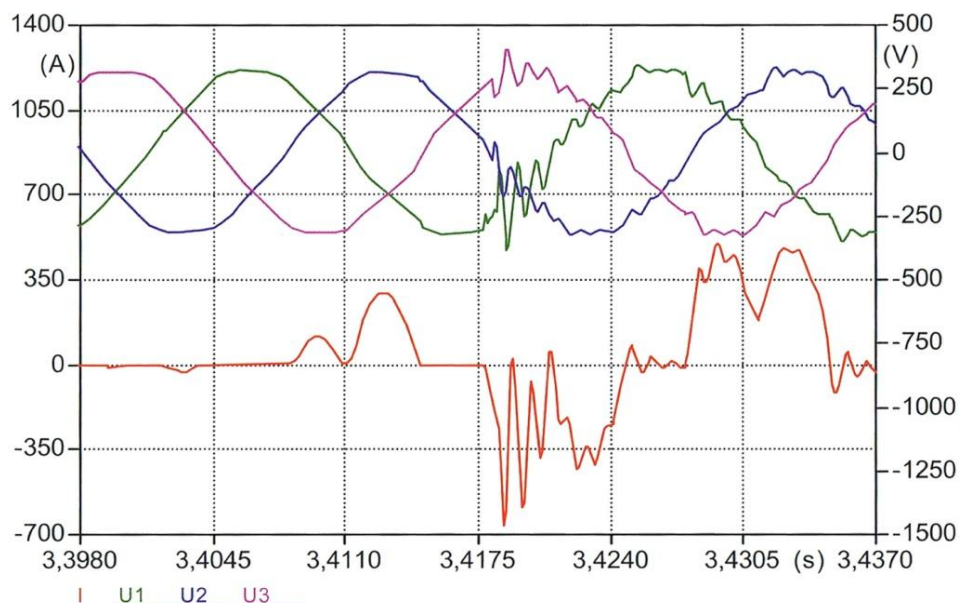


Obrázek 17 Porovnání výroby a zatížení soustavy

Negativní vliv na elektrizační soustavu nemá pouze produkce závislá na meteorologických podmínkách, ale i deformace sinusového průběhu napětí v místě připojení. Každý zdroj energie připojený do DS může v závislosti na svém výkonu měnit velikost napětí v místě připojení a tedy i rozložení velikosti napětí v jednotlivých uzlech sítě. Připojení zdroje je obvykle doprovázeno přechodným dějem se skokovou změnou těchto napětím, jejíž velikost je dána především technologií (provedením a řízením) generátoru, který tvoří rozhraní s DS. Fluktuace výkonu typická pro větrné a fotovoltaické elektrárny může způsobit kolísání či změny napětí v síti, které vedou k jevu nazývaného jako flickr. (Mastný, 2011)

Flikr je dle IEEE (Institut of Electrical and Electronics Engineers) popsán jako systematická změna velikosti napěťové vlny, jejíž rozsah přesáhne limitní rozdíl napětí v jedné periodě dané normou ANSI C84.1. Obecně tolerovaná hodnota rozdílu je v rozmezí od 0,1 % do 7 % jmenovitého napětí s frekvencí nižší než 25 Hz. Největší problém navazující na kolísající napětí je zejména blikání světelných zdrojů. Ve skutečnosti změna napětí tak nízká jako 0,5 % v periodě může vést k citelnému světelnému záblesku. Zdroje těchto problémů najdeme ve frekvenčních měničích a střídačích napětí používané zejména tam, kde zdroj energie produkuje stejnosměrný proud, nebo frekvence střídavého zdroje není konstantní, jako v případě větrných a fotovoltaických elektráren. (www.ieee.com)

Dalším negativním dopadem užívání energie větru a slunce je nutnost používat tyristorové střídače. Ty vytvoří pouze podobné zvlnění průběhu napětí, jako v synchronních alternátorech, nikoli identické. Dalším významným problémem je vznik vyšších harmonických frekvencí, které deformují již vytvořený sinusový průběh napětí. Nejsilnějšími účinky jsou 5. a 7., tedy frekvence od 250 a 350 Hz. Příliš velká deformace vede k tomu, že např. citlivé elektronické přístroje nebudou fungovat korektně. (www.odbornecasopisy.cz)



Obrázek 18 Detail připojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko v čase 3,4175, průběh napětí U1, U2, U3 (V) a proudu I (A) jedné fáze statorovým vinutím (Mastný, 2011)

U větrných elektráren s asynchronním motorem s kotvou nakrátko a tyristorovým měničem může v případě vzniku náhlé změny momentu na hřídeli (změna proudění větru) v okamžiku připojení elektrárny k distribuční soustavě dojít k deformaci průběhu proudu a napětí v místě připojení. V případě vyvedení výkonu větrné elektrárny do přípojného bodu distribuční soustavy kabelovým vedením, je deformace napětí i proudu ještě výraznější. Záznam z osciloskopu takového chování můžeme vidět na obrázku 18. (Mastný, 2011)

V nejhorším případě může dojít v ES k tzv. blackout. Jedná se o hromadný výpadek dodávek elektrické energie na větším území. V minulosti došlo v různých částech světa k řadě blackoutů, které postihli miliony lidí (největší zaznamenaný blackout nastal 31. 7. 2012 v Indii a postihl cca 670 milionů lidí). V poslední době se vedou diskuze, zda by mohly alternativní zdroje způsobit podobný problém a hledají se řešení, jak těmto problémům předcházet. ČEPS vidí problém ve větrných parcích v severním moři, kde nespotřebovaná energie v Německu protéká přes naše území do Rakouska. Dalším problémem může být schválení podpory fotovoltaických elektráren v Polsku (11. 3. 2015). Řešením jsou buď speciální PST transformátory (phase shift transformers), které odkloní energii pryč z našeho území, nebo stavba inteligentních rozvodných sítí, které si umějí lépe poradit s nadbytkem energie. Je nutné zdůraznit, že v historii nedošlo k žádnému výpadku elektřiny v souvislosti s provozem AZE. (www.oze.tzb-info.cz)

4.3 Vliv AZE na životní prostředí

Základní myšlenkou alternativních zdrojů je poskytovat elektřinu s ohledem na životní prostředí. V případě vyššího toku energie z nepředvídatelných zdrojů musí dispečink přenosové soustavy odpojit od sítě některé ostatní zdroje energie. Odpojením elektrárenských bloků spalující fosilní paliva (např. hnědé uhlí) přejde elektrárna do tzv. teplé rezervy. V tomto stavu spotřebovává průměrně 45% své klasické spotřeby uhlí. Je důležité upozornit na fakt, že opětovné zapojení do distribuční soustavy trvá cca dvě hodiny. Během této doby se kotel ohřívá pomocí hořáků spalujících motorovou naftu (až 2800 kg u 200 MWe kotle) za současného dávkování uhlí (3 až 4 kg/s). Provoz alternativních zdrojů v rámci systému "grid on" (dodávka přímo do distribuční sítě) je spjat se současným spalováním fosilních paliv v uhelných elektrárnách. Tyto elektrárny nevyrábí elektrický proud, ale přesto vypouští v záložním režimu značné množství oxidu uhličitého. (Buryan, 2011)

5 DISKUZE A ZÁVĚR

V první části práce jsou shrnuty alternativní zdroje včetně jejich uvedených výhod a nevýhod. K alternativním zdrojům by neměl být zastáván jednotvárný názor, a to jak kladný, tak záporný. Energetická koncepce EU jednoduše počítá s postupným navyšováním podílu vyrobené energie z alternativních zdrojů. Jde o jeden z důvodů, proč bychom měli přizpůsobit rozvodné sítě a zařízení v nich pracující právě těmto elektrárnám.

Ve druhé části práce jsou uvedeny akumulční systémy vhodné pro použití v elektrizační soustavě. Ty nemají za úkol pouze akumulovat přebytkovou energii, ale i regulovat soustavu v nestabilním stavu. Obecně je snazší regulovat menší prvky, které jsou k tomuto účelu určené, než výrobní blok tepelné elektrárny. Přečerpávací vodní elektrárny jsou v současné době jediné (v ČR), které tuto funkci každodenně plní. Ostatní uváděné technologie jsou v využívané spíše v jiných technických odvětvích.

Vhodnými systémy k regulaci soustavy jsou mechanické akumulátory, neboť dovedou akumulovat vysoké množství energie a zpětně ji produkovat v dostatečném výkonu. Bohužel je jejich výstavba finančně velmi nákladná a účel takové stavby není veřejně příliš zřetelný. Teprve pokud by nastaly výpadky napětí způsobené časově proměnlivými zdroji, můžeme očekávat nové projekty podobných typů.

Vodík je dle mého názoru palivo budoucnosti pro elektromobily, neboť je schopen plně zastoupit funkci uhlovodíkových paliv, které dnes běžně používáme. I když existují palivové články s výkonem jednotek megawatt, účinnost výroby vodíku je pro tento typ regulace elektrizační soustavy nedostatečná.

Elektrochemické akumulátory mají dnes velmi vysoké zastoupení v malé elektronice a jejich náhrada jiným zdrojem energie dnes není možná. V elektrizační soustavě mají možnosti uspět hlavně průtokové baterie opět díky vysoké kapacitě a dostatečnému výkonu, který produkují.

Teprve s nástupem alternativních zdrojů bylo možno získat přesná data o výrobě elektřiny a analyzovat jejich vliv na elektrizační soustavu. V práci jsou uvedeny základní technické problémy spjaté s provozem fotovoltaických a větrných elektráren, dodávající výkon přímo do sítě. Decentralizované elektrárny AZE o výkonech stovek kilowatt odlehčují přenosovou soustavu a nejsou schopny deformovat normované parametry průběhu napětí (napětí, frekvence) právě díky svému malému výkonu.

Takové elektrárny jsou prospěšné pro fungování elektrizačních a lze uvažovat o jejich finanční podpoře na úkor konvenčních zdrojů. Tyto malé elektrárny však nejsou schopny produkovat dostatečný výkon k pokrytí většího území a musí být doplňovány výkonnějšími (konvenčními) zdroji.

Oproti malým elektrárnám stojí obří projekty fotovoltaických a větrných farem, které sice dosahují vysokých výkonů, ovšem i v době s nižším odběrem energie. Toky energie vyrobené v severním moři (větrné farmy) pak putují přes naše území směrem na jih do Rakouska, kde se elektřina skladuje v přečerpávacích elektrárnách. Tyto elektrárny AZE by byly schopny plně nahradit konvenční elektrárny pouze v případě, kdybychom dokázali akumulovat dostatečné množství energie.

V budoucnu je pravděpodobné, že každá obytná jednotka by mohla mít svoji akumulační jednotku, která pokryje spotřebu i v době s nejvyšším odběrem. Nabíjení těchto jednotek může probíhat spínáním signálů HDO, čímž by dispečink zajistil spotřebu energie a její uložení přímo u spotřebitele.

Dále je třeba se zamyslet nad skutečností, že výroba AZE je podporována státními a evropskými zákony. Ty určují povinnost vykupovat takto vyrobenou energii bez ohledu na danou situaci v ES. Z technického hlediska se jedná o věc, jejíž dopad na ES není příliš pozitivní díky častým výkyvům. Z hlediska ochrany životního prostředí je situace podobná (viz. kap. 4.3), neboť tepelné elektrárny spalují vysoké množství fosilních paliv pouze pro případ náhlého odpojení nepředvídatelných zdrojů. Mnohem účinnější by bylo odpojit tyto zdroje od PS a akumulovat jejich výkon v jednom ze zmiňovaných systémů. Po nabytí vznikne zdroj, jež má stabilní výkon po předem známou dobu a ze zdroje nepředvídatelného se stane zdroj předvídatelný. Je třeba si uvědomit, že změnou zákona by pravděpodobně přestala být vykupována energie z AZE, což by do budoucna znamenalo nižší podíl její výroby na úkor konvenčních zdrojů.

V diplomové práci bych eventuelně navázal na danou problematiku elektrizačních soustav a provedl konkrétní výpočty akumulačních systémů, které by dokázali vyrovnat rozdíl mezi spotřebou a výrobou elektrické energie z AZE.

Seznam literatury

1. Active Power Article - flywheel energy storage In: Claverton Energy [online]. [cit. 3. 3. 2015] . Dostupné z: <http://www.claverton-energy.com/active-power-article-flywheel-energy-storage.html>
2. Akumulace elektřiny. In: tzbinfo [online]. [cit. 16. 2. 2015] . Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>
3. AUGUSTA, A. *Velká kniha o energii*, vyd. 1 Praha, 2001. ISBN 80-238-6578-1
4. BAHCALL, J. N., *How the Sun shines*. Winter, 2001, s. 2-12
5. BÉGUIN, F., FRACKOWIAK, E., *Supercapacitors*, 2013. ISBN 978-3-527-32883-3
6. Bioplyn a bioplynové stanice. In: Agricom [online]. [cit. 19. 11. 2014] . Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/3668/_4_BIOPLYN.pdf
7. Blackout a obnovitelné zdroje energie, In: tzbinfo [online]. [cit. 19. 3. 2015] <http://oze.tzb-info.cz/9517-blackout-a-obnovitelne-zdroje-energie>
8. BURYAN, P., DONÁT, P., Fotovoltaika paradoxně přispívá ke zvyšování emisí škodlivin. AllForPower, 2011, Vol. 3, s. 68-71
9. CAES - low cost solution for energy storage. In: Energy Academy Europe [online]. [cit. 28. 2. 2015] . Dostupné z: <http://www.energyacademy.org/article/356/caes-low-cost-solution-for-energy-storage>
10. Funkční schéma BPS. In: Agricom [online]. [cit. 18. 11. 2014] . Dostupné z: http://www.agrikomp.de/images/stories/processed/CZ/pdf/Schema_BPS-cs-CZ.jpg
11. GATZEN, CH. *The economics of Power Storage*. oldenbourg Industrieverlag, München, 2008. ISBN 978-3-8356-3138-0
12. Grid-Scale Flywheel Energy Storage Plant. In: Energy.gov [online]. [cit. 11. 1. 2015] . Dostupné z: <http://energy.gov/sites/prod/files/Beacon.pdf>
13. Gemasolar. In: Torreson Energy [online]. [cit. 1. 12. 2014] . Dostupné z: <http://www.torresolenergy.com/TORRESOL/gemasolar-plant/en>

14. Gravity power's technology has great potential. In: Green patent blog [online]. [cit. 1. 3. 2014] . Dostupné z:
<http://www.greenpatentblog.com/2012/04/09/newton-would-be-proud-gravity-power%E2%80%99s-technology-has-great-potential/>
15. HERSCH, P., ZWIEBEL, K., Basic Photovoltaic Principles and Methods, USA, 1982. ISBN 290-1448
16. HONGYUN, M., BAOGUO, W., YONGSHENG, F., WEICHEN, H.,
Development and characterization of an Electrically Rechargeable Zinc-Air Battery Stack. Energies, 2014, Vol. 7, s. 6549-6557, ISSN 1996-1073
17. Hustoty energií jednotlivých nositelů. In: evsroll [online]. [cit. 5. 3. 2015] .
Dostupné z: http://evsroll.com/Lithium_Ion_Car_Battery.html
18. JÍLEK, P. *Akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů*, ZČU, 2013.
Diplomová práce
19. LIBRA, M. *Zdroje a využití energie*, vyd. 1 Praha, 2007. ISBN 978-80-213-1647-8
20. Long-term energy storage with compressed air storages. In: The electrical energy storage magazine [online]. [cit. 11. 2. 2015] . Dostupné z: <http://ees-magazine.com/long-term-energy-storage-with-compressed-air-storages/>
21. MASTNÝ, P. *Obnovitelné zdroje energie*, vyd 1 Praha, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2
22. Monthly generator capacity factor data now available by fuel and technology. In: U.S. Energy Information Administration [online]. [cit. 6. 12. 2014] .
Dostupné z: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=14611>
23. Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR In: Ústav fyziky atmosféry AV ČR [online]. [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z:
http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial_ufa.pdf
24. PASTOREK, Z. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*, vyd 1 Praha, 2004. ISBN 80-86534-06-5
25. POLÁK, M. *Hydraulické stroje*, vyd 1 Praha, 2013. ISBN 978-80-213-2367-4
26. Problémy spojené s provozem větrných elektráren. In: csvts.cz [online]. [cit. 5.

1. 2015] . Dostupné z: <http://www.csvts.cz/cns/news/031210v.pdf>
27. Pumped hydroelectric Storage. In: Energy Storage Sense [online]. [cit. 4. 2. 2015] . Dostupné z: <http://energystoragesense.com/pumped-hydroelectric-storage-phs/>
28. Pumped storage power plants. In: Hydro equipment association [online]. [cit. 4. 2. 2015] . Dostupné z: <http://www.thehea.org/hydropower/special-focus/pump-storage-power-plants/>
29. RAQUEL, J., HERTWICH, G., *Grid infrastructure for renewable power in Europe: The environmental cost*. Energies, 2014, Vol. 69, s. 760-768
30. ROSENBERG, D. M., MCCULLY, P., PRINGLE, C. M., Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alternations. Bioscience. 2000, Vol. 50 No. 9, s. 746-751
31. RYCHETNÍK, V., PAVELKA, J., & JANOUŠEK, J. *Větrné motory a elektrárny* Vyd. 1. Praha, 1997. České vysoké učení technické. ISBN 80-01-01563-7
32. Solar cell efficiency, In: solar-facts [online]. [cit. 22. 11. 2014] . Dostupné z: <http://www.solar-facts.com/panels/panel-efficiency.php>
33. KALOGIROU, A., Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, Vol. 30, s. 231-295
34. Solární mapa ČR. In: mojeelektrarna.cz [online]. [cit. 27. 1. 2015] . Dostupné z: <http://www.mojeelektrarna.cz/images/mapa-solarni-aktivita2.gif>
35. Superkondenzátor. In: Elektronovinky.cz [online]. [cit. 13. 2. 2015] . Dostupné z: <http://www.elektronovinky.cz/soucastky/superkondenzator>
36. The main components of a typical flywheel In: wikipedia [online]. [cit. 26. 1. 2015] . Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Flywheel_energy_storage#/media/File:Example_of_cylindrical_flywheel_rotor_assembly.png
37. TIAN, Y., ZHAO, C. A review of solar collectors and thermal energy storage applications, 2013, Vol. 104, s. 538-553
38. TOMAN, P. *Provoz distribučních soustav*, vyd. 1 Praha, 2011. ISBN 978-80-01-

04935-8

39. Ultracaps In: wikipedia [online]. [cit. 14. 2. 2015] . Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_double-layer_capacitor#/media/File:Supercapacitor_diagram.svg
40. Větrné elektrárny na volném moři mají budoucnost. In: Odborné časopisy [online]. [cit. 14. 12. 2014] . Dostupné z:
http://odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34656
41. Vodík In: Periodická tabulka [online]. [cit. 18. 2. 2015] . Dostupné z:
<http://www.tabulka.cz/prvky/ukaz.asp?id=1>
42. Vodíkové hospodářství a možnosti využití vodíku k regulaci obnovitelných zdrojů energie. In: VŠCHT [online]. [cit. 19. 2. 2015] . Dostupné z:
<http://paliva.vscht.cz/download.php?id=36>
43. Vodní elektrárny ČEZ. In: ČEZ [online]. [cit. 5. 2. 2015] . Dostupné z:
<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elekrarny-cez/ceska-republika.html>
44. Výroční zpráva EWEA. In: EWEA [online]. [cit. 20. 3. 2015] . Dostupné z:
<http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2014.pdf>
45. Vyšší harmonické a jejich působení na síť. In: Odborné Časopisy [online]. [cit. 11. 3. 2015] . Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37250
46. What are ultracapacitors. In: ultracapacitor.net [online]. [cit. 6. 3. 2015] .
Dostupné z: <http://www.ultracapacitor.net/whatareultracapacitors.php>
47. What is capacity factor. In: U.S. Energy Information Administration [online].
[cit. 6. 12. 2014] . Dostupné z:
<http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=187&t=3>
48. Základní charakteristiky NiMH akumulátorů. In: Abeceda baterií a akumulátorů
laboratory [online]. [cit. 15. 2. 2015] . Dostupné z:
<http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nimh-akumulatory/zakladni-charakteristiky>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Koeficient ročního využití běžných elektráren	11
Obrázek 2 Nový instalovaný výkon z AZE v EU za rok 2014	14
Obrázek 3 Roční úhrn slunečního záření nad ČR	15
Obrázek 4 Technologická zařízení tepelné solární elektrárny	16
Obrázek 5 Schéma horizontální větrné elektrárny	18
Obrázek 6 Úhrn větrných oblastí nad ČR ve 100 m nad povrchem	19
Obrázek 7 Graf s vyznačenými úseky možného použití jednotlivých typů turbín	21
Obrázek 8 Schéma bioplynové stanice s kogenerační jednotkou	23
Obrázek 9 Technologie akumulace elektrické energie	24
Obrázek 10 Základní princip palivového článku	30
Obrázek 11 Schéma přečerpávací vodní elektrárny	31
Obrázek 12 Schematické znázornění technologických zařízení CAES systémů	32
Obrázek 13 Znázornění gravitační elektrárny	34
Obrázek 14 Složení setrvačnicku	35
Obrázek 15 Rozdělení kondenzátorů	36
Obrázek 16 Výroba elektráren podle druhů v čase	38
Obrázek 17 Porovnání výroby a zatížení soustavy	39
Obrázek 18 Detail připojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko	40

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Stroje a zařízení pro vzájemnou přeměnu energie	13
Tabulka 2 - Seznam hustot energií jednotlivých nositelů	25
Tabulka 3 - Chemické reakce jednotlivých akumulátorů	28