

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

MOŽNOSTI REGULACE OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ELEKTRICKÉ
ENERGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ PAVLÍČEK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Jiří Pavlíček

ID: 134582

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Možnosti regulace obnovitelných zdrojů elektrické energie

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Současný stav obnovitelných zdrojů a jejich role v diagramu zatížení.
2. Problematika řízení OZE.
3. Provedení regulace u jednotlivých OZE v ČR a ve světě.
4. Možnosti řešení akumulace energie z OZE.
5. Zhodnocení výsledků a další postup.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Jiří Pěcha

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAVLÍČEK, J. *Možnosti regulace obnovitelných zdrojů elektrické energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Pěcha.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

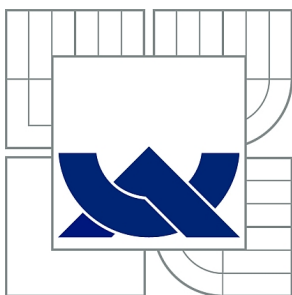
.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Pěchovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování bakalářské práce.

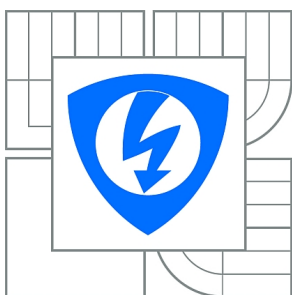
V Brně dne

Podpis autora



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

MOŽNOSTI REGULACE OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE

REGULATION OPTIONS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ PAVLÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ PĚCHA

BRNO 2013

ABSTRAKT

Práce se zabývá možnostmi regulace obnovitelných zdrojů energie. Zaměřuje se na způsoby řízení obnovitelných zdrojů a možnosti jejich regulace. Udává podíl jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektrické energie a jejich zastoupení v diagramu zatížení. Dále práce popisuje jednotlivé akumulční systémy, které se dají využít pro stabilizaci nestálých obnovitelných zdrojů energie. Vyhodnocuje použitelnost uvedených akumulčních systému v energetice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obnovitelné zdroje energie, řízení, regulace, akumulace, inkonzistentní zdroje, výroba el. energie diagram zatížení, výkonová bilance, inteligentní sítě, fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny, přečerpávací vodní elektrárny, stlačený vzduch, setrvačnick, průtokové baterie, palivový článok, roztavené soli, superkapacitory

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the regulation of renewable energy sources. It focuses on ways of managing and possibilities of regulation renewable energy resources. Indicates the proportion of various types of renewable energy sources in electricity production and their representation in the electrical load profile. Thesis describes the various storage systems, which can be used to stabilize the renewable energy sources. Evaluate the applicability of these storage systems in the energy sector.

KEY WORDS

Renewable energy sources, control, regulation, accumulation, inconsistent sources, production of electricity, load profile, power balance, smart grids, photovoltaic power, wind power, pumped storage hydroelectricity, compressed air, flywheel, flow batteries, fuel cell, molten salt, supercapacitor

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM GRAFŮ.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD	12
1.1 ROZDĚLENÍ ZDROJŮ ENERGIE.....	12
1.2 POTENCIÁL A MOŽNOST VYUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH OZE	13
2 SOUČASNÝ STAV OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ A JEJICH ROLE V DIAGRAMU ZATÍŽENÍ	15
2.1 SOUČASNÝ STAV OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ.....	15
2.2 PODÍL JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ OZE NA VÝROBĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE V ČR	15
2.3 DIAGRAM ZATÍŽENÍ	17
2.4 OZE V DIAGRAMU ZATÍŽENÍ.....	18
3 PROBLEMATIKA ŘÍZENÍ OZE	20
3.1 VLIV PROVOZU OZE NA CHOD ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY	20
3.2 POŽADAVKY NA CHOVÁNÍ VÝROBEN V DS	20
3.2.1 ZÁSADY PODPORY SÍTĚ.....	21
3.2.2 PŘÍZPŮSOBENÍ ČINNÉHO VÝKONU	21
3.2.3 ŘÍZENÍ JALOVÉHO VÝKONU VZHLÉDEM K PROVOZNÍM PODMÍNKÁM.....	22
3.3 POŽADAVKY NA TECHNICKÉ VYBAVENÍ VÝROBEN.....	22
3.4 INTELIGENTNÍ SÍTĚ (SMART GRIDS).....	23
4 PROVEDENÍ REGULACE U JEDNOTLIVÝCH OZE V ČR A VE SVĚTĚ.....	25
4.1 REGULACE FVE A VTE V ČESKÉ REPUBLICCE	25
4.2 REGULACE OZE VE SVĚTĚ.....	27
5 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ AKUMULACE ENERGIE Z OZE	29
5.1 MECHANICKÁ AKUMULACE ENERGIE	30
5.1.1 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY (PVE)	30
5.1.2 ELEKTRÁRNA VYUŽÍVAJÍCÍ GRAVITAČNÍ SÍLU.....	31
5.1.3 STLAČENÝ VZDUCH	32
5.1.4 AKUMULACE ENERGIE SETRVAČNÍKY	33
5.2 ELEKTROCHEMICKÁ AKUMULACE ENERGIE	33
5.2.1 PRŮTOKOVÉ BATERIE	33
5.2.2 NAŠ BATERIE	34
5.2.3 PALIVOVÉ ČLÁNKY	35
5.3 TEPELNÁ AKUMULACE	36
5.3.1 ROZTAVENÉ SOLI.....	36

5.4 ELEKTROMAGNETICKÁ AKUMULACE	37
5.4.1 SUPRAVODIVÉ MAGNETICKÉ AKUMULÁTORY	38
5.4.2 SUPERKONDENZÁTORY	38
5.5 POSOUZENÍ VHODNOSTI JEDNOTLIVÝCH AKUMULAČNÍCH TECHNOLOGIÍ.....	38
6 ZÁVĚR.....	40
7 CITOVANÁ LITERATURA.....	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Rozdělení energetických zdrojů [2]</i>	13
<i>Obrázek 2 Snižování činného výkonu vlivem frekvence sítě [6]</i>	21
<i>Obrázek 3 Blokové schéma řízení činného výkonu pomocí HDO zálohované RTU</i>	23
<i>Obrázek 4 Koncept inteligentní sítě [8]</i>	24
<i>Obrázek 5 Rozdělení akumulčních technologií [15]</i>	29
<i>Obrázek 6 Základní prvky PVE při turbínovém/čerpádlovém provozu [17]</i>	31
<i>Obrázek 7 Turbínový a čerpádlový provoz elektrárny využívající gravitační sílu [18]</i>	32
<i>Obrázek 8 Princip technologie CAES [19]</i>	33
<i>Obrázek 9 Princip průtokové baterie [2]</i>	34
<i>Obrázek 10 Princip činnosti palivového článku využívajícího vodík jako palivo [22]</i>	35
<i>Obrázek 11 Základní princip solární elektrárny s parabolickými zrcadly [25]</i>	37
<i>Obrázek 12 Princip koncentrační solární elektrárny se solární věží [27]</i>	37

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Odhad Instalovaného výkonu a výroby el. energie jednotlivými druhy OZE [3]</i>	16
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 Podíl jednotlivých OZE na výrobě el. energie z OZ v roce 2012</i>	16
<i>Graf 2 Odhadovaný vývoj hrubé výroby el. energie OZE</i>	17
<i>Graf 3 predikce zatížení 27.1.2012 [4]</i>	18

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

OZE	Obnovitelné zdroje energie
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
USA	United States of America
ES	Elektrizační soustava
DS	Distribuční soustava
VE	Vodní elektrárna
FVE	Fotovoltaická elektrárna
VTE	Větrná elektrárna
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí
HDO	Hromadné dálkové ovládání
RTU	Remote terminal unit
ČEZ	České energetické závody
CAES	Compressed air energy storage
AA-CAES	Advanced adiabatic compressed air energy storage
VRB	Vanadium redox battery
NaS	Sodík-síra
SMES	Superconducting magnetic energy storage

1 ÚVOD

Elektrická energie se stala nedílnou součástí dnešní společnosti. Celosvětově dochází k růstu spotřeby elektrické energie, v roce 2011 došlo k ročnímu růstu spotřeby o 5,6 %. Na tomto zvýšení spotřeby se podílí asijské státy zejména Čína a Indie, ale i ostatní rychle rozvíjející se státy. Tato skutečnost má za následek snižující se zásoby fosilních paliv, dochází k znečišťování a devastaci životního prostředí, což má nepříznivý vliv na zdraví člověka. Aktuální situace nutí k zamýšlení nad efektivností výroby elektrické energie a stávajícími technologiemi výroby.

Zvětšující se spotřebou fosilních paliv jako jsou ropa, zemní plyn a uhlí. Dochází k nárůstu jejich cen a snižují se jejich světové zásoby. Z důvodu značné závislosti na těchto zdrojích energie nastala snaha o nalezení dalších alternativních zdrojů energie. Jako perspektivní řešení se zdají obnovitelné zdroje energie. Definice obnovitelných zdrojů energie je podle zákona¹

1.1 Rozdělení zdrojů energie

Rozdělení zdrojů podle využití při pokrývání diagramu zatížení. Vzhledem k proměnlivé spotřebě elektrické energie v průběhu dne a roku potřebujeme několik druhů zdrojů, které musí na tyto odchylky ve spotřebě včas reagovat.

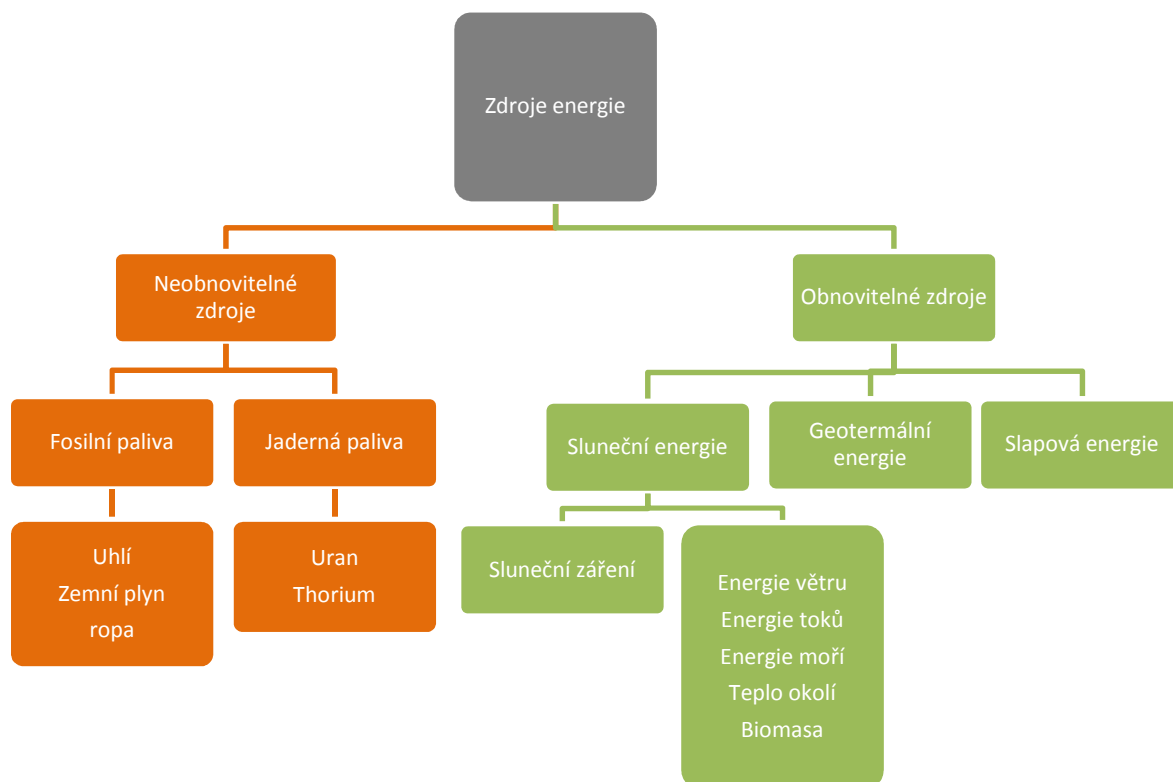
Kvůli těmto skutečnostem rozeznáváme zdroje:

1. Akumulační zdroje, lze v nich ukládat a opět využívat energii dle aktuální situace.
2. Špičkové zdroje, jejich aktuální výkon lze poměrně flexibilně měnit v čase.
3. Zdroje základního zatížení, zdroje jejich výkon nelze flexibilně měnit v čase.
4. Inkonzistentní zdroje, jejich výkon závisí na externích parametrech, nelze je vhodně řídit.

Každý jednotlivý druh zdroje má svou specifickou funkci a je výhodný pro jednotlivé pásy diagramu zatížení. Vhodná kooperace všech jednotlivých typů zdrojů vede k úspěšnému pokrytí v diagramu zatížení. Detailněji se budeme touto problematikou zabývat v kapitole 2.3 a 2.4. [1]

Dále rozdělujeme zdroje energie z hlediska obnovitelnosti. Při akceptování vlivu entropie, se rozdělení zdrojů na obnovitelné a neobnovitelné stává dezinformativním. S tímto aspektem je každý zdroj energie považován za neobnovitelný. V případě, že zohledníme délku lidského života v porovnání s životností Slunce, můžeme považovat Slunce za obnovitelný zdroj energie.

¹ Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů: „Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.“ [29]

Rozdělení z hlediska obnovitelnosti:

Obrázek 1 Rozdělení energetických zdrojů [2]

1.2 Potenciál a možnost využití jednotlivých OZEVětrná energie

Tento zdroj energie nemá v celkovém měřítku příliš velké využití, jedná se spíše o specifické přímořské oblasti. Jeho hlavní nevýhodou je nestabilita produkce vlivem značné závislosti na měnící se rychlosti větru. Při provozu tohoto druhu OZE je nutnost kooperace s akumulacími zdroji.

Solární energie

Jedná se o zdroj s dobrým potenciálem pro budoucí rozvoj solárních elektráren. Stejně jako u větrné energie je nevýhodou tohoto zdroje jeho nespolehlivost vlivem závislosti na střídání dne a noci, aktuálním ročním období a na počasí. Dalšími nevýhodami jsou nízká účinnost a vysoké investiční náklady.

Vodní energie

Obecně je vodní energie nejvyužívanějším OZE, bohužel je potenciál tohoto zdroje již z větší části využit. Jedná se o velmi stabilní zdroj elektrické energie, který lze využívat jako akumulací zdroj a při dostatečném množství vody jako špičkový zdroj.

Energie biomasy

Je to zdroj s obrovským potenciálem, jeho význam nabírá kumulativního charakteru. Využívání energie biomasy z účelně pěstovaných plodin je limitováno zachováním

dostatečného množství zemědělské půdy pro pěstování potravin. S ohledem na zachování zemědělské půdy je výhodnější zpracování odpadní biomasy.

Geotermální energie

Je velmi spolehlivý zdroj, který vyniká svou stabilitou, jelikož je nezávislý na klimatických podmínkách. Jeho využití je však vhodné pouze pro oblasti se zvýšenou sopečnou aktivitou, pro ostatní oblasti je potenciál tohoto zdroje malý.

2 SOUČASNÝ STAV OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ A JEJICH ROLE V DIAGRAMU ZATÍŽENÍ

V této kapitole se budeme zabývat současným stavem obnovitelných zdrojů, jejich zastoupením při výrobě elektrické energie a možnostmi OZE při pokrývání diagramu zatížení. Pro masovější využití OZE potřebujeme, aby množství vyrobené elektrické energie bylo stabilní v průběhu časového období nebo se dalo s dostatečným předstihem předpovídat.

2.1 Současný stav obnovitelných zdrojů

Současné podmínky v ČR nejsou pro OZE velmi příznivé z hlediska využití solární energie, větrné energie, vodní energie a geotermální energie se nacházíme v nevhodné geografické oblasti. Potenciál těchto OZE je u nás nízký v porovnání s ostatními státy. Jediným reálně využitelným obnovitelným zdrojem energie je využívání energie biomasy a v budoucnu možným využitím geotermální energie. Faktory, které ovlivňují využití biomasy, jsme si uvedli v předchozí kapitole. U obnovitelných zdrojů lze v blízké budoucnosti předpovídat progresivní růst jejich role mezi zdroji elektrické energie, ale i nadále zůstanou spíše doplňkovým zdrojem, který nedokáže pokrýt větší část energetické spotřeby. Výhodné a méně problematické OZE jsou malé nebo střední zdroje, které jsou využívány k pokrytí spotřeby ve své lokalitě, tím se zbavíme nákladů na přenos obnovitelné energie. Právě tato decentralizace obnovitelných zdrojů se podílí na vytváření lokální energetické stability a snižuje závislost na importu. Z toho plyne možnost, že lokálně vyrobená a spotřebovaná elektrická energie může být levnější, než energie centrálně distribuovaná. V současnosti se OZE jako například zdroje využívající biomasu pohybují v začarovaném kruhu, kde vysoké dotace na podporu obnovitelných zdrojů podpoří stavbu dalších zdrojů stejného typu a tím zvýší poptávku po biomase. To má za následek její nedostatek a růst ceny biomasy. Následně musí dojít ke zvýšení dotací. Podpora v oblasti dotací pro OZE by se měla pohybovat v rozumných mezích a podporovat především malé maximálně střední zdroje. [1]

2.2 Podíl jednotlivých druhů OZE na výrobě elektrické energie v ČR

Energetická politika EU plánuje do roku 2020, aby 20 % ze spotřebované elektrické energie pocházelo z obnovitelných zdrojů, 20 % energie bylo ušetřeno a došlo k navýšení energetické účinnosti o 20 %. Vzhledem k této strategii roste podíl energie vyrobené z OZE ve většině členských států EU. Česká republika se zavázala, že 13 % ze spotřebované elektrické energie bude pocházet z obnovitelných zdrojů. Hrubá spotřeba elektřiny v České republice v roce 2011 byla 70,52 TWh. Z toho podíl vyrobené elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé tuzemské spotřebě elektřiny dosáhl 10,28 %.

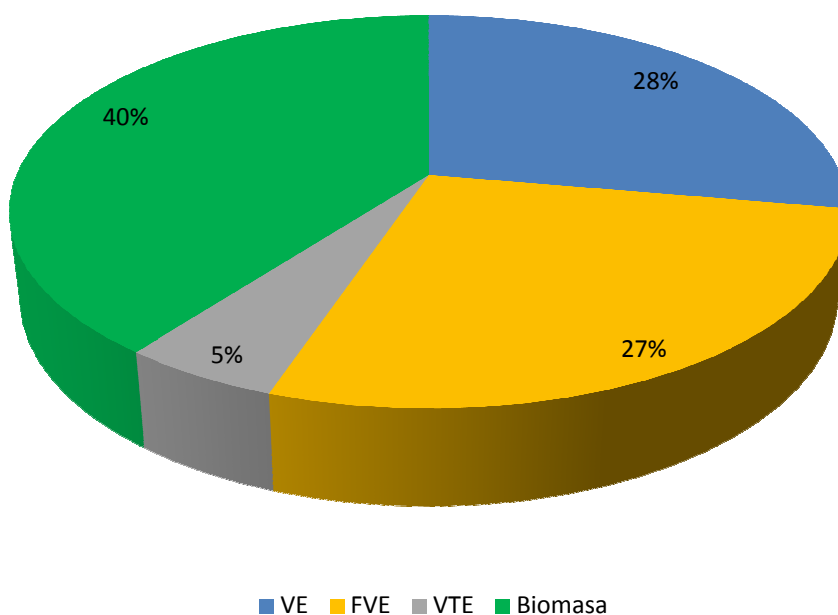
Tabulka 1 Odhad Instalovaného výkonu a výroby el. energie jednotlivými druhy OZE [3]

	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	MW ¹⁾	GWh ²⁾	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
VE	1 061	2 215	1 064	2 293	1 080	2 394	1 083	2 456	1 088	2 507	1 088	2 519
FVE	1 935	2 191	1 958	2 217	1 983	2 244	2 013	2 276	2 043	2 310	2 073	2 344
VTE	253	414	293	486	333	566	373	649	413	721	453	794
Biomasa	212	3 167	254	3 449	284	3 730	304	3 930	319	4 075	334	4 200
Geotermální	0	0	4	8	4	18	4	18	4	18	4	18
Celkem	3 461	7 987	3 573	8 453	3 684	8 952	3 777	9 329	3 867	9 631	3 952	9 875

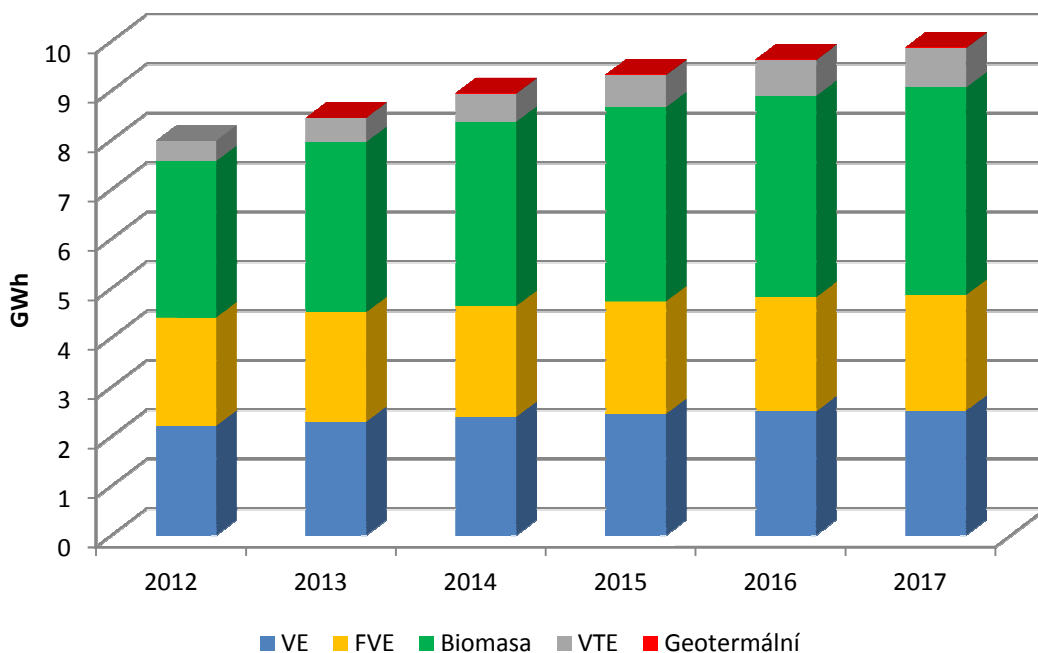
1) Instalovaný výkon

2) Hrubá výroba elektrické energie

K 31.12.2012 byl instalovaný výkon v ES ČR 20519,52 MW z toho 3461 MW, což znamená, že necelých 17 % z celkového instalovaného výkonu tvoří OZE, podle odhadu uvedeného v národním akčním plánu ČR pro energii z obnovitelných zdrojů. Pro rok 2020 je odhad instalovaného výkonu OZE 4156 MW, hrubá výroba elektrické energie těchto zdrojů by měla dosahovat 10625 GWh.



Graf 1 Podíl jednotlivých OZE na výrobě el. energie z OZ v roce 2012

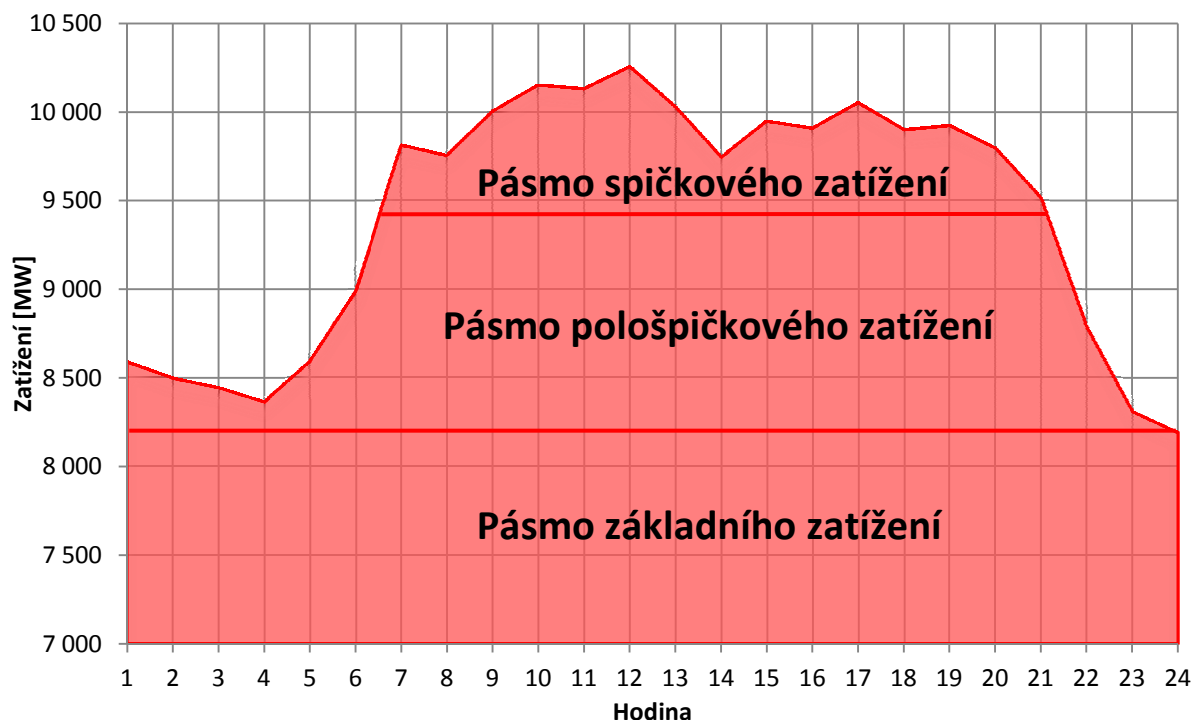


Graf 2 Odhadovaný vývoj hrubé výroby el. energie OZE

Z grafu 2 pozorujeme odhadovaný vývoj hrubé výroby elektrické energie OZE. Vidíme, že hrubá výroba elektrické energie VE bude stagnovat okolo 2 GWh. U vodních elektráren již nepředpokládáme růst výroby, jelikož je jejich potenciál z větší části využit. Můžeme předpokládat pouze odchylky způsobené rozdílnými klimatickými podmínkami v daném roce. Obdobná situace se stagnujícím vývojem výroby elektrické energie se očekává i u FVE. Ty v předchozích letech zaznamenaly největší růst výroby a to díky kombinaci zvýšení státních podpor pro energii vyrobenou FVE a snížením investičních nákladů. Největší progresivní vývoj hrubé výroby elektrické energie očekáváme u zdrojů využívajících biomasu, jelikož se jeví jako perspektivní OZE pro využití v našich podmínkách. Pozvolný růst předpokládá národní akční plán ČR pro energii z obnovitelných zdrojů i u VTE, ty by měly ve sledovaném období svou výrobu téměř zdvojnásobit. V roce 2013 by měla být uvedena do provozu první geotermální elektrárna, ale výstavba dalších geotermálních elektráren se v blízké budoucnosti neočekává.

2.3 Diagram zatížení

Z důvodu omezených možností pro skladování elektrické energie, musí výroba elektrické energie reagovat na její spotřebu. K pokrytí spotřeby elektrické energie nám pomáhá diagram zatížení, který na základě statistických údajů z předcházejících let a dalších důležitých aspektů, odhaduje spotřebu elektrické energie v určitém časovém období. Využíváme několik druhů diagramů zatížení a to denní, týdenní a roční diagram zatížení.



Graf 3 predikce zatížení 27.1.2012 [4]

Diagram zatížení rozdělujeme do tří základních pásem:

1. Pásmo základního zatížení
2. Pásmo pološpičkového zatížení
3. Pásmo špičkového zatížení

V pásmu základního zatížení pracují zdroje elektrické energie, které mají nízké výrobní náklady a omezenou možnost regulace např. jaderné elektrárny, tepelné elektrárny, průtočné vodní elektrárny, jsou to tzv. zdroje základního zatížení. V pološpičkovém pásmu zatížení pracují akumulární vodní elektrárny a některé tepelné elektrárny, obecně se tyto zdroje nazývají špičkové zdroje. Ve špičkovém pásmu pracují zdroje elektrické energie, které mají dobrou schopnost regulace a promptně reagují na změny zatížení elektrizační soustavy. Běžným zdrojem elektrické energie využívaným v tomto pásmu jsou přečerpávací vodní elektrárny.

Podle rozdělení zdrojů elektrické energie a podle využití jednotlivých zdrojů při pokrývání diagramu zatížení, jak jsme uvedli v kapitole 1.1, můžeme zdroje rozdělit do 4 základních skupin. Nejrozšířenější skupinou jsou zdroje základního zatížení, ty pokrývají téměř 90 % z celkové výroby elektrické energie. Další důležitou skupinou jsou špičkové zdroje, které pokrývají spolu s akumulárními zdroji výkyvy ve spotřebě elektrické energie. Dále se tyto zdroje efektivně využívají k pokrytí výroby elektrické energie při nestabilní výrobě inkonzistentních zdrojů. [1]

2.4 OZE v diagramu zatížení

Některé druhy OZE, jako jsou větrné (VTE) a fotovoltaické elektrárny (FVE), mají problém se stabilně dodávat výkon do ES. Tato inkonzistence je způsobena značnou závislostí na klimatických podmínkách, které jsou proměnlivé v čase. Tyto aspekty mají za následek nemožnost uplatnění těchto druhů OZE v základním pásmu diagramu zatížení. Obecně tyto

zdroje nazýváme inkonzistentní zdroje. Výroba elektrické energie VTE a FVE tvoří více než jednu třetinu z celkové výroby elektrické energie z OZE. Tyto fakta se negativně projevují při pokrývání diagramu zatížení. Následně musíme disponovat ostatními druhy zdrojů elektrické energie o srovnatelném výkonu, které jsou schopny kompenzovat proměnlivost dodávaného výkonu z FVE a VTE. Naopak OZE využívající např. vodní energii, energii biomasy a geotermální energii, se vyznačují stabilním dodávaným výkonem nebo lze hodnotu jejich dodávaného výkonu předpovídat. Tyto OZE se podílí na pokrývání spotřeby elektrické energie bez výrazné nutnosti využití dalších zdrojů ke kompenzaci jejich proměnlivé výroby. Jako příklad můžeme uvést průtočné a akumulární vodní elektrárny.

K tomu, aby OZE především FVE a VTE převzaly větší úlohu při pokrývání spotřeby elektrické energie v diagramu zatížení, při aktuálních podmínkách jako jsou vysoké náklady na vyrobenou kWh a nestabilita výroby elektrické energie vlivem jejich principu funkce, nemůže dojít. Nevýhody těchto OZE by se mohli v budoucnu odstranit a to vlivem předpokládaného růstu cen fosilních paliv v kombinaci se snižujícími se investičními náklady na výstavbu OZE a zlepšení jejich technologických parametrů. Dále je pro rozvoj FVE a VTE důležitá kooperace s vhodnými akumulárními systémy, které by vyřešily problém s jejich nestabilní výrobou energie.

Předpokládaný růst využití při pokrývání diagramu zatížení můžeme předpokládat u elektráren, které využívají přímé přeměny biomasy na tepelnou energii a následně vyrábí elektrickou energii, nebo spalují produkty, které vznikly v důsledku různých procesů zpracování biomasy. Jedná se o poměrně stabilní zdroj elektrické energie. Tyto zdroje se dají efektivně využívat jako zdroje základního zatížení a potenciálně jako špičkové zdroje. Tento druh OZE je limitován množstvím dostupné biomasy k energetickým účelům.

Při aktuální situaci se dají k pokrývání spotřeby v diagramu zatížení bez větších komplikací využívat vodní elektrárny a elektrárny zpracovávající biomasu. OZE jako jsou FVE a VTE mohou za určité situace vzhledem ke své nestálosti výroby způsobovat problémy při zajišťování pokrytí spotřeby. K úspěšnému pokrytí spotřeby je důležitá souhra všech dostupných zdrojů elektrické energie a to aktuálně není možné, pokud se na výrobě elektrické energie nebudou podílet z větší části konvenční zdroje elektrické energie.

3 PROBLEMATIKA ŘÍZENÍ OZE

S neustále rostoucím podílem obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektrické energie, roste také problém s jejich řízením. Vlivem diskontinuity výroby některých druhů OZE, vznikají vyšší nároky na dispečerskou činnost. Zejména se jedná o větší centralizované OZE, které dodávají elektrickou energii do elektrizační soustavy a tím mohou negativně ovlivňovat kvalitu elektrické energie a spolehlivost dodávky elektrické energie.

Vzhledem k faktu, že v posledním měsíci roku 2012 vešla v platnost novela vyhlášky o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů dispečerského řízení, což se projevilo v požadavcích na chování výroben elektrické energie v DS o instalovaném výkonu od 100 kW, dispečerské řízení se nevztahuje na malé vodní elektrárny. Vzrostly také požadavky na technické vybavení výroben. Následně se požadavky na výrobní budeme detailně zabývat v bodech 3.2 a 3.3. Důležitou částí v této novele je stanovení množství neodebrané elektřiny a náhrady za neodebranou elektřinu při omezení dispečerským řízením. Tato část novely zabránila zneužívání omezování výroby elektřiny OZE. Rovněž byl stanoven vzorec pro určení množství neodebrané elektřiny při omezené výrobě:

$$W_{ne} = P_{inst} \cdot k_v \cdot \Delta t \quad (MWh) \quad (3.1)$$

- P_{inst} instalovaný výkon výroby elektřiny [MW]
- k_v koeficient využití [-]
- Δt doba omezení výroby elektřiny [hodiny]

3.1 Vliv provozu OZE na chod elektrizační soustavy

Elektrizační soustava se skládá z přenosové soustavy a distribuční soustavy. Ve většině případů jsou OZE připojeny do distribuční soustavy. Ta byla navržena pro pasivní provoz a tok energie jedním směrem do místa poptávky. Aktuálně dochází k připojování OZE k DS a následnému dodávání výkonu. Výroba elektrické energie v DS může způsobovat několik nežádoucích jevů. [2]

Mezi hlavní negativní vlivy, způsobené připojením a provozem OZE, patří kolísání nebo změna napětí, vznik vyšších harmonických a interharmonických. Tyto vlivy mají významný podíl na kvalitě dodávané elektrické energie a spolehlivosti provozu distribuční soustavy. [5]

3.2 Požadavky na chování výroben v DS

Podle pravidel pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy jsou na jednotlivé druhy zdrojů kladeny konkrétní požadavky, zejména se jedná o regulaci napětí, frekvence, činného a jalového výkonu. Tyto požadavky musí splňovat každý zdroj připojený k DS. Takže tyto požadavky platí i pro OZE. V této kapitole jsou uvedeny požadavky na chování výroben. Následující body vychází z pravidel provozování distribučních soustav příloha č. 4. [6]

3.2.1 Zásady podpory sítě

Výrobní elektrické energie musí být schopny se podílet na udržování napětí při dodávce energie do sítě. Hodnoty a charakteristiky pro podporu sítě udává její provozovatel. Dodržování těchto požadavků zařizuje automatické řízení v místě výroby. Rozeznáváme dva typy podpory a to statická a dynamická podpora sítě.

Statická podpora sítě

Jedná se o udržování napětí ve smluvně stanovené mezi při normálním provozu sítě s pomalými změnami napětí. V případě požadavku provozovatele DS, kdy si to panující podmínky vyžadují, se musí výrobní podílet na statickém udržování napětí.

Dynamická podpora sítě

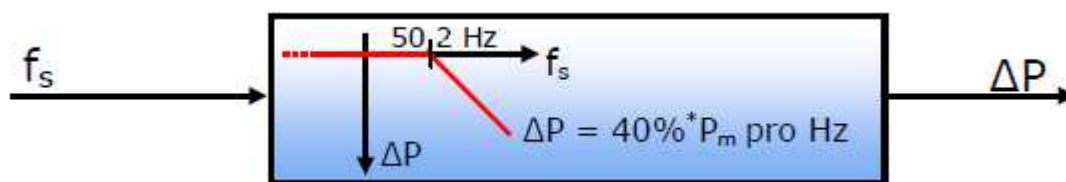
Je udržování napětí při poklesech napětí v sítích vvn a zvn, to zamezuje odpojení zdrojů, které napájí síť vn a následnému rozpadu sítě. Z tohoto důvodu se výrobní pracující v síti vn a 110 kV musí podílet na dynamické podpoře sítě. Při poruše v těchto sítích musí být výrobní technicky schopny zůstat připojené. Při dynamické podpoře musíme dodržet stanovené meze. Pokud napětí poklesne v rozmezí 100 % - 70 % dohodnutého napájecího napětí v trvání do 0,7 sekundy, musí výrobní zůstat připojena k síti. V druhém případě při poklesu napětí pod 30 %, musí výrobní zůstat připojena k síti do 150 ms.

3.2.2 Přizpůsobení činného výkonu

Výrobní, které jsou připojeny do DS, musí být schopné snižovat činný výkon automaticky vzhledem ke kmitočtu v síti, vzhledem k poměrům v síti a pokynům z dispečinku DS. V krajním případě se zdroje musí odpojit od DS.

Snížení činného výkonu

Výrobní připojené do DS, které nejsou schopny automatického odpojení, musí při kmitočtu nad 50,2 Hz snižovat svůj okamžitý činný výkon s gradientem 40 % na Hz.



Obrázek 2 Snižování činného výkonu vlivem frekvence sítě [6]

V rozmezí síťové frekvence 50,2 Hz až 51,5 Hz platí vztah:

$$\Delta P = 20P_m \frac{50,2 - f_s}{50} \quad (kW) \quad (3.1)$$

- P_m okamžitý dostupný výkon [kW]
- f_s síťová frekvence [Hz]

V rozsahu síťové frekvence 47,5 Hz až 50,2 Hz není kladeno na výrobní žádné omezení. Pokud je síťová frekvence menší než 47,5 Hz nebo naopak větší než 51,5 Hz, musí být výrobní odpojena od sítě.

Řízení činného výkonu v závislosti na provozních podmínkách

Výrobní musí být schopna provozu se sníženým činným výkonem. Provozovatel DS může změnit hodnotu činného výkonu ve stavech, jako jsou potenciální ohrožení bezpečného provozu sítě, nutné provozní práce, nebezpečí vzniku ostrovního provozu, ohrožení statické nebo dynamické stability a vzrůst frekvence ohrožující systém. Snížení dodávaného výkonu, které je požadováno provozovatelem DS, musí být provedeno nejdéle do jedné minuty. Dodávaný výkon může být navyšován, až když je kmitočet sítě menší než 50,2 Hz.

3.2.3 Řízení jalového výkonu vzhledem k provozním podmínkám

Vzhledem ke konkrétnímu místu DS se určuje řízení jalového výkonu. Po konzultaci s výrobcem určí jeho řízení provozovatel DS.

Zdroje připojené do sítí nn

Pro zdroje do 16 A/fáze se musí za normálních provozních podmínek účinník pohybovat v rozmezí 0,95 kapacitního a 0,95 induktivního charakteru za předpokladu, že činný výkon dosahuje nejméně 20 % jmenovitého výkonu zdroje. U fotovoltaických elektráren do výkonu 4,6 kVA/fáze se kompenzace účinníku nepožaduje.

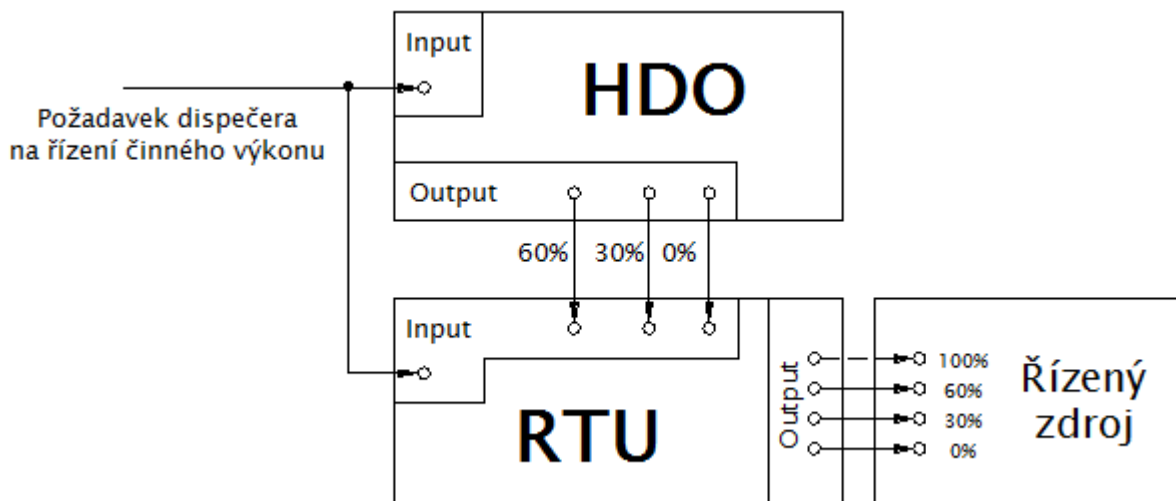
Zdroje v sítích vn a 110 kV

Jalový výkon zdrojů od instalovaného výkonu 100 kVA musí být říditelný. Dohodnutý rozsah, ve kterém je jalový výkon říditelný, musí být dostupný během několika minut a libovolně často. Při dodávání činného výkonu je dodávka jalového nastavena na pevnou hodnotu, nebo hodnotu jalového výkonu dálkově nastavitelnou. Žádaná hodnota je buď pevná hodnota zadaného účinníku, hodnota účinníku $\cos\phi = f(P)$, zadaná hodnota jalového výkonu, zadaná hodnota napětí, nebo charakteristika $Q(U)$. Pokud provozovatel DS zadá charakteristiku, musí být automaticky nastavena odpovídající hodnota jalového výkonu. Pro charakteristiku $\cos\phi = f(P)$ v průběhu 10 sekund a pro charakteristiku $Q(U)$ nastavitelně mezi 10 sekundami až jednou minutou. Stejně jako způsob řízení tak i žádané hodnoty zadává provozovatel DS podle potřeb a to buď dohodou na hodnotě, harmonogramem, nebo online zadáváním. Při velmi kolísajícím výkonu pohonu musí být kompenzace jalového výkonu dostatečně rychle a automaticky regulována. Kompenzační kondenzátory nesmějí být připojovány před tím, než se zapne generátor. Při vypínání generátoru musí být kompenzační kondenzátory odpojeny současně s generátorem.

3.3 Požadavky na technické vybavení výroben

Výrobní elektrické energie, jako jsou FVE a VTE, musí dostatečně rychle reagovat na pokyny provozovatele DS, jako jsou omezení činného výkonu na hodnoty 60 %, 30 %, nebo 0 % jmenovité hodnoty. Regulace činného výkonu je stupňovitá podle zadaných procentuálních hodnot instalovaného výkonu. Na dispečink provozovatele DS se musí zajistit přenos naměřených hodnot a signalizace stavu zdroje. U jednotlivého zdroje může být požadována plynulá regulace napětí nebo jalového výkonu (U/Q) podle pokynů dispečinku nebo systémem automatické regulace. V případě dálkového řízení U/Q bude použit standardní komunikační protokol přes komunikační rozhraní řídicí jednotky. Požadavek na regulaci U/Q bude vždy

upřesněn na základě výsledků studie konkrétního připojeného zdroje. K regulaci činného výkonu je instalován hlavně přijímač HDO, který je v majetku provozovatele DS, jako záloha k tomuto účelu bude využita řídicí jednotka RTU. Vlastnictví řídicí jednotky RTU je součástí stanovení podmínek připojení. RTU bude v souladu s pravidly provozu DS v majetku výrobce, výjimečně může být i v majetku distributora. [7]



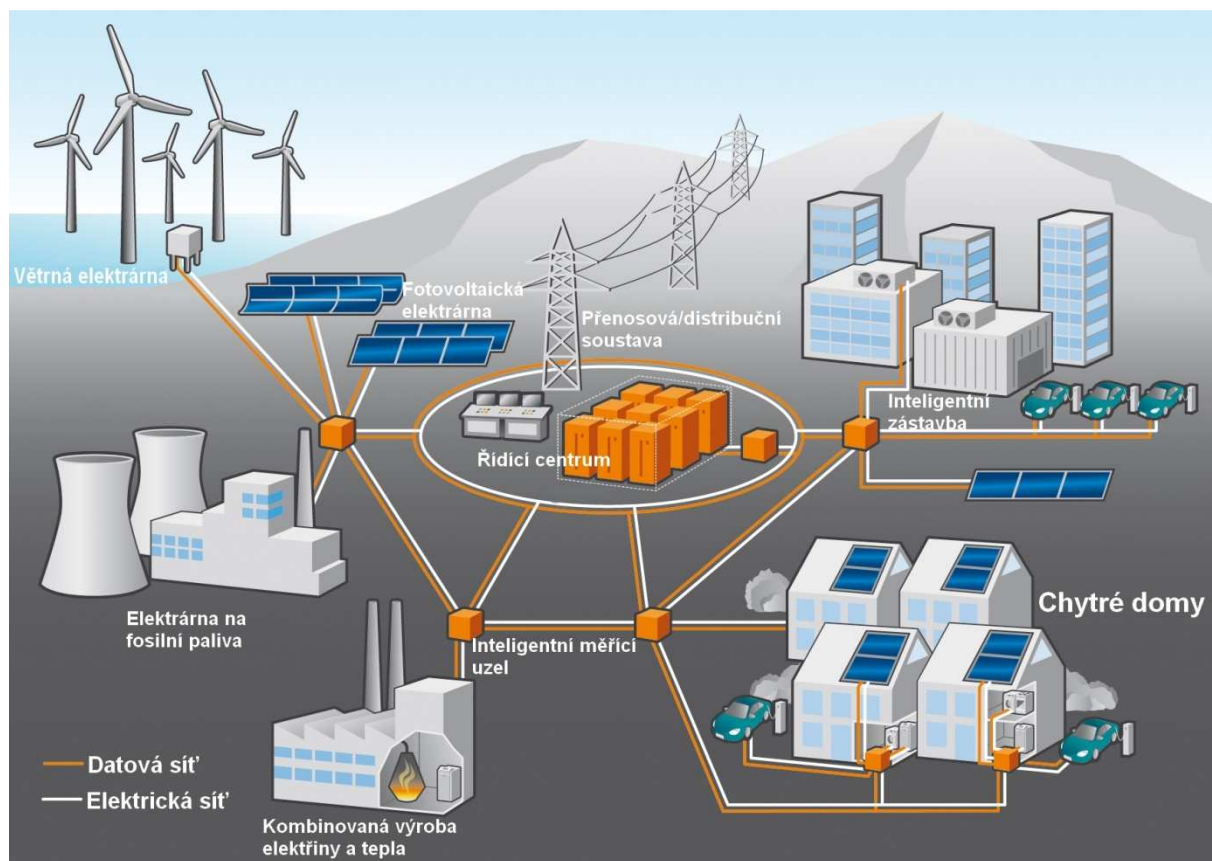
Obrázek 3 Blokové schéma řízení činného výkonu pomocí HDO zálohované RTU

Informace o stupni řízení činného výkonu budou provozovateli DS předávány pomocí komunikace s řídicí jednotkou RTU. Při selhání řídicí jednotky musí být zajištěno ovládání činného výkonu pomocí přijímače HDO. Jak přijímač HDO, tak i řídicí jednotka musí být nainstalována tak, aby i při odpojení výroby z paralelního provozu s DS zůstaly v provozu.

3.4 Inteligentní síť (smart grids)

Zvětšujícím se podílem OZE na výrobě elektrické energie rostou požadavky na distribuční soustavu a náročnost jejího řízení. Z toho plyne, že aktuální koncepce konverguje k limitním možnostem soustavy. Vhodné řešení pro stále rozvíjející se decentralizované výroby je koncepce tzv. inteligentní sítě, ty umožňují jejich účinnou integraci do elektrizační soustavy.

Smart grids jsou síť, které se automaticky řídí a regulují za pomoci velkého množství senzorů, ty udávají aktuální informace o dění v síti. Principiálně se jedná o interaktivní komunikaci mezi výrobcem a spotřebitelem pomocí inteligentních elektroměrů o aktuální spotřebě elektrické energie. Inteligentní síť umožňují optimální souhru decentralizovaných zdrojů s klasickými zdroji, vytváří tzv. virtuální elektrárny. Pomocí decentralizovaných zdrojů začleněných do virtuální elektrárny, což jsou nejčastěji různé druhy OZE, se snažíme jejich kooperací za pomoci vhodného řídicího systému pokrýt spotřebu elektrické energie v místě její výroby a tím snížit náklady na přenos elektrické energie z velkých centralizovaných zdrojů. [8]



Obrázek 4 Koncept inteligentní sítě [8]

Při implementaci většího množství OZE do inteligentní sítě musíme řešit problém s akumulací energie, kde se bude energie v případě přebytku elektřiny uchovávat a při nedostatku elektřiny se bude z těchto záloh čerpat. Do určité míry by tento problém v budoucnosti vyřešilo rozšíření elektromobilů, jejichž baterie by se mohli podílet na akumulaci energie. Toto řešení by však problém s akumulací energie nevyřešilo úplně. Důležitou roli bude také hrát efektivnější využívání stávajících zdrojů, vyrovnaní nabídky s poptávkou pomocí inteligentních elektroměrů s více tarify. Tento systém již u nás funguje jako HDO, ovšem toto ovládání řízené spotřeby by se mělo rozšířit i na ostatní domácí spotřebiče. Odběratelé budou zároveň i dodávat elektřinu do sítě a budou se aktivně podílet na regulaci sítě.

Zavedením inteligentních sítí, což vyžaduje vyšší požadavky na řízení soustavy a datovou komunikaci mezi jednotlivými body sítě, zvyšujeme riziko kybernetického útoku. Bude důležité dbát na bezpečnost inteligentních sítí, je nutné sledovat nejen požadavek na řízení soustavy ale i prostředky, kterými toto řízení provádíme. Z tohoto hlediska kybernetického útoku se jeví jako bezpečný způsob ovládaní soustavy dosavadně využívaný systém HDO. [9]

V současné době společnost ČEZ na území ČR testuje v rámci projektu smart region využití inteligentních sítí. Projekt probíhá v mikroregionu Vrchlabí. Dochází k nasazování nejmodernějších technologií do distribuční sítě, testování inteligentních elektroměrů včetně interaktivního zapojení spotřebitelů, dále dochází k širokému využití informačních technologií k řízení sítě, zapojování lokálních výrobních zdrojů a testování elektromobility. Poznatky z tohoto projektu budou využity k dalšímu rozvoji inteligentních sítí v ČR a Evropské unii. [10]

4 PROVEDENÍ REGULACE U JEDNOTLIVÝCH OZE V ČR A VE SVĚTĚ

Z principu jednotlivých druhů OZE vyplývá, že některé nelze efektivně provozovat pro výrobu elektřiny bez aplikace vhodné regulace. V minulé kapitole jsme se zabývali problematikou řízení OZE, požadavky na provoz a technické vybavení jednotlivých obnovitelných zdrojů energie, aby vzhledem k jejich negativním účinkům mohly být provozovány paralelně s distribuční soustavou. V této kapitole se zaměříme na způsoby regulace v ČR a ve světě, jakými se snaží odstranit jejich negativní účinky. V porovnání jednotlivých druhů OZE mají největší negativní vliv na elektrizační soustavu větrné a fotovoltaické elektrárny. Ostatní druhy obnovitelných zdrojů jako např. využívání biomasy, využívání energie vody a geotermální energie nemají z hlediska regulace nepříznivé vlivy. Naopak využívání energie vody v přečerpávacích vodních elektrárnách se podílí na regulaci výroby z nestabilních obnovitelných zdrojů.

4.1 Regulace FVE a VTE v České republice

Produkce elektrické energie FVE a VTE je značně proměnlivá v čase. Tyto výkonové odchylky musíme pokrýt za pomoci podpůrných služeb, abychom zachovali stabilitu elektrizační soustavy.

Podpůrné služby pro udržení výkonové rovnováhy elektrizační soustavy: [11]

1. Služby poskytující výrobci nebo i spotřebitelé el. energie
 - Sekundární a terciární regulace výkonu bloku
 - Druhy regulačních záloh
 - Změna zatížení
 - Snížení výkonu
2. Nákup regulační energie
3. Výpomoc ze sousedních soustav (import/export elektřiny)
4. Ve stavu nouze řízené snížení spotřeby podle vypínacího plánu

Jako první se na udržení výkonové rovnováhy podílí sekundární a terciární regulace příslušných elektrárenských bloků. V případě, že terciární regulace nestačí, nastupují různé druhy regulačních záloh, které se liší dobou, za kterou jsou schopny poskytnout regulační zálohu.

Nejrychlejší regulační zálohy jsou přečerpávací vodní elektrárny, dají se využívat při nadbytečné i nedostatečné výrobě energie, poskytují kladnou i zápornou zálohu. Výkon přečerpávacích vodních elektráren je dosažitelný do necelé minuty. Následně se pro regulaci výkonových odchylek při poklesu i nadbytku výroby elektřiny využívají regulační zálohy, které jsou k dispozici do 15 minut od zadání požadavku na zvýšení jejich výkonu při snížení dodávky FVE a VTE. Kladné regulační zálohy jsou elektrárny se stabilní výrobou, které jsou v provozu jen z části svého maximálního výkonu a případně potřeby jsou schopny navýšit dodávaný výkon.

Záporné regulační zálohy jsou realizovány snížením výkonu jednotlivých bloků elektráren, exportem elektrické energie do okolních států nebo připojením odpovídajícího zatížení k elektrizační soustavě, což může být např. spuštění čerpacího provozu přečerpávacích vodních elektráren. V případě, že by aktivace přístupných regulačních záloh nestačila k vyrovnaní výkonové rovnováhy, jsou k dispozici dispečerské zálohy, ty tvoří odstavené bloky schopny najetí do specifikované doby. Další možností je nákup elektřiny na vyrovnávacím trhu a řízené snížení spotřeby.

Uvedené způsoby regulace jsou jedinými aktuálně dostupnými prostředky v případě přebytku či nedostatku elektřiny vyrobené fotovoltaickými a větrnými elektrárnami v ČR, nebo při výpadku některého ze zdrojů připojeného k elektrizační soustavě. V případě dalšího navyšování instalovaného výkonu FVE a VTE, je nutné navýšení hodnoty regulační zálohy. Jako zdroje regulační zálohy při nemožnosti využití přečerpávacích elektráren jsou často využívány uhelné elektrárny, které jsou provozovány pouze na částečný výkon. Tento provoz má nižší účinnost, než při optimálním výkonu a vede k neefektivnímu využívání fosilních paliv. To odporuje samotné podstatě využívání OZE, která má vést ke snížení negativního vlivu oxidu uhličitého na ovzduší a ke snížení závislosti na fosilních palivech. Vhodné zdroje regulačních záloh jsou přečerpávací vodní elektrárny. V ČR se provozují tři významné přečerpávací vodní elektrárny a to Dlouhé Stráně, Dalešice a Štěchovice, celkový instalovaný výkon těchto elektráren je 1175 MW a jsou osazeny reverzními Francisovými turbínami. Významnou roli ve vyrovnávání výkonové bilance má také vltavská kaskáda, podílí se jako záloha regulační energie a při vhodných hydrologických podmínkách i jako sekundární regulace. Vltavská kaskáda pracuje jako fiktivní blok a je řízena samostatně.

Přehled aktivování jednotlivých zdrojů podpůrných služeb: [12]

1. Při okamžité odchylce ± 150 MW, rozhoduje dynamika zdroje (MW/min)
 - Sekundární regulace
 - Vltavská kaskáda
2. Větší odchylky trvající déle než 30 min, rozhoduje cena
 - Terciární regulace
3. Skokové a velké změny odchylek (výpadky zdrojů nebo sítí), rozhoduje dynamika zdroje a dostupnost
 - Regulační záloha
 - Změna zatížení
 - Vltavská kaskáda (maximálně 4 hod)
4. Velká záporná odchylka nad 300 MW nebo trvající zatížení, rozhoduje cena
 - Dispečerská záloha
5. Velká kladná odchylka, rozhoduje cena
 - Snížení výroby

Budování dalších přečerpávacích elektráren je velmi problematické vzhledem k zásahu do krajiny se setkává, jak s protesty obyvatelů v místě budování nové přečerpávací vodní elektrárny, tak i s protesty ekologů. Ministerstvo průmyslu a obchodu si nedávno nechalo

zpracovat studii, která se zabývá vytipováním lokalit na stavbu nových PVE. V úvahu přišlo 6 lokalit Šumný důl a Červená jáma v Krušných horách, Smědavský vrch v Jizerských horách, Spálená a Velká Morava v Jeseníkách nebo Slavíč v Beskydech. Odhadovaný celkový instalovaný výkon ve všech vytipovaných lokalitách by měl přesahovat 4000 MW, takové množství regulačního výkonu by prospělo elektrizační soustavě a je nezbytné pro další rozvoj výroby elektřiny z FVE a VTE. Investice na výstavbu jedné PVE ze šesti plánovaných se odhaduje na 20 až 30 miliard Kč.

Společnost ČEZ uvažuje o částečné přestavbě stávající vodní elektrárny na přehradě Orlický náhon, která je stěžejním prvkem vltavské kaskády. Nahrazení dvou ze čtyř stávajících turbín reverzními turbínami umožní čerpadlový provoz, v době přebytku elektřiny, z vyrovnávací nádrže Kamýk zpět do přehrady Orlický náhon. Přestavba by nevyžadovala další zásah do krajiny a i z hlediska finanční investice by byly náklady o desítky procent nižší, než výstavba nové PVE.

Velmi zajímavým projektem s velkým potenciálem je vybudování PVE Lipno – Aschach. Tento nadnárodní projekt plánuje propojení již vybudovaných nádrží na Vltavě a Dunaji přivaděčem dlouhým 27 km s převýšením cca 450 metrů. Lipno by zastávalo funkci horní nádrže a Aschach by fungoval jako dolní nádrž, byly by propojeny svislým přivaděčem s podzemní strojovnou s uspořádáním se čtyřmi reverzibilními turbosoustrojími o celkovém instalovaném výkonu 1000 MW v hloubce 500 metrů pod hladinou Lipenské přehrady a dále odpadní štolou až do Dunaje. Realizace tohoto projektu by přispěla regulačním výkonem odpovídajícím výkonu jednoho temelínského bloku, což by výrazně posílilo regulační schopnost elektrizační soustavy ve střední Evropě. PVE Lipno – Aschach by zlepšila plavební podmínky na Labi při letních měsících, kdy by pomohlo čerpání vody z Dunaje, který má v letních měsících vody dostatek a zamezit hrozbě povodní pomocí odpouštění vody do Dunaje. Momentálně však realizaci projektu zabraňuje legislativní podpora k mezinárodní spolupráci a absence studie ekologického dopadu díla a případného vlivu na životní prostředí. Investice pro tento projekt je odhadována zhruba na 26 miliard Kč. [13]

Přečerpávací vodní elektrárny se aktuálně jeví jako nejvýhodnější prostředek k regulaci výkonové bilance, která je ovlivňována proměnlivou výrobou FVE a VTE. Účinnost cyklu PVE dosahuje až 80 %, což je velmi vysoká účinnost při akumulaci elektrické energie. Výstavba nových PVE je problematická a velmi nákladná, z tohoto důvodu je potřeba také nových řešení.

4.2 Regulace OZE ve světě

Převážně se ve světě využívá k regulaci výroby elektřiny PVE, zejména v zemích kde pramení řeky ve vysokých horských oblastech, jako je například Švýcarsko a Norsko. Obdobně využívají i přímořské státy mořské přečerpávací elektrárny, které jsou založeny na vybudování umělé horní nádrže nad hladinou moře.

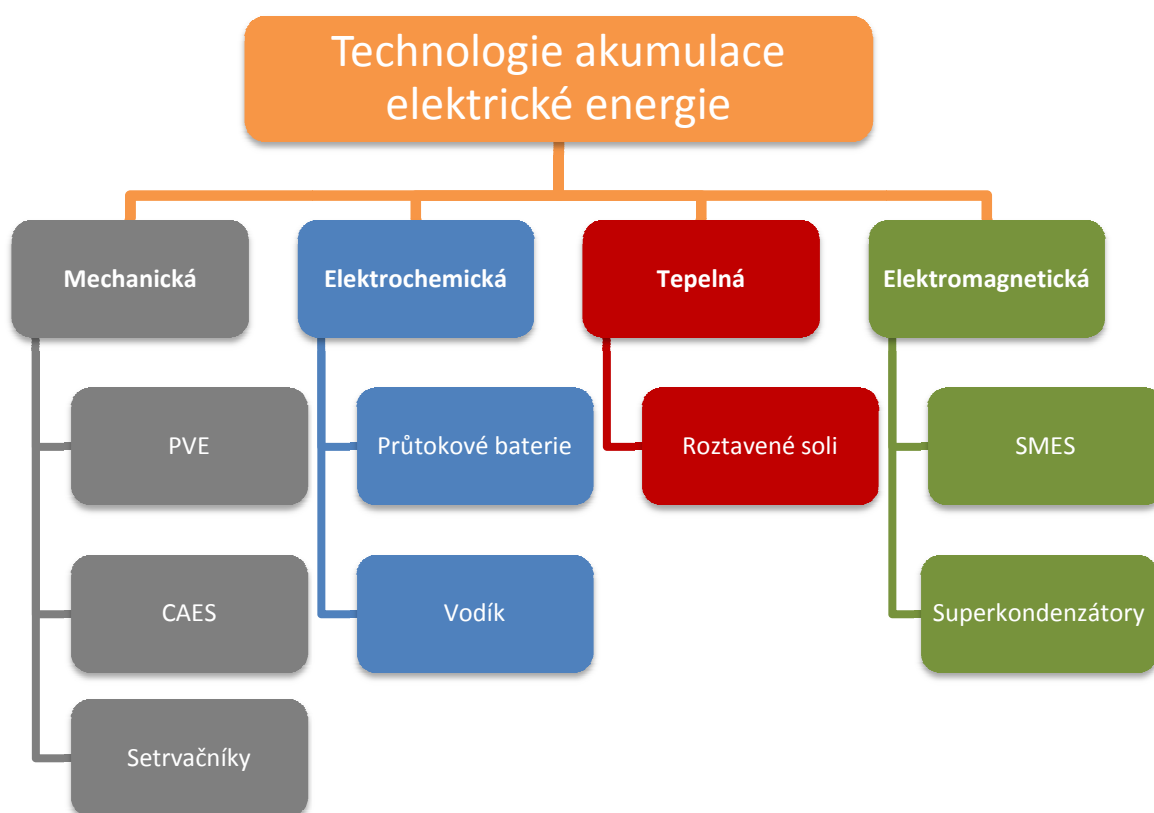
V současnosti probíhá ve Švýcarsku výstavba nejvýše položené přečerpávací vodní elektrárny na světě, projekt se označuje Linthal 2015. Hladina horní nádrže se po čtyřnásobném navýšení jejího objemu bude nacházet téměř ve výšce 2500 metrů nad mořem. Spojena bude s dolní nádrží přivaděčem se spádem 630 metrů. V kaverně budou umístěny čtyři přečerpávající turbosoustrojí s Francisovými turbínami o celkovém instalovaném výkonu 1000 MW. [14]

V oblastech, kde není tak vysoký hydropotenciál, se musí využít jiných způsobů regulaci, než jsou PVE. To dává prostor pro vývoj nových způsobů akumulace elektrické energie. Například využití solárních věží v solární elektrárně Gemasolar, která se nachází ve Španělsku a navazuje na úspěšný americký projekt Solar Two. Solární elektrárna Gemasolar umožňuje produkci elektrické energie i po dobu 15 hodin bez slunečního záření, což do jisté míry odstraňuje závislost na proměnlivé intenzitě slunečního záření. Jako teplonosné médium využívá roztavené soli, která mění vodu na páru a ta pohání turbínu o výkonu 20 MW.

Další technologií využívanou k akumulaci energie je CAES. První zařízení využívající tuto technologii bylo vybudováno v Německu, naplněný zásobník je schopen po dobu dvou hodin dodávat do sítě výkon 290 MW. V této části jsme si uvedli jen zlomek technologií využívaných k akumulaci elektrické energie a jejich využití v praxi. Možností akumulace elektrické energie se budeme podrobněji zabývat v následující kapitole.

5 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ AKUMULACE ENERGIE Z OZE

Vzhledem k nestálosti výroby elektřiny solárních a větrných elektráren nastává problém s regulací výkonové rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektřiny. Řešení tohoto problému poskytuje akumulace energie vyrobené z OZE. Elektrická energie se obtížně skladuje a často ji potřebujeme pro akumulaci transformovat na jinou formu energie, tento proces skladování a opětovného využití se neobejde bez ztrát, které se liší vzhledem k použité technologii akumulace. Další navyšování instalovaného výkonu solárních a větrných elektráren se neuskuteční bez vhodného řešení akumulace energie. V této kapitole se zaměříme na jednotlivé druhy systémů umožňující akumulaci energie vzhledem k současným potřebám energetiky.



Obrázek 5 Rozdělení akumulčních technologií [15]

Základní parametry při posuzování akumulční technologie:

- Účinnost
- Jmenovitý výkon a rychlost jeho poskytnutí
- Kapacita
- Počet cyklů
- Samovybíjení
- Cena

5.1 Mechanická akumulace energie

Jedná se o způsob akumulace, při kterém transformujeme v našem případě přebytečnou elektrickou energii na potenciální energii vody, kinetickou energii rotujícího tělesa nebo tlakovou energii. Z toho vyplývá, že se jedná o heterogenní systémy, kde dochází k přeměně energie. Je to nejstarší způsob využívaný k akumulaci energie.

5.1.1 Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)

Jsou velmi vhodné pro akumulaci elektrické energie. V době přebytku elektřiny uměle akumulují vodu v horní nádrži. Akumulovaná energie se pak využívá v době špiček, výpadku ostatních zdrojů dodávajících elektřinu nebo při pokrytí fluktuace výkonu dodávaného z fotovoltaických a větrných elektráren. Přehled PVE jsme si spolu s jejich instalovaným výkonem a problematikou spojenou s budováním nových PVE uvedli v bodě 4.1.

Požadavky pro optimální využití PVE:

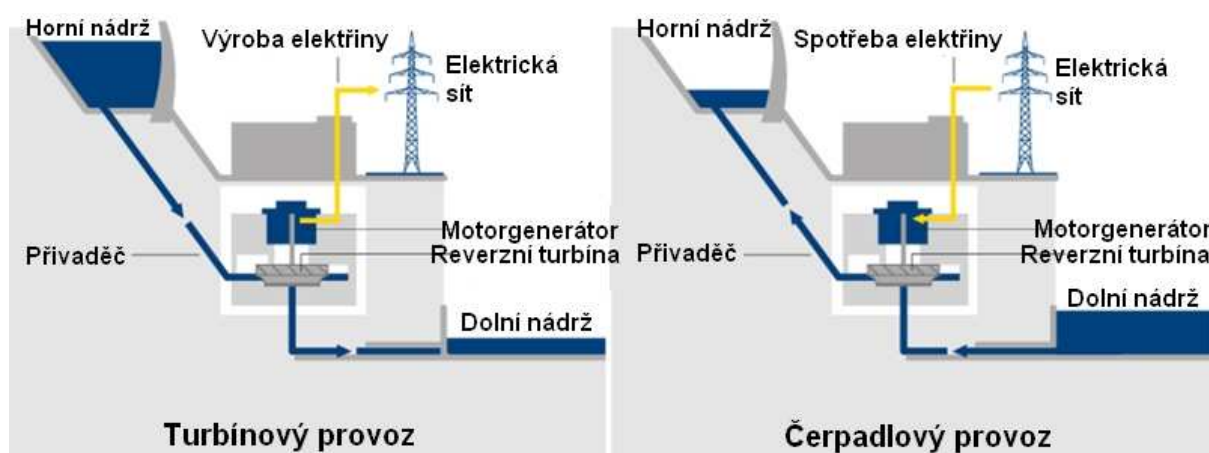
- Velký akumulací potenciál horní nádrže
- Velký spád s největší možnou strmostí
- Uspořádání soustrojí
- Vhodný poměr parametrů instalovaných zdrojů

Důležitým parametrem pro PVE je rychlost přechodu z čerpadlového do turbínového provozu. Rychlost přechodu je dána uspořádáním soustrojí, to se může lišit. Nejvyužívanější uspořádání jsou s reverzní turbínou, nebo uspořádání s turbínou a samostatným čerpadlem. Nejčastější uspořádání reverzní turbíny je, kdy při jednom směru otáčení funguje jako turbína a při opačném směru otáčení pracuje jako čerpadlo. To má za následek pomalejší přechod mezi čerpadlovým a turbínovým provozem, ten může trvat až 5 minut. Existují i konstrukce turbín s jednosměrným směrem otáčení, ty tento nedostatek se změnou směru otáčení odstraňují. Další možností je uspořádání, při kterém je turbína a čerpadlo zvlášť, což umožňuje také rychlý přechod mezi provozními stavy PVE.

Soustrojí u PVE se může nacházet v jednom z těchto provozů:

- Klidový provoz
- Turbínový provoz
- Čerpadlový provoz
- Kompenzační provoz

Jak už jsme uvedli výše, přechody mezi jednotlivými stavy chceme co nejkratší. Délka přechodů není ovlivněna jenom uspořádáním soustrojí, ale i ostatními ději jako je změna směru proudění vody v přivaděči, uzavírání přivaděčů, zavzdušnění strojů atd. Nejkratší přechodový čas vykazuje přechod z klidového stavu do turbínového provozu, ten trvá zhruba do jedné minuty. [16]



Obrázek 6 Základní prvky PVE při turbínovém/čerpadlovém provozu [17]

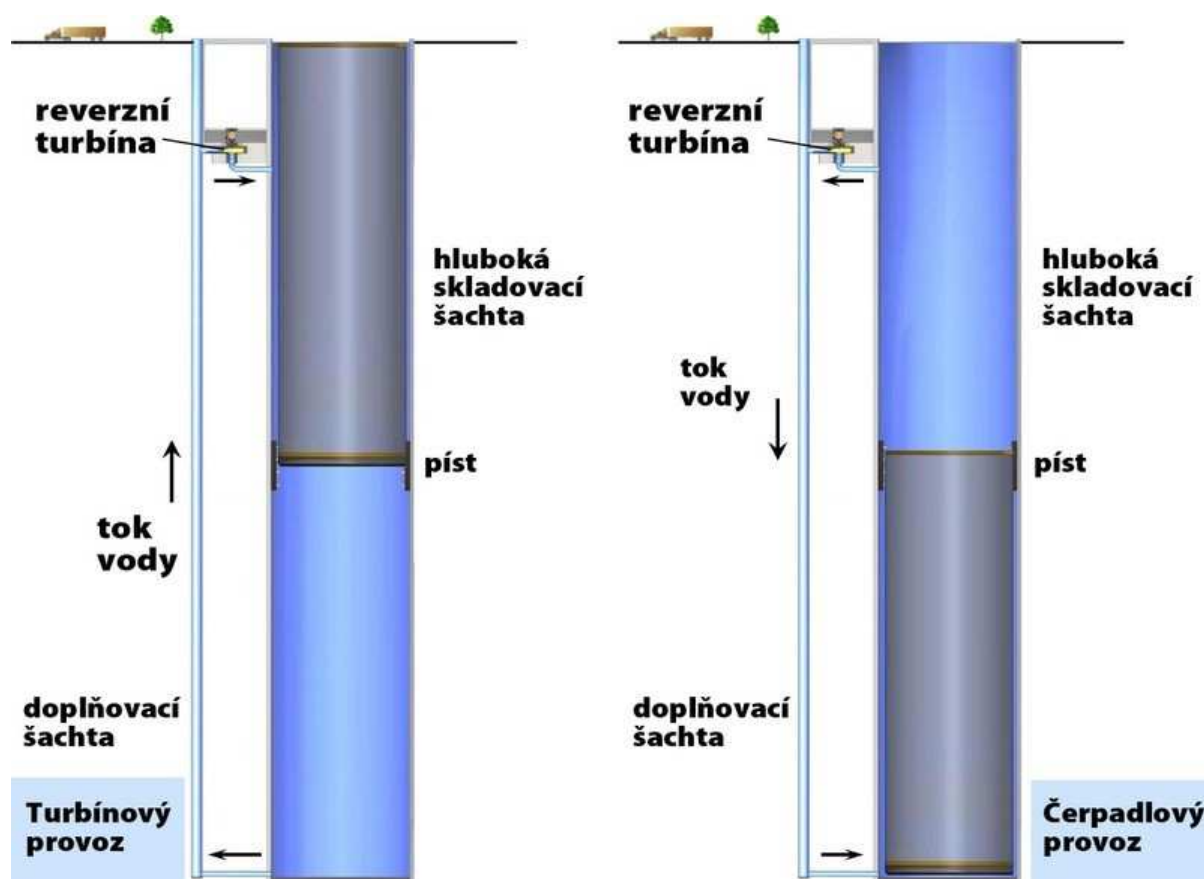
Účinnost PVE se pohybuje kolem 60 % pro starší PVE a u moderních PVE účinnost dosahuje až 80 %. Účinnost ovlivňuje stavební uspořádání přečerpávací vodní elektrárny ale i její důležité části vybavení jako je turbína, čerpadla a hydroalternátory. Celková účinnost PVE je dána součinem účinností jednotlivých komponentů, které se uplatní při akumulaci energie a následné výrobě elektriny. Nejčastěji se udává účinnost tzv. malého cyklu PVE, kde nejsou zahrnuty ztráty vzniklé přenosem elektriny. [2]

$$\eta = \eta_{t\check{c}} \cdot \eta_m \cdot \eta_{\check{c}} \cdot \eta_{p\check{c}} \cdot \eta_{pt} \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tt} \quad (-) \quad (5.1)$$

- $\eta_{t\check{c}}, \eta_{tt}$ účinnost transformátoru při čerpacím a turbínovém provozu
- η_m, η_g účinnost motoru a generátoru
- $\eta_{\check{c}}, \eta_t$ účinnost čerpadla a turbíny
- $\eta_{p\check{c}}, \eta_{pt}$ účinnost potrubí čerpadla a turbíny

5.1.2 Elektrárna využívající gravitační sílu

Aktuálně se v USA zabývá společnost Gravity Power projektem umožňující akumulaci energie. Projekt je založený na osvědčených principech fungování PVE. Hlavní výhodou této koncepce by měla být nižší cena, rychlost výstavby a menší zásah do krajiny ve srovnání s výstavbou nové PVE. Podstatou funkce turbínového provozu je pohyb pístu, který je vyvolán gravitační silou. Píst vytlačuje vodu z dolní poloviny širší podzemní šachty směrem k povrchu přes užší podzemní šachtu, na jejímž konci se nachází strojovna, do horní poloviny širší podzemní šachty. Při čerpadlovém provozu je tok vody opačný. Elektrárna by měla využívat reverzní Francisovy turbíny, které se rovněž používají v PVE. Další výhodou této koncepce je, že nedochází k odparu vody, jelikož je celý systém utěsněn a uložen v podzemí. Účinnost malého cyklu elektrárny využívající gravitační sílu by měla dosahovat až 83 %, což přesahuje i účinnost moderních PVE. [18]

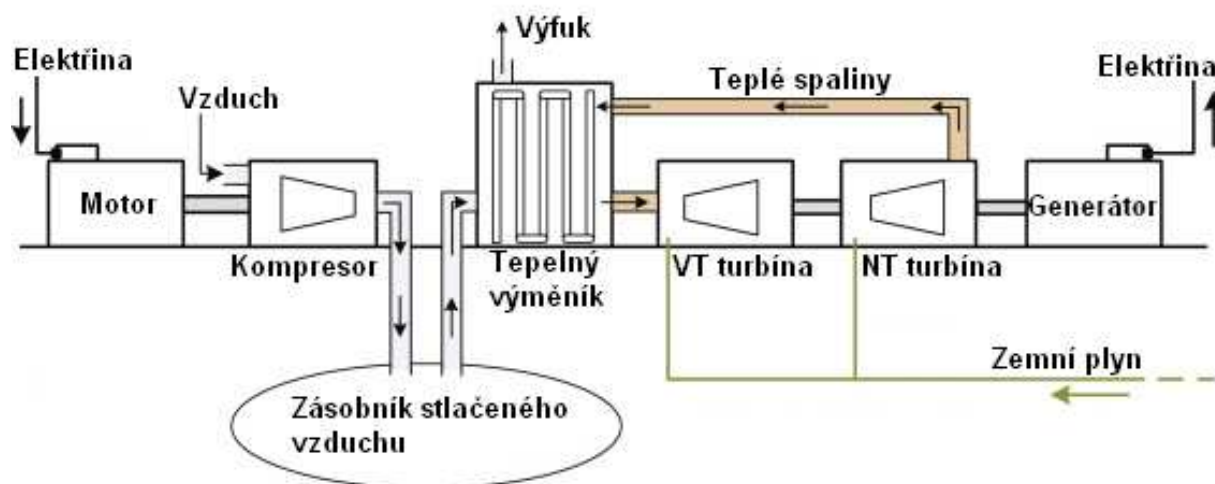


Obrázek 7 Turbínový a čerpadlový provoz elektrárny využívající gravitační sílu [18]

5.1.3 Stlačený vzduch

Akumulace energie pomocí stlačeného vzduchu (CAES) je dalším systémem, který může vyřešit problém s fluktuací dodávaného výkonu zejména u větrných elektráren. Nejedná se o novou technologii, první komerční jednotka využívající CAES byla uvedena do provozu v roce 1978 v Německu, avšak až s rozšířením větrné energetiky narostl její význam z hlediska vyrovnávání nestabilní výroby větrných elektráren. Principem CAES je stlačování vzduchu pomocí kompresorů do podzemního nebo nadzemního zásobníku. V případě potřeby se stlačený vzduch přivede do spalovací komory, kde se smíchá s plynem a směs se zapálí. Následně expanduje v turbíně a vytváří točivý moment. Princip je obdobný jako u klasické paroplynové elektrárny. Při využití metody CAES ušetříme část energie turbíny, kterou by spotřeboval kompresor ke svému pohonu. Nevýhodou této technologie je závislost na zemním plynu, jakož to fosilním palivu. Tento nedostatek by měla odstranit modernizace této technologie, s využitím adiabatické komprese.

Technologie AA-CAES je založena na adiabatické kompresi vzduchu, té však nejde v praxi dosáhnout. K tomu aby stlačený vzduch odevzdal co nejméně tepla svému okolí, zabraní zásobníky pro akumulaci tepla. Při procesu výroby elektřiny se naakumulované teplo ze zásobníků smíchá se stlačeným vzduchem, čím by se výrazně snížila spotřeba zemního plynu k ohřevu stlačeného vzduchu. Účinnost cyklu u AA-CAES se odhaduje na 70 %. [2]



Obrázek 8 Princip technologie CAES [19]

5.1.4 Akumulace energie setrvačníky

Setrvačník umožňuje akumulaci kinetické energie. Vyskytují se dvě základní provedení setrvačnicků a to rychloběžné a pomaloběžné. Rychloběžné setrvačnický dosahují i přes 50000 otáček za minutu, využívají magnetické ložiska a rotor setrvačnický je umístěn ve sníženém tlaku blízcím se vakuu. Výhodou setrvačnický jsou nízké náklady na údržbu a dlouhá životnost. Pro širší využití v energetice nejsou setrvačnický moc vhodné, jelikož mají vysoké náklady na uloženou jednotku energie a jejich vybíjecí čas je krátký. V budoucnu při snížení nákladů na uchování energie, by se mohly setrvačnický využívat ke krátkodobému pokrytí při poklesu výroby větrných a fotovoltaických elektráren. V čase než dojde k aktivaci ostatních pomalejších systému na akumulaci energie, jelikož naakumulovaná energie v setrvačnických je k dispozici téměř ihned. [20]

5.2 Elektrochemická akumulace energie

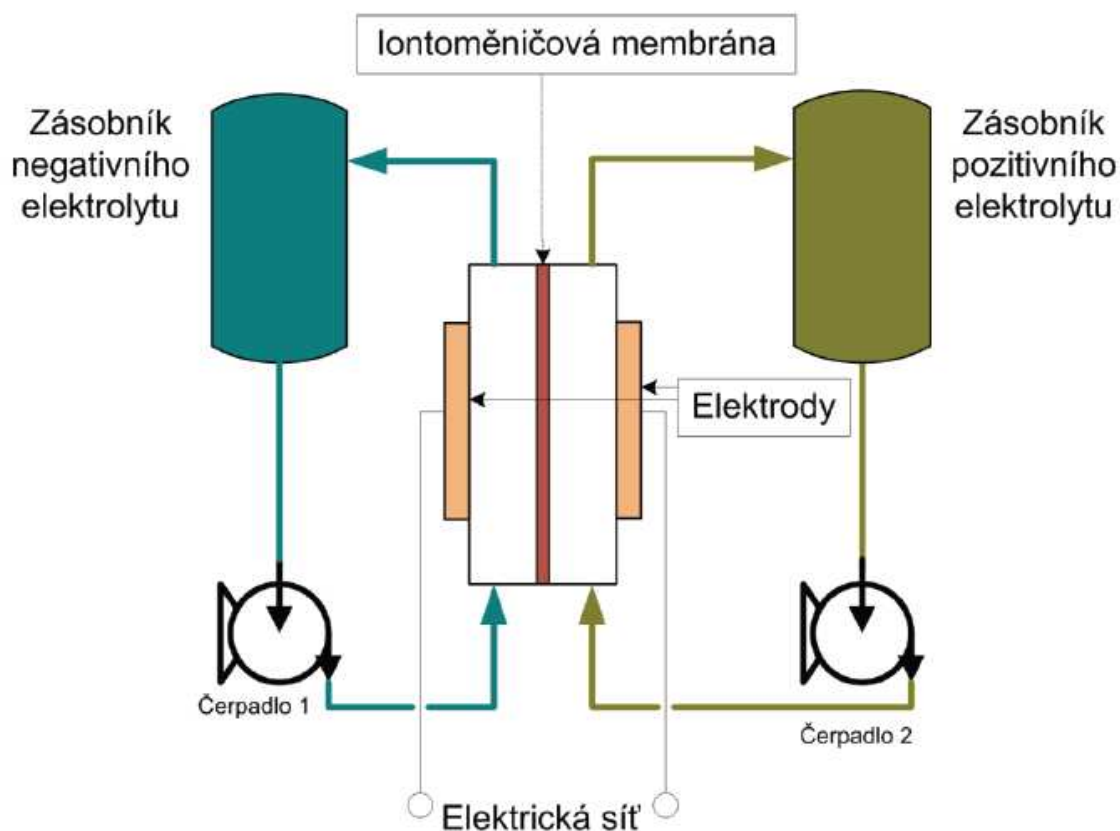
Akumulátory využívající elektrochemickou akumulaci energie jsou různé druhy baterií a palivových článků. Při akumulaci dochází k přeměně elektrické energie na chemickou energii a v případě potřeby využití elektrické energie dochází k opačnému procesu. V této části se budeme zabývat z různých druhů baterií pouze průtokovými bateriemi a palivovými články využívající vodík jako palivo.

5.2.1 Průtokové baterie

Jsou novým typem baterií. Energie je uložena do elektrolytu, který je uložen v zásobnících, odkud je čerpán do chemického článku. Princip průtokové baterie je znázorněn na Obrázek 9. Průtokové baterie jsou velmi vhodným typem pro energetické využití. Akumulační kapacita průtokových baterií je dána množstvím elektrolytu uloženého v zásobnících. Jednotlivé parametry průtokových baterií jsou závislé na typu použitého elektrolytu. [21]

Podle druhu elektrolytu rozeznáváme několik typů průtokových baterií:

- Elektrolyt využívající různých oxidačních stavů vanadu
- Elektrolyt z bromidu zinečnatého
- Elektrolyt z bromidu sodného a polysulfidu



Obrázek 9 Princip průtokové baterie [2]

Průtoková baterie, která využívá v elektrolytu vanad, se nazývá vanadiová redoxidová baterie (VRB). Tento typ baterie má za sebou již více než čtvrt století výzkumu a testování. Hlavními výhodami VRB je minimální samovybíjení a neomezený počet nabíjecích a vybíjecích cyklů, což odstraňuje značnou nevýhodu, která se vyskytuje u ostatních druhů baterií. Objemová hustota energie u VRB je 15 až 25 kWh/m³, což je poměrně nízká hodnota oproti ostatním typům baterií. Z toho vyplývá problém s větší prostorovou náročností VRB. Vzhledem k rychlému přechodu z nabíjecího do vybíjecího režimu se VRB hodí ke stabilizaci nestálé výroby z FVE a VTE. Tento typ průtokových baterií má velký potenciál podílet se na stabilnější ES. Účinnost přeměny energie u této baterie může dosahovat až 85 %. [2]

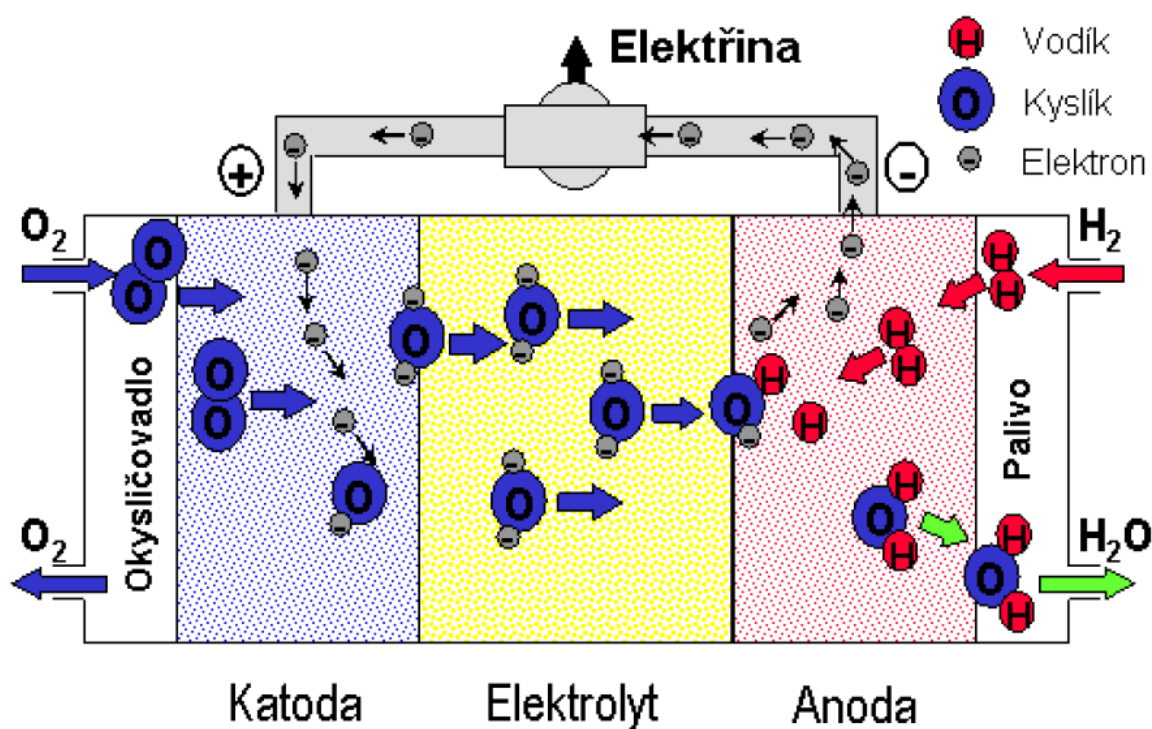
5.2.2 NaS baterie

Baterie se skládá ze sodíku a síry, ty jsou od sebe separovány pevným elektrolytem. Pevný elektrolyt umožňuje projít pouze kladným iontům sodíku, aby mohly kombinovat se sírou, tím se vytvoří kladný náboj. Elektrolyt nepropouští elektrony a tím zabraňuje samovybíjení baterie. V sodíkové anodě se uvolní elektron a tím mezi kontakty vznikne napětí o hodnotě 2 V. Při opačném procesu mezi sírou a sodíkem dochází k nabíjení baterie. NaS baterie má vysokou

hustotu energie a vysokou účinnost akumulačního cyklu až 92 %. Životnost baterie je přibližně 3000 cyklů. Vzhledem k vysoké hustotě energie zabírají tyto baterie poměrně malý prostor. Provozní teplota baterie se pohybuje v rozmezí 300 – 350 °C. Nevýhodou tohoto typu baterie je, že sodík silně reaguje s kyslíkem nebo vodou a začne samovolně hořet, proto musí být dobře izolován od okolního prostředí. NaS baterie se využívá pro nemobilní využití, vzhledem ke svým parametrům je velice vhodná pro pokrytí nestabilní výroby FVE a VTE, jedná se o velmi vhodný typ baterií pro využití při akumulaci energie. V Japonsku již byly NaS baterie prakticky využity pro stabilizaci výroby několika větrných parků. [20]

5.2.3 Palivové články

Palivový článek je elektrochemické zařízení sloužící k přeměně chemické energie na elektrickou energii, skládá se z elektrod oddělených elektrolytem, k jedné elektrodě je přiváděno palivo a ke druhé elektrodě je přiváděno okysličovadlo. Velmi podobný princip jako u průtokových baterií. Princip funkce palivového článku je děj inverzí k elektrolyze. Konkrétně se budeme zabývat palivovým článkem využívajícím vodík jako palivo a kyslík jako okysličovadlo, na Obrázek 10 je znázorněn princip tohoto palivového článku.



Obrázek 10 Princip činnosti palivového článku využívajícího vodík jako palivo [22]

Kyslík jako okysličovadlo je přiváděn ke katodě palivového článku, kde dochází k jeho redukci na kyslíkový anion za pomoci dvou elektronů. Ten projde elektrolytem až k anodě, kde přiváděný vodík reaguje s kyslíkovým anionem a vzniká voda a uvolněné elektrony. Elektrony jsou vedeny z anody zpět na katodu jako využitelný elektrický proud. [22]

Výroba vodíku by stabilizovala výrobu elektřiny FVE a VTE. Vodík by se vyráběl elektrolyzou vody, ta by využívala elektřinu z problematických zdrojů. Dalším způsobem je termochemická výroba vodíku při vysokých teplotách. Tomuto způsobu můžeme využít

například koncentrované sluneční záření. Jedná se o způsoby výroby, které jsou šetrné k životnímu prostředí. Skladování vodíku je zatíženo specifickými obtížemi. Vodík má nízkou hustotu, molekuly vodíku jsou malé, proto může difúzně pronikat i některými materiály. Vodík je vysoce reaktivní. Existuje několik technických možností skladování vodíku, jako je skladování v plynné formě v tlakových lahvích, v kapalně formě a další způsoby skladování. Účinnost cyklu se pohybuje v rozmezí 30 – 50 %, závisí zejména na použité technologii při výrobě vodíku. [23]

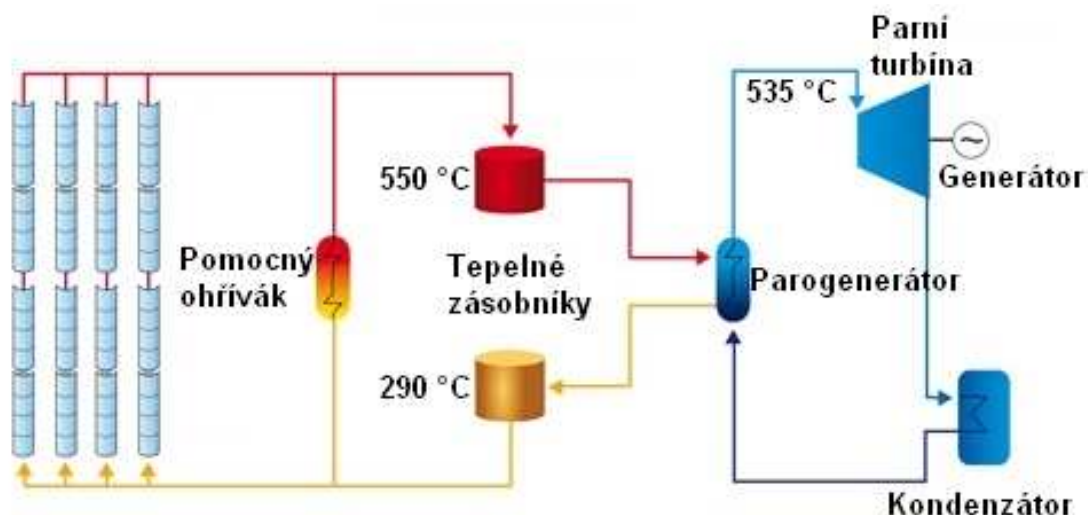
5.3 Tepelná akumulace

V tomto bodě se zaměříme pouze na tepelnou akumulaci solární energie, k tomu se využívá rozsáhlého systému zrcadel nebo čoček, které soustředí solární energii do jednoho bodu. Základní rozlišení jednotlivých technologií tepelné akumulace je použité médium a koncentrátor.

5.3.1 Roztavené soli

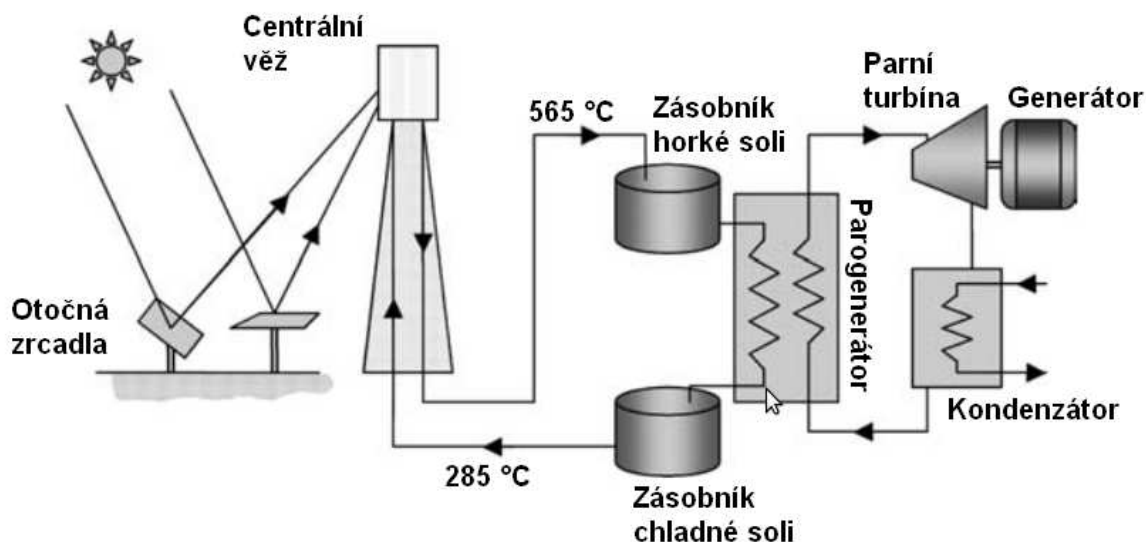
Slouží k ukládání solární energie v energii tepelnou. Využívají se u solárních elektráren jako teplonosné médium, jedná se o směs dusičnanu draselného a dusičnanu sodného, jedná se o efektivnější médium, než je voda z hlediska akumulace tepelné energie pro delší časový úsek. Směs roztavené soli se ohřívá cca na 500 °C v závislosti na použitém solárním koncentrátoru. Princip elektráren využívajících roztavených solí spočívá v koncentrování sluneční energie do určité oblasti, kde je umístěno potrubí s roztavenou solí. Ta následně prochází přes zásobník a v parogenerátoru ohřívá vodu na páru o požadovaných parametrech, která pohání turbosoustrojí. Výhodou této akumulace je určitá nezávislost na aktuální intenzitě slunečního záření a schopnost dodávat elektrickou energii ještě několik hodin po západu slunce, což dvojnásobně zvyšuje koeficient využití oproti solárním elektrárnám bez tepelné akumulace.

První solární elektrárnou v Evropě, využívající parabolické koryto jako koncentrátor, byla Andasol ve Španělsku. V provozu je od roku 2009 o instalovaném elektrickém výkonu 50 MW s předpokládanou výrobou 180 GWh za rok při odhadovaném koeficientu využití 0,41. Celková průměrná účinnost této elektrárny se pohybuje okolo 15 %. Zásobníky Andasol pojmu necelých 29000 tun roztavené soli, která umožňuje provoz na plný výkon ještě necelých 8 hodin po západu slunce. Nevýhodou této technologie je velká spotřeba vody, což může být v oblastech bez vhodného vodního zdroje problém. Další nevýhoda je velká rozloha elektrárny, ta se vyskytuje obecně u všech elektráren využívajících sluneční záření, které má malou plošnou koncentraci. [24]



Obrázek 11 Základní princip solární elektrárny s parabolickými zrcadly [25]

Dalším typem jsou koncentrační solární elektrárny se solární věží. Kolem centrální věže jsou umístěna pohyblivá zrcadla, která koncentrují rozptýlené sluneční záření na centrální věž. Jedna ze solárních elektráren využívající tuto technologii se nazývá Gemasolar a nachází ve Španělsku. O elektrickém výkonu 20 MW, s roční výrobou 110 GWh s koeficientem využití 0,63. Účinnost elektrárny se pohybuje okolo 14 %. Zásobníky s roztavenou solí umožňují provoz na plný výkon i 15 hodin po západu slunce, což umožňuje elektrárně Gemasolar dodávat elektřinu po určitou část roku nepřetržitě. [26]



Obrázek 12 Princip koncentrační solární elektrárny se solární věží [27]

5.4 Elektromagnetická akumulace

Z hlediska účinnosti se jedná o nejefektivnější způsob akumulace. Elektrická energie se nemusí transformovat na jinou formu energie. Zaměříme se na akumulaci energie v magnetickém poli a na akumulaci energie v superkondenzátorech.

5.4.1 Supravodivé magnetické akumulátory

Zkráceně se tyto systémy nazývají SMES. Princip akumulace elektřiny za pomoci supravodivých magnetických akumulátorů spočívá v akumulaci energie v magnetickém poli toroidní cívky, která je tvořena supravodivým materiálem a je uložena v prostoru s nízkou teplotou. Toroidní cívku protéká velký stejnosměrný proud téměř bez ztrát vlivem supravodivosti. Tento způsob akumulace dosahuje velmi vysoké účinnosti okolo 95 %. Nevýhodou je vysoká cena supravodivých materiálů a velké náklady pro udržení kritické teploty v okolí cívky, která je nezbytná pro jev supravodivosti. Dosavadní stav vysokých pořizovacích a provozních nákladů způsobil, že SMES se využívají s akumulací kapacitou do jednotek MWh, jako záložní zdroje elektřiny nebo k posílení stability sítě. Akumulace většího množství energie je problematické. [28]

5.4.2 Superkondenzátory

Superkondenzátory jsou založeny na principu elektrické dvouvrstvy. Ta vzniká mezi elektrolytem a elektrodou s pórovitým povrchem o obrovské ploše. Při vybitém stavu jsou částice s nenulovým nábojem rovnoměrně rozloženy v elektrolytu, při nabíjení se začnou ionty a elektrody opačného znaménka přitahovat. V blízkosti povrchu elektrody vzniká potenciálový rozdíl, který je vyvolán nerovnoměrným rozložením iontů. Na obou elektrodách se vytvoří dvouvrstva se zrcadlovým rozložením náboje. Vzhledem k malé tloušťce elektrolytu se provozní napětí superkondenzátorů pohybuje okolo 2,3 V. Superkondenzátory dosahují kapacit až tisíců Faradů. [2]

Výhodou superkondenzátorů je vysoká účinnost až 95 % a velký počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. Také jsou schopny téměř okamžitě dodávat svůj maximální výkon. Jejich nabití trvá velmi krátkou dobu. Superkondenzátory mají určité výhody oproti některým typům užívaných baterií a v budoucnu by je mohli nahradit.

5.5 Posouzení vhodnosti jednotlivých akumulčních technologií

Po seznámení v předchozích bodech s jednotlivými technologiemi využívanými k akumulaci energie, můžeme usoudit, že každá technologie má své specifické využití a je méně či více vhodná pro využití při akumulaci v energetice.

Jedním ze způsobů akumulace energie byla mechanická akumulace, kde patří přečerpávací vodní elektrárny, stlačený vzduch a setrvačníky. PVE jsou velmi vhodným systémem pro akumulaci energie, mají relativně vysokou účinnost a životnost, jsou schopny dlouhodobě uchovat energii, výkon PVE je k dispozici do jedné minuty. Z energetického hlediska jsou PVE velmi vhodným systémem pro akumulaci energie, aktivně se podílí na udržení výkonové bilance sítě. Nevýhodou je problematika spojená s výstavbou PVE, ty potřebují vhodné geografické podmínky, vhodné lokality se většinou nachází v chráněných krajinných oblastech. Výstavba je velkým zásahem do rázu krajiny. Tyto nevýhody odstraňují elektrárny využívající gravitační sílu, jelikož jsou umístěny v podzemí. Také investiční náklady s jejich výstavbou jsou nižší. Akumulace energie ve stlačeném vzduchu je taky vhodná pro využití v energetice, zejména pro stabilizaci výroby větrných elektráren. Nevýhodou tohoto systému je jeho závislost na zemním plynu, což by mohla odstranit modernizace této technologie založená na adiabatické

kompresi. Teplo vzniklé při kompresi by se ukládalo v tepelných zásobnících, což by značně snížilo spotřebu zemního plynu. Využití setrvačníků pro akumulaci energie v energetice není moc vhodné. Dosahují sice poměrně vysoké účinnosti ale rovněž i vysokých nákladů na jednotku uložené energie, což ze setrvačníků vytváří z ekonomického hlediska technologii nevhodnou pro uložení velkého množství energie.

Dalším způsobem akumulace energie je elektrochemická akumulace. Tu využívají nejrůznější typy baterií a palivových článků. Z baterií jsme se zaměřili na průtokové baterie a NaS baterie. Vanadiové redox baterie se hodí ke stabilizaci výroby v malých aplikacích, vzhledem k jejich prostorové náročnosti nejsou vhodné pro využití akumulace energie velkých OZE. NaS baterie se díky vysoké hustotě energie a účinnosti hodí k akumulaci energie i z větších zdrojů, jako jsou celé větrné parky, touto technologií NaS baterií se zabývají zejména v Japonsku. Tento typ baterií je vhodný i jako záložní zdroj, pro svou krátkou reakční dobu a schopnost akumulace poměrně velkého množství energie. Akumulace energie ve vodíku pro stabilizaci výroby OZE je prozatím hudbou budoucnosti. Musí se vyřešit spousta technologických a materiálových problémů spojených s elektrolyzéry vody a dalšími zařízeními, které se využívají v ostatních fázích akumulačního cyklu.

Tepelná akumulace energie využívající roztavené soli je vhodná pouze pro OZE využívající solární energii. Akumulace odstraňuje závislost na aktuální intenzitě slunečního záření, což je jeden z hlavních problémů solárních elektráren. Díky akumulačním zásobníkům roztavené soli je elektrárna schopna dodávat elektřinu i přes noc. Účinnost solárního okruhu elektráren může dosahovat až 70 %. Koncentrační solární elektrárny se hojně využívají zejména ve Španělsku. Nevýhodou této technologie může být značná spotřeba vody a vysoké investiční náklady.

Akumulace energie využívající supravodivé magnetické akumulátory a superkapacitory má své přednosti v neomezeném počtu cyklů, vysoké účinnosti a rychlosti jejich nabití, jelikož nemusíme elektrickou energii transformovat např. na tepelnou energii. Ovšem jsou tyto technologie velmi drahé a doposud neumožnili akumulaci většího množství energie, to prozatím neumožňuje širší využití těchto systémů pro energetické účely.

6 ZÁVĚR

Práce seznamuje s problematikou týkající se obnovitelných zdrojů energie. V práci jsme se zabývali zejména problematikou řízení OZE, možností regulace a akumulace elektrické energie vyrobené OZE. V práci jsme nastínili současná stav OZE v ČR, uplatnění jednotlivých druhů OZE při výrobě elektrické energie vzhledem k naší geografické poloze, predikci instalovaného výkonu OZE a výrobu elektrické energie z OZE pro blízkou budoucnost. Zhodnotili jsme možnosti jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů při pokrývání diagramu zatížení. V další části jsme se zaměřili na negativní vlivy OZE na elektrizační soustavu a s konkrétními požadavky na chování obnovitelných zdrojů podle pravidel pro paralelní provoz s DS. Seznámili jsme se s koncepcí inteligentních sítí, jejich přínosem pro elektrizační soustavu a možnými riziky spojenými s jejich zavedením. V kapitole provedení regulace OZE v ČR a ve světě jsme se zaměřili hlavně na zdroje s nestabilní výrobou elektřiny, jako jsou FVE a VTE. Uvedli jsme dostupné podpůrné služby pro udržení výkonové rovnováhy elektrizační soustavy a případy ve kterých jsou jednotlivé podpůrné služby aktivovány. Popsali jsme situaci ohledně PVE, což jsou velmi výhodné zdroje regulačního výkonu a seznámili jsme se s některými tuzemskými i zahraničními projekty, které mají v plánu navýšení velmi potřebného regulačního výkonu pro další rozvoj OZE. V další kapitole se zabýváme možnostmi akumulace energie v různých formách, to by umožnilo stabilizovat výrobu elektrické energie FVE, VTE a pozitivně by se akumulace energie podílela na udržení výkonové rovnováhy v elektrizační soustavě.

Cílem práce je analýza problematiky regulace obnovitelných zdrojů energie. Rozebrali jsme aktuální možnosti dispečerů elektrizační soustavy k udržení stability sítě, tyto možnosti regulace se s narůstajícím instalovaným výkonem nestabilních obnovitelných zdrojů přibližují k hranici svých možností. Jedná se o velmi aktuální problematiku, která se musí řešit, jinak by mohlo dojít k výrazným problémům s udržitelností stability elektrizační soustavy. V podstatě mohou při provozu OZE, které jsou závislé na aktuálních klimatických podmínkách, nastat dva provozní stavy a to, že klimatické podmínky nebudou příznivé a operátoři se budou muset vypořádat s rychlou náhradou dodávaného výkonu jinými zdroji. Druhou variantou je kombinace příznivých klimatických podmínek s nízkou spotřebou elektrické energie. V tomto případě musí operátoři řešit co s přebytečným výkonem. Aktuálně se tyto stavy řeší nasazením regulačního výkonu, nejvýhodnějším zdrojem regulačního výkonu jsou PVE, jejich kapacita však už pomalu přestává stačit aktuálním požadavkům na regulaci. Pokud dojde k situaci nadbytečné výroby OZE a vyrobenou elektřinu již není kde akumulovat a není možnost jejího exportu, může dispečer přistoupit k omezení výroby elektřiny obnovitelnými zdroji, jen však za finanční náhradu. Tuto složitou problematiku by mělo vyřešit zavedení nových technologií akumulace elektrické energie.

Nejobsáhlejší bod práce se věnuje právě možnostem akumulace elektrické energie v době jejího přebytku a opětovnému využití v době jejího nedostatku, tyto systémy akumulace odstraňují hlavní problém FVE a VTE z hlediska jejich negativních vlivů na elektrizační soustavu a udržení výkonové bilance. Uvedené technologie akumulace energie se více či méně hodí pro využití v měřítku energetických potřeb. Akumulace energie vhodná pro využití

v energetice musí mít přiměřené ekonomické náklady, co nejvyšší účinnost, životnost, kapacitu a také co nejnižší hodnotu samovybíjení. Možnosti jednotlivých systémů pro využití v energetice jsme si rozebrali v bodě 5.5.

Po vypracování této práce můžeme zhodnotit problematiku týkající se regulace OZE. Jak už bylo v průběhu práce zjištěno, vztahuje se tato problematika zejména na FVE a VTE. U fotovoltaických a větrných elektráren je hlavním problémem jejich diskordance dodávání výkonu v závislosti na čase. Vzhledem k tomu, že tyto odchylky nelze předpovídat se 100 % přesností, nemohou mít v současné době velké zastoupení ve výrobě elektřiny, z důvodu vzniklé výkonové nestability elektrizační soustavy. K jejich provozu je potřeba disponovat přibližně stejným dostupným výkonem stabilních energetických zdrojů nejčastěji využívajících fosilních paliv nebo příslušným akumulacním systémem, který dokáže pokrýt nestabilní výrobu těchto zdrojů. OZE mají své místo mezi zdroji energie, jedná se však pouze o doplňkové zdroje, většina z nich není schopna konkurovat v oblasti ceny vyrobené elektřiny klasickým zdrojům využívající fosilní paliva. Nutnost státní podpory elektřiny vyrobené z OZE se projevuje v konečné ceně elektřiny pro spotřebitele. Výše jednotlivých státních podpor není rovnoměrně rozdělena mezi jednotlivé druhy OZE, např. fotovoltaické elektrárny v roce 2012 spotřebovaly téměř 8 miliard ve formě státní podpory z celkových 11,7 miliard, ale jejich podíl na celkové výrobě elektřiny tvořil necelá 3 %. Vzhledem k těmto značným finančním nákladům musíme s rozvahou přistoupit k dalšímu vývoji podílu zastoupení OZE mezi zdroji elektrické energie. Situace by mohla nabrat podobného neudržitelného rozvoje jako tzv. energetická revoluce v Německu, kde již pod tíhou finanční náročnosti podpory OZE musí přehodnotit dosavadní systém podpor. Zavedením vhodného akumulacního systému pro stabilizaci výroby elektrické energie z FVE a VTE navýšujeme celkové investiční náklady, tím prodloužíme dobu, za kterou se nám investice vrátí, při využití některých akumulacních systémů se vzhledem k životnosti jednotlivých komponent FVE, VTE a samotného akumulacního systému nemusí počáteční investice vrátit vůbec.

Analýzou problematiky jsme dospěli k tomu, že podíl OZE na výrobě elektrické energie by se měl i v budoucnosti zvyšovat, aby se rozšiřoval energetický mix za pomoci všech dostupných technologií, ovšem s ohledem na geografickou polohu ČR a stabilitu elektrizační soustavy. Měli bychom podporovat výstavbu menších decentralizovaných zdrojů. V budoucnu by se mělo předejít podobným situacím, jako bylo nastavení výkupních cen u elektřiny vyrobené ve FVE. Musíme zhodnotit, jestli při budování jednotlivých OZE se ještě jedná o ekologicky šetrný zdroj energie, jelikož všechno co je obnovitelné neznamená, že je to ekologické.

7 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Drábová, D. *Zpráva NEK II: Perspektivy české energetiky*. Praha : ČSEN, 2012.
- [2] Mastný, P. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha : ČVUT v Praze, 2011. 978-80-01-04937-2.
- [3] Odbor 32100. *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*. Praha : Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2013.
- [4] Sekce 15100 Dispečerské řízení. *Roční příprava provozu na rok 2012*. Praha : ČEPS, 2012.
- [5] Tlustý, J. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Praha : ČVUT, 2011. 978-80-01-04939-6.
- [6] Pravidla provozování distribučních soustav. místo neznámé : Provozovatelé distribučních soustav, 2011. příloha 4.
- [7] ČEZ distribuce. *Připojovací podmínky pro výrobní elektrárny*. [Online] 1. 7 2012. [Citace: 22. 4 2012.] http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/cezdistribuce_pripojovacipodminkyve_201206_preview7.pdf.
- [8] Roubal, Jiří. *ABB. Úvod do problematiky inteligentních sítí*. [Online] 9. 6 2010. [Citace: 15. 4 2013.] [http://www02.abb.com/global/czabb/czabb018.nsf/0/ce8319694ef0b683c125773d003f67a9/\\$file/Fenom%C3%A9n+Smart+Grids.pdf](http://www02.abb.com/global/czabb/czabb018.nsf/0/ce8319694ef0b683c125773d003f67a9/$file/Fenom%C3%A9n+Smart+Grids.pdf).
- [9] *Obnovitelné zdroje energie, energetika v infrastruktuře a inteligentní sítě*. Zápotocká, A. 11, Praha : ČSZE, 2012, Sv. 62. 0375-8842.
- [10] Future motion. *Smart grids*. [Online] 2013. [Citace: 12. 5 2013.] <http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/smart-metering.html>.
- [11] Máslo, K. *Řízení frekvence - bilance činných výkonů v ES*. Ostrava : autor neznámý, 2009.
- [12] Kabele, R. *Trh s podpůrnými službami*. Praha : Evropský sociální fond, 2011.
- [13] Cink, M. Lipno - Aschach. *Propojení Dunaj - Vltava*. [Online] 3. 10 2011. [Citace: 18. 5 2013.] <http://www.lipno-aschach.eu/cz/o-projektu/>.
- [14] Axpo. *Linthal 2015 project*. [Online] 2012. [Citace: 19. 5 2013.] <http://www.axpo.com/axpo/ch/en/axpo-erleben/linthal-2015.html>.
- [15] Gatzen, Ch. *The Economics of Power Storage*. München : Oldenbourg Industrieverlag, 2008. 978-3-8356-3138-0.
- [16] Matoušek, A. *Výroba elektrické energie*. Brno : VUT v Brně, 2007. 978-80-214-3317-5.
- [17] Hydro Equipment Association. [Online] 4 2013. [Citace: 24. 5 2013.] <http://www.thehea.org/hydropower/special-focus/pump-storage-power-plants/>.
- [18] *Elektrárna na zemskou přitažlivost*. Dufková, M. 3, Praha : Cinemax, 2013, Sv. 6.
- [19] *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. González, F. 16, Sant Adria : Elsevier, 2012, Sv. 25. 1364-0321.

- [20] *Electricity storage association*. [Online] 2010. [Citace: 20. 5 2013.] <http://www.electricitystorage.org/about/welcome>.
- [21] Dvořák, P. TZB info. *Akumulace elektřiny*. [Online] 9. 5 2011. [Citace: 22. 5 2013.] <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elekriny>.
- [22] Porš, Z. ČEZ. *Palivové články*. [Online] 2002. [Citace: 22. 5 2013.] <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>.
- [23] Šváb, M. *Trendy ve vývoji vodíkového hospodářství ve světě a možnosti uplatnění v České Republice*. Praha : Česká energetická agentura, 2006.
- [24] Nejedlý, P. iDnes. *Sluneční high-tech Andasol 1*. [Online] 15. 7 2009. [Citace: 23. 5 2013.] <http://nejedly.blog.idnes.cz/c/93035/Slunecni-high-tech-Andasol-1.html>.
- [25] Ombello, C. *The world's first molten salt concentrating solar power plant*. [Online] 20. 7 2010. [Citace: 23. 5 2013.] <http://www.carboncommentary.com/2010/07/20/1604>.
- [26] Terresol Energy. [Online] 2010. [Citace: 25. 5 2013.] <http://www.torresolenergy.com/TORRESOL/home/en>.
- [27] Mírez, J. *Diagrama de una central eléctrica solar con concentrador de radiación solar*. [Online] 17. 2 2011. [Citace: 23. 5 2013.] <http://jmirez.wordpress.com/2011/02/17/j200-diagrama-de-una-central-electrica-solar-con-concentrador-de-radiacion-solar-en-una-torre/>.
- [28] *Supravodivost – perspektivní technologie blízké budoucnosti*. Peisar, M. 1, Praha : FCC public, 2007, Sv. 8. 1210-0889.
- [29] Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. [Online] <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2005/sb066-05.pdf>.