

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V ČR RENEWABLE RESOURCES OF ENERGY IN CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL BULÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

BRNO 2008

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je odborná rešerše ve využívání obnovitelných zdrojů energie v České republice se zaměřením na větrnou energetiku. V práci je uvedena základní charakteristika a problematika jednotlivých druhů energetických zdrojů, potenciál České republiky ve využívání větrné energie, popis vybraných typů větrných elektráren a začlenění větrné energetiky do České elektrizační přenosové soustavy (ČEPS).

Abstract

The content of this bachelor study is the technical recherche in the usage of the renewable resources of energy in the Czech Republic with a view to the wind energetics. The study contents basic characteristic and disputableness of each type of energy resources, potential of the Czech Republic in exploitation of wind energy, description of chosen types of wind power plant and integration of wind energy into Transmission System of the Czech Republic.

Klíčová slova

obnovitelné
zdroje
energie
vítr
voda
slunce
geotermální
biomasa

Key words

renewable
resources
energy
wind
water
sun
geothermal
biomass

Bibliografická citace:

BULÍČEK, P. *Obnovitelné zdroje energie v ČR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 42 s. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Obnovitelné zdroje energie v ČR vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 21. května 2008

.....
Pavel Bulíček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Doc. Ing. Janu Fiedlerovi za odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mým rodičům, kteří mi vytvořili dostatečné zázemí po celou dobu mého studia.

Děkuji.

Obsah:

1. Úvod	12
1.1 Evropa a její energetická strategie	12
1.2 Obnovitelné zdroje energie v podmínkách ČR	14
2. Sluneční energie	16
2.1 Podmínky a potenciál využití v ČR.....	16
2.2 Fototermální využití sluneční energie	17
2.3 Fotoelektrické využití sluneční energie.....	17
3. Vodní energie	18
3.1 Současný stav využití v ČR.....	18
3.2 Podmínky a potenciál využití v ČR.....	18
3.3 Rozdělení malých vodních elektráren	19
3.3.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování	19
4. Energie biomasy	20
4.1 Potenciál pro využití biomasy v ČR.....	20
4.2 Možnosti energetického využití biomasy.....	21
4.2.1 Využití tuhých biopaliv	22
4.2.2 Využití kapalných biopaliv	23
4.2.3 Využití bioplynu.....	23
5. Geotermální energie	24
5.1 Podmínky pro využití v ČR.....	24
5.2 Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo	24
5.3 Princip tepelného čerpadla	25
5.3.1 Typy tepelných čerpadel	26
6. Větrná energie	27
6.1 Současný stav a potenciál pro budoucí využití v ČR.....	27
6.1.1 Současný stav využití v ČR.....	27
6.1.2 Přírodní podmínky a potenciál ČR.....	27
6.1.3 Hodnocení lokality pro využívání větrné energie	28
6.1.4 Dopad větrných elektráren na životní prostředí	29
6.2 Charakteristiky a rozdělení větrných elektráren.....	30
6.2.1 Malé větrné elektrárny	31
6.2.2 Střední a velké větrné elektrárny a jejich popis	31
6.3 Popis vybraných typů větrných elektráren	34
6.3.1 Větrná elektrárna Vestas V90 - 2,0 MW.....	34
6.3.2 Větrná elektrárna Enercon E80 - 2,0 MW.....	35
6.4 Popis elektrizační soustavy ČR.....	36
6.4.1 Začlenění větrné energetiky do soustavy ČEPS.....	37
7. Závěr.....	40

1. Úvod

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou přírodní energetické zdroje sloužící k výrobě elektrické popř. tepelné energie, které jsou člověku v přírodě volně k dispozici a jejich zásoba je z lidského pohledu nevyčerpatelná, nebo se obnovuje v časových měřítcích srovnatelných s jejich využíváním.

V současné době jsou nejrozšířenějším zdrojem energie v ČR fosilní paliva a to především uhlí a zemní plyn. Tato paliva sice patří mezi přírodní zdroje, ale rozhodně je nelze považovat za nevyčerpatelné. Vezmeme-li v úvahu například uhlí, k jehož přeměně do využitelné podoby bylo zapotřebí miliónů let, podařilo se během pouhých sta let jeho zásoby natolik snížit, že se jejich vyčerpání předpokládá již v první polovině tohoto století. Všechny ostatní fosilní paliva (plyn, ropa) je třeba dovážet, přičemž se dá předpokládat celosvětový nárůst jejich cen. Dalším aspektem ukazujícím v neprospěch fosilních paliv je jejich negativní účinek při spalovacích procesech, kdy vznikají oxidy uhlíku a dusíku, které se významnou měrou podílejí na skleníkovém efektu.

Z výše uvedených skutečností, tj. snižování zásob, stoupající ceny a negativní působení používání fosilních paliv na životní prostředí, vyplývá nutnost snižování jejich spotřeby a současně vyšší využívání obnovitelných zdrojů energie. Jejich podíl na celkové energetické bilanci bude v závislosti na zeměpisné poloze, přírodních podmínkách, společenských i politických podmínkách jednotlivých oblastí různý. Odlišný bude i význam jednotlivých zdrojů. Jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů energie jsou uvedeny v následující tabulce:

Základní obnovitelný energetický zdroj	Rotační energie Země a gravitační energie Země, Měsíce a slunce	Energie zemského jádra	Dopadající sluneční záření
Odvozené či přeměněné OZE, využitelné pro výrobu tepla či elektrické energie	Přilivová energie	Geotermální energie	Přímé sluneční záření
			Energie větru
			Energie mořských vln
			Tepelná energie prostředí
			Energie biomasy
			Energie vodních toků

1.1 Evropa a její energetická strategie

Důležitou událostí byl náš vstup do Evropské Unie k 1. dubnu 2004 a z toho vyplývající plnění závazků vycházejících z principů koordinované energetické politiky EU. Zásadním dokumentem pro podporu elektřiny z OZE je Směrnice 77/2001ES. Tato směrnice „Podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů v podmínkách jednotného trhu s elektřinou“ měla být implementována do naší legislativy se vstupem do EU. Návrh zákona o podpoře výroby elektřiny a tepelné energie z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), který toto realizoval, byl předložen vládě v listopadu 2003 a následně pak Poslanecké sněmovně PČR. Během projednávání doznal zákon značných změn. Po určitých obtížích byl zákon přece jenom 23. 2. 2005 schválen poslaneckou sněmovnou a následně 31.3. 2005 i Senátem. V platnost vstoupil k 1. 8. 2005.

Dobu minulých let lze charakterizovat jako období, kdy skončila éra ne-li levných energií, pak alespoň levnějších. Nejsledovanějším celosvětovým ukazatelem, vypovídajícím o cenách energií, je cena ropy. Ta z průměru 28,8 USD/barel za rok 2003 vystoupala v r. 2004 na 38,2 USD/barel a v r. 2005 až na 54,4 USD/barel. V roce 2006 cena dále rostla a atkovala hranici 77 USD/barel. V závěsu za ropou se zvyšovaly ceny zemního plynu a, bohužel, nevyhnutelně i ceny elektřiny.

Kromě problému s růstem cen narůstá navíc obava vyspělých průmyslových zemí ze závislosti na dovozech energetických surovin, které jsou v převážné většině uskutečňovány z problémových oblastí. U elektřiny se navíc projeví problémy v tranzitních přenosech, což jsme poznali i my na vlastní kůži dne 25. 7. 2006, kdy ČEPS vyhlásil v české přenosové soustavě stav nouze.

Ze strategických a koncepčních záležitostí byly v uplynulých letech diskutovány „Zelené knihy EU“ o energetické účinnosti a o strategii pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii.

V těchto a dalších dokumentech je přikládána velká důležitost rozvoji segmentu technologií na výrobu elektřiny, tepla a případně chladu z obnovitelných zdrojů. I když je nárůst využití obnovitelných zdrojů v některých zemích velký, v průměru výsledky nejsou podle představ odborníků uspokojivé.

Evropská představa celkové energetické strategie má následující kontury:

- Je nutné urychleně investovat. V samotné Evropě bude během příštích 20 let nutné investovat přibližně jeden bilion eur, aby bylo možné vyhovět očekávané poptávce po energii a nahradit stárnoucí infrastrukturu.
- Závislost na dovozech stále roste. Nedojde-li ke zvýšení konkurenceschopnosti energie z domácích zdrojů, bude v příštích 20-ti až 30-ti letech přibližně 70 % energetických požadavků EU, v porovnání s 50 % v současné době, uspokojováno dováženými produkty – převážně z regionů ohrožených nestabilitou.
- Zásoby jsou koncentrovány v několika málo zemích. V současné době je zhruba polovina spotřeby zemního plynu v EU pokryta dodávkami z pouhých tří zemí (Rusko, Norsko a Alžír). Podle současných tendencí by se závislost na dovozu zemního plynu během příštích 25 let zvýšila na 80 %.
- Celosvětová poptávka po energii stále roste. Očekává se, že celosvětová poptávka po energii (a s ní také emise CO₂) vzroste do roku 2030 přibližně o 60 %. Celosvětová spotřeba ropy se od roku 1994 zvýšila o 20 % a odhaduje se, že celosvětová poptávka po ropě poroste o 1,6 % za rok.
- Ceny ropy a zemního plynu rostou. V Evropské unii se během posledních dvou let téměř zdvojnásobily a ceny elektřiny tuto tendenci následovaly. Spotřebitele to staví do obtížné situace. Vzhledem k rostoucí celosvětové poptávce po fosilních palivech, napjatých dodavatelských řetězcích a zvyšující se závislosti na dovozech budou ceny zemního plynu a ropy pravděpodobně růst i nadále. Mohou však být impulsem pro vyšší energetickou účinnost a inovace.
- Naše klima se stále otepluje. Podle Mezivládního panelu pro změny klimatu (IPCC) již skleníkové plyny zeměkouli oteplily o 0,6 stupně. Nebudou-li učiněny žádné kroky, dojde do konce století k oteplení v rozsahu 1,4 až 5,8 stupně. Všechny regiony na světě – včetně Evropské unie – budou čelit závažným důsledkům pro hospodářství a ekosystémy.
- V Evropě se dosud nerozvinuly plně konkurenční vnitřní trhy s energií. Pro dosažení tohoto cíle by se měla rozvíjet vzájemná propojení, musí existovat účinné právní a regulační rámce, které se v praxi v plné míře uplatňují, a je třeba přísně vymáhat dodržování pravidel Společenství pro hospodářskou soutěž.

Kromě toho, má-li Evropa úspěšně čelit řadě úkolů, které před ní stojí, a řádně investovat do budoucnosti, měly by sjednocování odvětví energetiky řídit tržní síly.

Takové je nové energetické prostředí 21. století. Je to prostředí, v němž hospodářské regiony světa závisejí jeden na druhém, pokud jde o zabezpečení dodávek energie, prostředí stabilních hospodářských podmínek a zajištění účinných kroků proti změnám klimatu. Dů-

sledky tohoto prostředí každý přímo pociťuje, neboť přístup k energii je základem každodenního života všech Evropanů. Občané jsou ovlivněni vyššími cenami, ohrožením dodávek energie i změnami evropského klimatu. Udržitelná, konkurenceschopná a bezpečná energie je jedním ze základních pilířů civilizace.

1.2 Obnovitelné zdroje energie v podmínkách ČR

Národní hospodářství v České republice se vyznačuje značně nepříznivou skladbou primárních energetických zdrojů, kdy převažující podíl mají tuhá paliva, přinášející následné negativní dopady na životní prostředí. Hlavními příčinami nízkého podílu obnovitelných energetických zdrojů v energetické bilanci České republiky jsou zejména:

- dlouhodobá orientace na tradiční tuzemský zdroj energie – uhlí a jadernou energii,
- přetrvávající nízké ceny tradičních energetických zdrojů, zejména uhlí,
- limitovaný potenciál obnovitelných energetických zdrojů daný přírodními podmínkami ČR.

Vzhledem k tomu, že u OZE se jedná o decentralizované zdroje o poměrně nízkých výkonech, je obtížné je přesně statisticky podchytit a vyčíslit jejich podíl v národní energetické bilanci, i když situace se zlepšuje a od roku 2003 je k dispozici podrobná statistika využití jednotlivých druhů OZE, kterou zpracovává Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Podle dostupných statistických údajů činil v roce 2004 úhrnný podíl obnovitelných zdrojů energie v České republice přibližně 2,9 % z celkových primárních zdrojů energie.

V ČR přicházejí v úvahu tyto hlavní možnosti využívání OZE:

- Využití energie vodních toků v malých vodních elektrárnách;
- Využití energie větru;
- Využití sluneční energie v aktivních solárních systémech, pasivní solární architektuře a fotovoltaických systémech;
- Využití geotermální energie a energie prostředí převážně s použitím tepelných čerpadel;
- Využití pevné biomasy, kapalných biopaliv a bioplynu.

Klíčovým obnovitelným zdrojem s nejvyšším potenciálem v ČR je jednoznačně využití biomasy.

Obnovitelné zdroje ve Státní energetické koncepci

Využití obnovitelných zdrojů je ve státní energetické koncepci cílem s vysokou prioritou. V souladu se záměrem EU je nutné využít optimálně obnovitelných zdrojů energie k posílení nezávislosti na vnějších zdrojích, ke zvýšení spolehlivosti energetických systémů, ke snížení nepříznivého vlivu energetiky na životní prostředí, k řešení problémů ochrany krajiny a řešení problémů sociálních včetně zaměstnanosti. Podíl předpokládaného využití obnovitelných zdrojů energie je významný a tempa růstu výroby elektřiny a tepelné energie jsou mimořádně vysoká.

Koncepce počítá se zpracováním důkladné a průkazné analýzy potenciálu jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů energie v ČR. Dále je nutné stanovit konkrétní strategii vycházející z průkazného ekonomického hodnocení a navrhnout případně další opatření a nástroje k prosazení předpokládaných trendů. Strategie musí zahrnout i podmínky a aktivity v zemědělství, lesnictví, petrochemii a v dalších odvětvích, které vytvoří podmínky pro pěstování biomasy, produkci bioplynu, biopaliv apod. Při přípravě těchto materiálů je nutné spolupracovat s orgány regionální samosprávy.

Pravděpodobná výše a struktura elektřiny zakotvená ve státní energetické koncepci

TWh	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Elektřina celkem	73,73	78,20	82,37	80,85	84,95	87,49	89,17
• z toho OZE	1,71	4,16	8,17	9,84	11,58	14,20	15,06
Biomasa	0,01	1,60	4,86	6,32	7,81	10,25	10,96
MVE	0,52	0,80	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Vítr	0,01	0,57	0,93	1,01	1,25	1,44	1,44
Fotovoltaika	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Bioplyn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,16

Tab. č. 1, zdroj ČEZ

Plnění indikativních cílů státní energetické koncepce

% z btto spotřeby elektřiny	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Obnovitelné zdroje	2,7	6,2	11,3	12,1	12,9	15,4	16,8

Tab. č. 2, zdroj ČEZ

Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v roce 2005

	Hrubá výroba elektřiny [MWh]	Dodávka do sítě [MWh]	Podíl na zelené elektřině [%]	Podíl na hrubé dom. spotřebě elektřiny [%]	Podíl na hrubé výrobě elektřiny [%]
Vodní elektrárny celkem	2 379 910,0	2 370 300,0	75,95	3,40	2,88
Malé vodní elektrárny do 1MW	342 980,0	340 900,0	10,95	0,49	0,42
Malé vodní elektrárny od 1 do 10 MW	727 730,0	725 800,0	23,23	1,04	0,88
Velké vodní elektrárny nad 10 MW	1 309 200,0	1 303 600,0	41,78	1,87	1,59
Biomasa celkem	560 251,9	210 379,2	17,88	0,80	0,68
Štěpka apod.	222 497,2	153 793,8	7,10	0,32	0,27
Celulózní výluhy	279 582,3	0,0	8,92	0,40	0,34
Rostlinné materiály	53 735,4	52 382,4	1,71	0,08	0,07
Pelety	4 437,0	4 203,0	0,14	0,01	0,01
Bioplyn celkem	160 856,9	93 413,4	5,13	0,23	0,19
Komunální ČOV	71 446,5	14 857,9	2,28	0,10	0,09
Průmyslové ČOV	2 869,1	501,3	0,09	0,00	0,00
Zemědělský bioplyn	8 242,5	5 613,5	0,26	0,01	0,01
Skládkový plyn	78 298,8	72 440,7	2,50	0,11	0,09
Tuhé komunální odpady (BRKO)	10 612,3	3 825,6	0,34	0,02	0,01
Větrné elektrárny (nad 100 kW)	21 441,6	21 262,8	0,68	0,03	0,03
Fotovoltaické systémy (odhad)	390,0	52,0	0,01	0,00	0,00
Celkem	3 133 462,7	2699 235,0	100,00	4,48	3,79

Tab. č. 3, zdroj ČEZ

Využití OZE v ČR se zvyšuje velmi pomalu. Indikativní cíl SEK pro rok 2005 (5–6 % OZE na btto spotřebě elektřiny) nebude naplněn, ohroženo je i plnění cíle v roce 2010, i když přijatá legislativní opatření (zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využití výroby elektřiny z OZE a cenová rozhodnutí ERÚ) vytvářejí lepší podmínky pro využití OZE a lepší plnění cílů SEK ve využití OZE.

2. Sluneční energie

Slunce je základním a nepostradatelným zdrojem energie pro celou naši planetu. Sluneční záření dopadá na zemský povrch zčásti přímo (přímé záření), zčásti odrazem o mraky, částice vodní páry a aerosolové částice v atmosféře (difúzní záření) a zčásti odrazem od okolních povrchů (odražené záření.). Množství energie, které získává zemský povrch ze slunečního záření, převyšuje přibližně 15000krát současnou celosvětovou spotřebu energie. Sluneční záření tak představuje obrovský zdroj energie nabízející se k využití.

Sluneční záření lze přímo využívat k výrobě tepla, chladu a elektřiny, nepřímo jako energii vodních toků, větru, mořských vln, tepelnou energii prostředí. Nejvýznamnější je využití sluneční energie „uskladněné“ v rostlinách a jiné živé hmotě – biomase.

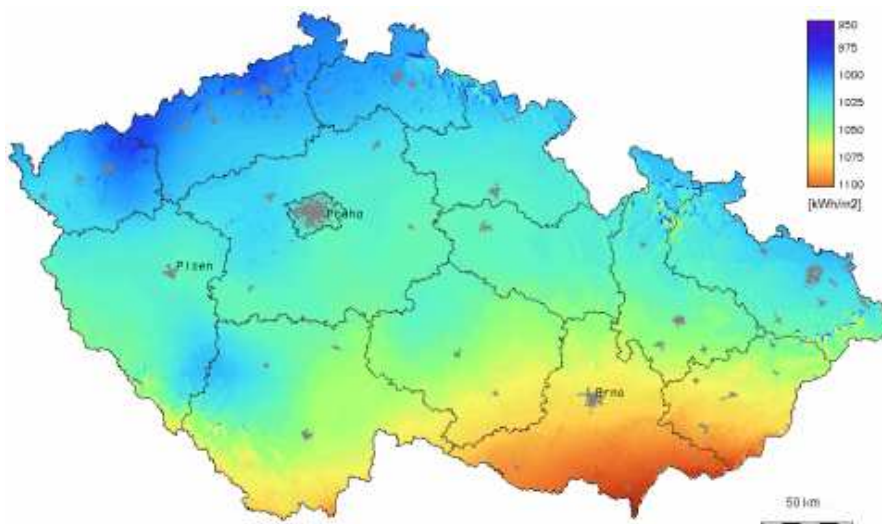
Existuje několik základních možností, jak tuto energii přímo přeměnit na teplo či na elektřinu. Přeměna světelného záření na teplo (fototermální přeměna) může být pasivní (pomocí pasivních solárních prvků budov – prosklené fasády, zimní zahrady) nebo aktivní (pomocí přídavných technických zařízení – sluneční sběrače – kolektory).

Elektrickou energii lze získávat zejména pomocí fotovoltaických článků.

2.1 Podmínky a potenciál využití v ČR

Česká republika má vzhledem ke své poloze přibližně dvakrát nižší množství slunečního záření než jihoevropské země, což ovšem nijak výrazně neomezuje rozvoj solární energetiky. Příkladem může být sousední Německo, které má podobné oslunění jako Česko, pouze v jižní příhraniční oblasti dosahuje vyššího ročního úhrnu slunečního záření zhruba o 10 %.

V podmínkách ČR se doba solárního svitu pohybuje zhruba od 1400 do 1700 hodin za rok, v průměru je to 1460 h/rok. Roční příkon sluneční energie na horizontální plochu se pohybuje od 1 000 do 1 250 kWh/m² za rok, z toho v období od dubna do října cca 75% a od října do dubna cca 25% energie. Velice dobrou představu o množství využitelné sluneční energie dává mapka globálního ukazující globální sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu o velikosti 1 m² za rok.



Průměrné roční sumy globálního záření v kWh/m²

V oblastech se silně znečištěnou atmosférou je nutné počítat s poklesem globálního záření o 5-10%, někdy až 15-20%. V oblastech s nadmořskou výškou od 700 do 2 000 m n.m. lze naopak počítat s 5% nárůstem globálního záření.

2.2 Fototermální využití sluneční energie

Fototermální přeměna energie slunečního záření je jednou z možností, jak využít sluneční záření a přeměnit jej v tepelnou energii. Podle způsobu využití tepelné energie se sluneční či solární tepelné systémy dělí na:

- **Aktivní** – tepelná energie je odváděna z povrchu cíleně a transportována teplonosným médiem k akumulátorům tepla nebo přímo spotřebiči. Dle použitého teplonosného média je možno aktivní systémy dále rozdělit na kapalinové nebo vzduchové.
- **Pasivní** – tepelná energie je využívána přímo v místě výroby a není aktivně transportována (využití v budovách pomocí architektonických prvků).
- **Hybridní** – tepelná energie je využívána v místě výroby a transportem za podpory zařízení s elektrickým pohonem (rysy pasivního systému).

2.3 Fotoelektrické využití sluneční energie

Fotovoltaické solární systémy jsou principiálně založeny na tzv. fotovoltaické přeměně. Při tomto fyzikálním ději dochází při dopadu slunečního záření na polovodičový fotovoltaický článek k přeměně absorbovaného slunečního záření na stejnosměrný elektrický proud.

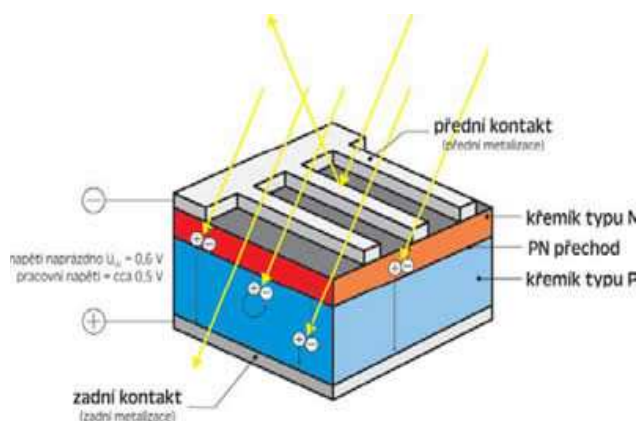
Solární článek je polovodičový velkoplošný prvek s alespoň jedním PN přechodem (v podstatě jde o polovodičovou diodu). Na rozhraní materiálů P a N vzniká přechodová vrstva P-N, v níž existuje elektrické pole vysoké intenzity. Toto pole pak uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikající absorpcí světla. Vzniklý elektrický proud odvádějí z článku elektrody.

Účinnost přeměny v polovodičových solárních článcích je teoreticky až 37%, v laboratořích dosahuje až 28%, nejlepší komerční výrobky mají účinnost 20%. Běžně dostupné články však mají ještě nižší a to v rozmezí 5-17% (viz. tabulka níže).

Tab. č. 4: Účinnosti fotoelektrických článků, zdroj EkoWATT

Druh článku	Běžná účinnost	Max. laboratorní účinnost
Monokrystalický	14-17 %	25 %
Polykrystalický	13-16 %	20 %
Amorfní	5-7 %	12 %

Energie vložená do výroby fotovoltaických panelů je těmito panely v našich podmínkách získána zpět za 2 až 6 roků. Předpokládaná životnost je přitom minimálně 20 let.



Princip činnosti solárního článku

3. Vodní energie

Potřeba hledat nové, alternativní energetické zdroje a zdokonalovat obnovitelné zdroje již známé je stále naléhavější. Neustále se obnovujícím zdrojem energie je koloběh vody v přírodě. Nejběžnější způsob jeho využívání představuje přeměna energie vodního toku v energii elektrickou. Právě takto získaná energie se jeví jako ekonomicky nejvýhodnější, přičemž způsob její výroby je navíc ekologicky čistý.

Dvacáté století poznamenalo nevratně tvář země velkými vodními díly, jejichž realizace, jak dnes víme, nebyly ve všech případech nutné. Nyní se s ohledem na životní prostředí vracíme zpět k „malým vodám“. Malé vodní elektrárny se zaručeným výkonem a vyráběnou energií představují v souhrnu velký energetický zdroj a mohou tak ušetřit mnoho tuhých, plyných a kapalných paliv, jejichž spalování škodí životnímu prostředí.

3.1 Současný stav využití v ČR

Získávání elektrické energie pomocí síly vodních toků má u nás bohatou tradici. Před druhou světovou válkou na území dnešní ČR byla vodní energie využívána ve více než 10 tisících lokalit, kde byly v provozu elektrárny s výkonem od několika kW do 10 MW a vodní stroje na konání mechanické práce (mlýny, průmysl). Po roce 1990 doznal výrazného pokroku rozvoj hydroenergetiky v oblasti malých vodních elektráren (MVE), tj. do výkonu 10 MW. V současné době je na našem území v provozu cca 1 400 těchto elektráren. Přibližně dvě třetiny z nich mají výkon do 100 kW.

Z celkové produkce elektřiny v ČR se ve vodních elektrárnách vyrobí asi 3,3 %. Technicky využitelný potenciál našich toků je cca 3 380 GWh/rok. Z toho v MVE je využitelné cca 1 570 GWh/rok. Dnes využitý potenciál v MVE činí zhruba 30%, tj. cca 500 GWh/rok.

3.2 Podmínky a potenciál využití v ČR

V současné době jsou v ČR možnosti využívat vodní energii v nových velkých vodních elektrárnách takřka vyčerpány a navíc výstavba velkých vodních děl je téměř vždy spojena i s poměrně zásadními dopady na životní prostředí. V České republice však stále existuje řada lokalit, kde je možno využívat malých vodních elektráren.

Jak už bylo řečeno, malé vodní elektrárny zaznamenaly v posledních letech dramatický rozvoj, a vzhledem k tomu, že v řadě „lukrativních“ lokalit již byly malé vodní elektrárny realizovány, doposud nevyužité lokality mohou být z pohledu výše investičních nákladů méně výhodné. V tabulce č. 5 je uveden technicky využitelný hydroenergetický potenciál toků v ČR do 10 MW dělený podle dílčích povodí.

Tab. č. 5: Využitelný potenciál toků v ČR, zdroj ČEZ

Povodí	Výkon MW	Výroba GWh/rok
Labe	114	420
Vltava	164	430
Ohře	78	300
Odra	56	100
Morava	100	250
Celkem	512	1500



Malá vodní elektrárna (Rakousko)

3.3 Rozdělení malých vodních elektráren

Malé vodní elektrárny je v zásadě možno rozdělit na:

- **Průtočné MVE** – bez akumulace vody, využívající přirozený průtok až do maximální hltnosti turbín.
- **Zádržné MVE** (akumulační) – s přirozenou nebo umělou akumulací, se schopností odběru vody podle potřeby energie na určitý čas.

Z hlediska velikosti spádu se MVE dělí na:

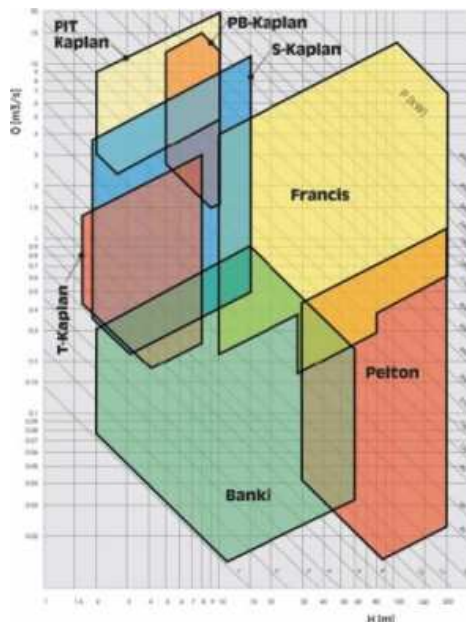
- **nízkotlaké** (se spádem do 20 m),
- **středotlaké** (se spádem do 100 m) a
- **vysokotlaké** (se spádem nad 100 m).

Dále lze MVE rozlišovat podle typu použitého generátoru na **synchronní** a **asynchronní**.

Nejčastěji používanými typy turbín jsou:

- **Kaplanova turbína**
- **Francisova turbína**
- **Bánkiho turbína**
- **Peltonova turbína**
- **Turbína SETUR**

Malé vodní elektrárny mohou pracovat jak se synchronními, tak s asynchronními generátory. V praxi se využívají téměř výhradně generátory asynchronní, a to především z důvodu nižší ceny a podmínek připojení na veřejnou síť.



*Základní charakteristika turbín
podle průtoku a spádu*

3.3.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

Rozhodujícími ukazateli k ohodnocení konkrétní lokality jsou dva základní parametry - využitelný spád (krajní mezí je hranice spádu kolem 2 m) a průtočné množství vody v daném profilu, který chceme využít. Dále je nutné vzít v úvahu možnost umístění vhodné technologie, vzdálenost od přípojky VN, míru hluku, geologické podmínky, atd.

Při respektování aspektů MVE nemůže svým provozem vážně narušit životní prostředí v lokalitě. Přispívá naopak k revitalizaci místního říčního systému a kladně ovlivňuje režim vodního toku (čistí a provzdušňuje tok).

4. Energie biomasy

Energie získávaná ze spalování biomasy je historicky nejstarším energetickým zdrojem, který lidstvo využívá. Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. V souvislosti s energetickým využitím zahrnuje tento pojem zejména paliva a odpadní dřevo, slámu a další zemědělský a lesní odpad, záměrně pěstované dřeviny, byliny či plodiny, ale také odpady biologického původu, jako například kejdu hospodářských zvířat, kaly z ČOV a produkty jejich zpracování (bioplyn).

Základní výhodou biomasy je její nefosilní původ a obnovitelnost. Z hlediska emisí oxidu uhličitého, který je hlavním plynem, způsobujícím tzv. skleníkový efekt, se biomasa chová neutrálně – při udržitelném přístupu, kdy nejsou zdroje biomasy extrémně vyčerpány se jedná o uzavřený cyklus, kdy je CO₂ uniklý do atmosféry při spalování pohlcen nově dorůstající biomasou, kterou je možno dále energeticky využít. Další zásadní výhodou je, že biomasa slouží jako akumulátor energie a lze ji poměrně jednoduše a dlouhodobě skladovat. Nevýhodou je nízká účinnost přeměny slunečního záření na energii. Z hektaru pole získáme hmotu s energetickým obsahem 40 až 90 MWh, podle typu plodiny. To je méně než 1 % slunečního záření, které na tuto plochu za rok dopadne. Při zpracování biomasy a konečném spalování získaného paliva vznikají další ztráty.

Biomasu můžeme rozlišit podle obsahu vody:

- **Suchá** - zejména dřevo a dřevní odpady, sláma a další suché zbytky z pěstování zemědělských plodin. Lze ji spalovat přímo, případně po dosušení.
- **Mokrá** - zejména tekuté odpady, jako kejda a další odpady ze živočišné výroby a tekuté komunální odpady. Nelze ji spalovat přímo, využívá se zejména v bioplynových technologiích.
- **Speciální biomasa** - olejnin, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek - zejména bionafty nebo lihu.

4.1 Potenciál pro využití biomasy v ČR

Biomasa má ze všech druhů OZE v ČR nejvyšší potenciál využití a také nejvyšší současný podíl v energetické bilanci – v roce 2004 měla pouze biomasa cca 2,2% podíl na spotřebě primárních energetických zdrojů. Ten má navíc rostoucí tendenci.

ČR patří podle různých analýz mezi země s relativně vysokým potenciálem biomasy. Podle údajů sdružení CZ BIOM se dostupný potenciál biomasy a bioplynu pohybuje ve výši cca 134 PJ, což je cca 7,2 % současné spotřeby primárních energetických zdrojů. Významný podíl na celkovém potenciálu biomasy mají energetické rostliny a plodiny. Dostupný potenciál využití biomasy ČR uvádím v tabulce č. 7.

V přírodních podmínkách ČR lze využívat biomasu těchto kategorií:

1. Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům, energetické plodiny:

Tab. č. 6: Energetické plodiny, zdroj EkoWATT

lignocelulózové	dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty)
	obiloviny (celé rostliny)
	travní porosty (sloní tráva, chřastice, trvalé travní porosty)
	ostatní rostliny (konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka)
olejnaté	řepka olejka, slunečnice, len, dýně (semeno)
škrobno-cukernaté	brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice

2. Biomasa odpadní:

- **rostlinné odpady** ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny - řepková a kukuřičná sláma, obilná sláma, seno, zbytky po likvidaci křovin a náletových dřevin, odpady ze sadů a vinic, odpady z údržby zeleně a travnatých ploch,
- **lesní odpady** (dendromasa) - po těžbě dříví zůstává v lese určitá část stromové hmoty nevyužita (pařezy, kořeny, kůra, vršky stromů, větve, šišky a dendromasa z prvních probírek a prořezávek),
- **organické odpady z průmyslových výro**b - spalitelné odpady z dřevařských provozů (odřezky, piliny, hobliny, kůra), odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce (cukrovary), odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren,
- **odpady z živočišné výroby** - hnůj, kejda, zbytky krmiv, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit,
- **komunální organické odpady** - kaly, organický tuhý komunální odpad (TKO).

Tab. č. 7: Dostupný potenciál využití biomasy v ČR, zdroj HKČR

druh biomasy	energie celkem		z toho teplo	elektřina
	%	PJ	PJ	GWh
dřevo a dřevo odpad	24,0	33,1	25,2	427
sláma obilnin a olejnin	11,7	15,7	11,9	224
energetické rostliny	47,1	63,0	47,7	945
bioplyn	16,3	21,8	15,6	535
celkem	100,0	133,6	100,4	2231

4.2 Možnosti energetického využití biomasy

Z energetického hlediska je i dnes základním a nejčastějším konečným využitím biomasy její spalování. Je podle své formy spalována buď přímo, nebo jsou spalovány plynné či kapalně produkty jejího zpracování. Stručný přehled základních možností jejího zpracování k energetickým účelům je uveden v následující tabulce:

Tab. č. 8: Zpracování biomasy k energetickým účelům, zdroj HKČR

• zvládnutelná technologie, v praxi se moc nepoužívá • vhodné jen pro určité technicko-ekonom. podmínky • často používaná technol.	Přímé spalování	Chemické procesy - suché			Chemické procesy - mokré	
		Fyzikálně chem. zprac.	Zplyňování	Pyrolýza	Alkoholové kvašení	Metanové kvašení
Energetické technické plodiny	...	...	.	.	...	..
Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a po údržbě krajiny	...	.	..	..		..
Odpady z živočišné výroby	.		.	.		...
Kaly z čištění odpadních vod	.		.	.		...
Komunální organické odpady	...		.	..		...
Organické odpady z potravin, výroby		.. (oleje)				...
Odpady z dřevařských provozů	...		..	..		
Lesní odpad	...		.	.	.	
Získané produkty	teplo vázané na nosič	olej, metylester (bio-nafta)	hořlavý plyn (metan)	pevné palivo, dehtový plej, plyn	etanol, metanol	metan (bioplyn)

4.2.1 Využití tuhých biopaliv

Pro energetické využití jsou v současnosti nejpoužívanější tuhá biopaliva: odpady ze zemědělské výroby, lesnictví, dřevozpracujícího a papírenského průmyslu (stébelniny, rostlinné zbytky, odpadové dřevo), případně i hmota z plantáží cílevědomě pěstovaných energetických rostlin. Tuhá biopaliva jsou nejčastěji využívána jako palivo ve stacionárních kotlích nebo výtopnách, ale mohou rovněž sloužit jako palivo i pro teplárny produkující současně teplo i elektrickou energii.

- **Palivové dřevo** se energeticky využívá v podobě polen pro spalování v malých topeništích a ve formě dřevní štěpky pro spalování ve velkých topeništích výtopen a tepláren. Pro spalování je použitelné dřevo suché s obsahem vlhkosti do cca 25 %, jehož výhřevnost se pohybuje kolem 13-16 GJ/t.
- **Sláma obilovin a olejnin** se spaluje ve velkých topeništích výtopen a tepláren, kam je dopravována ve formě balíků, které jsou zpravidla před podáváním do topeniště mechanicky rozduřovány. Výtopna na slámu musí mít velkoobjemové kryté skladiště na palivo.
- **Odpadové dřevo** se využívá ve formě hoblin, pilin, štěpky, dřevěných briket nebo ve světě i u nás stále více populárních pelet. Dřevěné pelety se za vysokého tlaku lisují z pilin bez přísady pojidel a svým jednotným rozměrem usnadňují rovnoměrné a účinné spalování. Jejich výhodou je možnost automatické dodávky do spalovací komory a z toho plynoucí bezobslužný provoz zdroje tepla.
- **Biomasa z plantáží energetických rostlin** (např. speciální odrůdy topolů, konopí, šťovík) může být určena buď pro spalování ve formě štěpky, briket či pelet, pro výrobu kapalných biopaliv, nebo pro výrobu bioplynu. Prozatím jsou energetické rostliny (kromě řepky olejné pro výrobu bionafty) pěstovány víceméně pokusně. Jejich dalšímu rozšíření v budoucnu by mohla přispět vhodně volená dotační politika – náhrada dotace na údržbu zemědělské krajiny dotací na základní údržbu plantáží energetických rostlin a samozřejmě i podpora rozvoje trhu s biomasou.

Zařízení pro spalování biomasy lze podle výkonu a technického řešení rozdělit na:

- **Klasická kamna** – jejich výhodou je rychlý zisk tepla po zatopení, nevýhodou je méně dokonalé spalování (nižší účinnost, více emisí škodlivin do ovzduší) a nutnost časté obsluhy, pokud je třeba zabezpečit rovnoměrnější dodávku tepla.
- **Cihlové pece a kachlová kamna** – mají poměrně vysokou účinnost i akumulární schopnost, takže jsou dostatečným zdrojem tepla po celý den a poskytují příjemné sálavé teplo.
- **Malé kotle** – (do 100 kW), využívané pro vytápění rodinných domků či menších budov, pracují obvykle tak, že se palivo nejprve zplyňuje a teprve potom se plyn spaluje. Takový systém umožňuje velmi dobrou regulaci srovnatelnou s plynovými kotli. V kotlích je možno spalovat polenové dřevo či dřevěné brikety, někdy v kombinaci se štěpkou nebo dřevním odpadem. V posledních letech získávají oblibu dřevěné pelety, které umožňují bezobslužný provoz kotle, komfortní dopravu a skladování.
- **Kotle nad 100 kW** – se používají pro průmyslové aplikace nebo systémy CZT. Spaluje nejčastěji dřevěné štěpky nebo balíky slámy. Obvykle jsou vybaveny automatickým přikládáním paliva a jsou schopny spalovat i méně kvalitní a vlhčí biomasu. Některá zařízení využívají KVET, obvykle s klasickým parním cyklem. Tyto systémy potom mají účinnost až 90%, poměr mezi vyrobenou elektřinou a teplem je cca 30 : 60.

V ČR bylo realizováno již nemálo projektů na využití biomasy. Mimo více než 35 tisíc rodinných domů, ve kterých jsou využívány kotle na polenové dřevo s tepelným výkonem do 50 kW, je dnes u nás v průmyslu a službách přes 90 zdrojů s výkonem na 1 MW využívajících biomasu. Dřevní odpady se spalují v dalších cca 35 kotelnách dřevozpracujícího průmyslu s max. tepelným výkonem 3 MW.

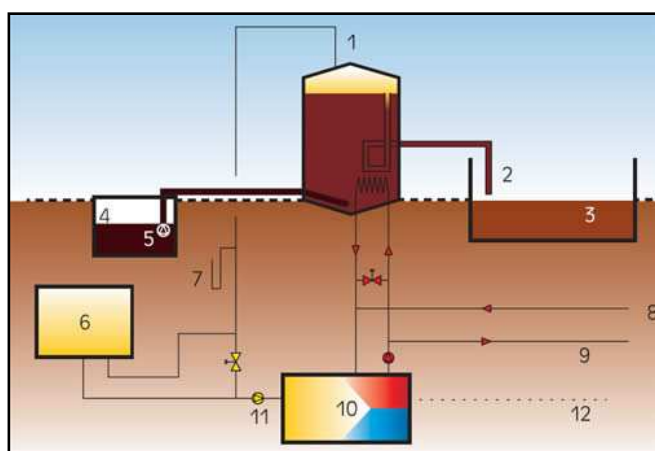
4.2.2 Využití kapalných biopaliv

Kapalná biopaliva jsou získávána zpracováním pěstovaných energetických rostlin a používají se jako palivo pro spalovací motory automobilů a traktorů (bionafta, etanol), aditivum do kapalných paliv (etanol) či pro výrobu biologicky odbouratelných mazadel.

- **Bionafta** – neboli metylester rostlinných olejů vzniká chemickou úpravou (esterifikací), při které vzniká hořlavé palivo o podobných vlastnostech a výhřevnosti, jako má běžná motorová nafta. Základní surovinou pro výrobu bionafty je dnes v ČR řepka olejná. Bionaftu lze vyrábět i ze lněného či slunečnicového oleje nebo i z použitých rostlinných olejů (např. z restaurací, potravinářského průmyslu atp.). Výhodou bionafty je její rychlá biologická odbouratelnost a samomazací schopnost.
- **Ethanol (kvasný líc či alkohol)** – se vyrábí alkoholovým kvašením a následnou destilací a je možno jej získat z rostlinných i živočišných surovin s obsahem cukrů a škrobů – cukrové řepy, obilí, brambor, ale např. i syrovátky. Etanol je možno využít přímo jako hodnotné palivo pro upravené spalovací motory nebo jako alternativní palivo stacionární zařízení, používaná k výrobě tepla. Po chemické úpravě etanolu na sloučeninu ETBE (ethylterc. butylether) může být i aditivum do běžných motorových paliv.

4.2.3 Využití bioplynu

Plynná biopaliva – bioplyn, je druhotným palivem, vyrobeným z odpadní biomasy. Bioplyn vzniká při rozkladu organických látek bez přístupu kyslíku v uzavřených nádržích – reaktorech. Tento proces (metanové kvašení) probíhá díky tzv. anaerobním bakteriím (pracujícím bez přístupu kyslíku) a jeho výsledkem je rozštěpení organické hmoty na anorganické látky a plyn s vysokým obsahem metanu. Zbytky vyhnívajícího procesu jsou velmi hodnotným hnojivem nebo kompostem. Bioplyn je směsí plynů tvořenou z 50-80 % hořlavým metanem, z 20-40 % oxidem uhličitým a 1-3 % připadá na další plyny, jako jsou dusík, sirovodík nebo vzácné plyny. Výhřevnost bioplynu je závislá na obsahu metanu – při 67 % obsahu metanu je cca 24 MJ/m³.



- 1 - odvod bioplynu
- 2 - přepad kalu
- 3 - zásobník odplyněné kejdy
- 4 - nová sběrná nádrž
- 5 - kalové čerpadlo
- 6 - plynojem
- 7 - vodní uzavěr
- 8 - připojení k dálkovému vytápění
- 9 - teplo z kogenerační jednotky
- 10 - kogenerační jednotka
- 11 - dmychadlo
- 12 - elektrina z kogenerační jednotky

Schéma bioplynové stanice, kontinuální systém

5. Geotermální energie

Geotermální energií je teplo získávané z nitra Země. Geotermální energie se zpravidla využívá buď přímo ve formě tepla, nebo se používá pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách (teplárnách).

Výroba geotermální energie má vzhledem k vysokým výkonovým parametrům, značné dostupnosti (stálá dodávka energie nezávislá na klimatických podmínkách oproti sluneční a větrné energii) a nízkým emisím (oproti biomase) nejlepší výhled pro uplatnění mezi obnovitelnými zdroji energie.

Za geotermální energetické zdroje považujeme místa s tepelnou energií, kterou je možné čerpat při přiměřených nákladech. Zdroje s nejvyšším potenciálem jsou soustředěny především na hranicích zemských desek, kde zpravidla existuje viditelná geotermální aktivita (horké prameny, výdechy kouře a páry, gejzíry apod.).

V přírodě se vyskytují zpravidla čtyři typy geotermálních systémů:

- hydrotermální,
- teplé suché horniny,
- geotlaké,
- magnetické.

V současné době se ve světě používají k výrobě elektřiny zejména hydrotermální systémy, a to již přes 100 let.

5.1 Podmínky pro využití v ČR

Území České republiky nemá příliš vhodnou situaci pro využívání významných zdrojů geotermální energie. Tzv. vysokopotenciální geotermální zdroje, umožňující využití geotermálního tepla pro výrobu elektrické energie nebo pro centrální zdroje vytápění, které jsou spěšně využívány například na Islandu nebo v Itálii, se na našem území prakticky nenacházejí.

V ČR je však možno velmi úspěšně využívat tzv. **nízkopotenciální** teplo prostředí v systémech, které využívají **tepelná čerpadla**. Za pomoci tepelných čerpadel je převáděno nízkopotenciální teplo na vyšší teplotu. Takto produkované teplo může být zpravidla využito pro vytápění budov nebo na ohřev TV, případně i pro jiné účely (ohřev vody v bazénech, vzduchotechnické ohříváky, skleníky, vytápění teras a parkovišť apod.)

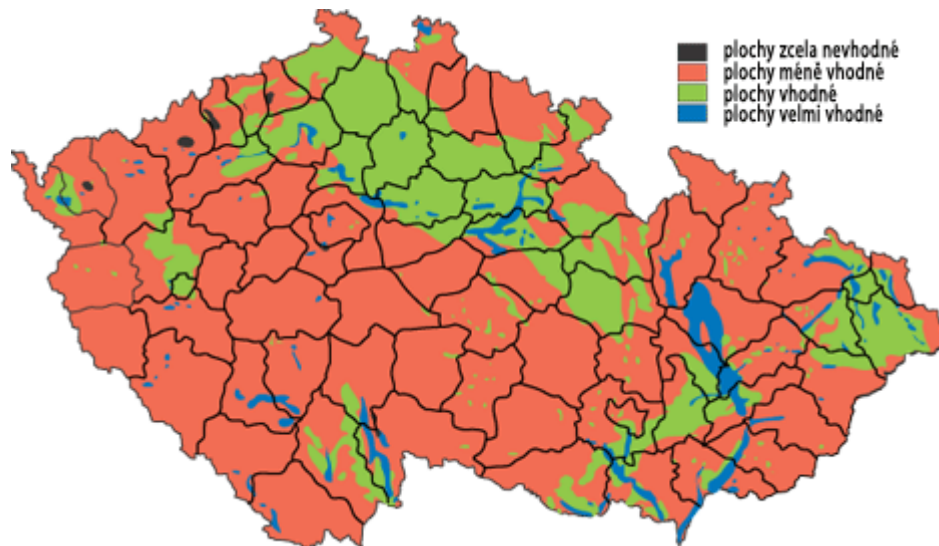
5.2 Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo

Okolní vzduch - je k dispozici všude. Tento typ TČ má tedy široké využití, navíc je investičně nenáročný. Vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně budovy. Protože ve vzduchu je tepla poměrně málo, musí výměníkem procházet velké objemy vzduchu.

Odpadní vzduch - teplo je odebíráno vzduchu odváděnému větracím systémem objektu, který má relativně vysokou teplotu (18 až 24 °C). Nevýhodou je, že větracího vzduchu je k dispozici jen omezené množství, takže TČ kryje jen část tepelné ztráty, vždy je tedy potřeba ještě další zdroj pro krytí tepelné ztráty konstrukcemi, případně i pro ohřev vody. V tomto případě se již nejedná o obnovitelný zdroj energie, ale o tzv. zdroj druhotný.

Povrchová voda - využívá se vody v toku nebo v rybníku, která je ochlazována tepelným výměníkem, umístěným přímo ve vodě nebo zapuštěným do břehu - vždy tak, aby nehrozilo zamrznutí. Podmínkou je vhodné umístění objektu, nejlépe přímo na břehu. Teoreticky je také možné vodu přivádět potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou vypouštět zpět.

Podpovrchová voda - odebírá se ze sací studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování. Ochlazenou vodu lze za určitých podmínek vypouštět i do potoka nebo jiné vodoteče. Zdroj vody však musí být dostatečně vydatný (přibližně 15-25 l/min. pro TČ s výkonem 10 kW). Vhodných lokalit je proto k dispozici relativně málo.



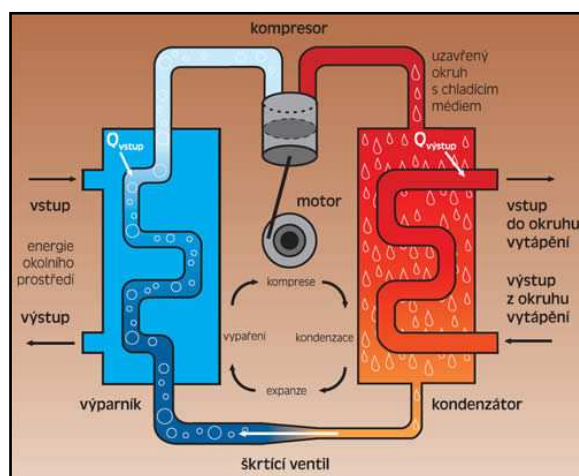
Potenciál území pro využití geotermální energie s využitím tepla spodních vod

Z půdy - jde o velmi rozšířený způsob. Půda se ochlazuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí a uloženého do výkopu (půdní kolektor). Půdní kolektor se umísťuje poblíž objektu v nezamrzlé hloubce. Trubky půdního kolektoru se mohou ukládat na souvisle odkrytou plochu, nejméně 0,6 m od sebe. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je pak potřeba 5 až 8 metrů délky výkopu.

Z hlubinných vrtů - využívá se teplo hornin v podloží. Vrty hluboké až 150 m se umísťují v blízkosti stavby, nejméně 10 m od sebe. Vrty je možno umístit i pod stavbou, zvláště jde-li o novostavbu. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba 12 až 18 m hloubky vrtu, podle geologických podmínek. Výhodou je celoročně stálá teplota zdroje (cca 8 °C), takže TČ pracuje efektivně.

5.3 Princip tepelného čerpadla

Základním principem tepelného čerpadla je přečerpávání tepla z nižší na vyšší teplotní hladinu za dodávky části energie zvenčí. V zásadě se jedná o obrácený princip než u chladících zařízení nebo klimatizačních jednotek. Na rozdíl od jiných zařízení pro využití OZE potřebují tepelná čerpadla ke svému provozu ušlechtilou energii dodávanou zvenčí. U nejčastěji používaných kompresorových tepelných čerpadel je touto spotřebovávána energie elektrina, která slouží k pohonu kompresoru.



Princip tepelného čerpadla

Běžná tepelná čerpadla dodávají dvakrát až čtyřikrát více tepla, než spotřebují elektřiny. Poměr vyrobené tepelné energie k množství spotřebované hnací energie, vyjádřené ve stejných jednotkách, se nazývá topný faktor a je základní charakteristikou tepelného čerpadla. Typické hodnoty topného faktoru se pohybují mezi 2,5-4,5. Tepelné čerpadlo je možné kombinovat s jakýmkoli dalším zdrojem tepelné energie (např. elektrokotlem, plynovým kotlem), který může sloužit jako doplňkový nebo záložní zdroj. V takovém případě hovoříme o tzv. **bivalentním** provozu. U tepelných čerpadel využívajících teplo okolního vzduchu je bivalentní zdroj nezbytný, aby bylo možné vytápět i v době, kdy je venkovní teplota nižší než 12 °C.

5.3.1 Typy tepelných čerpadel

V současnosti se pro vytápění rodinných domků používají téměř výhradně TČ s kompresorem, který je poháněn elektromotorem. Kompresor lze pohánět i jakýmkoli jiným motorem (např. motorem na zemní plyn). Pro relativně malé výkony, potřebné v rodinných domcích, jsou elektrická TČ nejvýhodnější. Podle druhu ochlazovaného a ohřívaného média se rozlišují tepelná čerpadla vzduch/voda, vzduch/vzduch, voda/voda, nemrznoucí kapalina/voda a voda/vzduch.

Tepelná čerpadla jsou při dnešních cenách energie ekonomická zejména jako náhrada elektrických přímotopů, případně při porovnání s vytápěním kapalným plynem nebo topným olejem. Lze je tedy jednoznačně doporučit tam, kde mohou být vhodnou náhradou elektrického vytápění, nebo v případě přechodu z tuhých paliv na ušlechtlejší způsob vytápění v lokalitách, kde v okolí není dostupný zemní plyn (eventuelně je tam přetížená elektrická síť, takže by ani nebyl možný celý příkon přímotopů).

Některé distribuční energetické společnosti dotují využívání tepelných čerpadel jako efektivního a k životnímu prostředí šetrného využití elektrické energie.

6. Větrná energie

Energie větru společně s energií vody je člověkem využívána již odedávna. V našem prostředí je tento druh energie využíván již od středověku, nejvíce pak v 18. a 19. století. Svědčí o tom nejméně 260 známých lokalit, kde dříve stávaly větrné mlýny.

Větrná energie jako taková je jednou z forem energie sluneční. Vzniká jako důsledek nerovnoměrného ohřevu Země od Slunce. Mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře vznikají tlakové rozdíly, které se vyrovnávají prouděním vzduchu. Pod pojmem vítr rozumíme pouze horizontální složku proudění vzduchu, ve vrstvě několika desítek metrů nad zemí jsou stoupavé vzdušné proudy nevýznamné.

6.1 Současný stav a potenciál pro budoucí využití v ČR

Využívání větrných elektráren k výrobě elektrické energie dodávané do rozvodných sítí je ve světě a zvláště na území ČR velmi mladou technickou oblastí. Velký zájem o využití větrné energie se projevil na začátku sedmdesátých let minulého století. V tomto období si společenství průmyslových zemí uvědomilo nebezpečí ekologické krize v globálním rozsahu a intenzivně začalo hledat cesty k jejímu překonání. Hrozba krize je spojena jak s možností vyčerpání neobnovitelných zdrojů, tak s produkcí skleníkových plynů a s napjatým stavem absorpční kapacity přírodních systémů pro odpadní látky, produkované při výrobě elektrické energie. Některé země začaly pod tlakem prudkého zvýšení světových cen veškeré energie chápat omezenost přístupu ke klasickým energetickým zdrojům energie v širokém měřítku. K průkopníkům konstrukce větrných elektráren v rámci Evropy patřily Dánsko a tehdejší západní Německo.

6.1.1 Současný stav využití v ČR

V ČR začaly větrné elektrárny vznikat po roce 1990. Na sedmnácti lokalitách bylo po roce 1900 postaveno nejméně 26 větrných elektráren s výkonem nad 50 kW. Po roce 1995 však nastává stagnace, některé elektrárny byly demontovány a řada z nich byla dočasně nebo trvale odstavena. Důvody pro odstavení tak vysokého počtu elektráren byly jednak majetkoprávní a jednak z nesprávného odhadu větrného potenciálu. V řadě případů nebyl projekt podložen dostatečným měřením větrných podmínek, studií proveditelnosti a finanční a rizikovou analýzou. Dalšími důvody byly technické a provozní problémy, zejména u větrných elektráren tuzemské výroby, kde se jednalo většinou o prototypy, které za sebou neměly dostatečný vývoj. Jedním ze závažných důvodů stagnace byly až do konce roku 2001 také nízké výkupní ceny elektrické energie.

Jistá změna nastala až po roce 2003, kdy byla realizována první moderní větrná farma o dvou jednotkách po 600 kW v Jindřichovicích pod Smrkem a zejména po roce 2005, kdy byl přijat zákon o podpoře OZE 180/2005 Sb., kterým byly nastaveny stabilnější podmínky pro investice do využívání větrné energie. K 31. 12. 2007 bylo na území České republiky instalováno 125 MW ve větrných elektrárnách.

6.1.2 Přírodní podmínky a potenciál ČR

Přestože naše republika nemá tak výhodné podmínky pro využití větrné energie jako přímořské státy (např. Dánsko, Velká Británie, Nizozemsko), existuje i na našem území ve vnitrozemských podmínkách řada vhodných lokalit, kde lze instalovat větrné elektrárny a to i velkých výkonů. Přírodní podmínky dovolují vybudovat mimo chráněné oblasti cca 900-1500 větrných elektráren.

Potenciál větrné energie v ČR se odhaduje na 4 000 GWh ročně. To je asi 4 % naší celkové spotřeby elektřiny. V poslední době u nás větrných elektráren přibývá. Důvodů je více: zejména poměrně příznivé výkupní ceny a hlavně zákonem daná garance, že tyto ceny budou pevné po dobu 20 let od spuštění. Dalším důvodem může být možnost získání dotace, i když většina velkých větrných elektráren se u nás staví i bez dotace.

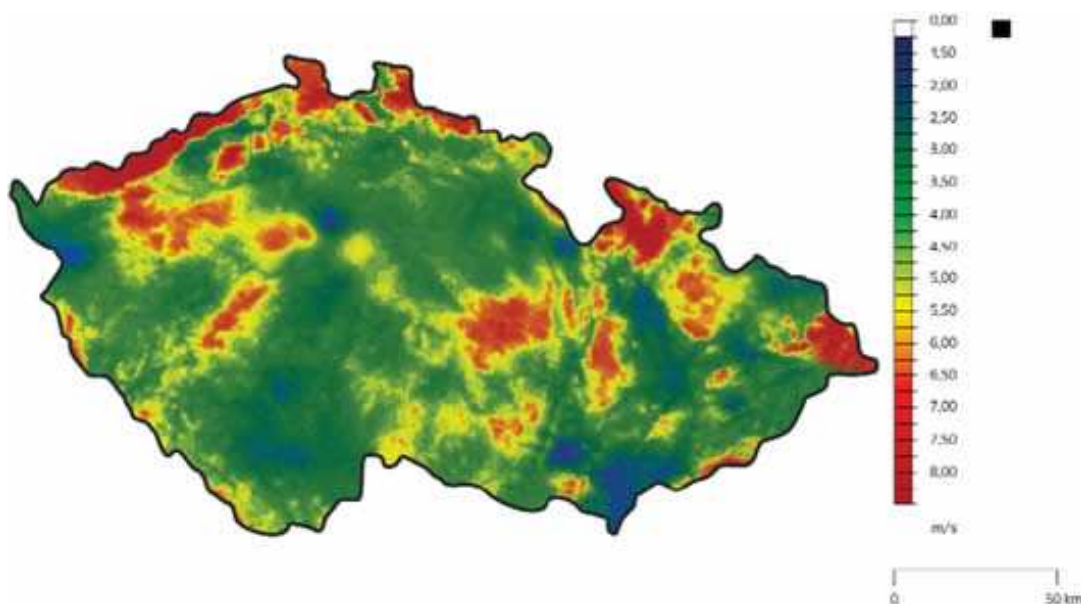
6.1.3 Hodnocení lokality pro využívání větrné energie

Jedním z kritérií pro výběr lokality z hlediska využívání větrné energie je, jaký druh elektrárny zamýšlíme instalovat, tj. zda se jedná o malý autonomní zdroj či velkou elektrárnu napojenou na veřejnou síť.

Dalším a zároveň nejdůležitějším kritériem při výběru lokality je **rychlost větru**. Ta je naprosto zásadním parametrem, neboť energie větru roste s třetí mocninou jeho rychlosti, což v praxi znamená, že i malá odchylka v rychlosti větru se výrazně projeví na množství získané elektřiny. Blízko zemského povrchu je proudění vzduchu ovlivňováno členitostí terénu - vítr je zpomalován terénními překážkami jako jsou stavby, kopce, a také druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh apod.). S rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje, je tedy velký rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad terénem. Proto pro měření rychlosti větru existují mezinárodní standardy. Pro rychlost a směr větru je to výška 10 m nad zemským povrchem (pokud ji není možno dodržet, jsou údaje dohodnutým způsobem přepočítávány na tuto výšku).

Pro využití energie větru ve velkých větrných elektrárnách je nutné vyhledat dostatečně větrné lokality, přičemž za hranici využitelnosti je u velkých větrných elektráren považována hodnota průměrné roční rychlosti větru 5 m.s⁻¹ ve výšce 10 m nad terénem. Tyto podmínky se na území ČR vyskytují téměř výhradně ve vyšších nadmořských výškách (nad 600 m.n.m.).

V praxi se pro základní odborné posouzení lokalita hodnotí třemi různými počítačovými modely (VAS, WasP, PIAP). Toto posouzení může sloužit pro rozhodování o podnikatelském záměru a při rozhodování o umístění větrné elektrárny.



Větrný atlas České republiky

Jsou-li nepřímo získané údaje o rychlosti větru příznivé, je nutné provést měření rychlosti větru přímo v dané lokalitě. Měření by mělo trvat alespoň rok, měřící přístroj by měl být v ideálním případě umístěn ve výšce osy budoucího rotoru elektrárny (vrtule).

Před rozhodnutím o stavbě elektrárny je tedy třeba znát následující vstupní údaje (většina zjišťovaných v ose rotoru):

- **měřené průměrné rychlosti** větru včetně **četnosti směru**, ideálně roční měření,
- množství a parametry **překážek**, které způsobují turbulenci
- chod ročních vekovných teplot či jiných nepříznivých **meteorologických jevů**,
- **nadmořská výška** (hustota vzduchu),
- možnost **umístění** vhodné technologie:
 - únosnost podloží, kvalita podkladu a seismická situace, **geologické podmínky** pro základy elektrárny,
 - **dostupnost lokality** pro těžké mechanismy, možnosti pro vybudování potřebné zpevněné komunikace,
 - **vzdálenost od přípojky** VN nebo VVN s dostatečnou kapacitou,
 - **vzdálenost od obydlí**, která by měla být dostatečná kvůli minimalizaci možného rušení obyvatel hlukem,
 - **míra zásahu do okolní přírody** - zátěž při výstavbě elektrárny a budování přípojky, zásah do vzhledu krajiny,
 - **majetkoprávní vztahy** k pozemku, postoj místních úřadů a občanů.

Pro vlastní stavbu elektrárny je nutno získat v první řadě územní rozhodnutí a náhledně stavební povolení. Často je nutno změnit také územní plán příslušné obce či území. Stavební úřad bude v souladu se zákonem vyžadovat stanoviska různých dotčených orgánů státní správy, zejména státní ochrany přírody, ale třeba i Armády ČR. Řešení většiny těchto problémů je časově a administrativně náročné.

6.1.4 Dopad větrných elektráren na životní prostředí

I když jsou větrné elektrárny často symbolem ekologické výroby elektřiny, jsou jim vytýkána i některá negativa. Obvykle neprávem - současné elektrárny jsou mnohem modernější, než byly před deseti lety.

Hlučnost současných strojů je poměrně nízká. Elektrárny jsou navíc stavěny v dostatečné vzdálenosti od obydlí. Hluková studie bývá součástí dokumentace nutné ke stavebnímu povolení. U existujících instalací lze provést měření a na jeho základě případně omezit jejich provoz. Nevhodně umístěná elektrárna přesto může působit nepříjemnosti. Malé větrné elektrárny jsou rychloběžné, a proto jsou poměrně hlučné.

Stroboskopický efekt (vrhání pohyblivých stínů, je-li Slunce nízko nad obzorem) není v praxi závažný, zejména právě kvůli vzdálenosti instalací od lidských obydlí. Podobně i **odraz slunce** na lopatkách je díky matným nátěrům již minulostí.

Rušení zvěře podle praktických zkušeností nenastává. Dokladem jsou ovce a krávy, ale i divoká zvěř pasoucí se v těsné blízkosti elektráren. Podle některých studií se v okolí elektráren zvýšil i počet hnízdicích ptáků. Vysvětluje se to jednak tím, že elektrárny jsou dobrým orientačním bodem v krajině, a jednak tím, že rotory mohou rušit dravé ptáky. Podobně se nepotvrdilo ani to, že by rotující listy zabíjely prolétající ptáky. Ke kolizím dochází poměrně vzácně, zejména v noci a za mlhy. Výjimkou byly případy, kdy elektrárna stála v místě migračního tahu ptáků. Těmto oblastem se však dá vyhnout.

Rušení televizního signálu může nastat. Závisí na pozici televizního vysílače, elektrárny a domů, které mají anténu. Týká se opět jen blízkého okolí elektrárny. V ČR je většina lokalit dále od osídlení.

Narušení krajinného rázu je nejspíše nejproblematictější. Někomu se elektrárny líbí, někomu ne. V české krajině lze jen s obtížemi najít panorama nerušené stožáry elektrického vedení či vysílači. Větrné elektrárny představují další, zatím nezvyklý prvek. Paradoxně se zde někdy dostává do konfliktu požadavek státní ochrany přírody na "nenápadnost" elektrárny s požadavkem bezpečnosti leteckého provozu na její dobrou viditelnost (zábleskové zařízení). Trend stavět stále větší stroje vede k tomu, že elektráren může být méně, ale současně budou více vidět. Elektrárny ale mohou také pomoci snížit počet stožárů v krajině. Na stožár elektrárny lze umístit několik různých telekomunikačních zařízení, které bohužel často mají každý svůj vlastní stožár. Díky umístění ve větší výšce mohou pak vysílače pokrýt větší území. Vzhledem k ekonomické životnosti elektrárny 20 let může jít jen o dočasnou stavbu, která snadno zmizí.

6.2 Charakteristiky a rozdělení větrných elektráren

Větrná elektrárna je technické zařízení sloužící k přeměně kinetické energie větru na energii elektrickou. Výkon odebraný proudícímu vzduchu rotorem turbíny, který závisí na průměru vrtule, lze vyjádřit vztahem:

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot S \cdot \rho \cdot u^3$$

kde c_p je součinitel výkonu
 S je plocha opsaná vrtulí
 ρ je hustota vzduchu
 u je rychlost větru

Podle výkonu se tato zařízení dělí na malé, střední a velké větrné elektrárny. Kategorizace převzatá od Endera (2006) je uvedena v následující tabulce.

Tab. č. 9: Kategorizace větrných elektráren (podle Endera, 2006), zdroj ČEZ

Větrné elektrárny					
malé		střední		velké	
průměr vrtule [m]	výkon do kW	průměr vrtule [m]	výkon do kW	průměr vrtule [m]	výkon do kW
≤ 8	10	16,1-22	130	45,1-64	1500
8,1 - 11	25	22,1-32	310	64,1-90	3100
11,1 - 16	60	32,1-45	750	90,1-128	6400

Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na **vztlakové** a **odporové**. Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s **vodorovnou osou otáčení**, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel (tzv. americký větrný motor). Po experimentech s jedno-, dvou- i čtyřlístými rotory již všechny velké moderní elektrárny používají rotory třílísté, které mají nejlepší parametry.

Existují také elektrárny se **svislou osou otáčení**, které pracují na odporovém principu (typ Savonius) nebo na vztlakovém principu (typ Darrieus). Výhodou vztlakových elektráren se svislou osou je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení, a tím i vyšší účinnosti. Pracují tedy i při nižší rychlosti větru a není třeba je natáčet podle směru větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se donedávna v praxi příliš nepoužívaly. Důvodem bylo jejich mnohem vyšší dynamické namáhání, a tedy i nižší životnost. Tento problém se však podařilo do určité míry konstrukčně vyřešit. Pro výše uvedené výhody a také menší hlučnost se začínají v Británii a USA využívat přímo v městské zástavbě. Stále jde však o menší zařízení s nižšími výkony.

6.2.1 Malé větrné elektrárny

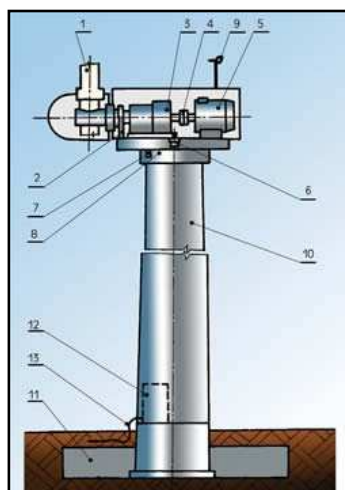
K malým větrným elektrárnám se řadí turbíny s nominálním výkonem menším než 60 kW a průměrem vrtulí do 16 m. Nejvýznamnější kategorií jsou malé VTE s nominálním výkonem do 10 kW, které zcela převládají v katalogových nabídkách výrobců. Tuto skupinu lze rozdělit do dvou podskupin.

První jsou mikrozdroje s výkonem zhruba do 2 až 2,5 kW, s průměrem vrtulí od 0,5 do 3 m, které jsou určeny výhradně pro dobíjení baterií. Takto akumulovaná energie může sloužit k napájení elektrických spotřebičů (komunikačních systémů, televizních přijímačů, ledniček atp.) a osvětlení. Tato zařízení obvykle pracují se stejnosměrným napětím 12–24V.

Druhou podskupinou kategorie malých VTE jsou zařízení s nominálním výkonem v rozsahu 2,5 až 10 kW a průměrem vrtulí od 3 do 8 m, které obdobně jako stroje předcházející skupiny pracují v ostrovním režimu. Tato zařízení mají obvykle výstupní napětí 48 až 220 V a jsou nabízena pro účely vytápění či temperování domů, pro ohřev vody, případně pro pohon motorů. Bylo však prokázáno, že výroba elektrické energie těmito zdroji pro potřeby rodinných domů či malých hospodářských provozů, které je možno připojit do rozvodné sítě, je nerentabilní. Ekonomicky je odůvodnitelná pouze v místech bez možnosti připojení do sítě a to s průměrnou roční rychlostí větru alespoň $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ ve výšce 10 m.

6.2.2 Střední a velké větrné elektrárny a jejich popis

Dřívější kategorie velkých VTE se díky rostoucím rozměrům vrtulí nových VTE rozdělila na dvě kategorie a to na střední větrné elektrárny s průměrem vrtulí od 16 do 45 m a nominálním výkonem v rozsahu 60–750 kW a velké větrné elektrárny s průměrem vrtulí od 45 do 128 m a nominálním výkonem turbín od 750 do 6400 kW. Největší VTE s nominálním výkonem nad 3000 kW jsou většinou zařízení určená pro umístění v moři (offshore).



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

Schéma větrné elektrárny

Vrtule větrných elektráren

Vrtule jsou zásadní částí celého zařízení VTE a za posledních 30 let prošly značným vývojem jak do velikosti, tak do aerodynamických charakteristik a režimu práce. Jak již bylo zmíněno výše, vedle meteorologických parametrů závisí výkon odebraný proudícímu větru na velikosti plochy vrtule a hodnotě součinitele výkonu.

Zvětšující se rozměry vrtulí kladou vysoké nároky na konstrukci a použité materiály, aby byla zajištěna provozní spolehlivost. Na rozměrově velkých vrtulích vznikají značná zatížení např. v momentech, kdy velká hmota listů vrtule je zabrzděna přestavením listů do praporekové polohy. Nepříznivě na životnost materiálu listů velkých vrtulí vedle malorozměrné

turbulence působí případné velké vertikální gradienty rychlosti větru, které v extrémních případech mohou dosahovat až 10 m.s-1/100 m.

Aby zvyšování rychlosti větru, které vede ke zvyšování výkonu, nezpůsobilo poškození generátoru, musí být vhodným způsobem snížen výkon dodávaný vrtulí. K tomuto účelu se používají různé způsoby regulace výkonu vrtule, charakteristické pro jednotlivé typy VTE. V podstatě se jedná o tři způsoby regulace:

- odtržením proudu na listech vrtule s konstantním úhlem nastavení listů (regulace „stall“),
- přestavováním listů vrtule na větší úhly nastavení a tím snížení vztlakové síly a výkonu (regulace „pitch“),
- přestavováním listů vrtule na menší úhly nastavení a tím snížení vztlakové síly, zvýšení odporu a pokles výkonu (regulace „active stall“).

Turbíny regulované režimem „stall“ jsou konstrukčně jednodušší než turbíny s režimem „pitch“, protože nemají systém měnící nastavení listů rotoru. V porovnání s „pitch“ regulovanými větrnými turbínami má regulace výkonu „stall“ principiálně následující výhody:

- o jednoduchá konstrukce,
- o nenáročná údržba s ohledem na menší počet pohyblivých částí,
- o vysoká spolehlivost regulace výkonu.

Nevýhodou tohoto způsobu regulace je skutečnost, že výkon vrtule při vysokých rychlostech větru klesá, a tím klesá i její účinnost, což je v případech, kdy je energie větru největší. Další nevýhodou je nutnost jemného nastavení listů, často až po zkušebním provozu v konkrétní lokalitě a neschopnost vrtule samostatně startovat, což se realizuje elektrickým motorem. V současné době režim regulace „stall“ výrobci nabízejí u VTE s nominálním výkonem zhruba do 1000 kW, pouze výjimečně u výkonů větších.

„Pitch“ regulace představuje aktivní systém, který pracuje se vstupním signálem o výkonu generátoru. Vždy, když je překročen nominální výkon generátoru, změní listy rotoru úhel nastavení vůči natékajícímu proudění, čímž dojde ke zmenšení hnacích aerodynamických sil a zmenšení využití výkonu turbíny. Pro všechny rychlosti větru větší než „nominální“ rychlost, která je nutná pro dosažení jmenovitého výkonu, se nastaví úhel náběhu tak, aby turbína dávala právě tento výkon. Větrné elektrárny s „pitch“ regulací jsou více sofistikované než turbíny se „stall“ regulací, protože nastavení listů rotoru se mění průběžně. „Pitch“ regulace má následující výhody:

- o dovoluje aktivní kontrolu výkonu v celém rozsahu rychlosti větru,
- o zajišťuje vyšší produkci energie ve stejných podmínkách vůči „stall“ regulaci,
- o jednoduchý start rotoru turbíny změnou nastavení úhlu náběhu,
- o nepotřebuje silné brzdy pro náhlé zastavení rotoru,
- o snižuje zatížení listů rotoru při zvýšení rychlosti větru nad nominální rychlost
- o výhodná poloha rotorových listů s ohledem na nízké zatížení v případech extrémních rychlostí větru.

Nevýhodou této regulace je složitější a výrazně dražší vrtulová hlava, která musí přenášet velké síly působící na listy a zároveň zaručovat možnost natočení listu kolem podélné osy.

Regulace typu „active stall“ je v počátečních režimech shodná s předchozím typem regulace „pitch“. Liší se jen v posledním režimu, kdy udržování konstantního výkonu není docilováno zvětšením úhlu nastavení listů, ale zmenšováním tohoto úhlu. V tomto režimu jde o řízení odtržení na listech, proto „active stall“. Výhodou této regulace oproti předcházející je menší citlivost na znečištění povrchu na náběžných hranách listů (hmyz).

Větrné elektrárny s převodovkou a bez převodovky

Vedle tradiční technologie s mechanickou převodovkou, zajišťující převod nízké rychlosti rotoru na mnohem vyšší rotační rychlost konvenčních generátorů, se začaly vyrábět větrné elektrárny bezpřevodkovkové. Z předních výrobců je představitelem bezpřevodkovkové technologie společnost Enercon.

Bezpřevodkovkové řešení je založeno na nízkorychlostních multipólových generátorech, které však mají velké rozměry, což může způsobit jisté problémy v transportu, zejména v megawattové třídě. Na druhé straně se významně sníží počet strojních částí. Není potřebná rozměrově velká převodkovková skříň, odpadají spojovací prvky, je zmenšený počet rotujících prvků, zjednodušila se gondola a jednodušší je i údržba. Jak při „stall“, tak při elektricky řízené „pitch“ regulaci a při elektricky řízeném systému natáčení gondoly není zapotřebí hydraulických olejů, což je nesporná výhoda pro provoz i údržbu. Se vzrůstajícím výkonem a velikostí větrných elektráren se jak klasické generátory a převodovky tak speciální generátory do bezpřevodkovkových elektráren vyrábějí v malých počtech. To znamená, že výhoda nižší ceny s ohledem na sériovou výrobu u elektráren s převodovkou není na místě.

Tradiční konstrukce větrných elektráren vychází z využití hnacího hřídele, ložisek, převodovek a spojek. Všechny tyto části jsou principiálně normální strojní součástky, které mohou být dodávány specializovanými výrobci. To může garantovat vysokou kvalitu výrobků při nízkých cenách a možnost výměny dodavatele subkomponentů s cílem zvýšit kvalitu nebo snížit cenu. Se současnými výrobními standardy převodovek nepředstavuje hluk způsobený převodovkou důvod ke konstrukci větrných elektráren bez převodovek. V současnosti jsou převodovky schopné dosáhnout dvaceti let životnosti, přičemž výměna mazacího oleje nemusí být častá. Celé soustrojí uvnitř gondoly je rozděleno na kompaktní části, které i v megawattové třídě dovolují snadný transport a montáž na stanovišti.

Stožáry větrných elektráren

Jak vyplývá z firemních nabídek, jsou nejrozšířenější stožáry (věže) větrných elektráren v podobě mírně kónických ocelových tubusů. Se zvětšováním výkonu turbín se zvyšují stožáry, a to v současné době na 100 až 120 m. Z toho důvodu se v nabídce některých dodavatelů objevily pro výšky nad 100 m stožáry betonové a věže v podobě příhradové konstrukce. Příhradové stožáry bývají nepříznivě hodnoceny pro svůj „neestetický“ vzhled, ale na druhou stranu mají vůči tubusovým stožárům následující přednosti:

- transparentnost, která způsobuje, že příhradové stožáry zvlášť při pohledu z větší dálky lépe splývají s krajinou,
- nepatrná reflexe dopadajícího světla,
- vhodnost zasazení do určitého rázu krajiny jako je např. lesní prostředí,
- začlenění do krajiny, kde jsou již instalovány stavby tohoto charakteru (např. stožáry elektrického vedení).

K další přednosti příhradových věží oproti tubusovým je výrazně menší spotřeba oceli, což vede k tomu, že při stejných nákladech lze postavit příhradový stožár o 20 % vyšší než tubusový. Např. firma Nordex nabízí ocelový stožár o výšce 100m s hmotností 319 t a příhradový stožár výšky 105 m s hmotností 185 t. Firma Fuhrländer nabízí dokonce příhradový stožár s výškou 160 m (hmotnost 350 t). Montáž příhradového stožáru i doprava jeho dílů je jednodušší, což je významná přednost při stavbě větrných elektráren v horských podmínkách. Při povrchové úpravě příhradového stožáru pozinkováním v ohni je zaručena životnost 40 let, čímž odpadá nátěr, který je nutný na ocelových tubusových stožárech.

6.3 Popis vybraných typů větrných elektráren

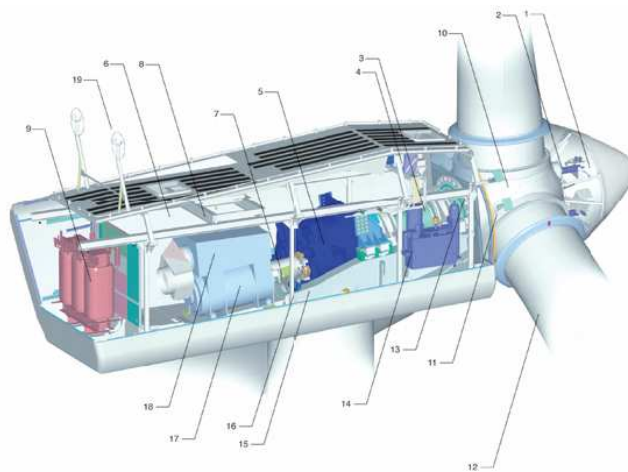
6.3.1 Větrná elektrárna Vestas V90 - 2,0 MW

Jako představitele skupiny **větrných elektráren s převodovkou** jsem zvolil větrnou elektrárnu Vestas V90 – 2,0 MW. Jedná se o typ větrné elektrárny s moderní technologií a svým výkonem se řadí do kategorie největších.

Hlavní segmenty strojovny a rotorové hlavy jsou uvedeny na obrázku níže. Rotor je vybaven zařízením OptiSpeed, které umožňuje, aby rotor pracoval s variabilním počtem otáček. Větrná elektrárna je regulována naklápěním listů trojlistého rotoru (pitch) pomocí zařízení OptiTip, což je zvláštní regulační systém naklápění listů firmy Vestas, kdy úhel nastavení listů je vždy optimálně přizpůsoben příslušným větrným podmínkám. Tímto je optimalizována výroba energie i hladina hluku. Mechanická energie je od rotoru přenášena hlavní hřídelí přes převodovku na generátor.

Přenos výkonu z převodovky na generátor se uskutečňuje pomocí kompozitní spojky. Generátor je speciální, čtyřpólový, asynchronní s vinutým rotorem. Při vyšších rychlostech větru zajišťuje OptiSpeed systém a regulace naklápění OptiTip, aby odevzdávaný výkon ležel nezávisle na hustotě vzduchu v oblasti jmenovitého výkonu. Při nízkých rychlostech větru optimalizují systémy OptiTip a OptiSpeed výkon nastavením počtu otáček a vhodného úhlu listů rotoru. Zabrzdění větrné elektrárny je prováděno nastavením listů rotoru do praporu. Parkovací brzda je na vysokorychlostní hřídeli převodu. Veškeré funkce větrné elektrárny jsou kontrolovány a řízeny řídicími jednotkami na bázi mikroprocesorů. Změny úhlu nastavení jsou aktivovány hydraulickým systémem, který umožňuje pohyb listů rotoru axiálně až o 95°. Čtyři elektricky poháněné převodovky zajišťují nastavení osy gondoly do směru větru.

Jmenovitý výkon	2000 kW
Jmenovitá rychlost větru	14,0 m.s ⁻¹
Zapojovací rychlost větru	4,0 m.s ⁻¹
Odpojovací rychlost větru	23,0 m.s ⁻¹
Průměr rotoru	90,0 m
Plocha rotoru	6362 m ²
Počet listů rotoru	3
Počet otáček rotoru	8,2 - 17,3 ot/min
Hmota včetně náby	36,3 t
Hmota gondoly (bez rotoru)	68,0 t
Generátor	asynchronní, zdvojené nap.
Počet otáček generátoru	1680 ot/min
Napětí	690 V
Regulace výkonu	„pitch“
Regulace otáček	aktivní naklápěním listů vrtule
Hlavní brzdový systém	nastavení listů do praporu
Vedlejší brzdový systém	kotoučové brzdy
Natáčení gondoly	4 elektrické motory
Výšky a hmotnosti kónických věží	80,0 m - 147 t
	95,0 m - 200 t
	105,0 m - 224 t



- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 - řízení listů rotoru | 11 - ložisko listu rotoru |
| 2 - pitch válec | 12 - list rotoru |
| 3 - hlavní hřídel | 13 - aretace |
| 4 - chlazení oleje | 14 - hydraulická jednotka |
| 5 - převodovka | 15 - základní rám |
| 6 - VMT Top řízení | 16 - otáčivý věnec |
| 7 - disková brzda | 17 - OptiSpeed generátor |
| 8 - servisní jeřáb | 18 - chlazení generátoru |
| 9 - transformátor | 19 - anemometr |
| 10 - rotorová hlava | |

Tab. 10: Technické parametry V90, zdroj ČEZ

6.3.2 Větrná elektrárna Enercon E80 - 2,0 MW

Na evropském trhu první místo v prodeji zaujímá německá firma Enercon, která vyrábí **bezpřevodovkové větrné elektrárny**. Větrnou elektrárnu Enercon E82 2,0 MW uvádím jako představitele tohoto konstrukčního směru. Koncepce těchto strojů vychází ze zmenšení počtu hnacích soustrojí, když rotor je přímo spojen s multipólovým generátorem, který má otáčky shodné s otáčkami rotoru. Tento konstrukční princip umožňuje redukovat ztrátu energie mezi rotorem a generátorem, snížit hlukové emise od mechanických částí stroje, snížit pravděpodobnost opotřebení mechanických částí, snížit ztrátu energie třením v převodovce, odbourat potřebu oleje a pravidelné výměny oleje v převodovce. Připojovací systém Enercon zabezpečuje splnění požadavků vstupu do sítě z generátoru, který je založen na principu synchronního stroje. Firma Enercon vyvinula rotory pracující režimem „pitch“, které, jak uvádí výrobce, mají vysokou účinnost, dlouhou životnost a malou emisi hluku.

Jmenovitý výkon	2000 kW
Jmenovitá rychlost větru	12,0 m.s ⁻¹
Zapojovací rychlost větru	2,0 m.s ⁻¹
Odpojovací rychlost větru	22,0 - 28,0 m.s ⁻¹
Průměr rotoru	82,0 m
Plocha rotoru	5281 m ²
Počet listů rotoru	3
Počet otáček rotoru	6 - 19,5 ot/min
Hmoty včetně náby	37,2 t
Hmoty gondoly (bez rotoru)	67,5 t
Generátor	synchronní, prstencový
Počet otáček generátoru	6 - 19,5 ot/min
Napětí	400 V
Regulace výkonu	„pitch“
Regulace otáček	aktivní naklápěním listů vrtule
Hlavní brzdový systém	nastavení listů
Vedlejší brzdový systém	nastavení listů
Natáčení gondoly	6 elektrických motorů
Výšky věží	
kónická ocelová	70 a 78 m
kónická betonová	98 a 108 m



- 1 - nosič strojovny
- 2 - motor pro natáčení gondoly
- 3 - generátor
- 4 - adaptér pro natáčení listu
- 5 - hlava rotoru
- 6 - list rotoru

Tab. 11: Technické parametry E80, zdroj ČEZ

6.4 Popis elektrizační soustavy ČR

Celá přenosová soustava v ČR se dělí na dvě základní části:

- **Distribuční soustava** – je soustava a zařízení pro rozvod elektřiny z přenosové soustavy nebo ze zdrojů zapojených do ní ke koncovým uživatelům. Součástí distribuční soustavy jsou i její řídicí, ochranné, zabezpečovací a informační systémy. V podmínkách elektrizační soustavy ČR se jedná o rozvody a zařízení do maximálního napětí 110 kV.
- **Elektrizační soustava** – je soustava zajišťující výrobu, přenos, rozvod / distribuci a konečné využití elektrické energie. Kromě hlavního výrobního přenosového a distribučního zařízení, které tvoří hlavní prvky tohoto systému, obsahuje řadu dalších prvků zajišťujících měření, kontrolu, ochranu a regulaci zařízení celé soustavy. Hlavními vazbami v soustavě umožňujícími plynulé předávání elektrické energie jsou jednotlivé elektrické sítě. Elektrizační soustava tvoří v této chvíli vysoce centralizovaný systém (tzv. páteř české energetiky) s propracovanými metodami řízení.

Elektrizační soustava představuje tzv. propojené soustavy, což jsou systémy dvou nebo více rozvodů vzájemně propojených mezisystémovými propojeními, jelikož v každé soustavě jsou různé typy zdrojů elektrické energie. Ze systému propojených soustav vyplývá několik zásadních výhod:

- efektivní využívání různých typů zdrojů elektrické energie (v soustavě jsou např. vzájemně propojeny tepelné, jaderné a vodní elektrárny),
- možnosti výměny elektrické energie z důvodů posunu špiček zatížení v různých soustavách (např. zapnutí strojů ve výrobním podniku by mohlo při samotném napojení na vodní elektrárnu způsobit zátěžovou špičku a následný kolaps celé rozvodné sítě),
- snížení nutných záloh energií v jednotlivých soustavách (aby se předešlo výpadku, je nutné regulovat a stabilizovat frekvenci, což v uzavřené soustavě znamená mít určitou zálohu energie, kterou je možné při poklesu frekvence do sítě pustit),
- zvýšená kvalita dodávané energie (jedná se především o stálost frekvence, viz předchozí bod),
- nespornou výhodou vzájemného propojení elektrizační soustavy je relativně snazší regulace poruch a do jisté míry vyrovnávání možných přetížení v síti.

Česká elektrizační přenosová soustava (ČEPS)

Přenosová soustava ČEPS představuje subsystém elektrizační soustavy České republiky, který propojuje všechny významné subjekty v soustavě a zajišťuje rozhodující podíl zahraniční spolupráce. Dále zajišťuje přenos elektřiny, provoz, údržbu a rozvoj přenosové soustavy, dispečerské řízení elektrizační soustavy České republiky v reálném čase. Jako systémovou službu dále zpracovává a testuje plán obrany přenosové soustavy proti šíření poruch a plán obnovy elektrizační soustavy po rozsáhlých systémových poruchách. Technicky řídí systémové služby, jako je regulace výkonu a kmitočtu, regulace napětí a jalového výkonu a řídí potřebné výkonové rezervy.

Přenosovou soustavu ČEPS tvoří 38 rozvodných zařízení 420 kV a 245 kV umístěných ve 30 transformovnách, dále 2 900 km tras vedení 400 kV a 1 440 km tras vedení 220 kV. Do přenosové soustavy patří i dvě rozvodny 123 kV a 105 km tras vedení 110 kV.

6.4.1 Začlenění větrné energetiky do soustavy ČEPS

V současné době je v České republice v provozu vcelku malé množství větrných elektráren, tudíž jejich vliv na elektrizační soustavu není nikterak významný. Do budoucna se však počítá s výstavbou farem o výkonu několika desítek až stovek MW, jejichž vlivy již nebudou zanedbatelné. Jelikož ČR s tímto problémem zatím nemá dostatek zkušeností, je dobré se podívat do zahraničí (např. Německo, Dánsko), kde už delší dobu větrnou energii úspěšně využívají. Začlenění větrných elektráren do elektrizační soustavy s sebou ponese následující vlivy:

- náhlé odstavení velkého výkonu větrných elektráren
- náhlé změny rychlosti větru
- nespojitost výroby
- změny frekvence
- najíždění po poruše
- velikost nutných rezerv a dispečerského řízení
- transientní a dynamické stability
- chování strojů při poruše

Náhlé odstavení velkého výkonu VTE

Výpadek velkého množství VTE je obdobou výpadku velkého bloku v soustavě. Striktním evropským požadavkem je, aby energetický systém příslušné soustavy zvládnul výpadek svého největšího bloku. V ČR je největším blokem soustavy blok 1000 MW jaderné elektrárny Temelín. Z toho lze odvodit, že pokud instalovaný výkon VTE v ČR významnou měrou nepřesáhne 1000 MW, neměla by větrná energetika přinášet v tomto smyslu další problémy. Stávajících necelých 40 MW je samozřejmě ani přinášet nemůže.

Náhlé změny rychlosti větru

Okamžitý výkon VTE je úměrný třetí mocnině rychlosti větru, což s sebou přináší nepříjemné důsledky. Na takovéto kolísání výkonu musí být záloha v primární i sekundární regulaci a opět je nutno srovnávat souhrnný instalovaný výkon VTE se soustavou stávající.

Málo komentován nebo dokonce potlačován je problém opačný. Prudký nárůst výkonu dodávaného VTE. Z praxe víme, že i k tomu často dochází. To, že tento problém není tolik diskutován má jednoduchou a jasnou příčinu. Daleko snazší a jednodušší je blok odstavit než najet. Ale ani odstavení bloku není zadarmo a zvyšuje náklady na větrnou energii. Nesmí se zapomenout na to, že takovéto bloky musí energetická soustava nutně mít.

Nespojitost výroby VTE

Ve Velké Británii, kde je nejdůsledněji oddělen trh s elektřinou od výroby, se snaží problém řešit tržními prostředky. Dodavatelé byli k vyššímu nákupu obnovitelné energie motivováni zvláštní premii 5,5 Libry/MWh.

Teoreticky existuje prostředek, který by problém mohl vyřešit – skladování energií. Prakticky využitelný, dostatečně veliký prostředek a zároveň dostatečně dynamický prostředek na skladování energií dosud k dispozici není. Klasické prostředky pro skladování energie - přečerpávací vodní elektrárny - jsou pro větrnou energii příliš pomalé a nepoužitelné.

Změny frekvence vyvolané VTE

Limitní veličinou, která omezuje schopnost přenosové nebo distribuční soustavy pro připojení velkých farem VTE je změna frekvence. Při řešení musí provozovatel zvažovat „krizový“ scénář, kdy při větším podílu VTE může dojít k omezování a odstavování regulovatelných zdrojů v soustavě a nakonec v soustavě zůstanou jen elektrárny jaderné a větrné. Proto je nutná regulace výkonu u VTE. Většina moderních strojů s aktivní („pitch“) regulací je schopna na zvýšení frekvence reagovat. V praxi však jsou případy zvýšení frekvence ve velkém systému vzácné až bezvýznamné.

Naprosto jiná situace je při poklesu frekvence. Větrné turbíny jsou úmyslně nepohotové. Řídicí systém zajistí lopatky v takové poloze, aby stroj při daném větru dodával maximální výkon. Na pokles frekvence nemůže reagovat. Při jakékoliv změně natočení lopatek vrtule by dodávaný výkon ještě poklesl. Pokles frekvence musí vyrovnat primární (případně sekundární) regulace ostatních řízení schopných zdrojů.

Systémové rezervy a dispečerské řízení

Z toho, co již bylo řečeno, jednoznačně vyplývá, že VTE nemohou být zařazeny do systémových a podpůrných služeb a systémové rezervy. Naopak, rezervy musí být na celý výkon, který větrné elektrárny dodávají. Je třeba zdůraznit slovo dodávají. Rezervy nemusí být na celý výkon instalovaný ale na maximální výkon, který VTE dosud dodaly.

Rezervy je nutno rozdělit mezi primární, sekundární a terciární regulaci. To, jak velikost rezervy v soustavě s velkým podílem VTE správně stanovit, je v současné době předmětem intenzivního výzkumu mnoha předních světových firem a výzkumných ústavů. Na nových metodikách pracuje celá řada výzkumných ústavů a provozovatelů přenosových i distribučních soustav.

Najíždění velkých farem VTE

V zahraničí již jsou v provozu farmy VTE o výkonu 200-300 MW. Jejich výkon již musí být vyváděn do soustavy přenosové. Již při řízení provozu plně zatížené soustavy je nutné najít kompromis mezi volnou kapacitou přenosových sítí a změnou výkonu VTE způsobenou prudkým kolísáním rychlosti větru.

Nejkritičtější otázkou je odstavení nebo restart celé farmy při velké rychlosti větru nebo po poruše v síti. Okamžitý restart celé farmy má obvykle za následek velké přetížení sítí. Pomoc je relativně jednoduchá, nový start farmy je třeba časově rozložit, na dobu několika až několika desítek minut, podle velikosti farmy. Rozložení startu česká energetika standardně vyžaduje i u menších farem připojených do sítí 110 kV nebo VN. Protože ani restarty nejsou příliš časté, nemá jeho rozložení na ekonomiku farmy významný vliv.

Chování VTE při poruše v síti

Projetí VTE při poruše je definováno jako schopnost větrné turbíny v síti přežít poruchu v síti a poruchou vyvolaný pokles napětí. Názory na to, jak se mají větrné elektrárny chovat při poruše v síti se neustále vyvíjejí a mění. Na počátku, kdy byly VTE vyváděny především do distribučních sítí VN, případně do sítí 110 kV, byla situace jasná. Dávala se přednost rychlému odpojení zdrojů, tak aby byly VTE ochráněny. S rostoucím jednotkovým výkonem strojů a rostoucím podílem velkých farem je pro provozovatele přenosové soustavy klíčový trojfázový zkrat v sítích.

Někteří provozovatelé přenosových sítí proto začali požadovat, aby se velké farmy připojené do přenosové soustavy při poruše udržely a svou dodávkou jalového výkonu napěťový pokles zmírňovaly. Je to požadavek naprosto oprávněný, protože i VTE se svojí kapacitou musí podílet na likvidaci poruchových stavů.

Transientní stabilita

Transientní, či přechodová stabilita se týká jen těch strojů, které při poruše zůstávají připojeny k síti a svou dodávkou jalového výkonu zabraňují napětíovému kolapsu.

Dosud převažoval názor, že po velké systémové poruše není problémem napětíový kolaps, ale naopak zvýšení napětí strojů ve farmě VTE. Nové moderní stroje mají efektivněji a lépe řízen účinník. Zvýšení napětí se jich obvykle netýká a jsou vůči němu odolnější.

Tomu však oponují rakouské studie, které připouštějí, že napětíový kolaps ve slabých sítích 400 kV a s velkým podílem větrných elektráren je velmi reálný. Je to způsobeno tím, že připojení VTE do sítí VVN a ZVN jsou z ekonomických důvodů navrhována zcela bez rezerv. Simulací na pokročilém modelu bylo prokázáno, že náběhový proud při restartu synchronních generátorů je 3-4 násobek jmenovitého proudu a k napětíovému kolapsu může dojít. Východiskem by bylo posílení těchto připojení a případné posílení přenosové soustavy. Ovšem pravděpodobnost zkratu je jen 4 poruchy/100 km a rok, čas resynchronizace farmy kolem 5 minut. Proto je odpovídající posílení připojení farem a přenosových sítí z ekonomických důvodů nereálné a neprosaditelné.

Dynamická stabilita

Limitujícím faktorem energetického systému je jeho stabilita. Stabilní systém sám vyrovnává drobné odchylky zatížení. Stabilita systému je založena na kinetické energii synchronně rotujících hmot v soustavě. Z tohoto hlediska poslední poznatky ukazují, že s rostoucím počtem indukčních generátorů VTE stabilita systému roste. Používání dvojité napájených asynchronních generátorů má velmi dobrý vliv a ještě zužuje meze.

Jinak tomu je při použití „nehmotných“ generátorů, tj. strojů, které jsou od sítě odděleny stejnosměrnou spojkou a střídači (např. stroje typu ENERCON). Tyto stroje zhoršují inertní konstantu soustavy a na stabilitě soustavy se nepodílejí.

7. Závěr

V této práci jsem se zabýval obnovitelnými zdroji energie. Jsou to zdroje v podstatě nevyčerpatelné a jsou jimi energie slunce, větru, vody, biomasy, geotermální energie, přílivová energie a energie mořských vln. Posledními dvěma zmíněnými jsem se v práci nezabýval, jelikož v našich podmínkách nejsou využitelné.

Využívání obnovitelných zdrojů energie bude mít v budoucnosti pro lidstvo velký význam a mohl by být východiskem pro řešení globálních problémů co se energie týče. Důvodem energetické krize je snižující se zásoba neobnovitelných zdrojů energie, jakými jsou např. ropa, uhlí, zemní plyn apod., a proto je třeba hledat alternativní zdroje energie, které tyto zdroje energie nahradí nebo alespoň zpomalí jejich vyčerpávání. Obnovitelné zdroje mohou spotřebu těchto zdrojů do značné míry snížit.

Jednou z hlavních výhod OZE je z lidského pohledu jejich nevyčerpatelnost a obnovitelnost. Další z výhod je absence zplodin (oxidy síry a dusíku), skleníkových plynů (oxid uhličitý) a vedlejších produktů popř. jaderných odpadů. Energie z těchto zdrojů je realizována decentralizovaně, čímž je zvýšena bezpečnost a spolehlivost dodávky energie. Za výhodu lze považovat i vytvoření nových pracovních míst.

Nevýhodou těchto zdrojů je malá účinnost a efektivita získávání energie. Navíc v některých případech je dodávka energie závislá na proměnných přírodních podmínkách (vítr, sluneční svit). Další nevýhodou je fakt, že zařízení pro získávání „obnovitelné energie“ jsou technologicky náročnější a nedisponují takovým plošným výkonem jako zdroje neobnovitelné. Z toho vyplývají také vyšší ekonomické náklady na provoz těchto zařízení a to je jedna z hlavních příčin doposud bránících většímu rozmachu těchto technologií.

V ČR je s větším rozvojem využívání obnovitelných zdrojů spojen vstup do EU. V současné době se u nás podílejí OZE na tuzemské spotřebě primárních zdrojů elektřiny pouze necelými 3%. Podepsáním Přístupové smlouvy k EU se Česká republika zavázala k dosažení 8% podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie na tuzemské spotřebě elektřiny do roku 2010.

Blíže jsem se zaměřil na využívání energie větrné, která se v poslední době u nás stává značně populární. Jedná se o způsob získávání energie odebráním kinetické energie proudícího vzduchu a jeho přeměnou na elektrickou energii pomocí větrných elektráren. Tento způsob získávání energie je v největší míře využitelný hlavně v přímořských státech, kde je zajištěn vcelku stálý „přísun“ větru. Ale i v ČR, jakožto ve vnitrozemském státě, lze tuto technologii úspěšně uplatňovat, i když lokality, kde je možné větrné elektrárny efektivně využívat, se omezují na místa s nadmořskou výškou vyšší než 600 m.n.m. Výhodou tohoto získávání energie je její dostupnost a relativně velký výkon získaný na 1 m^2 ($1,2 \text{ W/m}^2$) ve srovnání s ostatními druhy OZE (vyjma energie sluneční).

Tento způsob získávání energie s sebou ovšem přináší i nevýhody. Hlavním problémem je nestálost rychlosti větru a z toho vyplývající nekontinuální a nerovnoměrná dodávka energie, která by šla v budoucnu vyřešit schopností člověka efektivně skladovat energii. Z důvodu proměnlivosti dodávky elektřiny nelze větrné elektrárny použít jako záložní zdroj pro vyrovnávání špiček v síti. Odpůrci tohoto druhu OZE poukazují na negativní dopad větrných elektráren na životní prostředí (hluk, stroboskopický efekt, rušení zvíře, rušení televizního signálu,...) ovšem většina těchto negativních vlivů už byla překonána zvyšující se technickou úrovní větrných elektráren.

Ovšem i přes všechny neduhy, které s sebou větrná energie přináší, se větrná energetika stala pevnou součástí evropských energetických systémů. Je to fenomén, který v sobě ukrývá značný potenciál a se kterým je v budoucnu třeba vážně počítat jak v energetice evropské tak české a na její nástup je třeba se předem dobře připravit.

Seznam použité literatury:

- [1] MOTLÍK, J., et al. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR* [PDF dokument]. Praha: ČEZ, 2007, Dostupné z: <<http://www.cez.cz/>>
- [2] BERANOVSKÝ, J., et al. *Obnovitelné zdroje energie* [online]. 2000, 1.12.2007 [cit. 5. května 2008]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/obnovitelne_zdroje_energie/>.
- [3] Enviro, s.r.o. (Jaroslav Jakubes, Josef Pikálek, Libor Prouza). *Příručka Obnovitelné zdroje energie* [PDF dokument]. Hospodářská komora České republiky. Říjen 2006. Dostupný z: <<http://www.businessinfo.cz>>
- [4] Redakce Survival. *Energetika a česká elektrizační soustava (ČEPS)* [online]. 2006, 26.7.2006 [cit. 13. května 2008]. Dostupné z: <<http://survival.specialista.info/view.php?cisloclanku=2006072601>>
- [5] VELEK, V. *Očekávané dopady vstřikování velkých výkonů větrných elektráren do distribuční a přenosové soustavy* [PDF dokument]. Tábor: ČK CIRED, 2006, Dostupné z: <<http://www.ckcired.cz>>

Další zdroje na internetu:

- Česká společnost pro větrnou energii
<http://www.csve.cz>
- Česko – německý větrný informační server
<http://www.vetrnyserver.cz>
- Hnutí DUHA – Větrné elektrárny
<http://www.hnutiduha.cz/>
- Ústav fyziky atmosféry AV ČR
<http://www.ufa.cas.cz>

Seznam použitých zkratk a symbolů

AVČR	–	Akademie věd České republiky
BRKO	–	biologicky rozložitelný komunální odpad
ČEPS	–	Česká elektrizační přenosová soustava
ČOV	–	čistička odpadních vod
EU	–	Evropská Unie
HKČR	–	Hospodářská komora České republiky
MVE	–	malá vodní elektrárna (do 10 MW)
OZE	–	Obnovitelný zdroj energie
PČR	–	Parlament České republiky
TČ	–	tepelné čerpadlo
TKO	–	technologie anaerobní fermentace
TUV	–	teplá užitková voda
TV	–	teplá voda
USD	–	United states dollar (Americký dolar)
VN	–	vysoké napětí
VTE	–	větrná elektrárna
VVN	–	velmi vysoké napětí
ZVN	–	zvláště vysoké napětí
P_s	–	výkon větrné elektrárny
c_p	–	součinitel výkonu
S	–	plocha opsaná vrtulí
ρ	–	hustota vzduchu
u	–	rychlost vzduchu