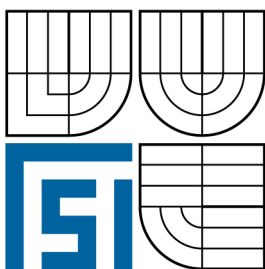


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

## NETRADIČNÍ VYUŽITÍ ENERGIE VĚTRU

DIFFERENT USE OF THE WIND ENERGY

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR LAKVA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV JÍCHA, CSc.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Petr Lakva

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

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

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

### **Netradiční využití energie větru**

v anglickém jazyce:

### **Different use of the wind energy.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Literární rešerše, studie

Cíle bakalářské práce:

Druhy větrných elektráren v ČR.

Možnosti akumulace energie větru pro využití v energetických špičkách.

Návrh technologie.

Seznam odborné literatury:

1. Boeker, E. and Rienk van Grondelle, Environmental Physics, John Wiley & Sons, Chichester 1995
2. Horlock, J.H., Cogeneration – Combined Heat and Power (CHP) – thermodynamics and Economics, Krieger Publishing Co., Malabar, Florida 1997
3. van der Linden, S., The Commercial World of Energy Storage, 1st Annual Conference of the Energy Storage Council, Houston March 3, 2003
4. Anon., Application of Electricity Storage; Technologies; Technology Comparison, Electricity Storage Association, [www.electricitystorage.org/technologies.htm](http://www.electricitystorage.org/technologies.htm)
5. Kára, V., V. Šrámek, P. Hutla, F. Stejskal a A. Kopnická, Využití biomasy pro energetické účely, Vydává: Česká energetická agentura [www.cea.cz](http://www.cea.cz)

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 21.10.2008

L.S.

---

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Petr Lakva

Bytem: Chářovská 117D, 794 01 Krnov

Narozen/a (datum a místo): 1987, Krnov

(dále jen „autor“)

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství

se sídlem Technická 2896/2, 616 69 Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

Prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

## Článek 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Netradiční využití větrné energie

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.

Ústav: Ústav procesního a ekologického inženýrství

Datum obhajoby VŠKP: 19. 6. 2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

- tištěné formě – počet exemplářů .....
- elektronické formě – počet exemplářů .....

---

\* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

Nabyvatel

.....

Autor

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je popsat základní druhy obnovitelných zdrojů energie. Důraz je kladen na energii větrnou. Další částí je popis jednotlivých druhů větrných elektráren z hlediska funkce, konstrukce a použití. V poslední části se práce zabývá problémem kumulace větrné energie pro pozdější využití, a to díky kompresi vzduchu v podzemních prostorech opuštěných dolů.

## **Klíčová slova**

Obnovitelné zdroje energie, Česká státní energetická koncepce, biomasa, vodní energie, vodní elektrárna, geotermální energie, solární energie, solární článek, větrná energie, větrná mapa, větrná elektrárna, vztakový motor, Darrieus, Savonius, CAES, Weibullovo rozdělení.

## **Abstract**

The target of this bachelor study is describing basic type of renewable sources of energy. Emphasis is put on wind energy. Another part is description of different types of wind generators. In the last part study deals with problem of accumulation of wind energy for later use, thanks to compression of air in the underground mines.

## **Key words**

Renewable sources of energy, Czech national energy conception, biomass, water energy, water power plant, geothermal energy, solar energy, solar cell, wind energy, wind atlas, wind power plant, lift motor, Darrieus, Savonius, CAES, Weibull's separation.

## **Bibliografická citace**

LAKVA, P. *Netradiční využití větrné energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 38 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování bakalářské práce, a že jsem celou tuto práci vypracoval samostatně a zároveň uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2009

.....  
Petr Lakva

## **Poděkování**

Děkuji panu docentovi Ing. Jaroslavu Jíchovi, CSc. za poskytnuté konzultace a odbornou pomoc. Dále svým rodičům za podporu během celého studia.

## Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Obnovitelné zdroje energie</b> .....	<b>9</b>
1.1 Co jsou obnovitelné zdroje .....	9
1.2 Všeobecné výhody a nevýhody obnovitelných zdrojů energie .....	9
1.3 Možnosti využívání obnovitelných zdrojů v České republice .....	10
1.4 Česká státní energetická koncepce .....	11
<b>2 Sluneční energie</b> .....	<b>12</b>
2.1 Podmínky ČR a potenciál pro další využití .....	13
2.2 Využití přímého slunečního záření .....	14
2.2.1 Výroba tepla – fototermitické systémy .....	14
2.2.2 Využití elektrické energie – fotovoltaické systémy .....	15
<b>3 Biomasa</b> .....	<b>17</b>
3.1 Energetické využití biomasy .....	17
3.1.1 Využití tuhých biopaliv .....	18
3.1.2 Využití kapalných biopaliv .....	18
3.1.3 Využití bioplynu .....	19
<b>4 Energie vodních toků</b> .....	<b>19</b>
4.1 Technické řešení malých vodních elektráren .....	19
4.2 Ekologické aspekty malých vodních elektráren .....	20
<b>5 Tepelná energie zemského pláště, podzemních vod a energie prostředí</b> .....	<b>21</b>
<b>6 Větrná energie</b> .....	<b>21</b>
6.1 Potenciál využití větrné energie v ČR .....	22
6.2 Rozdělení používaných větrných turbín .....	22
6.2.1 Vztlkové motory .....	23
6.2.2 Odporové motory .....	24
6.3 Základní části větrné elektrárny .....	26
6.4 Popis funkce větrné elektrárny .....	27
<b>7 CAES – compressed air energy storage</b> .....	<b>28</b>
7.1 Princip fungování CAES .....	29
7.2 Větrná energie a CAES systémy .....	30
<b>8 Statistické vyhodnocení rychlosti větru</b> .....	<b>31</b>
8.1 Zpracování hodnot pro konkrétní větrnou elektrárnu .....	31
<b>Závěr</b> .....	<b>34</b>
<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>36</b>
<b>Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>37</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek</b> .....	<b>38</b>

## Úvod

Energie nás v současnosti provází na každém kroku. V posledních dvou stoletích prošlo lidstvo ohromným vývojem. Hlavním faktorem, který tento vývoj umožnil, byla schopnost lidstva využívat neobnovitelné zdroje energie, jako jsou fosilní a jaderná paliva.

Používání fosilních paliv je spojeno s velkými ekologickými riziky (skleníkový efekt, radioaktivní zamoření). Další nevýhodu fosilních paliv ukázala tzv. první ropná krize, která ukázala křehkost stability lidské společnosti založené na vysoce využívaných, ale nerovnoměrně rozložených zásobách fosilních paliv ve světě. Zároveň se ukázalo, že světové zásoby fosilních paliv nejsou nevyčerpatelné. Při současné situaci, kdy dochází extrémně rychlému čerpání fosilních paliv, a tím díky uvolňování CO<sub>2</sub> k nárůstu skleníkového efektu, poškozování přírody a životních podmínek, může být ohrožena sama budoucnost lidstva.

Jedním z řešení snížení závislosti na fosilních palivech je obrátit svou pozornost na využívání energie z obnovitelných zdrojů. Byl by to návrat k energetické politice před průmyslovou revolucí, kdy lidstvo čerpalo energii právě pouze z obnovitelných zdrojů.

V posledním desetiletí působením velkého ekologického lobby si lidstvo začalo uvědomovat zranitelnost našeho ekosystému, lidé jsou mnohem více informovaní o ekologických rizicích téměř všech aspektů jejich života. Nejdůležitějším ovšem je, že lidé začali měnit svůj život na více přátelský k životnímu prostředí. Tato snaha nemohla být přehlédnuta vládami, které se začali ani ne tak s přesvědčením, ale spíše jako čirý populismus prosazovat ekologičtější výrobu energií a také její hospodárnější spotřebování. Díky ekonomické podpoře, kterou nabízí téměř každá vyspělá země, se stávají obnovitelné zdroje zajímavou investicí. Studie významných ekonomů ukázaly, že v několika následujících letech bude, odvětví zabývající se obnovitelnými zdroji, nejrychleji rostoucí segment v energetickém průmyslu.

Obnovitelné zdroje energie představují v našich podmínkách různé podoby slunečního záření. Energie vody, větru, biomasy, i teplo ve vzduchu existuje jen díky tomu, že na Zemi neustále dopadá energie ze Slunce. Této energie je milionkrát více než jsme schopni spotřebovat. K obnovitelným zdrojům se vracíme jednak z důvodu že Slunce svítí zadarmo. Větrná či vodní elektrárna zadarmo nejsou, ale jakmile se jednou postaví, jsou schopné dávat energii velmi lacino. Dalším důvodem je relativní nezávislost zdrojů. Kotle na biopalivo, sluneční kolektory apod. budou fungovat vždy, i když nic ostatního ne. Zařízení pro využití obnovitelných zdrojů jsou svou povahou malá, lokální, to znamená, že peníze za energii zůstávají v regionu. Ještě v úvodu vymezíme termín obnovitelné zdroje energie. Na rozdíl od fosilních paliv se obnovitelné zdroje nazývají obnovitelné proto, že se díky slunečnímu záření a dalším procesům neustále obnovují. Je možné říct, že z lidského hlediska jsou nevyčerpatelné.

Jednou z hlavních částí této práce je rozbor možností využití větrné energie. Větrná energie trpí velkým nešvarem a to je její nestálost. Většinou jsou největší zisky větrných elektráren v dobách mimo denní špičku spotřeby. Tento problém se podařilo, alespoň pro některé lokality, vyřešit pomocí systému, který v mnohém připomíná přečerpávací vodní elektrárny. V krátkosti se jedná o systém, kdy do podzemních kavern stlačují vzduch kompresory, které jsou poháněny elektrickou energií z větrných elektráren. Při energetické špičce se stlačený vzduch přes turbíny vypouští, a tím se do sítě dodává potřebná elektrická energie.

# 1 Obnovitelné zdroje energie

## 1.1 Co jsou obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje energie (OZE), jsou energetické zdroje, které jsou v přírodě volně k dispozici a jejich zásoba je nevyčerpatelná, nebo se obnovuje v takovém čase srovnatelné s jejich využíváním – na rozdíl od fosilních či jaderných energetických zdrojů, které se vytvářely v rozpětí několika geologických období, ale mohou být vyčerpány během několika desítek let.

Obnovitelné zdroje je možno rozdělit do tří základních skupin podle základní energie, na které jsou založeny. Jsou to zdroje založené na rotační a gravitační energii Země a okolních vesmírných těles (přilivová energie), tepelné energii zemského jádra a energii dopadajícího slunečního záření.

Tato energie je využitelná přímo – jako energie přímého či rozptýleného slunečního záření nebo v transformovaných formách – energie vody, větru, biomasy atd.

Tab. 1.1 Základní rozdělení v současnosti využívaných obnovitelných zdrojů energie [1]

Základní obnovitelný energetický zdroj	Rotační 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

## 1.2 Všeobecné výhody a nevýhody obnovitelných zdrojů energie

Oproti klasickým zdrojům při využívání OZE nevznikají jaderné odpady, škodlivé emise (zejména oxidů síry a dusíku, způsobující tzv. „kyselé deště“) a hlavně oxid uhličitý. Plyn spojený s tzv. skleníkovým efektem a hrozcími globálním oteplováním.

Obnovitelné zdroje jsou využívány decentralizovaně, čímž je omezena závislost na centralizované výrobě a dodávce energie ve velkých elektrárnách, teplárnách a výtopnách, a je zároveň i zvýšena bezpečnost a spolehlivost dodávky energie. Využití OZE má také příznivé sociální dopady, vznikají nová pracovní místa při výrobě technologií na využití OZE a při přípravě a zpracování paliv založených na obnovitelných zdrojích (pěstování energetických rostlin a plodin, výroba pelet apod.). [9]

Hlavní nevýhodou obnovitelných zdrojů je proti klasickým zdrojům energie jejich malá plošná nebo prostorová hustota, a proto zařízení stejné kapacity ve srovnání s klasickým, je mnohem větší, technologicky náročnější a také dražší. [9]

Energie dodávaná obnovitelnými zdroji, je v některých případech časově proměnnou veličinou závislou na přírodních podmínkách (sluneční svit, vítr), a je nutné ji akumulovat. Ekonomická efektivnost a konkurenceschopnost s klasickými zdroji z hlediska ceny energie vyrobené z obnovitelných zdrojů, jsou hlavními překážkami bránícími jejich širšímu využití.

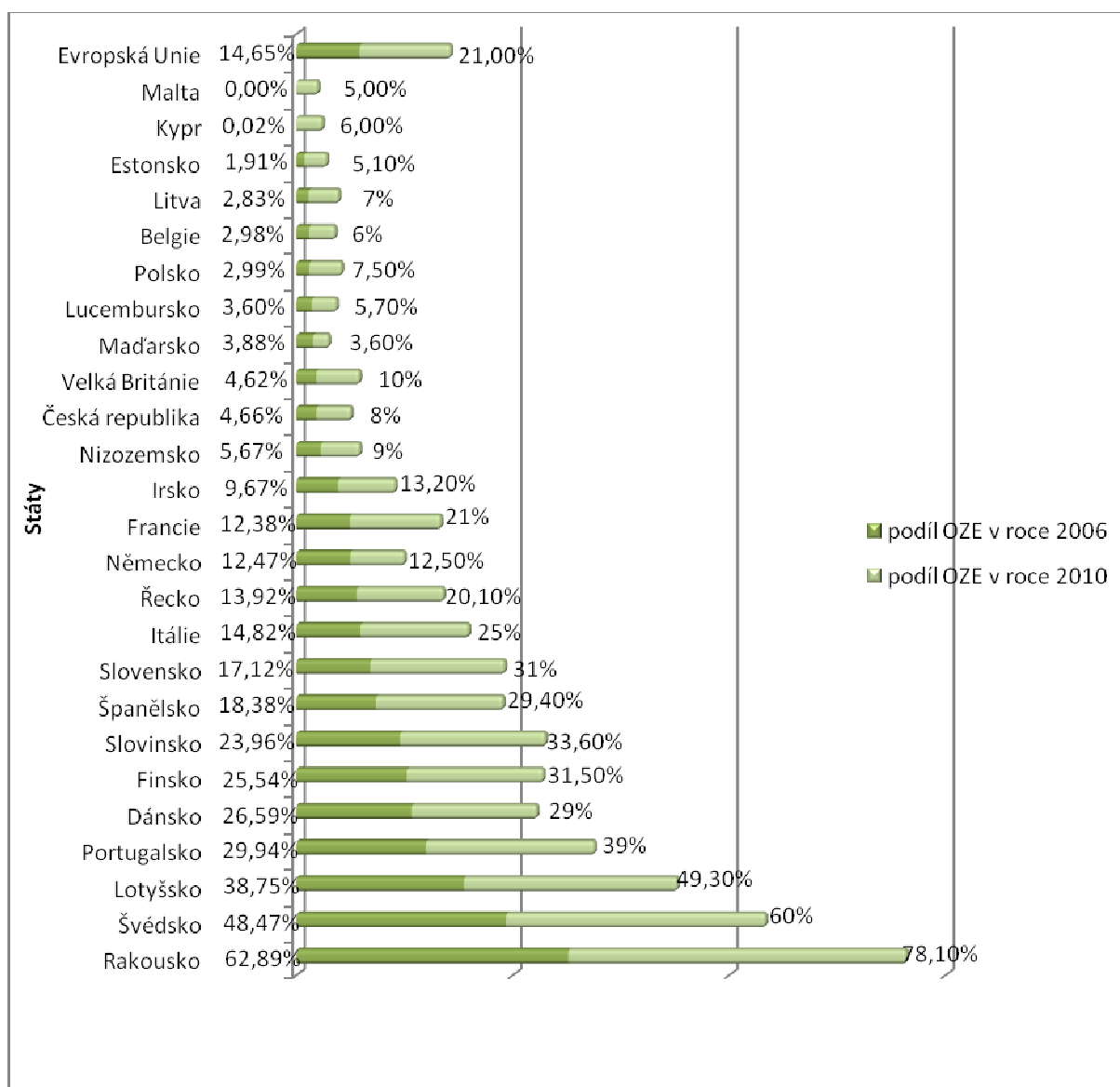
### **1.3 Možnosti využívání obnovitelných zdrojů v České republice**

Hospodářství v České republice se vyznačuje nepříznivou skladbou energetických zdrojů. Hlavní podíl mají tuhá paliva, která negativně ovlivňují životní prostředí. Důvody pro malé zastoupení OZE v české energetice jsou zejména:

- dlouhodobá orientace na tradiční tuzemský zdroj energie – uhlí a jadernou energii
- nízké ceny tradičních energetických zdrojů, zejména uhlí
- malý potenciál obnovitelných zdrojů v ČR

V roce 2007 činil podíl obnovitelné energie na primárních energetických zdrojích 4,66%, tento odhad se vztahuje k energii obsažené v použitém palivu a nezohledňuje účinnost zařízení. V následující tabulce se můžeme přesvědčit, že Česká republika nepatří k příliš environmentálně přátelským zemím v rámci Evropské Unie. A podle energetických cílů naší vlády v blízké budoucnosti nemůžeme očekávat výraznou změnu. Na Obr. 1.1 můžeme porovnat zastoupení OZE v jednotlivých zemích EU. [9]

Obr. 1.1 Podíl OZE ve státech EU [1]



#### 1.4 Česká státní energetická koncepce

Státní energetická koncepce byla schválena vládou České republiky dne 10. 3. 2004. Koncepce definuje priority a cíle České republiky v energetickém sektoru a popisuje konkrétní realizační nástroje energetické politiky státu, popisuje výhled až do roku 2030.

Využití obnovitelných zdrojů energie se stává jednou z priorit energetické politiky. V souladu se záměrem Evropské Unie, je nutné využít optimálně obnovitelných zdrojů energie k posílení nezávislosti na vnějších zdrojích, ke zvýšení spolehlivosti energetických systémů, ke snížení škodlivých účinků energetiky na životní prostředí. Předpokládá zvýšení procentuálního zastoupení obnovitelných zdrojů na energetické bilanci i přes očekávaný vysoký růst spotřeby energií. [9]

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, stavbu větrných elektráren apod. Tab. 1.2 shrnuje státní energetickou koncepci ve výrobě elektřiny. Tab. 1.3 ukazuje celkový podíl OZE na spotřebě energie v následujících letech.

Tab. 1.2 Struktura produkce elektrické energie zakotvená ve státní energetické koncepci [9]

TWh	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Celková produkce elektřiny	73,73	78,20	82,37	80,85	84,95	87,49	89,17
Produkce z 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
Malé vodní elektrárny	0,52	0,80	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Větrná energie	0,01	0,57	0,93	1,01	1,25	1,44	1,44
Sluneční energie	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. 1.3 Celkové energetické zastoupení obnovitelných zdrojů [9]

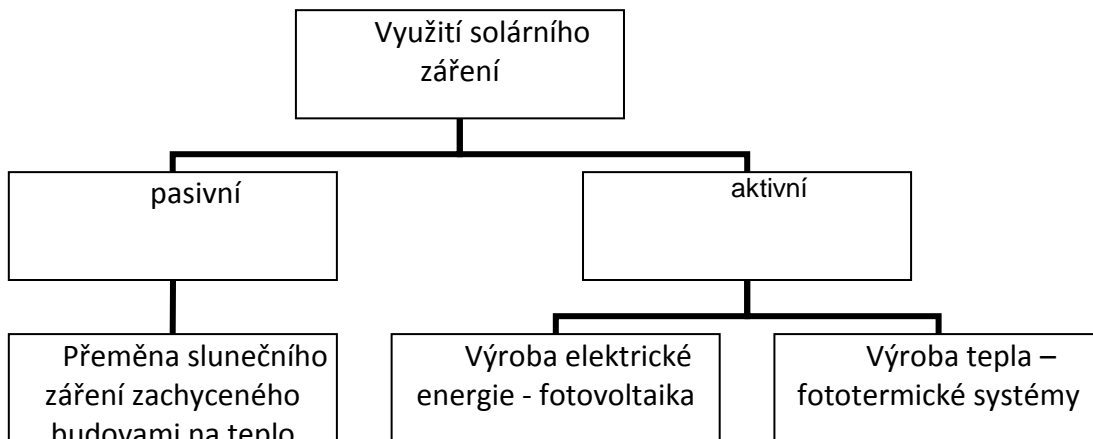
% z btto spotřeby elekt.	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Obnovitelné zdroje	2,7	6,2	11,3	12,1	12,9	15,4	16,8

## 2 Sluneční energie

Slunce je základním a nepostradatelným zdrojem energie pro celou naši planetu. Množství energie, které získává zemský povrch ze slunečního záření, převyšuje přibližně 15000krát současnou světovou spotřebu energie. Slunce tedy představuje velký zdroj energie, který je potřeba využít. Podle časopisu Science bude sluneční energie v budoucnosti nerychleji rostoucím způsobem výroby čisté energie. Dalším zajímavým poznatkem je, že pokud lidstvo pokryje přibližně 1% pouští slunečními články s 15 % účinností, vyrobí více elektrické energie, než všechny současné elektrárny světa. [3]

Sluneční záření lze využívat přímo k produkci tepla, chladu a elektřiny. Nepřímé využívání sluneční energie spočívá ve známém zákonu o zachování energie, sluneční energie se přeměňuje na jiné druhy energií jako je energie vodních toků, větru, mořských vln a tepelnou energii prostředí. Nejvýznamnější využití sluneční energie, alespoň v ČR, je využití sluneční energie nashromážděné v rostlinách a jiné živé hmotě – biomase.

Existuje několik možností využití solárního záření, shrnuje je následující schéma:

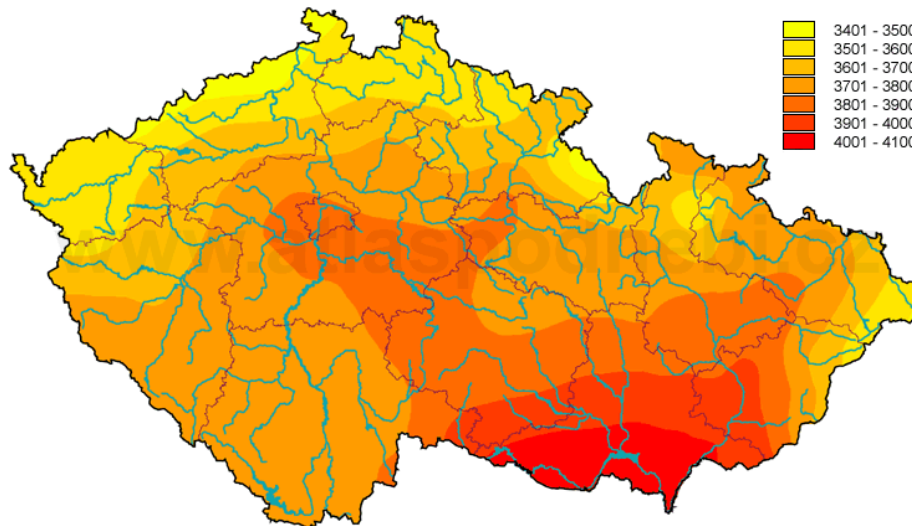


## 2.1 Podmínky ČR a potenciál pro další využití

Podle údajů Solární ligy bylo v ČR v roce 2006 instalováno 80 000 m<sup>2</sup> solárních termických systémů a 300 kW fotovoltaických systémů.

Roční příkon sluneční energie na horizontální plochu se pohybuje od 1000 do 1250 kWh/m<sup>2</sup>. Na Obr. 1.2 je zaznamenáno globální sluneční záření v České republice dopadající na vodorovnou plochu o velikosti 1 m<sup>2</sup> za rok a dává tak představu o množství využitelné sluneční energie. V oblastech se znečištěnou atmosférou je nutné počítat s poklesem o 15 %-20 % naopak pro oblasti s nadmořskou výškou nad 700 m n. m. je 5 % nárůst. [3]

Obr. 2.1 Mapa globálního slunečního záření na území ČR (MJ/m<sup>2</sup> za rok)[10]



Průměrný počet hodin solárního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje kolem 1460 h/rok.

Nejmenší počet hodin má severozápad území. Směrem na jihovýchod počet hodin narůstá.

## 2.2 Využití přímého slunečního záření

### 2.2.1 Výroba tepla – fototermické systémy

Výrobu tepla je možno zajistit pomocí:

- aktivních solárních systémů
- pasivních solárních systémů

#### Aktivní solární systém

Je to systém, jehož sběrné zařízení a zařízení pro akumulaci energie jsou řešeny jako samostatné instalace, které nejsou pevně vázány na určité místo. Energie se transportuje pomocí rozvodného systému. Systém se musí napájet energií (elektrinou k pohonu čerpadel a ventilátorů). Fototermické aktivní solární systémy se nejčastěji využívají pro ohřev teplé užitkové vody, přitápění budov a v poslední době hlavně na ohřev vody v zahradních bazénech. [3]

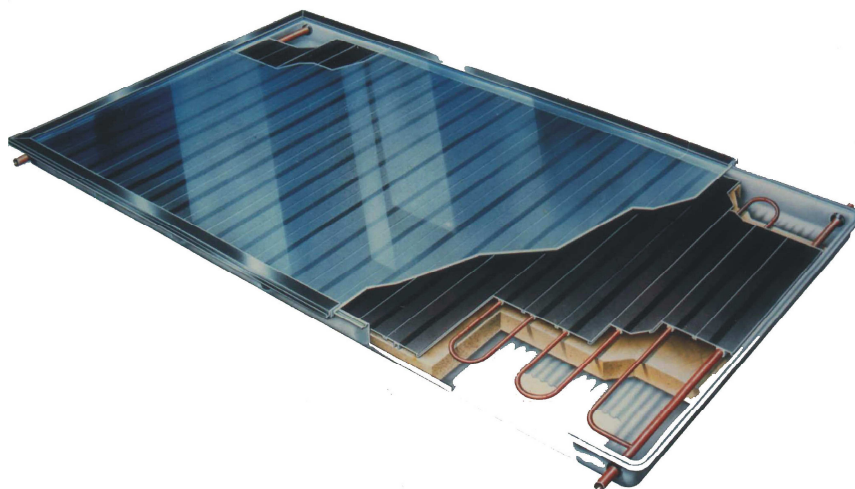
Nejčastěji se používají systémy s kapalinovými solárními kolektory. Ty transportují energii slunečního záření pomocí teplotnosné kapaliny, která tuto energii absorbuje a zároveň ji transportuje na místo potřeby, nebo se kumuluje v zásobníku pro pozdější využití.

Ploché kapalinové kolektory, například obr. 2.2, jsou vybaveny hliníkovým nebo měděným absorberem, obvykle pokrytým selektivní vrstvou pro zlepšení absorpce slunečního záření a tím i zvýšení účinnosti. Solární kolektory nezpracovávají pouze přímé sluneční záření, ale tak záření rozptýlené (dokážou pracovat i v době, kdy je slunce pod mrakem). [3]

Účinnost plochých kolektorů se obvykle pohybuje kolem 70 %. Lepší účinnost mají kolektory vakuové, horší mají naopak kolektory plastové, které jsou však výhodné svou nízkou cenou.

Sluneční energii je možné dlouhodobě akumulovat v zásobnících (vodních, štěrkových aj.). Nejpoužívanější je kumulace krátkodobá spolu s pružnými otopnými systémy, které snižují výkon, pokud jsou v místnosti solární zisky prosklením. [3]

Obr. 2.2 Řez kapalinovým kolektorem [3]



## **Pasivní solární systém**

Pasivní solární systémy nepotřebují žádné zařízení na transport energie, pasivní systém pracuje pouze s energií dodávanou okolním prostředím. Pasivní systém je každá budova navrhnutá tak, aby dokázala zachycovat sluneční energii. Používané prvky jsou zejména prosklené plochy na jižní stěně budovy, zimní zahrady, velká solární okna nebo tzv. Trombeho stěny.

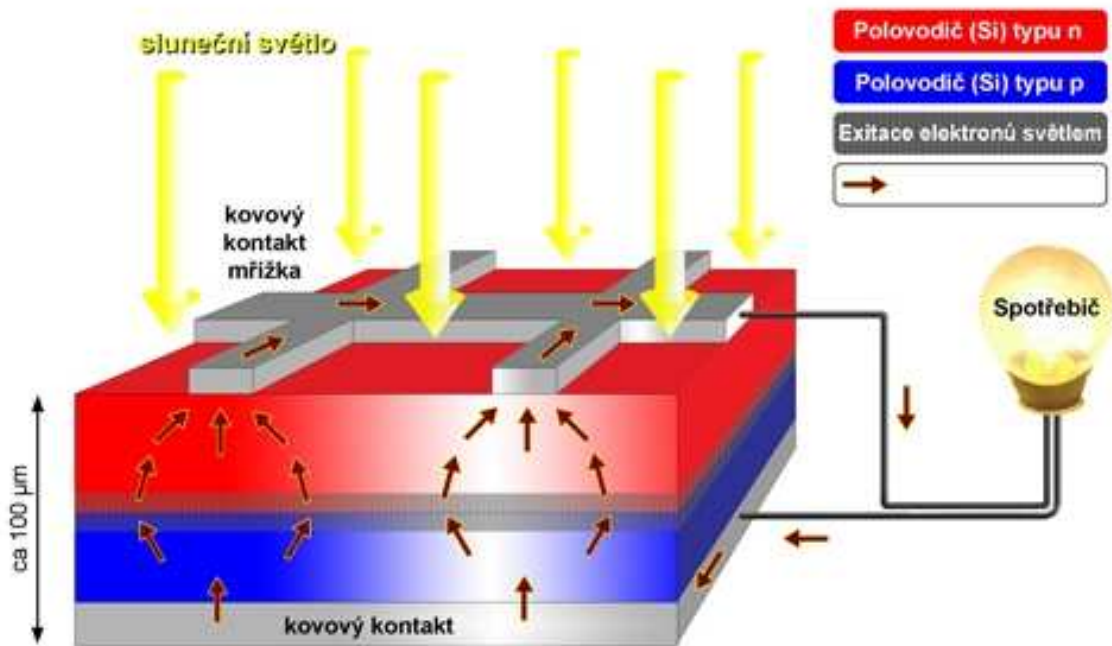
### **2.2.2 Využití elektrické energie – fotovoltaické systémy**

Fotovoltaické systémy jsou založeny na fotovoltaické přeměně. Při tomto fyzikálním ději dochází při dopadu slunečního záření na polovodičový fotovoltaický článek k přeměně absorbovaného slunečního záření na stejnosměrný elektrický proud. Základem je solární článek. [3]

Historie solárního článku se začala datovat rokem 1839, kdy francouzský experimentální fyzik Edmund Becquerel při pokusech s 2 kovovými elektrodami umístěnými v elektrovedivém roztoku zjistil, že při osvětlení zařízení vzrostlo na elektrodách napětí. V roce 1877 byl objeven fotovoltaický efekt na selenu (W. G. Adams a R. E. Day) a vyroben první článek. Důležitým krokem v historii byl objev způsobu růstu monokrystalu křemíku polským vědcem Czochralským v roce 1918. Přestože byl fotovoltaický efekt postupně objeven i u jiných prvků (sirník kadmia, oxid mědi), křemík se ukázal jako nejvýhodnější. Za vynálezce křemíkového solárního článku bývá označován Američan Russel Ohl (1941).

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, kde existuje elektrické pole vysoké intenzity. Toto pole pak uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikající absorpcí světla. Vzniklý elektrický proud odvádějí z článku elektrody. Tento princip je znázorněn na Obr. 2.3.

Obr. 2.3 Princip fungování solárního článku [3]



Účinnost přeměny je teoreticky až 37%, v laboratořích se dosahuje 28% a nejlepší komerční výrobky dosahují účinnosti 20%. Běžně dostupné články mají účinnost v rozmezí 7-18% (monokrystalické 12-18%, polykrystalické 11-15% a PN sloučeniny 10-20%). Jedním z nejvíce perspektivní materiálů se jeví Arsenid galia (GaAs) u něj dosahuje účinnost až 20% (velká odolnost proti kosmickému záření, schopnost pracovat bez snížení efektivity i při teplotách nad 100°C) kombinací s klasickými křemíkovými články, které jsou zachyceny na Obr. 2.4, lze dosáhnout účinnosti dokonce 30%. Důvodem je rozdílné spektrum záření zachycované těmito materiály. Křemík zachycuje oblast viditelného světla směrem k modré barvě. Arsenid galia pohlcuje oblast spektra směrem k červené.

S využitím fotovoltaických systému se donedávna počítalo pouze pro aplikace, kde by byly velké náklady na zabezpečení elektrické energie z veřejné sítě, v důsledku nutnosti výkopových prací apod. Vzhledem k technickému pokroku, snižování nákladů na fotovoltaické panely, a vzhledem k výhodné výkupní ceně elektřiny z fotovoltaických zařízení platné od roku 2006, může být výroba elektrické energie s pomocí fotovoltaiky ekonomicky návratnou investicí.

Obr. 2.4 Klasický křemíkový solární článek [8]



### 3 Biomasa

Energie získávána z biomasy je historicky nejstarším zdrojem energie. Oheň sloužil k získávání tepla již v době kamenné. Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. V souvislosti s energetickým využitím zahrnuje tento pojem zejména palivové a odpadní dřevo, slámu a další zemědělský a lesní odpad, záměrně pěstované dřeviny, byliny či plodiny, ale také odpady biologického původu. Mezi ty to odpady patří například kejda hospodářských zvířat, kaly z čistíren odpadních vod a produkty jejich zpracování. Základní výhodou biomasy je její 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  $\text{CO}_2$  uniklý do atmosféry při spalování pohlcen nově dorůstající biomasou, kterou je možno dále energeticky využít. [4]

#### 3.1 Energetické využití biomasy

Z energetického hlediska je i dnes základním a nejčastějším konečným využitím biomasy její spalování. Biomasa je podle své formy spalována přímo nebo jsou spalovány plynné či kapalné produkty jejího zpracování. Přehled základních možností jejího zpracování je shrnut v Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Základní rozdělení energetického využití biomasy[9]

	Přímé spalování	Chemické procesy - suché			Chemické procesy - mokré	
		Fyzikálně chemické zpracování	Zplyňování	Pyrolýza	Alkoholové kvašení (fermentace)	Metanové kvašení
Energetické technické plodiny	***	***	*	*	***	**
Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby	***	*	**	**		**
Odpady z živočišné výroby	*		*	*		***
Kaly z čistění odpadních vod	*		*	*		***
Komunální organické odpady	***		*	**		***
Odpady z dřevařských provozů	***		**	**		
Lesní odpad	***		*	*	*	
Organické odpady z potravin		** (oleje)				***
Získané produkty	Teplo vázané na nosič	Olej metyl-ester (bionafta)	Hořlavý plyn (metan)	Pevné palivo, dehtový olej, plyn	Etanol, metanol	Metan (bioplyn)

Legenda: aplikace technologie v praxi

\*technicky zvládnutá technologie, avšak v praxi nepoužívaná

\*\*vhodná jen pro určité technicko-ekonomické podmínky

\*\*\*často používaná technologie

### 3.1.1 Využití tuhých biopaliv

Pro energetické účely jsou v současnosti nejpoužívanější tuhá biopaliva: odpady 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. [2]

### 3.1.2 Využití kapalných biopaliv

Kapalná biopaliva jsou získávána druhotně zpracováním pěstovaných energetických rostlin a používají se jako palivo pro spalovací motory, aditivum do kapalných paliv či pro výrobu biologicky odbouratelných mazadel. [2]

**Bionafta** – neboli metylester rostlinných olejů vzniká tzv. esterifikací. Základní surovinou pro výrobu bionafty je dnes v ČR řepka olejná, lze ji také vyrábět z použitých rostlinných olejů. Její výhodou je rychlá biologická odbouratelnost a samomazací schopnost. Na sítích čerpacích stanic pod pojmem bionafta najdeme tzv. směsnou bionaftu 2. generace, je směs 30% bionafty a 70% ropné nafty. Díky dotacím vlády a nižší spotřební dani je levnější než klasická motorová nafta.

**Etanol** – vyrábí se alkoholovým kvašením a následnou destilací a je možno je získat z rostlinných a živočišných surovin s obsahem cukrů a škrobů. Využívá se přímo jako palivo pro upravené spalovací motory, nebo jako alternativní palivo pro stacionární zařízení, používané k výrobě tepla. Může být i aditivem do běžných motorových paliv. [4]

### 3.1.3 Využití bioplynu

Plynné biopalivo – bioplyn, je druhotným palivem, vyrobeným z odpadní biomasy. Bioplyn vzniká při rozkladu organických látek bez přístupu kyslíku v uzavřených nádržích – reaktorech. Bioplyn je směsí plynu tvořenou z 50-80% hořlavým metanem, z 20-40% oxidem uhličitým. Výhřevnost bioplynu je závislá na obsahu metanu. Jako surovina pro výrobu bioplynu se používají odpady živočišné i rostlinné výroby – v největší míře se používá kejda (tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat promísené s vodou)

Bioplyn se používá jako technologické palivo v provozovnách související s jeho výrobou, pro výrobu tepla v plynových kotlích a také jako palivo pro stacionární motory kogeneračních jednotek, vyrábějících teplo a elektrickou energii. [5]

## 4 Energie vodních toků

Potřeba hledat nové alternativní zdroje a zdokonalovat již známé obnovitelné zdroje, je velmi důležitá. Takovým stále se obnovujícím zdrojem energie je koloběh vody v přírodě. Nejběžnější možností využití vodní energie je výroba energie elektrické. Takto získaná energie je ekonomicky výhodná a zároveň její výroba není ekologickou zátěží. [7]

Po monstrózních stavebních akcích při výstavbě velkých vodních elektráren v průběhu 20. století a jejich zásazích do krajiny, se nyní projevuje návrat k tzv. malým vodním elektrárnám. Převážná část hydropotenciálu, kterou bude ještě možno využít, je soustředěn na menších tocích, kde pro již nejsou podmínky pro výstavbu velkých elektráren VE (nad 10 MW).

Technicky využitelný potenciál MVE v České republice je 1570 GWh.rok<sup>-1</sup>. V současné době činí využitý technický potenciál v MVE přibližně 700 GWh.rok<sup>-1</sup> (cca 45%). Z těchto čísel lze usuzovat, že je v ČR stále dostatek míst pro vybudování MVE. Realita je bohužel jiná. Většina výhodných míst je zabrána elektrárnami v původních mlýnech, hamrech a pilách. Spíše než budovat nové MVE je potřeba nahradit staré turbíny účinnějšími.

Z energetického hlediska rozložení MVE na našem území netvoří kompaktní skupinu, ale jsou rozptýleny po celém území. Právě to je výhodné pro připojování do energetické sítě, kde nezatěžují přenosovou soustavu. [7]

### 4.1 Technické řešení malých vodních elektráren

Malá vodní elektrárna je podle ČSN 73 6881 elektrárna s instalovaným výkonem do 10MW v EU do 5MW, jako zařízení na přeměnu energie vodního toku na elektrickou energii. Malé vodní elektrárny je v zásadě možno rozdělit na:

- **průtočné MVE**-bez akumulace vody, využívají přirozený průtok až do maximální hltnosti turbín
- **zádržné MVE**(akumulační)- s přirozenou nebo umělou akumulací, se schopností odběru vody podle potřeby energie po určitý čas. [6]

Z hlediska velikosti spádu se MVE dělí na:

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

Základními stavebními částmi malé vodní elektrárny jsou:

- **vzdouvací zařízení**-slouží ke zvednutí hladiny toku a usměrnění vody do přivaděče, jsou to jezy a přehradní hráze
- **přivaděče** - mohou být beztlakové(náhony, kanály) nebo tlakové (ocelové a železobetonové potrubí)
- **česle** – zhotovované převážně jako mříž z ocelové pásoviny, zabraňují nečistotám unášeným vodou, aby vnikly do turbíny
- **strojovna elektrárny** – zde je umístěno strojní a elektrotechnické zařízení elektrárny
- **stavební část turbíny** - jsou to takové části vodní elektrárny, které spolu se strojní součástí tvoří elektrárnu jako celek základy, případně betonová spirála
- **technologická část MVE** zahrnuje soustrojí skládající se z vodní turbíny, převodu, generátoru (většinou asynchronního, výjimečně synchronního) a zařízení na ovládání soustrojí. Nejčastěji jsou používány turbíny typu Bánki (pro spády od 1 do 50m a průtoky od 50l/s do několika m<sup>3</sup>/s) Kaplanova turbína (spády od 1 do 20m a průtoky 0,1 až několik m<sup>3</sup>/s) a pro vyšší výkony Francisova turbína (pro spády od 10m a poměrně vysoké průtoky)
- **odpadní kanály**-vracejí vodu do původního koryta, často jsou krátké. [7]

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. Účinnosti turbín jsou 85 až 92%, převodů 97 až 100%, generátorů 94% a transformátorů cca 98%. Celková účinnost MVE pak činí 86% a dosahovaná 75 až 76%. [7]

## 4.2 Ekologické aspekty malých vodních elektráren

Pokud je malá vodní elektrárna provozována dle příslušných směrnic, nemůže škodit, naopak přispívá životnímu prostředí nejen výrobou čisté energie, ale také čištěním a provzdušňováním vody a často pomáhá k celkové revitalizaci lokality. [7]

Mezi další pozitivní vlastnosti MVE můžeme zařadit následující vlastnosti:

- neznečišťuje ovzduší, povrchové ani podzemní vody
- neprodukuje odpad
- je nezávislá na importu surovin ze zahraničí
- jsou velmi bezpečné
- pružným pokrýváním spotřeby a schopnosti akumulace energie zvyšuje efektivnost elektrizační soustavy
- vysokým stupněm automatizace přispívá k vyrovnání změn na tocích

Hlavním ekologickým pozitivním aspektem je skutečnost, že každá kilowatthodina vyrobené v této elektrárně ušetří přibližně 1 kg uhlí, průměrně tak ročně nahradí asi 3 miliony tun hnědého uhlí. Pokud by byl využit plně energetický potenciál českých řek, tak toto množství může být dvojnásobné. Nicméně při návrhu, realizaci a zejména provozu je

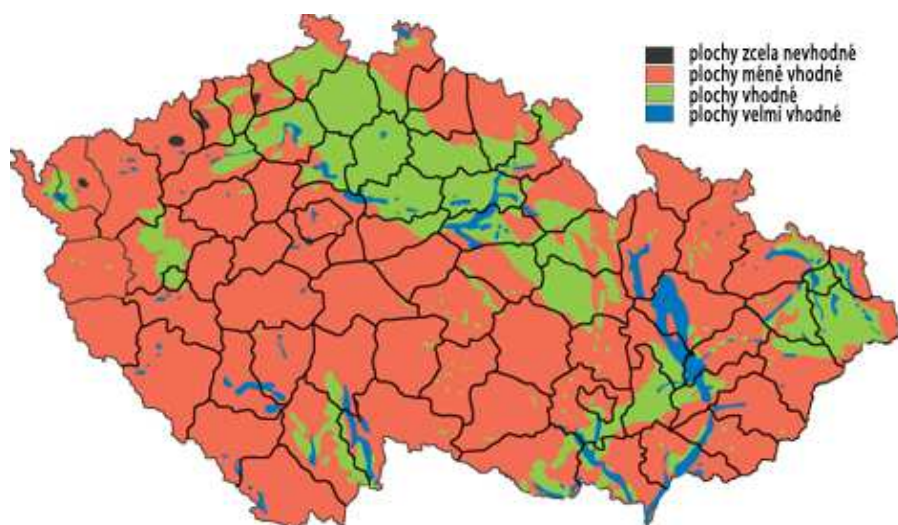
nutno respektovat ekologická hlediska, aby se minimalizovaly negativní vlivy na životní prostředí. [6]

## 5 Tepelná energie zemského pláště, podzemních vod a energie prostředí

Geotermální energie je projevem tepelné energie zemského jádra, která vzniká rozpadem radioaktivních látek a působením slapových sil. Geotermální energie je vlastně nejstarší energií na naší planetě Zemi, protože je to energie, kterou získala Země při svém vzniku z mateřské mlhoviny, následnými srážkami kosmických těles. Jejimi projevy jsou erupce sopek a gejzírů, horké prameny či parní výrony. Využívá se ve formě tepelné energie (pro vytápění), či pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Obvykle se řadí mezi obnovitelné zdroje energie, nemusí to však platit vždy, některé zdroje geotermální energie jsou vyčerpitelné v horizontu desítek let. [1]

Území České republiky není příliš vhodné pro významné využívání zdrojů geotermální energie, vhodnost konkrétní lokality se dá určit z následujícího atlasu na obr. 5.1. Nejvíce rozšířeným způsobem využitím geotermální energie v České republice je tzv. tepelné čerpadlo. Tepelné čerpadlo se používá především na vytápění budov. [1]

Obr. 5.1 Atlas geotermálního členění ČR [10]



## 6 Větrná energie

Energie větru je, podobně jako energie vody, využívána člověkem již odedávna. V Čechách, na Moravě a ve Slezsku se využívala větrná energie již od středověku. Nejvíce pak v 18. a 19. století. Svědčí o tom nejméně 260 známých lokalit, kde dříve stávaly větrné mlýny.

Větrná energie vzniká jako důsledek dopadající sluneční energie. Vítr je proudění vzduchu, které vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře. Pokud není uvedeno jinak, rozumí se pod pojmem vítr pouze horizontální složka proudění vzduchu.

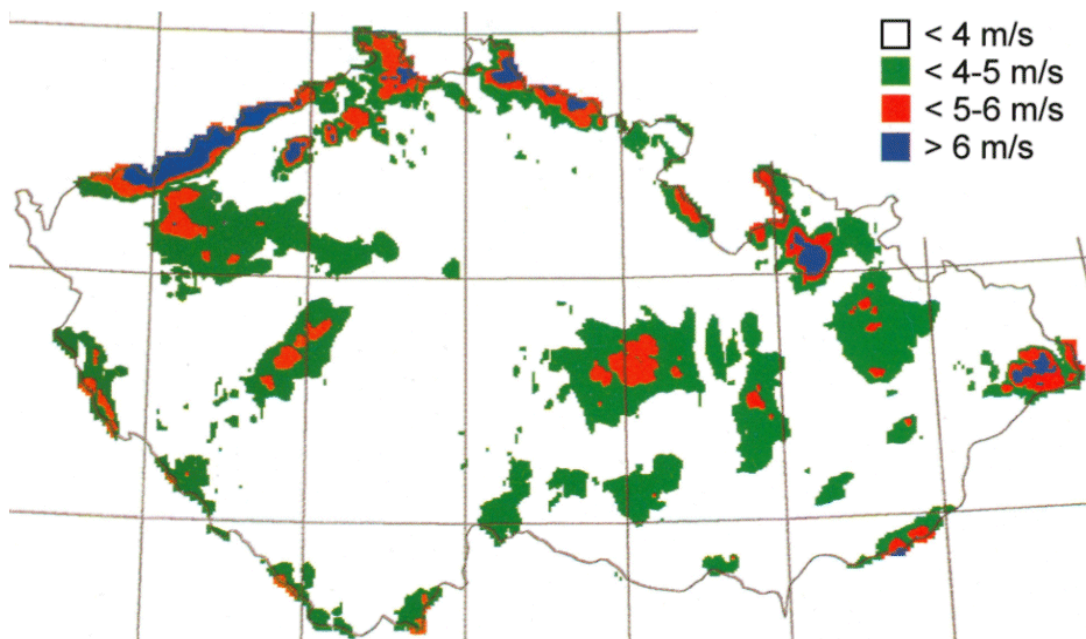
Větrná energie se využívá dvojnásobným způsobem. Prvním je přeměna kinetické energie větru na mechanickou práci, např. čerpání vody nebo dříve známé mletí obilí. Druhým způsobem je přeměna energie větru na elektřinu, kterou je možné dodávat do sítě nebo využívat v dané lokalitě.

## 6.1 Potenciál využití větrné energie v ČR

Přestože naše republika nemá tak výhodné podmínky pro využití větrné energie jako přímořské státy (např. Dánsko, Velká Británie, Nizozemsko), existuje i u nás ve vnitrozemských podmínkách řada vhodných lokalit, kde lze instalovat větrné elektrárny, a to i velkých výkonů. Vhodnost místa se dá orientačně určit z tzv. větrné mapy ČR, která je na obr. 6.1. Přírodní podmínky (za hranici využitelnosti se pro velké větrné elektrárny považuje průměrná roční rychlost větru 5 m/s ve výšce 10m nad terénem) dovolují vybudovat mimo chráněné oblasti cca 900-1500 větrných elektráren. [12]

Technický, dostupný a využitelný potenciál větrné energie byl hodnocen řadou studií. Výsledky použitelného potenciálu se značně liší a pohybují se od 500 do 3000 MW instalovaného výkonu. Častěji se objevují výsledky bližší spodní hranici rozsahu.

Obr. 6.1 Větrná mapa ČR [10]



## 6.2 Rozdělení používaných větrných turbín

Množství vyrobené elektřiny velmi ovlivňuje typ navržené větrné elektrárny a její výkon. Větrné elektrárny se liší výtěžností pro určité parametry větru, což vyplývá z konstrukce rotoru, typu generátoru a regulace. Nejčastější jsou 2 typy regulace:

- **regulace stall (pasivní):** rotor elektrárny má pevné listy a pro regulaci používá odtržení proudnice vzduchu od listu rotoru při určité rychlosti

- **regulace pitch (aktivní):** využívá natáčení celého listu rotoru podle okamžité rychlosti větu tak, aby byl celkový náběh větrného proudu v daném okamžiku optimální. Výhodou je vyšší výroba elektřiny zejména při nízkých rychlostech větru.

Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na dva druhy:“

### 6.2.1 Vztlkové motory

#### a) s vodorovnou osou otáčení

Nejrozšířenější typ, pracují na principu letecké vrtule, kdy vítr obtéká lopatky. Rozdíl rychlostí a tlaků na opačných stranách lopatky vyvolá vznik vztlkové síly, která roztáčí rotor. Na obr. 6.2 je tento princip osvětlen. Při stejném průměru rotoru v zásadě platí nepřímá závislost počtu lisů a frekvence otáčení. Ukázalo se, že nejvýhodnější jsou tři listy, byly však vyvinuty i typy s jedním nebo dvěma listy. [11]

*Obr. 6.2 Princip činnosti motoru s vodorovnou osou otáčení [11]*



#### b) se svislou osou otáčení (typ Darrieus)

Výhodou těchto elektráren je vyšší rychlost otáčení a tím i větší účinnost, není je potřeba přetáčet do směru převládajícího směru větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem většímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Nevýhodou je i malá výška rotoru nad terénem, tj. i menší rychlost větru. V praxi se téměř nepoužívají. [11]

Obr. 6.3 Darrieusův motor [8]



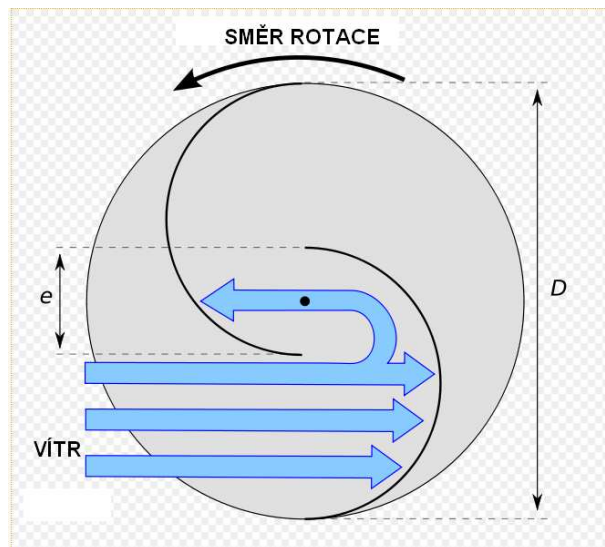
## 6.2.2 Odporové motory

### a) typ Savonius

Turbína využívá rozdílného koeficientu odporu proudícího média, působícího na vydutou a vypuklou plochu, jak je zřejmé z obr 6.4. Rotor běžné Savoniovy turbíny je tvořen dvojicí či trojicí lopatek polokruhovitého nebo ledvinovitého tvaru. Vnitřní okraje lopatek zasahují až za střed rotoru, a tak umožňují průtok média mezi jejich zadními stranami. Osa otáčení je kolmá na směr proudění.

Savoniova turbína má malou účinnost. Je však poměrně jednoduchá. Pokud je větrná Savoniova turbína postavena se svislou osou, pracuje nezávisle na směru větru. Nevýhodou dvoulopatkové Savoniovy turbíny je existence mrtvého úhlu. To se dá vyřešit spojením několika rotorů s různě natočenými lopatkami, nebo šroubovitým tvarem lopatek. [11]

Obr. 6.4 Princip činnosti Savionova motoru [8]

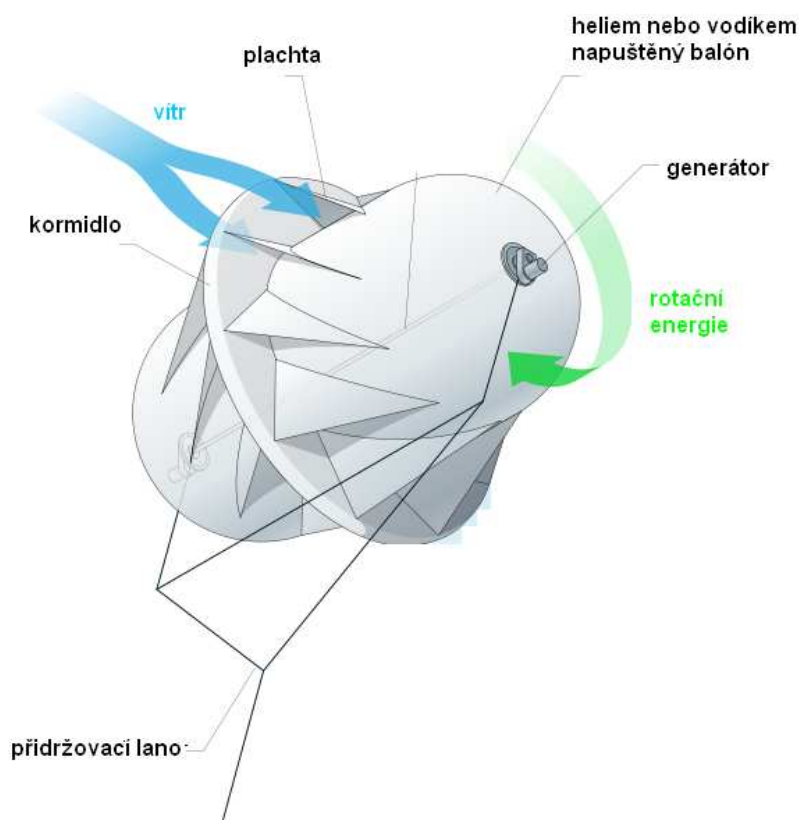


#### b) letící větrná turbína

Tato turbína se vznáší zavěšena na vlečných laněch. Byla vyvinuta Bryanem Robertsem, profesorem na University of technology v Sydney. Jak už napovídá název turbína, nepotřebuje žádnou pevnou konstrukci, je tedy relativně variabilní. Jejím největším plusem je cena vyráběné energie 1KWh vychází v přepočtu na 0,4 Kč. Tato konstrukce má i své stinné stránky, aby byla dostatečně efektivní, musí se pohybovat ve výšce kolem 4 km, tím pádem by se museli nacházet v bezletových zónách. Další nevýhoda je, že při velmi slabém větru může značně snížit výšku, ve které se nachází.

V současné době není žádný druh této turbíny používán ke komerčnímu využití, to by se ale v blízké budoucnosti mělo změnit. Na obr. 6.4 je naznačen princip, na jakém turbína pracuje.

Obr. 6.5 Letící větrná turbína [8]

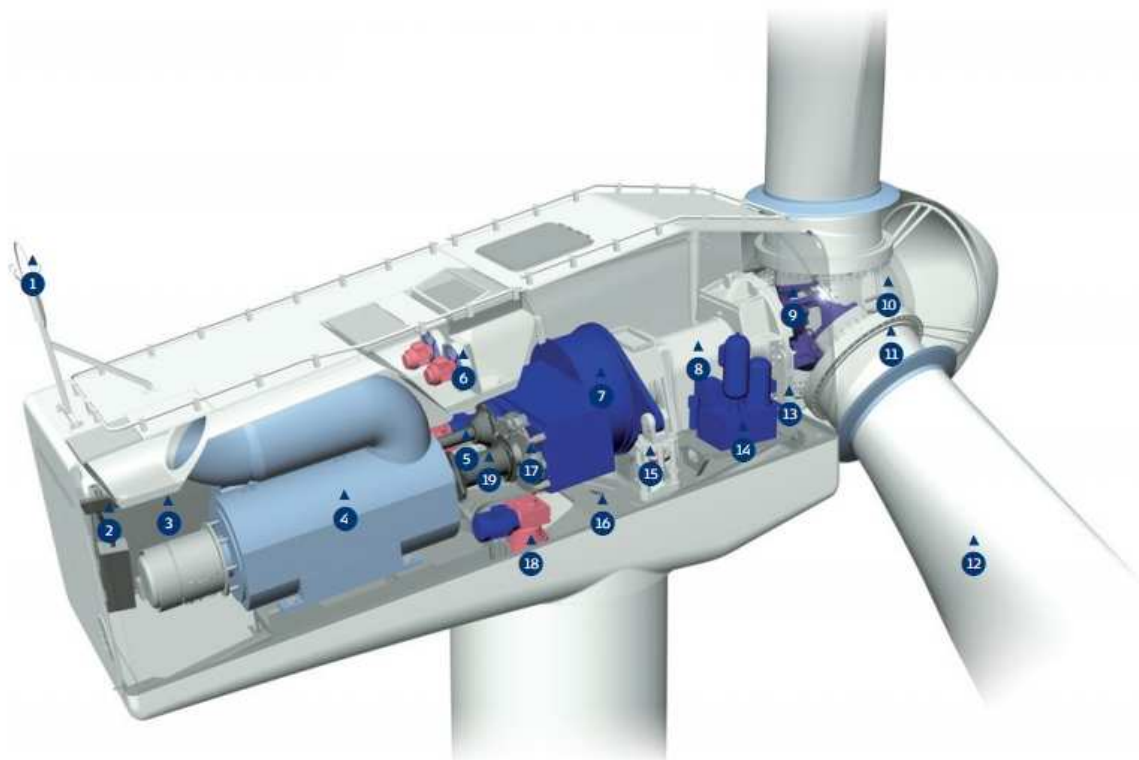


### 6.3 Základní části větrné elektrárny

V dnešní době existuje velké množství druhů větrných elektráren, i přesto ovládá trh jediný druh, a to odporová elektrárna s vodorovnou osou otáčení. Důvodů této naprosté dominance je několik. Přeměna energie tímto způsobem je známa po několik staletí, možnost výroby rozmanité škály výkonů, relativní jednoduchost instalace atd.

Pro popis základních částí větrné elektrárny tohoto druhu, byla vybrána větrná elektrárna světového lídra ve výrobě větrných elektráren, a to dánské firmy Vestas. Následující schéma na obr. 6.5 je 2MW větrná elektrárna i s popisem jednotlivých částí. Tato elektrárna se vyskytuje např. v Pavlově blízko Jihlavy.

Obr. 6.6 Schéma větrné elektrárny Vestas [8]



- |                             |                          |                            |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1. senzor směru větru       | 2. servisní jeřáb        | 3. řídicí jednotka         |
| 4. generátor                | 5. polohovací válec      | 6. olejový a vodní chladič |
| 7. převodovka               | 8. hlavní hřídel         | 9. systém směrování větru  |
| 10. náboj listů rotoru      | 11. ložisko listů rotoru | 12. listy rotoru           |
| 13. systém blokování rotoru | 14. hydraulická jednotka | 15. spojka                 |
| 16. fundament stroje        | 17. kotoučová brzda      | 18. ozubené kolo           |

#### 6.4 Popis funkce větrné elektrárny

Pro popis funkcí byl opět použit stejný výrobek jako v předchozím bodu. Tento popis samozřejmě neplatí pro všechny druhy odporových elektráren s vodorovnou osou otáčení. Je zde spíše snaha o pochopení základních principů, které elektrárna používá pro svůj provoz a výrobu elektrické energie.

Téměř všechny elektrárny jsou vybaveny regulačním systémem naklápění. Pomocí tohoto zařízení jsou úhly nastavení listů rotoru stále regulovány, takže je náběhový úhel vždy optimálně přizpůsoben příslušným větrným podmínkám. Při vyšších rychlostech větru se tyto zařízení starají o to, aby odevzdávaný výkon ležel nezávisle na teplotě a hustotě vzduchu v oblasti jmenovitého výkonu.

Při nízkých rychlostech větru tyto systémy optimalizují předávání výkonu nastavením optimálního počtu otáček a optimálního úhlu nastavení rotorů. Veškeré funkce elektrárny jsou kontrolovány a řízeny řídicími jednotkami založenými na bázi mikroprocesorů. Tento systém řízení provozu je umístěn v gondole. Změny úhlu nastavení listů rotoru jsou aktivovány přes mžikové rameno hydraulickým systémem, který umožňuje listům rotovat axiálně. Elektricky poháněné převody směrování větru se starají o otáčení pastorku směrování větru, zasahující do zubů velkého otočného věnce, který je upevněn na špičce věže. [11]

Ložiskový systém směrování větru je systém kluzného ložiska se zabudovanou frikcí a samoblokující funkcí. Listy rotoru jsou vyrobeny z epoxidové pryskyřice vyztužené skelným vláknem. Každý list rotoru se skládá ze dvou polovin, které jsou slepeny s nosnou traverzou. Zvláštní ocelové vložky k ukotvení spojují listy rotoru s ložiskem listu rotoru. Mechanická energie je od rotoru přenášena hlavním hřídelem přes převod na generátor.

U převodu se jedná o kombinovaný planetový a čelní ozubený převod. Přenos výkonu z převodu na generátor se uskutečňuje pomocí kompozitní spojky nevyžadující údržbu. Systém konvertující kinetickou energii na elektrickou sestává z asynchronního generátoru s vinutým rotorem a sběracími kroužky, měniče výkonu, stykačů a ochranného zařízení.

Zbrzdování větrné elektrárny probíhá nastavením listů rotoru. Parkovací brzda se pak nachází na vysokorychlostním hřídeli převodu. Kryty gondoly jsou převážně vyrobeny z plastu. Gondola chrání veškeré vnitřní komponenty před deštěm, sněhem, prachem, slunečním zářením atd. Uvnitř gondoly je umístěn údržbový jeřáb.

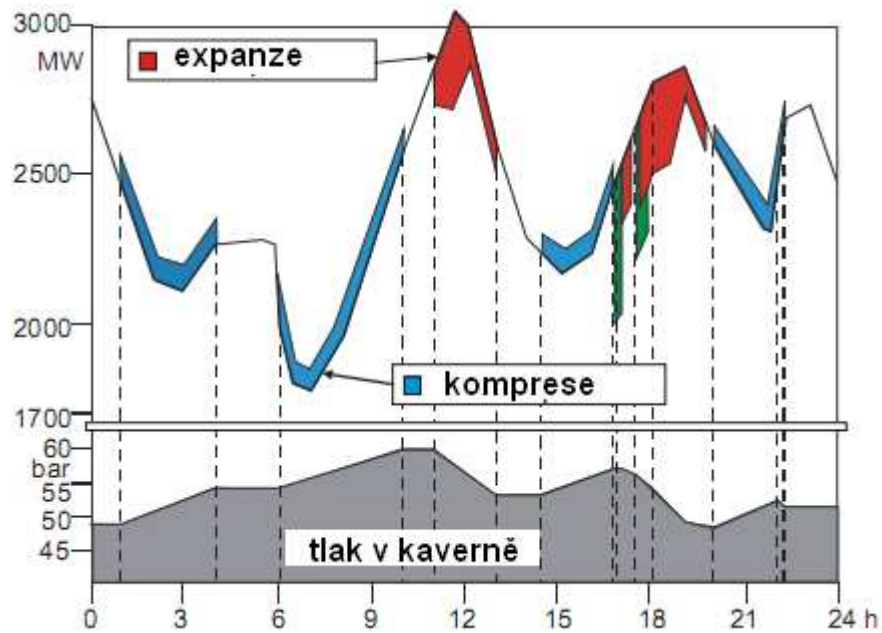
## 7 CAES – compressed air energy storage

Základní ideou tohoto systému je komprese vzduchu při využívání mimo špičkové energie a její následné využívání při denních špičkách. Umožňuje částečně řešit problém rozdílné spotřeby elektrické energie během pracovního dne, kdy ráno a v podvečer bývají v odběru elektrické energie z elektrorozvodné sítě výkonové spotřební špičky, kdežto v noci je odběr elektrické energie malý. Podobné rozdíly existují i mezi pracovními dny a dny pracovního klidu a volna. [13]

Výkon především jaderných a velkých tepelných elektráren je možné během dne měnit jen velmi omezeně. Navíc je velmi neekonomické stavět velké energetické zdroje, které by byly v provozu jen po zlomek dne, provoz takové elektrárny by byl neúměrně drahý. Jaderné elektrárny a velké tepelné elektrárny jsou proto téměř vždy provozovány v základním zatížení sítě. Různé druhy přečerpávacích elektráren jsou používány pro pokrytí špičkových spotřeb energie, fungují tedy zejména při špičkovém zatížení sítě. [13]

Význam přečerpávacích elektráren se zvyšuje rovněž rozšiřováním alternativních zdrojů energie (v současnosti především energie získávané z větru), jejichž výkon se nedá regulovat téměř vůbec. Na obr. 7.1 je znázorněna průměrná denní spotřeba elektrické energie a označené oblasti zapojení se tohoto systému do energetické bilance.

Obr. 7.1 Průměrná denní spotřeba elektrické energie [13]

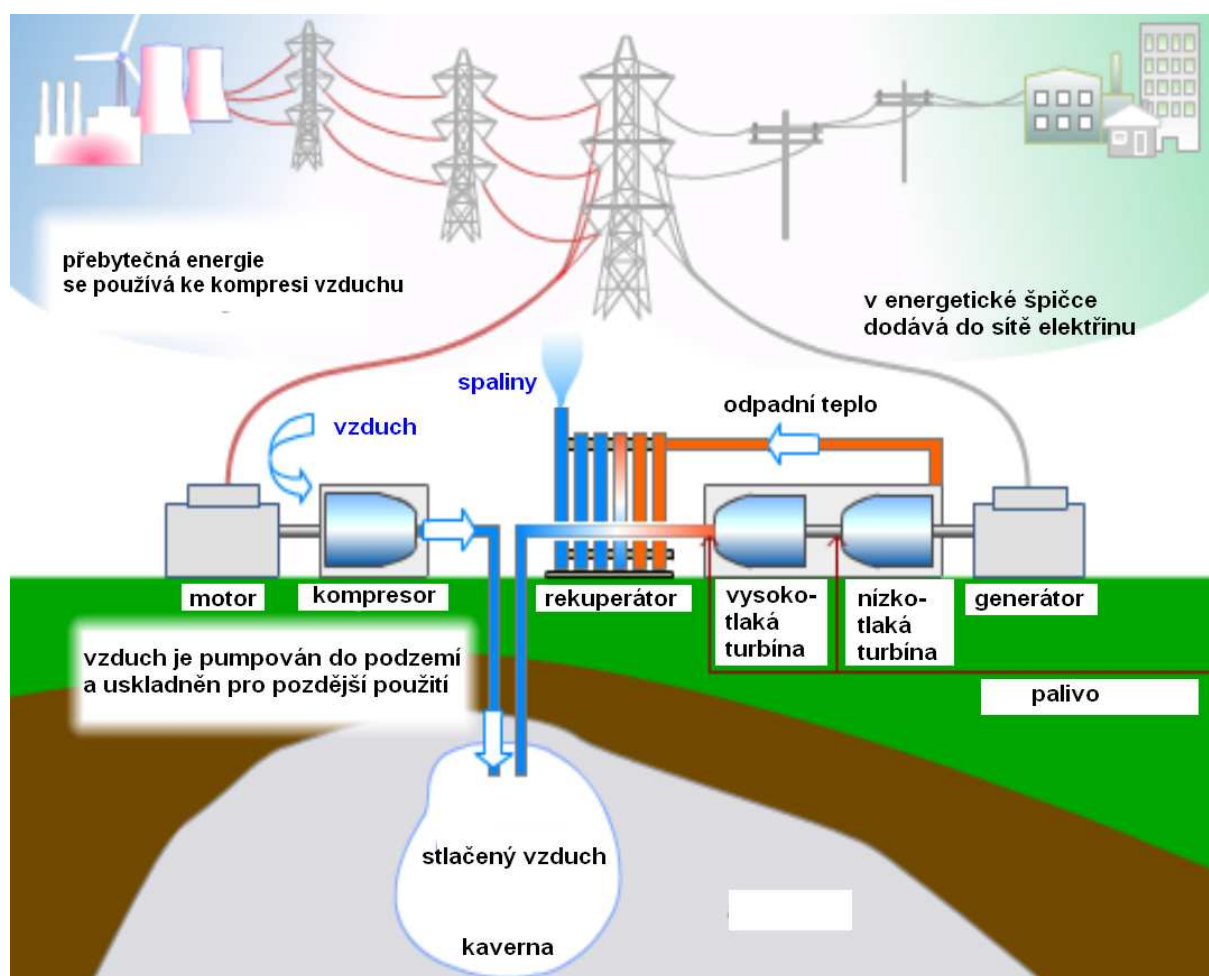


## 7.1 Princip fungování CAES

V době nízkého zatížení rozvodné sítě je elektrický proud odebírán ze sítě a veden k motorům kompresorů, které nasávají okolní vzduch. Vystupující stlačený vzduch je vháněn do podzemní kaverny. Velmi často jsou používány důlní prostory v solných nebo rudných dolech. Mimo potřebného obsahu kaverny, jsou významné vlastnosti stěn, jako je poróznost a permeabilita.

V době odběrové špičky jsou kompresory odpojeny a stlačený vzduch z kaverny je veden přes rekuperátory, kde se přehřívá, do expanzních vzduchových turbín a dále do spalovacích komor expanzních plynových turbín. Připojené generátory začnou dodávat elektrický výkon do rozvodné sítě. Palivem může být zemní plyn, nafta nebo bionafta. V rekuperátorech je využíváno teplo obsažené v plynech, které vystupují z expanzních plynových turbín. Odpadní teplo se dá použít také k vytápění okolních budov. Princip systému CAES je zobrazen na obr 7.2. [13]

Obr. 7.2 Schéma systému CAES [8]



## 7.2 Větrná energie a CEAS systémy

Po roce 2000 dochází k dalšímu vývoji zásobníků elektrické energie se stlačeným vzduchem. K pohonu motoru vzduchových kompresorů jsou využity větrné elektrárny, místo odběru z rozvodné sítě při jejím nízkém zatížení. Tím se mění i charakter a toto uspořádání se stává rezervním, záskokovým nebo špičkovým zdrojem.

Systém použití stlačeného vzduchu má přínosy i pro samotné větrné elektrárny. Například zajišťuje v kombinaci s kompresory a expandéry ustálenou dodávku elektrického výkonu, přestože okamžitý výkon větrné elektrárny je výrazně ovlivněn nárazy a variabilitou rychlosti větru. Pro stabilizaci kvality elektrického výkonu sítě se tyto vlastnosti větrných elektráren promítají do zvýšených nároků na prvky časového řízení kvality. Je-li elektrický výkon větrných elektráren využit zejména k pohonu kompresorů, které vtlácejí vzduch do kaverny, nároky na kvalitu tohoto výkonu nejsou vysoké.

Při popsaném uspořádání větrných elektráren s kompresory vzduchu, kavernou a expanzními turbínami s generátory, se soustava stává vhodným prvkem pro časové řízení elektrického výkonu sítě. Důležitou vlastností je nízká náběhová doba, která je u turbín řádově několik minut. Při výkonu několika desítek MW je možné soustavu využívat pro krytí odběrových špiček. [13]

Ekology musí potěšit snížení emisí skleníkových plynů, zvláště potom oxidu uhličitého. Jedna MWh vyprodukovaná vlastní větrnou elektrárnou představuje redukci emisí CO<sub>2</sub> o

jednu tunu v porovnání s jinými energetickými zdroji, které využívají spalování. Další příspěvek ke snižování emisí CO<sub>2</sub> vyplývá z používání paliv rostlinného původu např. bionafty, ve spalovacích komorách plynových turbín. V těchto případech dochází k recyklaci CO<sub>2</sub> procesem sekvestrace tj. CO<sub>2</sub> vzniklý při spalování a emitovaný do okolí je při fotosyntéze rostlin spotřebován a současně je produkován kyslík. [13]

## 8 Statistické vyhodnocení rychlosti větru

Pro správný výběr místa budoucí instalace větrné elektrárny je nutné znát lokální povětrnostní podmínky a náležitě je statisticky zpracovat. Hlavní výstupní veličinou bude pak průměrná rychlost větru, která je z pohledu budoucí rentability větrné elektrárny nejdůležitějším faktorem.

Měřením rychlosti větru a dalšími klimatologickými ukazateli se zabývá ČHMÚ. Výsledky měření jsou zpracovány a za úhradu poskytovány zájemcům. Z údajů naměřených meteorologickými stanicemi je sestavena větrná mapa České republiky. Z této mapy je možno získat údaje o kterékoliv lokalitě v ČR. Údaje jsou spíše jen orientační, je potřeba je přepočítat pro konkrétní podmínky v okolí větrné elektrárny. Je potřeba brát v potaz orografii okolního terénu, vegetaci, budovy a další překážky. Celkový vliv těchto dodatečných podmínek se zpracuje na příslušném softwaru. Průměrná rychlost větru vypočítaná tímto způsobem je ovšem zatížena statistickou chybou, která může dosáhnout až 10%.

Pro přesnější určení výkonu, se v místě plánované výstavby větrné elektrárny nainstaluje meteorologický stožár. Meteorologický stožár měří rychlost větrného proudění ve výšce rotoru.

### 8.1 Zpracování hodnot pro konkrétní větrnou elektrárnu

Pro určení rozdělení rychlosti větru je třeba určit pravděpodobnost foukání větru určitou diskretní rychlostí  $u_i$ . Celkový počet měření značíme  $n$ , v mém případě se  $n=100$ . Pravděpodobnost výskytu větru se definuje jako podíl četnosti výskytu konkrétní rychlosti  $m_i$  k celkovému počtu měření  $n$ .

$$p(u_i) = \frac{m_i}{n}$$

Dále se určuje také kumulativní distribuční funkce  $f(u_i)$ , která vyjadřuje pravděpodobnost, že měřená rychlost větru bude menší nebo rovna rychlosti  $u_i$ . Distribuční funkce se vypočítá následujícím vzorcem.

$$f(u_i) = \sum_{j=1}^i p(u_j)$$

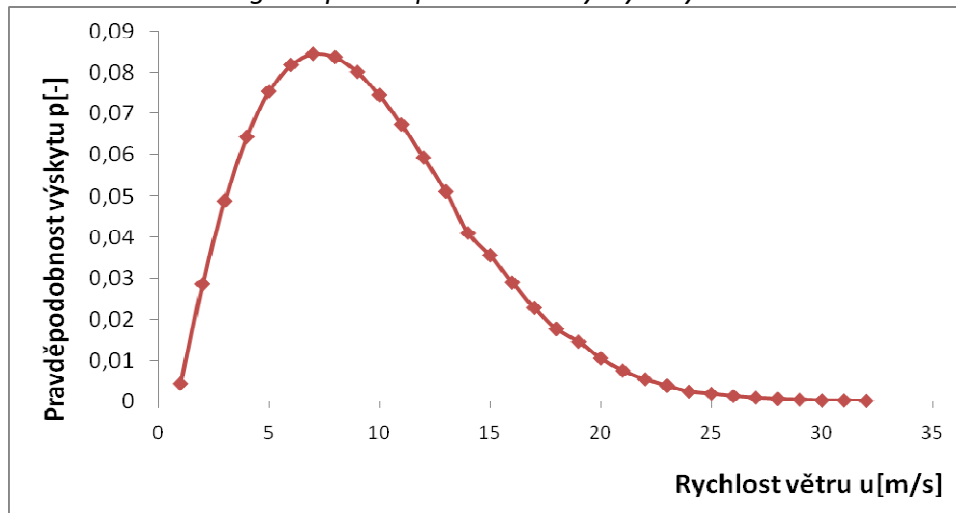
V následující tabulce tab. 8.1, jsou jednotlivé hodnoty pro konkrétní případ zaznamenány.

Tab. 8.1 Hodnoty reálné větrné elektrárny

rychlost větru u [m/s]	četnost výskytu m[-]	pravděpodobnost výskytu p[-]	distribuční funkce f[-]
0	0,44	0,0044	0,0044
1	2,85	0,0285	0,0329
2	4,88	0,0488	0,0817
3	6,43	0,0643	0,146
4	7,53	0,0753	0,2213
5	8,19	0,0819	0,3032
6	8,46	0,0846	0,3878
7	8,38	0,0838	0,4716
8	8,02	0,0802	0,5518
9	7,44	0,0744	0,6262
10	6,73	0,0673	0,6935
11	5,93	0,0593	0,7528
12	5,11	0,0511	0,8039
13	4,1	0,041	0,8449
14	3,55	0,0355	0,8804
15	2,89	0,0289	0,9093
16	2,28	0,0228	0,9321
17	1,77	0,0177	0,9498
18	1,46	0,0146	0,9644
19	1,06	0,0106	0,975
20	0,76	0,0076	0,9826
21	0,55	0,0055	0,9881
22	0,39	0,0039	0,992
23	0,24	0,0024	0,9944
24	0,19	0,0019	0,9963
25	0,13	0,0013	0,9976
26	0,09	0,0009	0,9985
27	0,06	0,0006	0,9991
28	0,04	0,0004	0,9995
29	0,02	0,0002	0,9997
30	0,02	0,0002	0,9999
31	0,01	0,0001	1

Obr. 8.1 zachycuje histogram pravděpodobnosti výskytu určité rychlosti větru.

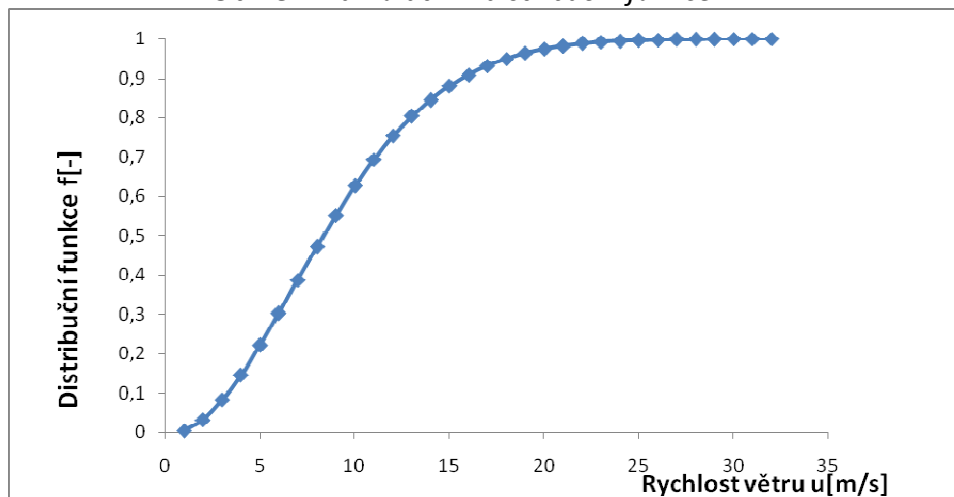
*Obr. 8.1 Histogram pravděpodobnosti výskytu rychlosti větru*



Z grafu je zřejmé, že největší pravděpodobnost výskytu rychlosti větru, je kolem 8 – 10 m/s. Pravidelný nárůst a pokles četnosti rychlosti kolem této hodnoty odpovídá tzv. Weibullovu rozdělení.

Na dalším grafu obr. 8.2 je zobrazena kumulativní distribuční funkce.

*Obr. 8.2 Kumulativní distribuční funkce*



Kumulativní a distribuční funkce se dále používají při výpočtu reálné kinetické energie větru a tím i možného získaného výkonu větrné elektrárny. Takové statistické vyhodnocení je potřeba připravit pro každou plánovanou větrnou elektrárnu, aby byl její provoz ziskový a užitečný z hlediska výroby dostatku elektrické energie.

## Závěr

Bakalářská práce je zaměřena na především na obnovitelné zdroje energie v České republice. Obnovitelné zdroje energie jsou takovými zdroji, které se díky slunečnímu záření neustále obnovují a jsou ve své podstatě nevyčerpatelné, pokud budeme lidskou existenci vztahovat k životnosti slunce, na kterém je většina obnovitelných zdrojů přímo závislá. Mezi obnovitelné zdroje energie patří energie slunce, vody, větru, geotermální energie, energie biomasy a přílivová energie moří a oceánů.

Důležitou událostí v našem vztahu k OZE byl vstup ČR do Evropské unie k 1. dubnu 2004. Z principů koordinované energetické politiky EU dle Směrnice 77/2001 ES. Hlavním cílem je zajistit, aby v rámci Společenství byl splněn cíl 12% podílu OZE v celkové energetické spotřebě v roce 2010.

Česká státní energetická koncepce byla schválena vládou ČR dne 10. února 2004. Koncepce definuje priority a cíle ČR v energetickém sektoru a popisuje konkrétní realizační nástroje. Součástí koncepce je i výhled zastoupení OZE na celkové produkci elektrické energie, kdy v roce 2010 by měl být 8,17% a v roce 2030 již 15%. Ukazuje se, že minimálně cíl pro rok 2010 se splnit nepodaří. Podle tzv. Pačesovy komise je však cíl pro rok 2030 velmi reálně dosažitelný, dokonce vydal stanovisko, že takové procentuální zastoupení bude možné již v roce 2020.

Energie slunečního záření se využívá pomocí fototermických systémů na výrobu tepelné energie. Fototermické využití slunečního záření se dá zajistit systémy aktivními, kdy slunce v kolektorech ohřívá TUV, nebo systémy pasivními, pomocí kterých se vytápí obytné budovy. Další možností využití sluneční energie je fotovoltaický jev, při osvětlení solárního článku vzniká elektrická energie. Pro zajímavost celková suma energie dopadající na naše území je 250x větší než současná spotřeba energie. V naší republice je využívání sluneční energie nejrychleji rostoucím ze všech OZE, stále je však její celkový podíl zanedbatelný.

Naopak významným zdrojem v celkové produkci energie z OZE je biomasa. Biomasa je veškerá organická hmota, která vznikla využitím fotosyntézy ze sluneční energie, a také hmota živočišného původu. Podle obsahu vody ji můžeme rozdělit na suchou (termochemická přeměna – spalování), mokrou (biochemická přeměna – výroba bioplynu) a speciální biomasu (mechanicko-chemická přeměna). V ČR se z biomasy vyrábí teplo, nebo kombinace elektrické energie a tepla.

Využívání vodní energie má v naší zemi počátky již z dob první republiky, kde všechna hospodářská stavení poblíž vodního toku využívala vodní energii pomocí vodních turbín k pohonu mlýnic, pil apod. Po roce 1950 zaznamenaly MVE úpadek a mnoho jich bylo vyřazeno z provozu, teprve po roce 1990 začalo jejich obnovování a výstavba nových děl. Odhady říkají, že česky hydrologický potenciál je již z 70% využit, pouze 30% využito není. Avšak zbývající potenciál má výrazně horší podmínky pro realizaci a vyznačuje dlouhou návratností investic.

Největší část bakalářské práce je věnována energii větrné, přestože potenciál větrné energie v ČR není ani zdaleka tak vysoký jako v přímořských státech. Využitelné jsou oblasti pohraničních hor, Vysočina a Jeseníky. Odhadovaný potenciál je 1260 větrných turbín s celkovým instalovaným výkonem 2750 MW a roční výrobou 6000 GWh. Energie větru je využívána větrnými elektrárnami. Větrné elektrárny se dělí podle výkonu a průměru vrtule na malé, střední a velké. Dále se dělí podle osy rotace rotoru na vodorovné (nejpoužívanější druh) a vertikální (používané pouze na specifické aplikace). Hlavní nevýhodou větrné energie je její nestálost, tento problém se dá vyřešit pomocí systému CAES. Elektrický proud

vyprodukován větrnou elektrárnou je veden k motorům kompresorů, které nasávají okolní vzduch. Vystupující stlačený vzduch je vháněn do podzemní kaverny. Velmi často jsou používány důlní prostory v solných nebo rudných dolech.

V době odběrové špičky jsou kompresory odpojeny a stlačený vzduch z kaverny je veden přes turbíny. Připojené generátory začnou dodávat elektrický výkon do rozvodné sítě. Bohužel tento systém je určen pro velmi specifické oblasti. Na světě je systému CAES pouze několik.

## Seznam použité literatury

- [1] Dvořák, L., Klazar, J.: *Tepelná čerpadla*. SNTL, Praha, 1987
- [2] Beranovský, J., Truxa, J.: *Alternativní energie pro váš dům*. ERA, Brno, 2004
- [3] Cihelka, J.: *Solární tepelná technika*. T Malina, Praha, 1994
- [4] Kára, J., Šrámek, V., Hutla, P.: *Využití biomasy pro energetické účely*. ČEA, Praha, 1997
- [5] Hančarová, D: *Zpracování kejdy*. ÚVTIZ, č. 5, 1991
- [6] Bednář, J.: *Malé vodní elektrárny 2*. SNTL, Praha 1989
- [7] Gabriel, P., Čihák, F.: *Malé vodní elektrárny*. ČVUT, Praha 1990
- [8] Wikipedia [online]. 3/2009 [citováno 2009-05-21]. Dostupné z:  
<<http://www.wikipedia.org>>
- [9] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. [citováno 2009-05-21]. Dostupné z:  
<<http://www.mpo.cz>>
- [10] Český hydrometeorologický ústav [online]. [citováno 2009-05-21]. Dostupné z:  
<<http://www.chmi.cz>>
- [11] Rychetník, V., Pavelka, J.: *Větrné motory a elektrárny*. ČVUT, Praha, 1997
- [12] Šeftěř, J.: *Využití energie větru*. SNTL, Praha, 1991.
- [13] Luřcha, J.: *Compressed air energy storage*. KG Process Innovations, Brno, 2009

## Seznam použitých zkratek

Btto	brutto
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
MVE	malá vodní elektrárna (pod 10 MW)
OZE	obnovitelné zdroje energie
PČR	Poslanecká sněmovna České republiky
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
TUV	teplá užitková voda
VE	vodní elektrárna (nad 10 MW)
VTE	větrná elektrárna

## Seznam obrázků a tabulek

Tab. 1.1 Základní rozdělení v současnosti využívaných obnovitelných zdrojů energie .....	9
Tab. 1.2 Struktura produkce elektrické energie.....	12
Tab. 1.3 Celkové energetické zastoupení obnovitelných zdrojů.....	12
Tab. 3.1 Základní rozložení energetického využití biomasy.....	18
Tab. 8.1 Hodnoty reálné větrné elektrárny.....	32
Obr. 1.1 Podíl OZE ve státech EU .....	11
Obr. 2.1 Mapa globálního slunečního záření na území ČR (MJ/m <sup>2</sup> za rok).....	13
Obr. 2.2 Řez kapalinovým kolektorem .....	14
Obr. 2.3 Princip fungování solárního článku .....	16
Obr. 2.4 Klasický křemíkový solární článek .....	17
Obr. 5.1 Atlas geotermálního členění ČR .....	21
Obr. 6.1 Větrná mapa ČR.....	22
Obr. 6.2 Princip činnosti motoru s vodorovnou osou otáčení.....	23
Obr. 6.3 Darrieusův motor .....	24
Obr. 6.4 Princip činnosti Savionova motoru .....	25
Obr. 6.5 Letící větrná turbína .....	26
Obr. 6.6 Schéma větrné elektrárny Vestas .....	27
Obr. 7.1 Průměrná denní spotřeba elektrické energie .....	29
Obr. 7.2 Schéma systému CAES.....	30
Obr. 8.1 Histogram pravděpodobnosti výskytu rychlosti větru.....	33
Obr. 8.2 Kumulativní distribuční funkce.....	33