

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Připojování obnovitelných zdrojů energie do sítě**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav HOUDEK**  
Osobní číslo: **E10N0184P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**  
Název tématu: **Připojování obnovitelných zdrojů energie do sítě**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Objasněte základní principy využívání obnovitelných zdrojů energie.
2. Vysvětlete problematiku připojování zdrojů do sítě.
3. Vysvětlete specifické vlastnosti OZE pro připojování do sítě.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


1. Poulek, V., Libra, M. : Solární systémy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2012  
Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2013

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Diplomová práce pojednává o výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů. V první části je provedeno základní rozdělení druhů obnovitelných zdrojů. Rovněž jsou zde popsány základní principy získávání elektrické energie z těchto zdrojů. Ve druhé kapitole této diplomové práce jsou uvedeny podmínky pro připojování zdrojů do sítě. Následující část je zaměřena na stabilitu a predikci výroby z obnovitelných zdrojů. Poslední dvě kapitoly jsou věnovány popisu pěti reálným elektrárnám, které se nacházejí v jižních Čechách. Analýzou údajů bylo zjištěno, že nejstabilnější výrobu elektrické energie dodává bioplynová stanice.

## **Klíčová slova**

Obnovitelný zdroj energie, sluneční energie, větrná energie, vodní energie, geotermální energie, energie biomasy, fotovoltaická elektrárna, vodní elektrárna, bioplynová stanice, podmínky připojitelnosti do sítě, flickr, proudy vyšších harmonických

## **Abstract**

This thesis deals about the production of electricity from renewable sources. In the first part it maps the basic distribution of energy types of this area. It also describes the basic principles of electric energy obtained from renewable sources. In the second chapter of this thesis are analyzed the conditions for connecting these resources to the grid. The following section focuses on the stability and prediction of electricity produced from renewable sources. The last two chapters are devoted to five real plants, which are located in southern Bohemia. Analysis of the data then revealed the fact that stable production of electricity is supplied by the specific type of biogas plant.

## **Key words**

Renewable energy source, solar energy, wind energy, hydropower, geothermal energy, biomass energy, photovoltaic power plant, hydro power plant, biogas plant conditions of connectivity to the grid, flicker, harmonic current emissions

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 6.5.2013

Stanislav Houdek

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanovi Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval pánům Ing. Aleši Korostenskému, Pavlu Paarovi a Jaroslavovi Kulandovi za poskytnutá data z elektráren.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 DRUHY OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE</b> .....	<b>12</b>
1.1 SLUNEČNÍ ENERGIE .....	12
1.1.1 Fotovoltaické elektrárny .....	14
1.1.2 Sluneční tepelné elektrárny .....	17
1.2 VĚTRNÁ ENERGIE .....	18
1.2.1 Typy větrných motorů .....	20
1.2.2 Větrné elektrárny .....	21
1.3 VODNÍ ENERGIE .....	21
1.3.1 Vodní turbíny .....	22
1.3.2 Rozdělení vodních elektráren .....	23
1.4 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE .....	25
1.5 ENERGIE BIOMASY .....	26
1.5.1 Spalovny pevné biomasy .....	26
1.5.2 Bioplynová stanice .....	27
<b>2 PODMÍNKY PŘIPOJOVÁNÍ VÝROBEN ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>30</b>
2.1 POŽADOVANÉ ÚDAJE O PŘIPOJOVANÉ VÝROBNĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	30
2.1.1 Požadované údaje pro všechny výrobní (1. a 2. skupinu) .....	31
2.1.2 Požadované údaje pro 2. skupinu .....	31
2.1.3 Požadované údaje pro větrné elektrárny s výkonem nad 1 MW .....	31
2.2 PODMÍNKY PŘIPOJITELNOSTI DO SÍTĚ NN .....	32
2.2.1 Napěťové změny .....	32
2.2.2 Flicker .....	32
2.2.3 Řízení jalového výkonu .....	33
2.2.4 Proudové vyšších harmonických .....	33
2.2.5 Ovlivnění zařízení HDO .....	34
2.3 PODMÍNKY PŘIPOJITELNOSTI DO SÍTĚ VN .....	35
2.3.1 Napěťové změny .....	35
2.3.2 Flicker .....	35
2.3.3 Řízení jalového výkonu .....	35
2.3.4 Proudové vyšších harmonických .....	36
2.3.5 Ovlivnění zařízení HDO .....	36
2.4 PODMÍNKY PŘIPOJITELNOSTI DO SÍTĚ 110 kV .....	37
2.4.1 Napěťové změny .....	37
2.4.2 Flicker .....	38
2.4.3 Řízení jalového výkonu .....	38
2.4.4 Proudové vyšších harmonických .....	38
2.4.5 Ovlivnění zařízení HDO .....	38
<b>3 STABILITA A PREDIKCE VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE Z OZE</b> .....	<b>39</b>
3.1 STABILITA A PREDIKCE VÝROBY Z FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY (FVE) .....	39
3.2 STABILITA A PREDIKCE VÝROBY Z VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY (VTE) .....	40
3.3 STABILITA A PREDIKCE VÝROBY Z MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY (MVE) .....	41
3.4 STABILITA A PREDIKCE VÝROBY Z BIOPLYNOVÉ STANICE (BPS) .....	42
<b>4 POROVNÁVANÉ ELEKTRÁRNY</b> .....	<b>42</b>
4.1 BIOPLYNOVÁ STANICE KESTRÁNY .....	42



4.2	MALÁ VODNÍ ELEKTRÁRNA ČERVENÝ MLÝN V HEŘMANI .....	43
4.3	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA BUŠANOVICE I.....	44
4.4	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA BUŠANOVICE II .....	45
4.5	FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA BUŠANOVICE III .....	45
<b>5</b>	<b>ANALÝZA DAT VÝROBY ELEKTŘINY Z UVEDENÝCH ELEKTRÁREN .....</b>	<b>46</b>
5.1	DATA Z BPS KESTŘANY .....	46
5.2	DATA Z MVE ČERVENÝ MLÝN V HEŘMANI .....	46
5.3	DATA Z FVE BUŠANOVICE I .....	47
5.4	DATA Z FVE BUŠANOVICE II .....	47
5.5	DATA Z FVE BUŠANOVICE III.....	48
5.6	POROVNÁNÍ VÝROBY FVE BUŠANOVICE I, II, III .....	48
5.7	POROVNÁNÍ ELEKTRÁREN Z HLEDISKA STABILITY VÝROBY .....	49
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>52</b>
	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>1</b>
	PŘÍLOHA A – MAPA ROZMÍSTĚNÍ ELEKTRÁREN .....	1
	PŘÍLOHA B – DATA Z ELEKTRÁREN .....	1

## Úvod

Předkládaná práce se zabývá výrobou elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Aktuálně je problematice získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů věnována větší pozornost než dříve, především z důvodu snížení naší závislosti na fosilních palivech a také z důvodu snížení emisí skleníkových plynů.

V posledních letech docházelo k velkému nárůstu nově připojovaných elektráren, které využívají obnovitelné zdroje. Tento nárůst byl v České republice nejmarkantnější pro fotovoltaické elektrárny mezi roky 2009 až 2010, ve kterých došlo k navýšení jejich celkového instalovaného výkonu připojeného do sítě až na desetinásobek z roku 2008. To bylo zapříčiněno snížením ceny fotovoltaických panelů a nastavením výkupní ceny elektřiny vyráběné z fotovoltaické elektrárny, která v porovnání s rokem 2008 byla dvojnásobná.

První část diplomové práce je věnována rozdělení jednotlivých obnovitelných zdrojů podle zdroje energie. Dále zde jsou uvedeny základní principy získávání elektrické energie z jednotlivých obnovitelných zdrojů.

V další části jsou uvedeny podmínky pro připojování výroben do sítě. Jednotlivé podmínky jsou rozděleny podle toho, do jaké napěťové hladiny sítě bude připojení realizováno. Jedná se především o distribuční sítě o napěťových hladinách nn, vn a 110 kV.

Předposlední část je věnována problematice stability a predikce výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

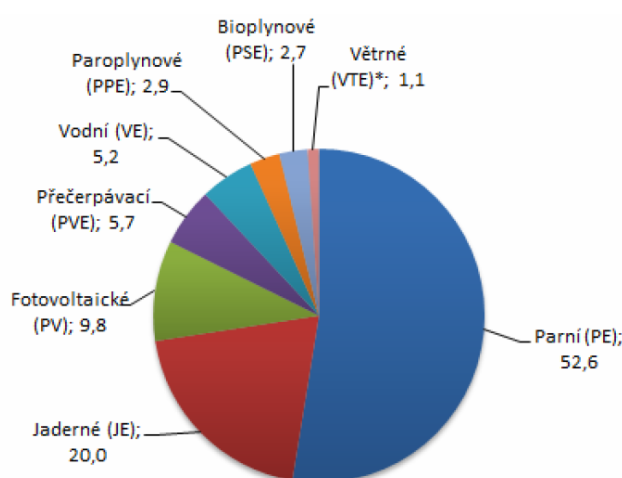
V závěrečné části této práce jsou uvedeny reálné elektrárny využívající pro výrobu obnovitelné zdroje a jejich skutečné hodnoty vyráběné elektrické energie za rok 2012. Na základě těchto údajů jsem tyto elektrárny porovnal z hlediska stability dodávky elektrické energie během roku.

## Seznam symbolů a zkratek

ALADIN .....	Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International
BPS .....	Bioplynová stanice
$c$ .....	Činitel flikru
FVE .....	Fotovoltaická elektrárna
$H$ .....	Spád vodního toku [ $m$ ]
HDO .....	Hromadné dálkové ovládání
$I_v$ .....	Přípustný proud vyšších harmonických [ $A$ ]
$k_{i\max}$ .....	Činitel největšího spínacího rázu
MVE .....	Malá vodní elektrárna
ORC .....	Organický Rankinův cyklus
OZE .....	Obnovitelný zdroj energie
$P_{inst}$ .....	Instalovaný výkon elektrárny [ $W$ ]
$P_{lt}$ .....	Dlouhodobá míra flikru
$Q$ .....	Průtok vodního toku [ $m^3 / s$ ]
$S_{kV}$ .....	Zkratový výkon [ $kVA$ ]
$S_{nE}$ .....	Zdánlivý jmenovitý výkon [ $kVA$ ]
$t$ .....	doba trvání denní výroby [ $h$ ]
VTE .....	Větrná elektrárna
$W$ .....	Vyrobená energie [ $Wh$ ]
$\psi_{kV}$ .....	Fázový úhel zkratové impedance

## 1 Druhy obnovitelných zdrojů energie

Hlavním důvodem pro využívání obnovitelných zdrojů energie je neustále rostoucí poptávka po elektrické energii a snaha o zbavení se závislosti na fosilních palivech. Z dnešního technologického hlediska je zřejmé, že zatím není možné zcela odstranit naši závislost na fosilních palivech. Ale využíváním obnovitelných zdrojů můžeme alespoň snížit spotřebu fosilních paliv a tím i emise vypouštěné do ovzduší. Dnes se hlavně snažíme dosáhnout vhodného „energetického mixu“, který zahrnuje jak energii získanou z obnovitelných zdrojů, tak i energii z fosilních a jaderných zdrojů. Na obrázku č. 1 je vidět rozložení vyrobené energie v České republice pro rok 2012.



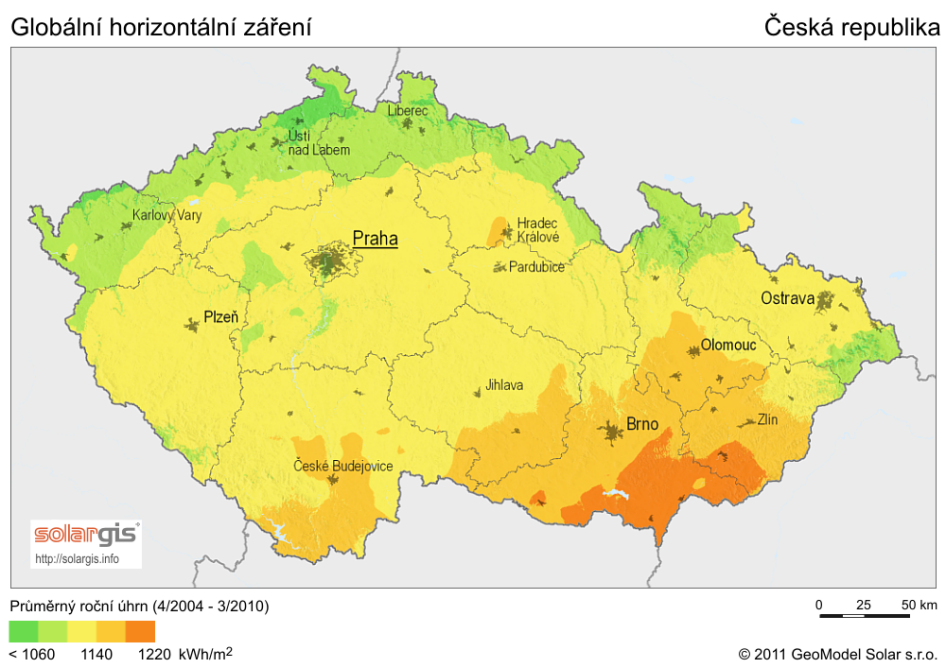
Obrázek 1 – energetický mix ČR 2012 v % [1]

### 1.1 Sluneční energie

Jedním z obnovitelných zdrojů energie je sluneční záření, které je vyzařováno Sluncem. Slunce má zářivý výkon přibližně o hodnotě  $3,83 \cdot 10^{26}$  W, na Zemi pak dopadá sluneční záření o výkonu  $173 \cdot 10^{15}$  W. Z této hodnoty následně získáme hodnotu slunečního záření dopadajícího na  $m^2$  zemské atmosféry, která je rovna  $1367$  W/ $m^2$ . Této hodnotě říkáme solární konstanta. Hodnota světelného záření dopadajícího na povrch Země je samozřejmě o něco nižší, protože dochází k částečnému odrazu. Procentuální rozložení dopadajícího světelného záření je následující: 26 % se odrazí od atmosféry a mraků zpět do vesmíru, 19 % pohltí atmosféra a změní se v teplo, 4 % se odrazí od zemského povrchu zpět do atmosféry a 51 % dopadne na zemský povrch a pohltí se. [2], [3]

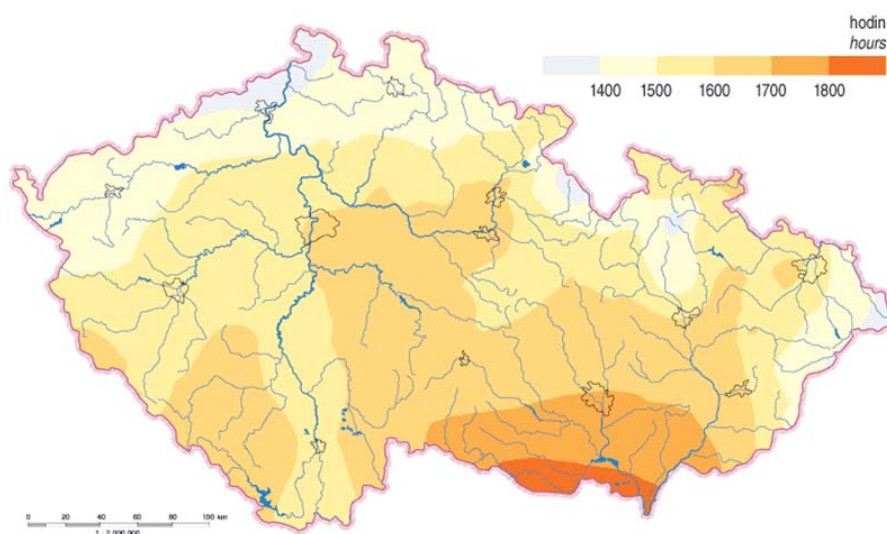
Hlavní faktory, ovlivňující využití slunečního záření jako zdroje energie, jsou: zvolení vhodné lokality, součinitel znečištění, celková hodnota slunečního svitu a správná orientace.

Vhodnou lokalitu vybíráme pomocí mapy globálního slunečního záření. V České republice jsou vcelku dobré podmínky pro využití sluneční energie. Na obrázku č. 2 je znázorněn roční úhrn slunečního záření v České republice, které se pohybuje od 1000 – 1220 kWh/m<sup>2</sup>.



Obrázek 2 - roční úhrn slunečního záření [4]

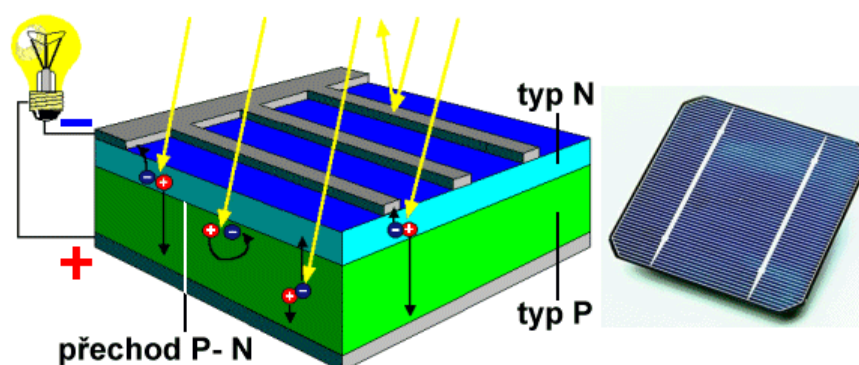
Součinitel znečištění zohledňuje jak nadmořskou výšku, tak i znečištění v dané lokalitě. Celková hodnota slunečního svitu při jasné obloze se v České republice pohybuje mezi 1400 – 1800 hodinami za rok. Na obrázku č. 3 je znázorněna celková hodnota slunečního svitu pro Českou republiku.



Obrázek 3 - hodnoty slunečního svitu [5]

### 1.1.1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny jsou tvořeny soustavou fotovoltaických článků, které vyrábějí stejnosměrné napětí. To je následně pomocí měničů převedeno na střídavé napětí. Dnešní měniče dosahují účinnosti až 96 %. Fotovoltaické články fungují na principu fotoelektrického jevu. Jedná se o polovodič převážně tvořený křemíkovou destičkou typu P, na té se vytvoří polovodič typu N a tím získáme polovodič P-N, který při dopadu fotonů na polovodičovou vrstvu uvolní elektrony. Tyto uvolněné elektrony nemůžou procházet přes P-N přechod a hromadí se v polovodiči typu N, tím vzniká napětí mezi spodním a horním kontaktem. Tento princip je zobrazen na obrázku č. 4. [6]



Obrázek 4 - princip fotovoltaického článku [6]

Fotovoltaické články se převážně vyrábějí ve čtvercovém provedení o rozměrech přibližně 15 cm. Dříve byla považována za standard velikost 10,16 cm, v dnešní době se objevují články i o velikosti 20 cm. S velikostí článku roste proud, ale napětí zůstává stejné. Napětí fotovoltaického článku se pohybuje kolem 0,6 – 0,7 V. Abychom dosáhli vyšší hodnoty napětí a proudu, musíme zapojit sérioparalelně více článků. Tímto spojením získáme finální fotovoltaický panel. Podle použitého materiálu můžeme fotovoltaické články rozdělit na tři skupiny.

**Monokrystalický fotovoltaický článek** je stále nejčastěji používaným typem. Krystal křemíku se vyrábí tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí, které se následně nařezou na tenké plátky.

**Polykrystalický fotovoltaický článek** se vyrábí nalitím roztaveného křemíku do připravených forem čtvercového nebo obdélníkového tvaru. Rychlost chladnutí musí být velmi pomalá, abychom zajistili vytvoření co největších monokrystalických zrn. Jelikož mezi jednotlivými zrny vzniká odpor, snažíme se snížit jejich počet. Tento způsob zjednodušuje

výrobu a tím i snižuje cenu článků. Avšak tyto články mají horší vlastnosti než monokrystalické. [21]

**Amorfni fotovoltaický článek** je nejlevnějším typem. Nízké ceny je dosaženo nízkou spotřebou křemíku na výrobu článku. Články jsou tvořeny skleněnou podložkou, na kterou je napařováním nanesena slabá křemíková vrstva. Nejčastěji se používají pro ohebné nebo velmi tenké fotovoltaické články.

V tabulce č. 1 jsou přehledně uvedeny jednotlivé parametry pro předchozí typy článků. [7]

materiál článku	max. laboratorní účinnost	provozní účinnost	plocha potřebná na 1 kW
monokrystalický křemík	24,7 %	15 %	6,7 m <sup>2</sup>
polykrystalický křemík	18,5 %	14 %	7,2 m <sup>2</sup>
amorfni křemík	12,7 %	6 %	16,7 m <sup>2</sup>

Tabulka 1 - porovnání fotovoltaických článků [7]

### Možnosti zvýšení výtěžnosti fotovoltaických panelů:

#### 1. Antireflexní vrstvy a tvar povrchu

První možností zvýšení účinnosti je použití antireflexní vrstvy na přední straně článku, která zajistí minimální odraz. Tím se zvýší intenzita dopadajícího záření. Další možností je vytvořit vyleptáním na povrchu strukturu malých jehlanů, ta usnadní vstup fotonů do článku. Dále zajistí totální odraz nezachycených fotonů zpět do článku. [21]

#### 2. Oboustranné moduly

Tyto články mají na obou stranách stejnou strukturu, to umožňuje absorbovat záření z obou stran. Na zadní straně je účinnost nižší, neboť na ni dopadá pouze odražené záření. Při použití těchto panelů se udává zvýšení produkce až o 30 %. [21]

#### 3. Použití koncentrátorů

Koncentrátory slouží ke sběru slunečního záření, které je pak přeměřováno na fotovoltaický článek. Tím získáme sluneční záření s mnohem větší intenzitou. Hlavní výhodou koncentrátoru je nižší pořizovací cena než fotovoltaických článků. Avšak s použitím koncentrátorů vzniká mnoho problémů. Mezi hlavní

problémy patří nutnost udržovat fotovoltaický článek v ohnisku koncentrátoru. To znamená potřebu koncentrátorů umístit na natáčecí zařízení. Pokud se fotovoltaický článek nenachází v ohnisku, tak se koncentrace záření snižuje. Dalším problémem, který může nastat při použití koncentrátorů, je nadměrné zahřívání fotovoltaických článků. Koncentrátorů můžeme rozdělit na dva typy: zrcadlové nebo čočkové koncentrátorů. V praxi se nejčastěji můžeme setkat s koncentrátorů s rovinnými zrcadly. [22]

#### 4. Natáčení fotovoltaických panelů

Další možnost, jak zvýšit energetickou výtěžnost fotovoltaických panelů, bych uvedl natáčení panelů. Jedná se o nejrozšířenější způsob. Princip je velmi jednoduchý: panely připevníme na otočnou konstrukci, která bude sledovat dráhu Slunce. Pokud zařídíme, aby sluneční paprsky dopadaly kolmo na panel, můžeme zvýšit energetickou výtěžnost až o 35 %. Tento způsob má hlavní nevýhodu ve velkých pořizovacích nákladech a větších nárocích na prostor. Natáčecí systémy můžeme rozdělit podle způsobu natáčení na jedno-osé a dvou-osé. Automatické jedno-osé natáčení zajišťuje sledování denního pohybu Slunce od východu na západ. Respektování výšky Slunce nad obzorem, která je závislá na ročním období, se u těchto systému nejčastěji nastavuje manuálně, případně se nastaví pevně při výstavbě. Druhým způsobem je dvou-osé natáčení, které má zajistit kolmé dopadání slunečních paprsků během celého roku. Dvou-osé natáčení může zvýšit energetickou výtěžnost až o 40 %. Jelikož dojde k navýšení energetické výtěžnosti pouze o 5 % oproti jedno-osému natáčení, je výhodnější z hlediska nákladů použít natáčení jen v jedné ose a případně během roku nastavit druhou osu na zimní nebo letní provoz. [22]

Hlavním problémem fotovoltaických panelů je vliv teploty panelu na jeho účinnost. U monokrystalických panelů se udává, že při zvýšení teploty o 1 °C je pokles účinnosti o 0,4 %. Z těchto důvodů pak dochází k jevu, že v letních měsících, kdy dopadá nejvíce slunečního záření, dochází vlivem nárůstu teploty fotovoltaického panelu ke snížení účinnosti na 9 %. To má za následek, že v jarních měsících (při příznivých podmínkách) jsou fotovoltaické panely schopny vyrobit více energie než v letních měsících.

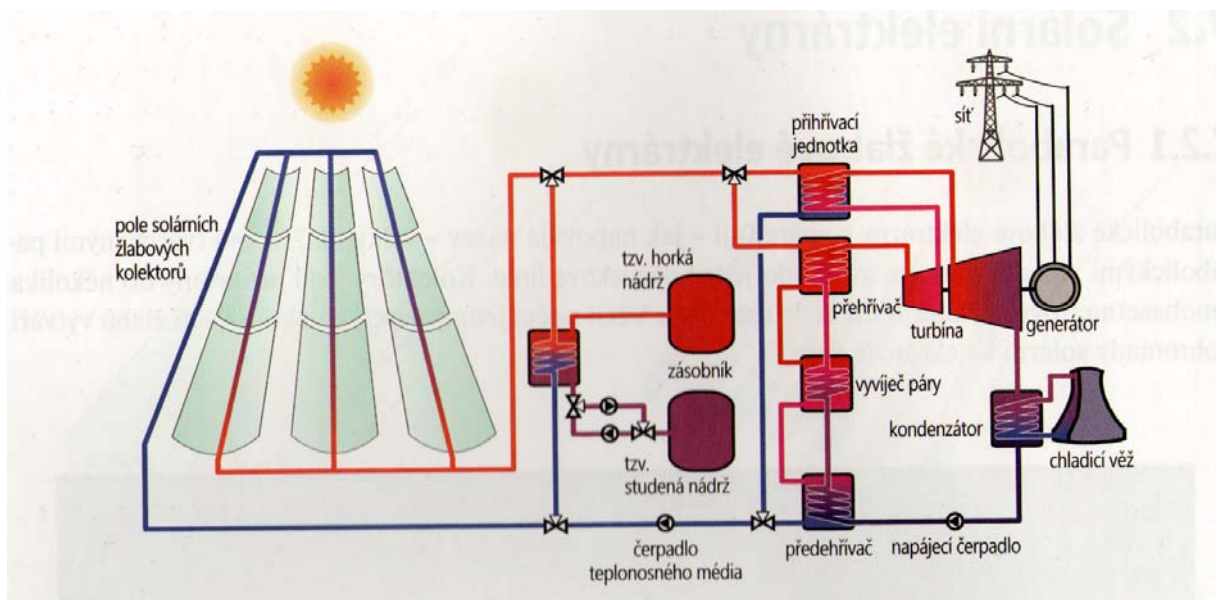


### 1.1.2 Sluneční tepelné elektrárny

Pracují na principu soustředění slunečního záření na absorbér z více míst. Tím získáme koncentrované sluneční záření, které dokáže zahřát povrch až na 1000 °C. Tyto elektrárny jsou velmi náročné na prostor. Musíme umístit velké množství zrcadel pro získání co největší sběrné plochy slunečního záření. Sluneční tepelné elektrárny jsou vhodné pro lokality, kde se roční úhrn slunečního záření pohybuje okolo 1900 kWh/m<sup>2</sup>.

#### Parabolické žlabové elektrárny

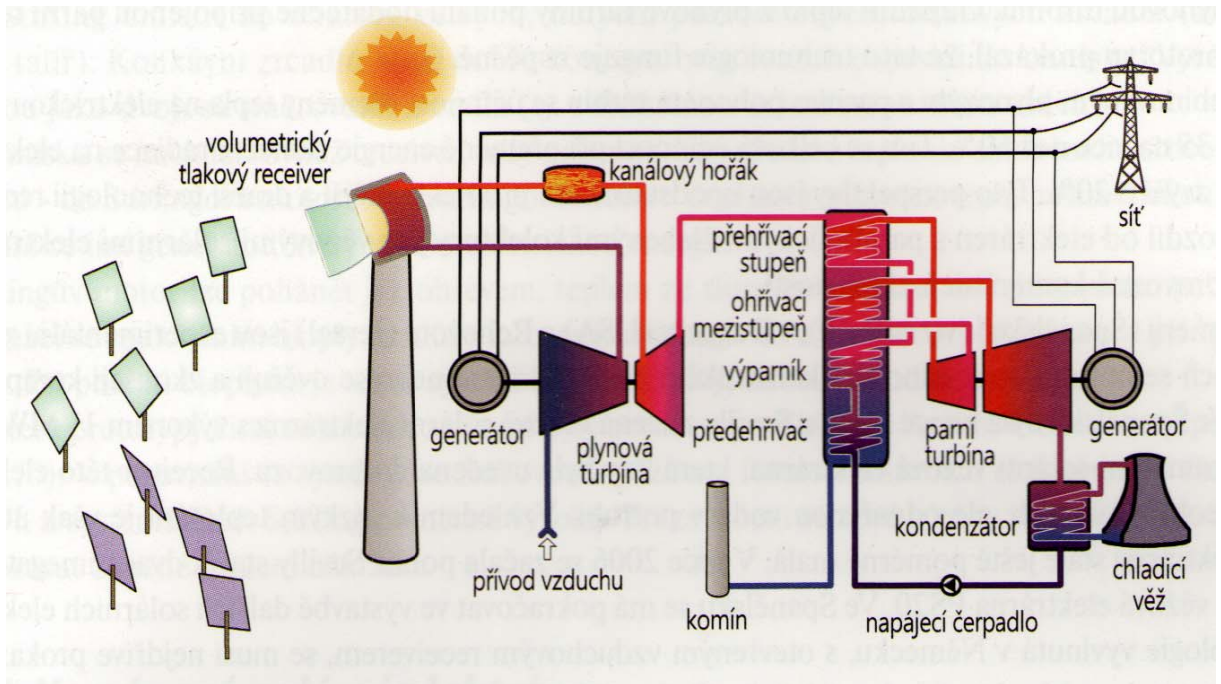
Jsou tvořeny velkým parabolickým zrcadlem ve tvaru žlabu, kde se v ohnisku nachází trubice absorbéru, kterou protéká speciální tepelný olej, jenž se ohřívá na teplotu 400 °C. Trubice je ve vakuovém skleněném plášti, aby se omezily tepelné ztráty. Teplo od oleje je ve výměníku předáváno parovodnímu okruhu. Následuje klasický princip parní elektrárny. Žlabové kolektory jsou upevněny na konstrukci, která umožňuje jedno-osé natáčení. Kolektory se propojují a vytváří tak jednotlivá solární kolektorová pole. V případě nedostatku slunečního záření (oblačnost, noc) je oběh vybaven hořáky na zemní plyn. Na obrázku č. 5 je schéma této elektrárny. Největší elektrárna tohoto typu se nachází v USA. Je postavena v kalifornské Mohavské poušti, její instalovaný výkon je 354 MW. [7]



Obrázek 5 - schéma elektrárny se žlabovými kolektory [7]

## Solární věžové elektrárny

Hlavní částí je věž, na které je umístěn přijímací absorbér. Zde dochází k předání tepla teplotonosnému médiu (tekutá sůl nebo vzduch). To přivádí teplo do plynové nebo parní turbíny, ke které je připojen elektrický generátor. Tento systém se ještě doplňuje o plynový hořák, který slouží při nedostatku slunečního záření. Další nedílnou součástí, bez které by tato elektrárna nemohla fungovat, je otočná soustava heliostatů. Heliostaty je zapotřebí správně nasměrovat s přesností na desetiny stupně. Na obrázku č. 6 je schéma solární věžové elektrárny s uzavřeným vzduchovým receiverem. Princip je následující: stlačený vzduch (1,5 MPa) v receiveru je ohříván až na teplotu 1100 °C, který slouží pro pohon plynové turbíny. Odpadní teplo z plynové turbíny je využíváno pro parní oběh druhé turbíny. První komerčně postavená solární věžová elektrárna se nachází ve Španělsku. Byla vybudována u města Sevilla v roce 2006 a její výkon je 11 MW. [7]

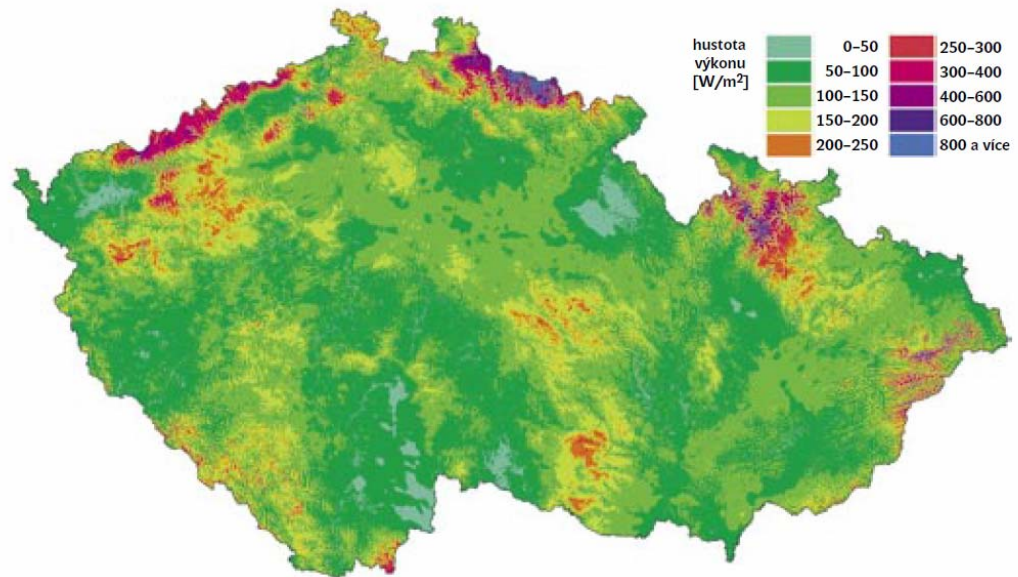


Obrázek 6 - schéma solární věžové elektrárny [7]

## 1.2 Větrná energie

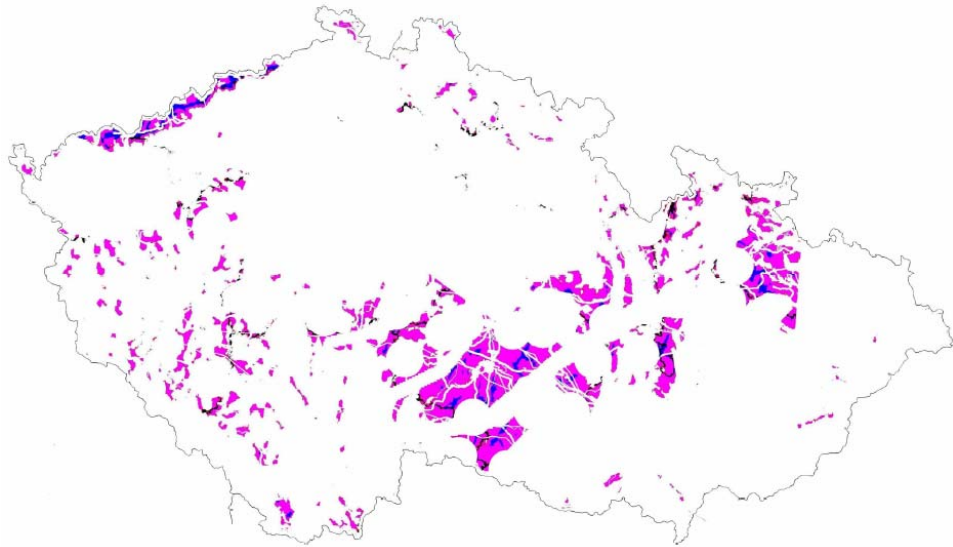
Větrná energie vzniká působením Slunce na naši planetu. Dopadající sluneční záření zahřívá nerovnoměrně povrch planety a dochází ke vzniku proudění vzduchu. Větrnou energii využívalo lidstvo už v dobách před naším letopočtem. V Orientu využívali větrnou energii pro pohon zavlažovacích kol. V Evropě se začala využívat větrná energie až kolem dvanáctého století pro mlýny na mletí obilí. Větrné mlýny se využívaly nejen pro mletí obilí, ale i jako

vodní pumpy a pohony různých strojů. Po vynalezení parní turbíny se větrná energie přestávala využívat, hlavně z důvodu nekontinuality větru. Dnes se k využívání větrné energie vracíme hlavně v Severním a Baltském moři. Před provedením výstavby větrné elektrárny musíme vybrat vhodnou lokalitu s dostatečným větrným potenciálem. Nejprve se podíváme na mapu větrného potenciálu České republiky obrázek č. 7.



**Obrázek 7 - prostorové rozložení hustoty výkonu větru ve W/m<sup>2</sup> [9]**

Na této mapě je znázorněna prostorová hustota výkonu větru. Pro výstavbu větrných elektráren jsou nejvhodnější oblasti s hustotou výkonu větru nad 400 W/m<sup>2</sup>, použitelné jsou i oblasti s hustotou výkonu větru nad 200 W/m<sup>2</sup>. Z této mapy ale musíme vyloučit všechny národní parky, chráněné krajinné oblasti, vodní plochy, vojenské prostory a spoustu dalších míst. Na obrázku č. 8 jsou vyznačena místa použitelná pro výstavbu větrných elektráren. [8]



Obrázek 8 - lokality vhodné pro větrné elektrárny [10]

### 1.2.1 Typy větrných motorů

Větrné motory se dají dělit z mnoha hledisek. Hlavní rozdělení je na dva základní typy: odporový a vztlakový motor.

#### Odporový typ větrného motoru

Pracuje na základě kladení aerodynamického odporu větru vhodně tvarovanými plochami, které převádí energii větru na rotační pohyb. Mohou mít vodorovnou nebo svislou osu otáčení. Příkladem tohoto větrného motoru je takzvaný Savoniův větrný motor. Ten je tvořen dvěma částečně se překrývajícími poloválčovými plochami, které zajišťují aerodynamický odpor. Hlavní výhodou je velmi jednoduchá konstrukce, ale účinnost je nižší než u vztlakových větrných motorů. Další výhodou je funkčnost i při malé rychlosti větru. V praxi se používají jen pro menší výkony a to v omezeném množství. [8]

#### Vztlakový typ větrného motoru

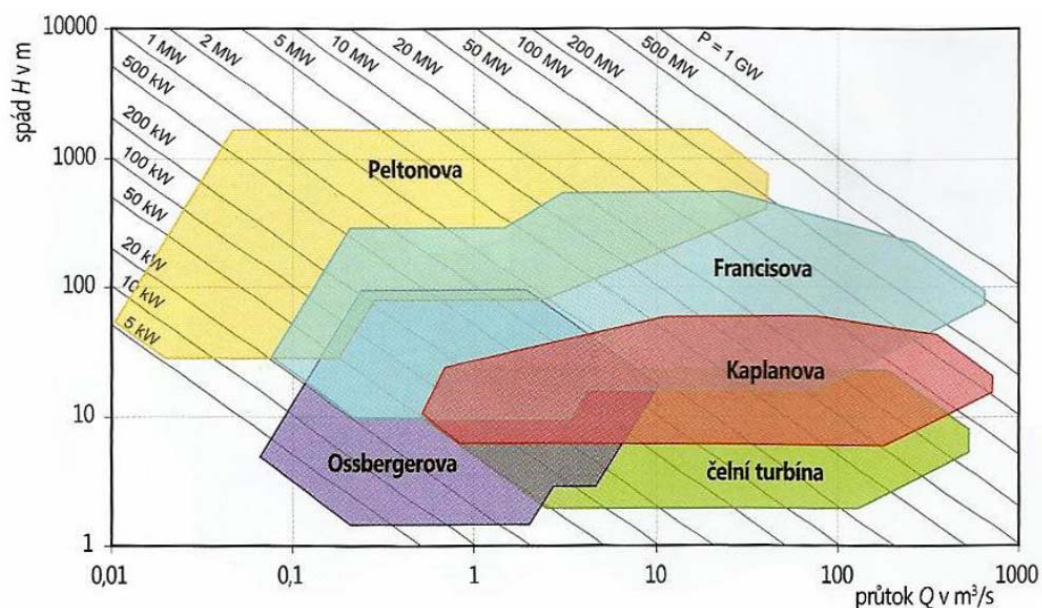
Dnes se nejčastěji využívají větrné motory se třemi pomaloběžnými listy rotoru umístěnými v horizontální ose. Rotorové listy se mohou konstruovat jako natáčivé, tím se zlepší rozběh a mohou se snáze regulovat otáčky. Dalším představitelem, pracujícím na vztlakovém principu, je větrný motor Darreius, který má vertikální osu. [8]

### 1.2.2 Větrné elektrárny

Větrné elektrárny můžeme rozdělit podle jejich umístění na klasické a pobřežní, které jsou postaveny na moři. Větrná elektrárna se skládá ze stožáru, gondoly a vrtule rotoru. Stožár musí být pevně ukotven, aby odolal povětrnostním podmínkám. Nejdůležitější část tvoří gondola, ve které se nachází generátor s převodovkou a systémem pro natáčení větrné elektrárny proti větru. Průměry vrtulí dnes dosahují 115 m, jedná se o větrné elektrárny s výkonem 5 MW. Dále musí být větrná elektrárna vybavena systémem ochrany proti vichřicím. Mořské větrné parky se rozmohly v posledních letech hlavně u pobřeží Německa a Velké Británie. Výkony mořských větrných parků jsou i přes 300 MW. U mnoha větrných parků, které jsou ve větší vzdálenosti od pobřeží, se využívá pro přenos stejnosměrné napětí. Z důvodu snížení ztrát v podmořském kabelu. Napětí se na pobřeží opět transformuje na střídavé. [7]

### 1.3 Vodní energie

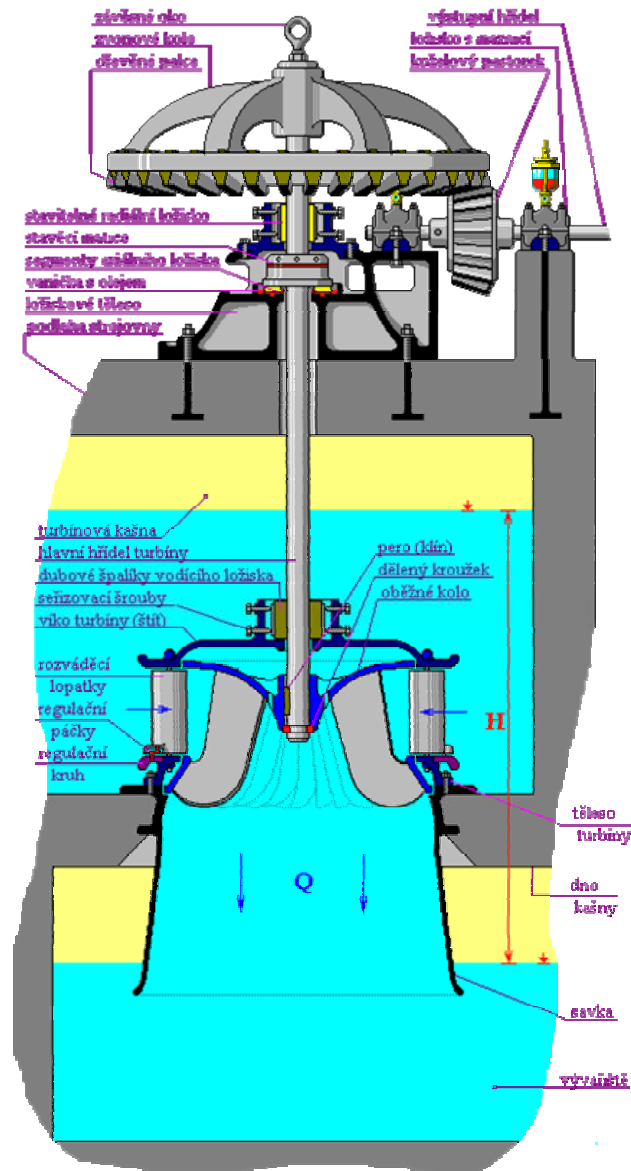
Energie vody je stejně jako energie větru závislá na dopadajícím slunečním záření, jež zajišťuje koloběh vody. Vodní energie je nejdéle využívaným zdrojem energie. V okolí vodních toků se stavěly vodní mlýny pro mletí obilí, případně pro pohon pil. V posledních letech byla většina starších mlýnů přestavěna na malé vodní elektrárny. Jelikož je potenciál využití vodní energie značně omezen dodržением minimálních průtoků daných toků, je dnes potenciál využití vodní energie České republiky téměř vyčerpán. Vodní elektrárny se dnes nejčastěji staví v zemích „třetího světa“. Hlavními faktory určující potenciál vodního toku jsou: průtok  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] a spád  $H$  [m]. Tyto faktory určují i volbu typu použitelné turbíny. Typ turbíny volíme podle H-Q diagramu, který je ukázán na obrázku č. 9. [11]



Obrázek 9 - H-Q diagram [7]

### 1.3.1 Vodní turbíny

**Francisova turbína** nese jméno po svém vynálezci Jamesi Bichemo Francisovi. Jedná se o přetlakovou turbínu, která může pracovat jak vertikálně, tak i horizontálně. Turbína je tvořena oběžným kolem, které má lopatky pevně spojeny s věncem a kotoučem kola. Regulace se provádí rozvaděčem s pohyblivými natáčecími lopatkami. Na obrázku č. 10 je schéma uspořádání Francisovy vertikální turbíny. V minulosti byla nejčastěji používaným typem, dnes se s ní můžeme nejčastěji setkat u starších malých vodních elektráren menšího spádu. U menších výkonů se přívod řeší kašnovým uspořádáním. Francisova turbína se také využívá ve velkých přečerpávacích elektrárnách a to hlavně z důvodu možnosti reverzního chodu, kdy pracuje jako čerpadlo. [11]



Obrázek 10 - Francisova vertikální turbína [16]

**Kaplanova turbína** byla vynalezena vylepšením vrtulové turbíny profesorem Viktorem Kaplanem v roce 1919. Rozdíl oproti vrtulové turbíně je v natáčivých oběžných i rozváděcích lopatkách. Tímto vylepšením je dosaženo vysoké účinnosti pro různé průtokové poměry. Kaplanova turbína má složitější konstrukci než předchozí, což zvyšuje pořizovací náklady, které jsou kompenzovány účinností, která dosahuje až 95 %. Kaplanova turbína je používána například na vodní nádrži Mohelno o výkonu 1,2 MW. [11]

**Čelní turbína** vychází z konstrukce Kaplanovy turbíny. Používá se pro spády do 30 m a nově nahrazuje Kaplanovu turbínu. Hlavním rozdílem oproti ostatním typům je v uložení generátoru. Ten se nachází v uzavřeném pouzdře hruškovitého tvaru za turbínou. V anglickém

jazyce bývá proto označována jako „Bulb Turbine“. Můžeme se setkat s turbínou o výkonu od 450 kW až 400 MW. [12]

**Peltonovu turbínu** zkonstruoval v roce 1880 Lester Allen Pelton. Jedná se o rovnotlakou turbínu s tangenciálním vstupem vody. Oběžné kolo je tvořeno lžícovými lopatkami, na které tryská voda z jedné nebo více dýz. Dýzy slouží k přeměně tlakové energie vody na kinetickou energii. Výkon se reguluje pohybem jehly v dýze, kde dochází k přivírání nebo otevírání výstupního otvoru jehlou. Peltonova turbína je vhodná pro vysoké spády o malém průtoku. [13]

**Ossbergerova turbína** je vylepšená verze Bánkiho turbíny, která je vhodná pro malé spády. Velmi vhodná je také jako náhrada tam, kde se dříve využívalo vodní kolo na horní vodu nebo na místo některých Francisových turbín. Voda se do turbíny přivádí kruhovými potrubím. Než se voda přivede do turbíny, je kruhový průřez změněn na obdélný průřez. Jako regulace slouží nejčastěji klapka, ta je umístěna na konci vstupního potrubí. Ossbergova turbína funguje na podobném principu jako Peltonova turbína, která využívá pouze kinetickou energii vody. Přiváděná voda do turbíny vniká štěrbinou mezi klapkou a šikmou stěnou, tím se spád vody přemění na kinetickou energii. Voda vstupuje do oběžného kola tangenciálně. Oběžné kolo se osazuje velkým počtem dlouhých lopatek. Lopatky směřují protékající vodu do středu oběžného kola, čímž dojde k předání až 79 % energie z celkového výkonu turbíny. Voda dále volně protéká pod hřídelí a vstupuje na lopatky protější strany, kde dochází k předání dalších 21 % energie z celkového výkonu turbíny. Hlavní výhodou této turbíny je velmi jednoduchá konstrukce, která je vhodná pro malé spády. Pro kolísavé hodnoty průtoku se používá poupravená turbína, kdy je oběžné kolo podélně rozděleno na několik sekcí. [14]

### 1.3.2 Rozdělení vodních elektráren

**Akumulační vodní elektrárny** mají obvykle větší výkony. Výstavba těchto elektráren vyžaduje zaplavení velkého území, proto se pro výstavbu vybírají místa k tomu geologicky vhodná. Základní částí je velká hráz, přičemž některé mohou dosahovat výšky až 300 m. Tím získáme velký spád, který poskytne tlak až 20 MPa. Voda je přiváděna tlakovodním potrubím do turbíny, která následně pohání elektrický generátor. Přehradní nádrž nezajišťuje pouze výrobu elektřiny, ale tvoří prvek ochrany proti povodním nebo případně slouží jako zásobárna



pitné vody. Jejich výkon je využíván převážně pro pokrytí špičkové části denního diagramu zatížení elektrizační soustavy. Největší akumulární vodní elektrárna se nachází v Číně na řece Jang-c'-t'iang, která se jmenuje Tři soutěsky. Byla dostavěna v roce 2009 a její instalovaný výkon je 22500 MW. Nejvýkonnější akumulární elektrárna v České republice je elektrárna Orlik s instalovaným výkonem 364 MW. [15]

**Průtočné vodní elektrárny** dosahují menších výkonů než akumulární, ale pro jejich stavbu nemusíme stavět velké hráze. Do této kategorie spadají téměř všechny malé vodní elektrárny. U větších elektráren se využívá více paralelně běžících turbín, které mohou být při nedostatku vody odstaveny. Hráze nebo jezy musejí být vybaveny ochranným přepadem, v případě lodní dopravy i systémem zdymadel. Jelikož hráze a jezy tvoří nepřekonatelnou překážku pro migrující ryby, vytváří se pro ně rybí přechody. Protože tyto elektrárny nemají možnost akumulace, řadí se do základní části denního diagramu zatížení elektrizační soustavy. [7]

**Přečerpávací vodní elektrárny** potřebují pro svou funkci dvě nádrže, mezi kterými bude velký výškový rozdíl hladin. Přečerpávací elektrárny podle své funkce nepatří mezi obnovitelné zdroje elektrické energie, neboť při své funkci spotřebují více elektrické energie, než dokážou vyrobit. Avšak jsou s obnovitelnými zdroji elektrické energie pevně svázány a to především s větrnými a fotovoltaickými elektrárnami, pro které zajišťují záložní výrobu v případě jejich výpadku. Přečerpávací elektrárny jsou pro elektrizační soustavu velmi důležité, neboť dokážou velmi rychle reagovat na změny zatížení. Zastávají v elektrizační soustavě funkci akumulátoru energie. Při přebytku energie se elektrárna přepne do čerpacího režimu a ukládá elektrickou energii s účinností až 70 %. Ukládání funguje přečerpáním vody ze spodní nádrže do horní, voda z horní nádrže je následně využita pro výrobu elektrické energie. V České republice se nachází tři funkční přečerpávací elektrárny, všechny jsou vybaveny Francisovými reverzními turbínami. Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice leží na řece Jihlavě a její instalovaný výkon je 480 MW. Největší přečerpávací elektrárnou v České republice jsou Dlouhé Stráně s instalovaným výkonem 650 MW. Poslední přečerpávací elektrárnou jsou Štěchovice II. s instalovaným výkonem 45 MW. Celkově jsou přečerpávací elektrárny schopny krýt výpadek až 1175 MW. [15]

**Přílivové elektrárny** využívají pro svou činnost rozdíl hladin při přílivu a odlivu. Je vhodná pouze pro pobřeží, kde je velký výškový rozdíl při přílivu a odlivu. Pro stavbu se

vybere vhodná zátoka, která se přehradí hrází s turbínou. Při přílivu poteče voda přes turbínu do přehrazené zátoky a při odlivu poteče voda zpět přes turbínu. Hlavní nevýhodou je nekontinuální výkon. Další problém pak přináší korozní účinky slané mořské vody. Přílivové elektrárny mají velmi vysoké pořizovací náklady, proto se s nimi setkáme ojediněle. Největší přílivová elektrárna se nachází ve Francii s instalovaným výkonem 240 MW. [7]

## 1.4 Geotermální energie

Množství tepla ukryté pod povrchem Země je obrovské, bohužel, téměř všechno teplo se šíří k povrchu vedením při nízké tepelné hustotě pohybující se okolo  $0,05 \text{ W/m}^2$  a to je pro přímé využití nepoužitelné. Tato skutečnost určuje využití geotermální energie převážně pro vytápění. V České republice podmínky pro využití geotermální energie pro výrobu elektrické energie nejsou vhodné. Z tohoto důvodu se v České republice geotermální energie používá pouze pro vytápění, například v Děčíně využívají k vytápění podzemní vodu z hloubky 550 m. Pokud se vyskytnou místa s vhodnými geologickými formacemi, kde teplo dokáže projít s větší hustotou, můžeme teplo využít pro výrobu elektrické energie. Musíme počítat se zvýšenými požadavky na odolnost potrubí, neboť většina páry nebo vody obsahuje mnoho agresivních látek. Zdroje využívající geotermální energii můžeme rozdělit na tři skupiny. [17]

**Geotermální elektrárny na suchou páru** jsou konstrukčně nejjednodušší a také mají nejvyšší účinnost. Suchá pára se odvádí z nepříliš hlubokých vrtů pod přirozeným tlakem až 10 MPa do separátoru. Kde je pára, která má teplotu od 200 do 250 °C, zbavena vodních kapiček a následně se už může použít pro chod turbíny. Po výstupu z turbíny se pára odvádí do kondenzátoru, kde se přemění na vodu a můžeme ji vrátit zpět dalším vrtem. Nejstarší geotermální elektrárna se nachází v Itálii u města Larderellu, v provozu je od roku 1913 a její výkon je 550 MW. Nejvýkonnější geotermální elektrárna The Geysers byla postavena v USA ve státě Kalifornie a dosahuje výkonu 1350 MW. [17], [18]

**Geotermální elektrárny na mokrou páru** dosahují výkonů od 10 do 60 MW. Stavba je možná v lokalitách, kde se mohou nalézt dostatečně velké zdroje horké vody. Voda se získává z vrtu a dosahuje teplot od 180 do 380 °C, následně se přivede do odtlakovací nádrže, kde snížením tlaku dojde k částečnému odpaření. Pára následně pohání turbínu, která je připojena ke generátoru elektrického proudu. Pokud získávaná voda bude mít nižší teplotu nebo tlak,

pak ji můžeme použít pro ohřev jiného tepelného média, které se snáze odpařuje. Pro tato média, kterým je například Isopentan PF5050, se využívá ORC princip. Jako teplotonosná látka se využívá organického pracovního média, které se odpařuje pod vysokým tlakem při teplotách pod 100 °C. Hlavní nevýhodou je velmi nízká účinnost, udává se kolem 10 %. [7], [17]

## 1.5 Energie biomasy

Biomasa se souhrnně nazývá veškerá hmota organického původu, jak rostlinného tak živočišného. Biomasa vytvářejí rostliny ve formě uhlovodíků na základě fotosyntézy. Zjednodušeně se může říci, že biomasa je vlastně uskladněná sluneční energie. Pro vznik biomasy nestačí pouze sluneční záření, ale nezbytnou látkou pro její tvorbu je i voda. Abychom mohli zvolit nejvhodnější rostlinu pro pěstování, musíme určit její účinnost fotosyntézy. Rostliny, které dosáhly při optimálních podmínkách účinnosti fotosyntézy od 2 do 5 %, označujeme jako C4-rostliny. Mezi tyto rostliny například patří: kukuřice, cukrová třtina, proso, čínský rákos. Biomasa živočišného původu vzniká pouze z jiné biomasy (nejčastěji rostlinné). Využití biomasy můžeme rozdělit na dvě kategorie: spalování pevné biomasy, přeměnou pevné biomasy na biopaliva (bionafta, bioplyn, rostlinné oleje, biolih). V této práci se budu hlavně věnovat přeměně biomasy na bioplyn. [17], [19]

### 1.5.1 Spalovny pevné biomasy

Dnes se nejčastěji využívá spalování dřevní štěpky v teplárnách, které bývají vybaveny kogenerační jednotkou pro současnou výrobu tepla a elektrické energie. Pokud zajistíme optimální spalování, tak teoreticky vznikne stejné množství CO<sub>2</sub>, jako které rostlina spotřebovala ke svému růstu. Pokud se chceme této teorii přiblížit, musíme pravidelně provádět kontroly účinnosti spalování. Jedním z nejdůležitějších parametrů, které se u paliva musí měřit, je jeho vlhkost. Popel vzniklý spalováním biomasy je možné znovu využít jako hnojivo, pokud splní potřebné podmínky. [17], [19]

### 1.5.2 Bioplynová stanice

Dnes dochází k velkému rozkvětu ve výstavbě bioplynových stanic, nejčastěji se bioplynové stanice staví poblíž chovatelských zařízení, jejichž odpad slouží jako část paliva použitého pro vznik bioplynu. Bioplynové stanice pracují na základě anaerobní fermentace. Bioplynové stanice můžeme rozdělit podle druhu vstupních surovin.

1. Zemědělské bioplynové stanice – vstupní surovinou jsou hlavně odpady z chovu užitkových zvířat (kejda, hnůj, slepičí trus). Další surovinou jsou plodiny cíleně pěstované pro výrobu bioplynu (nejčastěji kukuřice). Výstavba se obvykle provádí v blízkosti zemědělských závodů, aby byly náklady na dopravu co nejnižší. Jedná se o nejrozšířenější typ bioplynových stanic. [25]
2. Kofermentační bioplynové stanice – vstupní surovinu tvoří převážně organické odpady z jatek (tuky, krev) nebo odpadní kaly z čističek odpadních vod. Z důvodu druhu vstupních surovin jsou pro provoz zpřísněny hygienické podmínky. [25]
3. Komunální bioplynové stanice – používají jako vstupní suroviny tříděný bioodpad (tráva, bioodpad z restaurací a domácností).[25]

**Anaerobní fermentace** je proces, při kterém dochází k rozkladu organického materiálu bez přístupu vzduchu. Výslednými produkty rozkladu jsou plyny ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  a další v závislosti na vstupních surovinách), nerozložitelný fermentační zbytek (digestát) a odpadní voda (fugát). Proces můžeme rozdělit na čtyři části, během kterých dochází k jednotlivým rozkladům látek.

1. Hydrolýza – v první fázi dochází pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů ke štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny. Makromolekulární látky v této fázi jsou převážně bílkoviny, polysacharidy, tuky a celulóza. Po skončení první fáze vzniknou nízkomolekulární látky: mastné kyseliny, voda, monosacharidy, aminokyseliny.
2. Acidogeneze – zde jsou štěpeny látky vzniklé při předchozí fázi na jednodušší organické látky: alkoholy, kyseliny. Při štěpení dochází k uvolňování  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}_2$ .

3. Acetogeneze – v této fázi dochází k oxidaci látek vzniklých ve fázi dvě. Oxidací vzniká kyselina octová a dochází k uvolňování  $H_2$  a  $CO_2$ .
4. Metanogeneze – je poslední fází celého procesu. Působením metanogenních bakterií vzniká z  $H_2$ ,  $CO_2$  a kyseliny octové metan  $CH_4$ . Metanogenní bakterie jsou velmi citlivé na změny parametrů prostředí. Mezi hlavní parametry patří teplota, pH a přítomnost toxických a inhibujících látek.

Anaerobní fermentační proces můžeme dále dělit dle optimální teploty pro mikroorganismy na tři skupiny. Nejčastěji se v praxi používá anaerobní fermentace v mezofilní oblasti s teplotou prostředí  $38\text{ }^\circ\text{C}$ .

1. Psychofilní oblast – teplota prostředí se pohybuje do  $30\text{ }^\circ\text{C}$ .
2. Mezofilní oblast – teplota prostředí se pohybuje mezi  $30$  až  $40\text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Termofilní oblast – teplota prostředí je od  $45$  do  $60\text{ }^\circ\text{C}$ .

Nejčastěji využívaná technologie na výrobu bioplynu je takzvaná „mokrý fermentace“. Základem je substrát s obsahem sušiny menším než  $12\%$ , který je dodáván do fermentoru. Zde za nepřístupu vzduchu a stálého promíchávání a při udržované teplotě nejčastěji  $38\text{ }^\circ\text{C}$  dochází ke vzniku bioplynu. Tuto technologii můžeme rozdělit na čtyři stavebně-technologické celky.

**Příjmový systém** slouží k přípravě a uskladnění vstupního substrátu. Zde jsou umístěny skladovací prostory pro vstupní suroviny. Další částí je příprava substrátu pro anaerobní fermentaci, který je pravidelně dodáván do fermentoru. Vstupní suroviny je potřeba rozmělnit, abychom dosáhli větší kontaktní plochy a naředit na požadovaný obsah sušiny v substrátu.

**Fermentační systém** je nejdůležitější součástí bioplynové stanice. Nejčastěji se používá vzduchotěsná betonová kruhová nádrž s betonovým stropem, kde dochází k vlastní anaerobní fermentaci. Další součástí fermentačního systému je plynovod, který se buď umísťuje samostatně, nebo je integrován přímo do fermentoru. Parametry prostředí ve fermentoru se liší dle použité technologie. Parametry jsou pH ( $6,5 - 7,5$ ), teplota ( $30 - 40\text{ }^\circ\text{C}$ ) a hydraulická doba zdržení ( $35 - 110$  dnů). Dále se můžeme setkat s jednostupňovým, případně

dvoustupňovým anaerobním procesem. Fermentor je vybaven míchacím zařízením a otopným systémem, který udržuje požadovanou teplotu.

**Odpadní systém** zajišťuje uskladnění odpadních zbytků po anaerobní fermentaci. Dělí se na dvě části: fugát a digestát. Fugát je odpadní voda s podílem sušiny kolem 1 %, která se nejčastěji odvádí do čističky odpadních vod. Případně se může použít pro zředění vstupní suroviny v prvním systému. Pak je nutné kontrolovat obsah dusíku, aby nedošlo k inhibičním účinkům na anaerobní proces. Digestátem jsou tuhé zbytky (se sníženým obsahem biologicky rozložitelných látek) po anaerobní fermentaci. Digestát je možné využít jako hnojivo, pokud vyhoví všem předepsaným podmínkám.

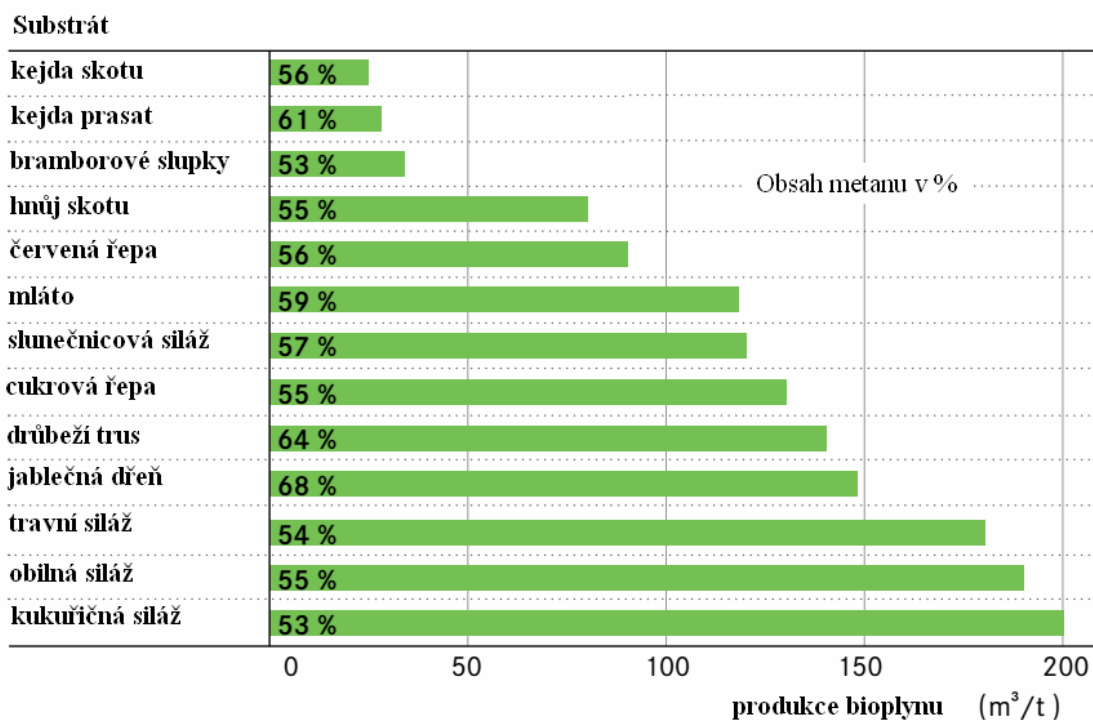
**Energetický systém** reprezentuje způsob nakládání s vyrobeným bioplynem. Bioplyn můžeme využít pro spalování v teplovodních kotlích pro výrobu tepla. Další možností, která se v praxi používá častěji, je spalování bioplynu ve spalovacích motorech s připojeným elektrickým generátorem pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Poslední možností využití je vyčištění bioplynu a jeho prodej do plynárenské sítě. [23], [24]

**Bioplyn** můžeme rozdělit na dva základní druhy: skládkový a reaktorový. Na základě tohoto rozdělení se mění i složení daného bioplynu. Skládkový bioplyn obsahuje větší množství nečistot, protože systém není zcela plynotěsný. U reaktorového bioplynu závisí složení nejen na použitém druhu vstupních surovin, ale i na způsobu fermentace. Hlavní složky bioplynu tvoří metan a oxid uhličitý. Složení bioplynu je uvedeno v tabulce č. 2.

Složka	Obsah v %
Metan (CH <sub>4</sub> )	45 – 75
Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )	25 – 48
Dusík (N <sub>2</sub> )	1 – 3
Vodík (H <sub>2</sub> )	0 – 3
Sulfan (H <sub>2</sub> S)	0,1 – 1
Kyslík (O <sub>2</sub> )	0 – 2
Amoniak (NH <sub>3</sub> )	stopové množství

Tabulka 2 - složení bioplynu [26]

Výtěžnost bioplynu závisí na použité vstupní surovině, to je názorně zobrazeno na obrázku č. 11. Z obrázku je patrné, že volba vstupní suroviny je velmi důležitá pro výslednou produkci bioplynu. Pro jednotlivé vstupní suroviny se mění i obsah metanu v získaném bioplynu.



Obrázek 11 - výtěžnost bioplynu z různých substrátů [27]

V České republice je k 30. 6. 2012 v provozu 342 bioplynových stanic o celkovém přibližném instalovaném výkonu 245 MW. [20]

## 2 Podmínky připojování výroben elektrické energie

Základní podmínky pro připojování zdrojů do sítě jsou uvedeny v Pravidlech provozování distribučních soustav. Technické parametry jsou uvedeny v příloze č. 4 těchto pravidel.

### 2.1 Požadované údaje o připojované výrobně elektrické energie

Výrobci elektrické energie se dělí do dvou skupin podle instalovaného výkonu a podle napěťové úrovně, ke které bude výrobná připojena. Do první skupiny spadají výrobní

připojené k síti nn nebo vn o celkovém výkonu menším než 5 MW. Druhou skupinu tvoří výrobní připojované do sítí vn a vvn o celkovém výkonu větším než 5 MW.

### **2.1.1 Požadované údaje pro všechny výrobní (1. a 2. skupinu)**

Před schvalovacím procesem je nutné dodat provozovateli distribuční soustavy údaje pro správné vypracování modelu, podle kterého bude zvolen vhodný způsob připojení. Potřebné údaje jsou následující: jmenovité výstupní napětí, jmenovitý zdánlivý výkon, jmenovitý činný výkon, maximální dodávaný činný výkon, druh generátoru, provozní režim výrobní elektrické energie, příspěvek ke zkratovému proudu, řízení napětí, štítkové hodnoty výstupního transformátoru, způsob napájení vlastní spotřeby, schopnost ostrovního provozu a startu ze tmy, způsob regulace činného výkonu, způsob připojení a odpojení od distribuční sítě, údaje o ochranách a podrobné údaje o řešení způsobu provozu přípojného uzlu. [28]

### **2.1.2 Požadované údaje pro 2. skupinu**

Pro výrobní s celkovým výkonem nad 5 MW je nutné doplnit následující údaje: PQ diagram, typ buzení, konstanta setrvačnosti, odpor statoru, reaktance v podélné a příčné ose, časové konstanty, odpor a reaktance zpětné a netočivé složky, údaje o transformátoru, údaje o automatické regulaci napětí, údaje o regulátoru otáček a typu pohonu, minimální a maximální provozní svorkové napětí zdroje a vlastní spotřeby, výkon na prahu výrobní a minimální výkon každé generátorové jednotky, údaje o vlastní spotřebě generátorové jednotky a výrobní, regulační rozsah dodávky jalového výkonu. [28]

### **2.1.3 Požadované údaje pro větrné elektrárny s výkonem nad 1 MW**

Pokud chceme připojit větrnou elektrárnu, která bude mít výkon nad 1 MW, musíme údaje doplnit o nadmořskou výšku, GPS souřadnice, počet věží, výška věží, výkon jednotlivých generátorů, digram závislosti rychlosti větru na výkonu. [28]



## 2.2 Podmínky připojitelnosti do sítě nn

V této části jsou uvedeny jednotlivé parametry, které je nutné splnit pro připojení výroby do sítě nn. Pro fotovoltaické články připojené jednofázově v přípojném bodu je výkon omezen na 4,6 kVA. Při třífázovém připojení musíme zajistit, aby nesymetrie u fázových vodičů nepřekročila 4,6 kVA při normálním provozním stavu. [28]

### 2.2.1 Napěťové změny

První sledovanou napěťovou změnou je zvýšení napětí, které při nejnepříznivějším stavu nesmí přesáhnout hodnotu 3 % v připojovacím uzlu sítě. Další změny napětí nastávají připojováním a odpojováním výroben. Pokud toto spínání neprobíhá častěji než jedenkrát za 1,5 minuty, nesmí při něm dojít k napěťové změně větší než 3 %. V přípojném uzlu sítě musíme též dodržet toleranci napětí  $\pm 10$  % z  $U_n$ , která je uvedena v normě ČSN EN 50160.

Zvýšení napětí v přípojném místě sítě nn  $\Delta u_{nn} \leq 3$  % [28]

### 2.2.2 Flickr

Jako flickr označujeme rychlé periodické změny napětí, které se projevují na světelných spotřebičích jako rychlé změny světelného toku. Při připojování výroben do sítě se zaměřujeme na dlouhodobý flickr. Měření dlouhodobého flickru se provádí ve dvanácti dvouhodinových cyklech. Výpočet dlouhodobého flickru určíme pomocí následujícího vztahu:

$$P_{fl} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}$$

Kde  $c$  je činitel flickru,  $S_{nE}$  je jmenovitý výkon zařízení (pro větrné elektrárny je to hodnota  $S_{nG}$ ) a  $S_{kV}$  je zkratový výkon v daném přípojném bodě. Pokud vypočtená dlouhodobá míra flickru  $P_{fl}$  bude větší než 0,46, můžeme zkusit provést výpočet se zahrnutím fázových úhlů.

$$P_{fl} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi_i)|$$

Pokud je do jednoho společného přípojného bodu sítě připojena výroba s více zařízeními nebo více výroben s jedním zařízením, musíme vypočítat míru dlouhodobého flickru pro

každou zvlášť a podle následujícího vztahu určíme hodnotu ve společném přípojném bodě sítě.

$$P_{ltres} = \sqrt{\sum_i P_{li}^2}$$

Pro výroby se stejnými zařízeními platí následující vztah.

$$P_{ltres} = \sqrt{n} \cdot P_{li}$$

Hodnota dlouhodobé míry flikru pro síť nn nesmí překročit hodnotu 0,46.

$$\text{Dlouhodobá míra flikru v přípojném místě sítě nn} \quad P_{li} \leq 0,46 [28]$$

### 2.2.3 Řízení jalového výkonu

Řízení jalového výkonu se posuzuje pro konkrétní místo v síti a určuje ho provozovatel distribuční soustavy.

Pro výroby dodávající proud do 16 A/fázi je účinník za normálních provozních stavů 0,95 kapacitní nebo 0,95 induktivní, pokud je dodáváný činný výkon alespoň 20 % z jmenovitého výkonu výroby. Pro fotovoltaické elektrárny do výkonu 4,6 kVA/fázi se kompenzace provádět nemusí. [28]

### 2.2.4 Proudy vyšších harmonických

Vznik harmonických proudů se nejčastěji vyskytuje u zařízení vybavenými střídači nebo měniči frekvence. Velikosti harmonických proudů udává výrobce těchto zařízení. Pokud hodnoty vyšších harmonických pro jednotlivá zařízení nepřekročí hodnoty udané v normě ČSN EN 6100-3-2 a ČSN EN 6100-3-12, nemusíme výpočet provádět. Pokud jsou povolené hodnoty překročeny, můžeme pro posouzení připojitelnosti použít následující zjednodušený vztah pro výpočet přípustného proudu vyšších harmonických  $I_{vnn}$ .

$$I_{vnn} = i_v \cdot \frac{S_{kv}}{\sin \psi_{kv}}$$

Kde  $\psi_{kv}$  reprezentuje fázový úhel zkratové impedance a  $i_v$  je přípustný vztahný proud, jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3. [28]

Řád harmonických v [-]	Přípustný vztažný proud $i_v$ [A/MVA]
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15

Tabulka 3 - hodnoty přípustných vztažných proudů pro síť nn [28]

### 2.2.5 Ovlivnění zařízení HDO

Hromadné dálkové ovládání (HDO) slouží k řízení odběru pro zařízení u koncových zákazníků. Nejčastěji slouží ke spínání vysokého a nízkého tarifu. Dále slouží pro spínání zařízení, která mohou akumulovat energii (boilery na ohřev vody, akumulární elektrické topení, apod.). Zařízení HDO se provozuje s frekvencemi v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz a s vysílací úrovní v rozmezí 1,6 až 2,5 % z jmenovitého napětí ( $U_n$ ). Přesná hodnota je určena provozovatelem distribuční soustavy, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování mezi provozovateli distribuční soustavy. Pokud nejsou výrobní připojeny k přípojnicí, do které vysílá signál HDO, je dovolené snížení úrovně signálu maximálně o 5 %. Zároveň musíme dodržet minimální přípustnou úroveň signálu HDO určenou týdenním měření i při mimořádných zapojeních sítí. Minimální přípustná úroveň je 150 % z  $U_f$ . Náběhové napětí přijímače ( $U_f$ ) se pohybuje mezi 0,8 až 0,9 % z  $U_n$ . Posuzování pro ovlivňování zařízení HDO není nutné provádět pro výrobní do výkonu 5 kVA (pro FVE 20 kVA) v přípojném bodě a nepřesáhne-li celkový výkon všech výroben v uzlové oblasti 10 kVA (pro FVE 40 kVA). [28]

## 2.3 Podmínky připojitelnosti do sítě vn

V této části jsou uvedeny jednotlivé parametry, které je nutné splnit pro připojení výroby do sítě vn.

### 2.3.1 Napět'ové změny

První sledovanou napět'ovou změnou je zvýšení napětí, které při nejnepříznivějším stavu nesmí přesáhnout hodnotu 2 % v připojovacím uzlu sítě. Další změny napětí nastávají připojováním a odpojováním výroben. Pokud toto spínání neprobíhá častěji než jedenkrát za 1,5 minuty, nesmí při něm dojít k napět'ové změně větší než 2 %. V přípojném uzlu sítě musíme také dodržet toleranci napětí  $\pm 10\%$  z  $U_n$ , která je uvedena v normě ČSN EN 50160.

Zvýšení napětí v přípojném místě sítě vn  $\Delta u_{vn} \leq 2\%$  [28]

### 2.3.2 Flickr

Výpočet flickru pro síť vn je totožný jako v kapitole 2.2.2 Flickr. Hodnota dlouhodobé míry flickru pro síť vn nesmí překročit hodnotu 0,46.

Dlouhodobá míra flickru v přípojném místě sítě vn  $P_{fl} \leq 0,46$  [28]

### 2.3.3 Řízení jalového výkonu

Řízení jalového výkonu se posuzuje pro konkrétní místo v síti a určuje ho provozovatel distribuční soustavy. Účinník za normálních provozních stavů musí být 0,95 kapacitní nebo 0,95 induktivní, pokud je dodáváný činný výkon alespoň 20 % z jmenovitého výkonu výroby. U výroben s instalovaným výkonem od 100 kVA je nutné zajistit říditelný jalový výkon. Řízení dodávky jalového výkonu je řešeno: pevně nastavenou hodnotou, nebo dálkově řízené. [28]

### 2.3.4 Proudové vyšších harmonických

Pro posouzení připojitelnosti použijeme následující zjednodušený vztah pro výpočet přípustného proudu vyšších harmonických  $I_{vvn}$ . Pokud je v daném přípojném bodě připojena pouze jedna výroba, platí následující vztah.

$$I_{vvn} = i_v \cdot S_{kV}$$

Kde  $S_{kV}$  reprezentuje zkratový výkon v přípojném bodě a  $i_v$  je přípustný vztažný proud, jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Pro více výroben připojených do společného přípojného bodu se výpočet provádí pro každou výrobu zvlášť pomocí následujícího vztahu.

$$I_{vvn} = i_v \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}}$$

Kde  $S_{kV}$  reprezentuje zkratový výkon v přípojném bodě,  $S_A$  je zdánlivý výkon zařízení, pro které provádíme výpočet,  $S_{AV}$  je připojitelný nebo plánovaný zdánlivý výkon zařízení v daném přípojném uzlu a  $i_v$  je přípustný vztažný proud, jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4. Pokud připojujeme více totožných zařízení, je možné za  $S_A$  dosadit  $\Sigma S_{nE}$ . [28]

Řád harmonických v [-]	Přípustný vztažný proud $i_v$ [A/MVA]		
	síť 10 kV	síť 22 kV	síť 35 kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003

Tabulka 4 - hodnoty přípustných vztažných proudů pro síť vn [28]

### 2.3.5 Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení HDO se provozuje s frekvencemi v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz a s vysílací úrovní v rozmezí 1,6 až 2,5 % z jmenovitého napětí ( $U_n$ ). Přesná hodnota je určena

provozovatelem distribuční soustavy, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování mezi provozovateli distribuční soustavy. Pokud nejsou výrobní připojeny k přípojnicí, do které vysílá signál HDO, je dovolené snížení úrovně signálu maximálně o 5 %. Zároveň musíme dodržet minimální přípustnou úroveň signálu HDO určenou týdenním měření i při mimořádných zapojeních sítí. Minimální přípustná úroveň je 190 % z  $U_f$ . Náběhové napětí přijímače ( $U_f$ ) se pohybuje mezi 0,8 až 0,9 % z  $U_n$ . Posuzování pro ovlivňování zařízení HDO nemusíme provádět pro výrobní do výkonu 500 kVA v přípojném bodě a nepřesáhne-li celkový výkon všech výroben v uzlové oblasti 1 MVA. [28]

## 2.4 Podmínky připojitelnosti do sítě 110 kV

V této části jsou uvedeny jednotlivé parametry, které je nutné splnit pro připojení výrobní do sítě 110 kV.

### 2.4.1 Napět'ové změny

První sledovanou napět'ovou změnou je zvýšení napětí, které při nejnepříznivějším stavu nesmí přesáhnout hodnotu 2 % v připojovacím uzlu sítě. Další změny napětí nastávají připojováním a odpojováním výroben. Při normálním provozu musíme při spínání jedné výrobní jednotky dodržet  $\Delta u_{\max} \leq 0,5$  %, pro spínání celé výrobní platí  $\Delta u_{\max} \leq 2$  %. Při poruchovém provozu při spínání celé výrobní musíme dodržet  $\Delta u_{\max} \leq 5$  %. Změnu napětí můžeme odhadnout pomocí následujícího vztahu.

$$\Delta u_{\max} = k_{i\max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}$$

Kde  $S_{nE}$  je jmenovitý zdánlivý výkon zařízení,  $S_{kV}$  je zkratový výkon v daném přípojném bodě. Činitel největšího spínacího rázu se označuje  $k_{i\max}$  a představuje poměr největšího proudu během spínání  $I_a$  ku jmenovitému proudu zařízení  $I_{nG}$ .

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}} \quad [28]$$

### 2.4.2 Flickr

Výpočet flickru pro síť vn je totožný jako v kapitole 2.2.2 Flickr. Hodnota dlouhodobé míry flickru pro síť 110 kV nesmí překročit hodnotu 0,37.

Dlouhodobá míra flickru v přípojném místě sítě 110 kV  $P_f \leq 0,37$  [28]

### 2.4.3 Řízení jalového výkonu

Řízení jalového výkonu je totožné jako pro síť vn uvedené v kapitole 2.3.3 Řízení jalového výkonu.

### 2.4.4 Proudý vyšších harmonických

Pro posouzení připojitelnosti použijeme následující zjednodušený vztah pro výpočet přípustného proudu vyšších harmonických  $I_{vvn}$ . Pro harmonické proudy do řádu 13 platí následující vztah.

$$I_{vvn} = i_v \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_A}{S_0}$$

Kde  $S_{kv}$  reprezentuje zkratový výkon v přípojném bodě,  $S_A$  je přípojný zdánlivý výkon výroby,  $S_0$  je referenční výkon a  $i_v$  je přípustný vztažný proud, jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Pro harmonické proudy řádu vyšších než 13 a pro meziharmonické se výpočet provádí pomocí následujícího vztahu. [28]

$$I_{vvn} = i_v \cdot S_{kv} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}}$$

### 2.4.5 Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení HDO se provozuje s frekvencemi v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz a s vysílací úrovní v rozmezí 1,6 až 2,5 % z jmenovitého napětí ( $U_n$ ). Přesná hodnota je určena provozovatelem distribuční soustavy, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování mezi provozovateli distribuční soustavy. Pokud nejsou výroby připojeny k přípojnicí, do které

vysílá signál HDO, je dovolené snížení úrovně signálu maximálně o 5 %. Zároveň musíme dodržet minimální přípustnou úroveň signálu HDO určenou týdenním měření i při mimořádných zapojeních sítí. Minimální přípustná úroveň je 200 % z  $U_f$ . Náběhové napětí přijímače ( $U_f$ ) se pohybuje mezi 0,8 až 0,9 % z  $U_n$ . Posuzování pro ovlivňování zařízení HDO nemusíme provádět pro výroby do výkonu 5 MVA v přípojném bodě a nepřesáhne-li celkový výkon všech výroben v uzlové oblasti 10 MVA. [28]

### 3 Stabilita a predikce výroby elektrické energie z OZE

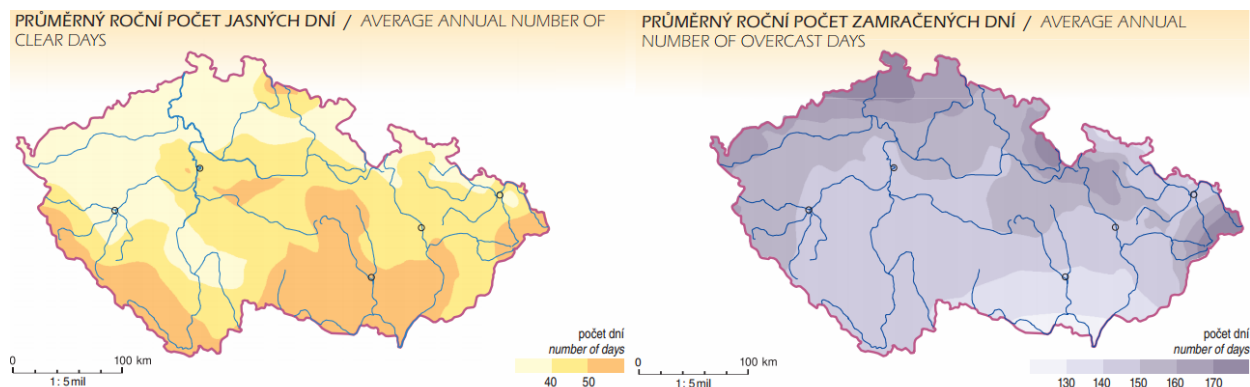
Jelikož většina OZE je závislá na meteorologických podmínkách, nedodávají tyto elektrárny do elektrizační sítě stabilní výkon. Proto musí provozovatel elektrizační soustavy mít k dispozici energetické zdroje, které mohou být použity pro krytí těchto výkyvů. Abychom předešli náhlým velkým výkyvům v dodávaných výkonech z OZE, snažíme se vytvořit meteorologické modely, které nám pomáhají odhadnout průběh vyráběné elektrické energie.

#### 3.1 Stabilita a predikce výroby z fotovoltaické elektrárny (FVE)

Výrobcem udávaný výkon fotovoltaických panelů platí za standardních testovacích podmínek, kterými jsou kolmo dopadající záření o intenzitě  $1000 \text{ W/m}^2$  a teplotě panelů  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . V praxi se tyto hodnoty během celého roku mění a proto je predikce těchto údajů velmi složitá. Z tohoto důvodu se častěji využívá zjednodušení predikce na charakteristické provozní stavy, které reprezentují roční období a oblačnost. Ty můžeme definovat následovně: zimní jasný den, zimní zatažený den, letní jasný den, letní zatažený den a den s proměnlivou oblačností. Pro zimní jasný den můžeme říci, že teplota panelů se bude pohybovat do  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  a intenzita slunečního záření se bude pohybovat mezi  $600$  až  $700 \text{ W/m}^2$ . Pokud se bude jednat o zimní zatažený den, teplota panelů bude téměř shodná s teplotou okolí a intenzita slunečního záření se sníží na hodnotu okolo  $100 \text{ W/m}^2$ . Pro letní jasný den mohou teploty panelů dosahovat až  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  v závislosti na rychlosti a směru větru, který panel ochlazuje. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1.1 Fotovoltaické elektrárny, má zvýšení teploty panelu vliv na jeho účinnost. Intenzita slunečního záření se pohybuje okolo  $1100 \text{ W/m}^2$ . Pro zatažené letní dny dojde ke snížení intenzity slunečního záření na hodnotu okolo  $300 \text{ W/m}^2$ . Pro tyto typy dnů můžeme celkem spolehlivě předpovídat výrobu elektrické energie



z fotovoltaické elektrárny. Na obrázku č. 12 je zobrazena mapa České republiky s průměrnými počty jasných a zamračených dní za rok. Pro dny s proměnlivou oblačností je predikce výroby velmi složitá, ale můžeme přibližně určit minimální hodnotu výroby. Případné odchylky je nutné regulovat, v případě vyšších výkonů fotovoltaických elektráren se využívá čerpadlový režim u přečerpávacích elektráren. [29], [30]



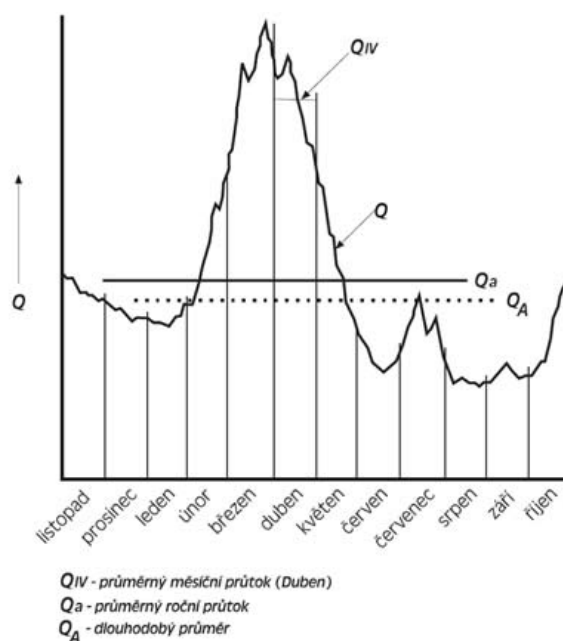
Obrázek 12 - průměrný počet jasných a zatažených dní v ČR [29]

### 3.2 Stabilita a predikce výroby z větrné elektrárny (VTE)

Výroba elektrické energie ve větrných elektrárnách je silně závislá na rychlosti větru a méně pak na teplotě a tlaku, které určují hustotu vzduchu. Rychlost a směr větru ve výškách desítek metrů je nejvíce ovlivněna členitostí a pokrytím (lesy, louky, budovy, apod.) povrchu, tyto parametry reprezentuje takzvaná drsnost povrchu. Pro správnou predikci výroby z větrných elektráren používáme numerické modely. V České republice se nejpoužívanějším numerickým modelem stal francouzský model ALADIN (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International). Tento model je vyvíjen od roku 1991 a využívá se pro krátkodobé předpovědi (obvykle do tří dnů) s geografickým rozlišením 4 km. Pro kratší předpovědi (na 6 a méně hodin) se využívají statické modely a aktuální naměřené hodnoty. Pro zpřesnění předpovědí můžeme využít hodnoty naměřené v minulosti, avšak musíme mít k dispozici dostatečné množství dat. Pro zpřesnění předpovědi v konkrétní lokalitě můžeme použít metodu statistického postprocessingu, který proto využívá množství dlouhodobých dat naměřených v dané lokalitě. Nepřesnost získaných předpovědí pro výroby v nadmořské výšce nad 700 m se pohybuje okolo 7 %. [29], [31]

### 3.3 Stabilita a predikce výroby z malé vodní elektrárny (MVE)

Výroba elektrické energie z vodních elektráren je ve srovnání s předchozími typy elektráren během dne stabilní. Výroba se mění v závislosti na aktuálním průtoku vodního toku, který odpovídá velikosti srážek a případně tání sněhu. Na obrázku č. 13 je znázorněn průběh průtoku během roku. Maximální hodnoty průtoku na jaře jsou způsobeny táním sněhové pokrývky a častým výskytem přeháněk, naopak v létě a v části podzimu průtok je minimální.



Obrázek 13 - roční průběh průtoku [32]

Modelové hydrologické předpovědi se v České republice začaly vyvíjet v roce 1997 a od konce roku 2001 jsou pravidelně provozovány jako součást protipovodňového opatření. V České republice se používají dva modely: model HYDROG se využívá pro povodí Odry a Moravy, pro povodí Labe je pak využíván systém AQUALOG, který používá model SACRAMENTO. Oba modely se snaží matematicky popsat koloběh vody pro dané povodí. Modelu se musí dodat hodnoty srážek a velikost teploty vzduchu v jednotlivých částech povodí. Pro přesnější předpověď během zvýšených průtoků je potřebné modelu dodávat aktualizovaná data častěji. Přesnost predikce je závislá nejen na časovém rozsahu, ale i na velikosti vodní plochy daného toku. Pro toky s velkou vodní plochou je vyšší, neboť na nich nedochází k tak rychlým změnám jako u menších toků. Velikosti aktuálních průtoků a výšky hladin můžeme nalézt na internetových stránkách Českého hydrometeorologického úřadu.[33]

### 3.4 Stabilita a predikce výroby z bioplynové stanice (BPS)

Bioplynové stanice můžeme zařadit mezi stabilní zdroje pro výrobu elektrické energie. Produkce bioplynu je při kontinuálním doplňování vstupní látky a dodržování podmínek pro anaerobní fermentaci, které jsou uvedeny v kapitole 1.5.2 Bioplynová stanice, téměř konstantní. Případné kolísání produkce se kompenzuje vhodnou velikostí plynojemu. Bioplynové stanice by bylo možno využívat i pro krytí špiček v denním diagramu zatížení, avšak z ekonomických studií vyplývá, že za současných podmínek je tento způsob využití bioplynových stanic z ekonomického hlediska nevýhodný. Predikce výroby elektrické energie z bioplynové stanice je závislá pouze na spolehlivosti zařízení a na lidském faktoru (obsluha bioplynové stanice).

## 4 Porovnávané elektrárny

Veškeré zde uvedené elektrárny se nachází v jižních Čechách, umístění jednotlivých elektráren je uvedeno v příloze A – Mapa rozmístění elektráren.

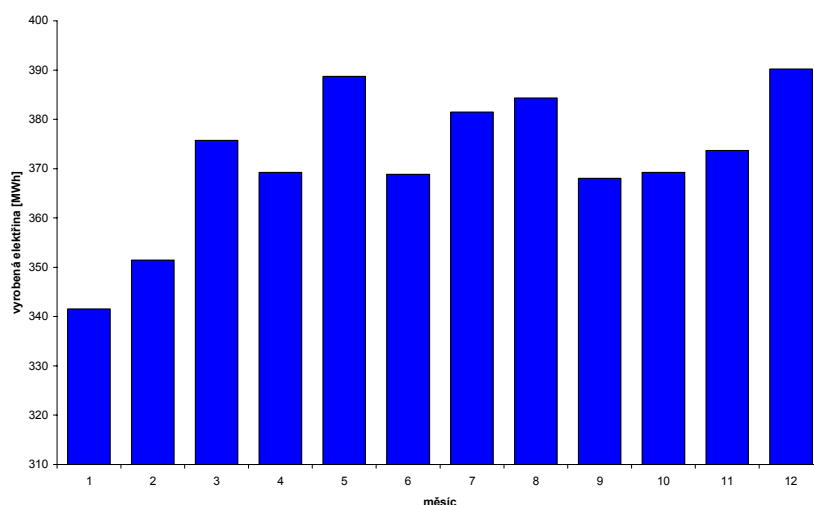
### 4.1 Bioplynová stanice Kestřany

Bioplynová stanice se nachází v obci Kestřany v jižních Čechách u areálu zemědělského podniku. Stanice byla uvedena do provozu v prosinci roku 2011. Bioplynová stanice pracuje na principu mokré anaerobní fermentace popsané v kapitole 1.5.2 Bioplynová stanice, ta probíhá ve dvou fermentorech při teplotách 39 – 42 °C. Pro vyhřívání fermentorů se využívá odpadní teplo (o teplotě 55 °C) z výroby elektrické energie, toto teplo je dále využíváno pro vytápění přilehlých zemědělských budov. Pro výrobu bioplynu se využívají substráty uvedené v tabulce č. 5 a celková roční spotřeba biomasy je 13900 t/rok.

Substrát	Spotřeba v t/rok
kukuřičná siláž	7800
travní siláž	900
kejda skotu	5200

Tabulka 5 - roční spotřeba biomasy [34]

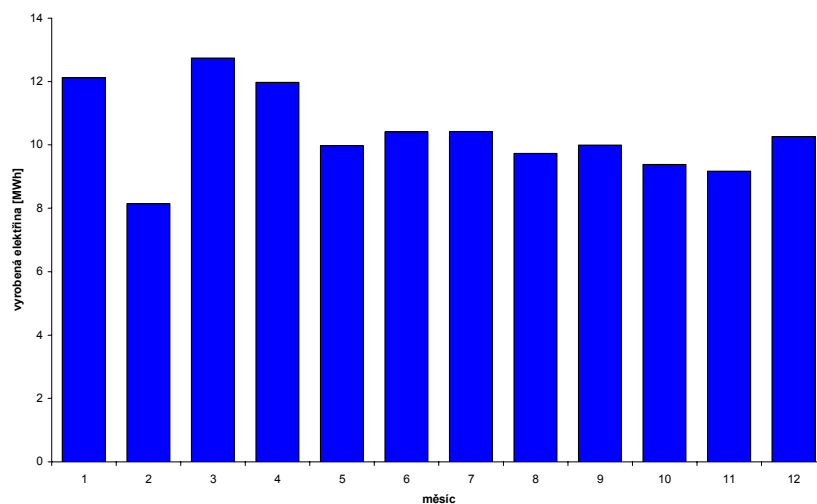
Výrobu elektrické energie zajišťuje spalovací motor firmy Jenbacher JMS 316 GS-B.L. s připojeným synchronním generátorem firmy Standford o výkonu 526 kW. Množství vyrobené elektrické energie v průběhu roku 2012 je znázorněno v grafu č. 1. [35]



**Graf 1 - vyrobená elektrická energie za rok 2012 z BPS Kestřany**

## 4.2 Malá vodní elektrárna Červený mlýn v Heřmani

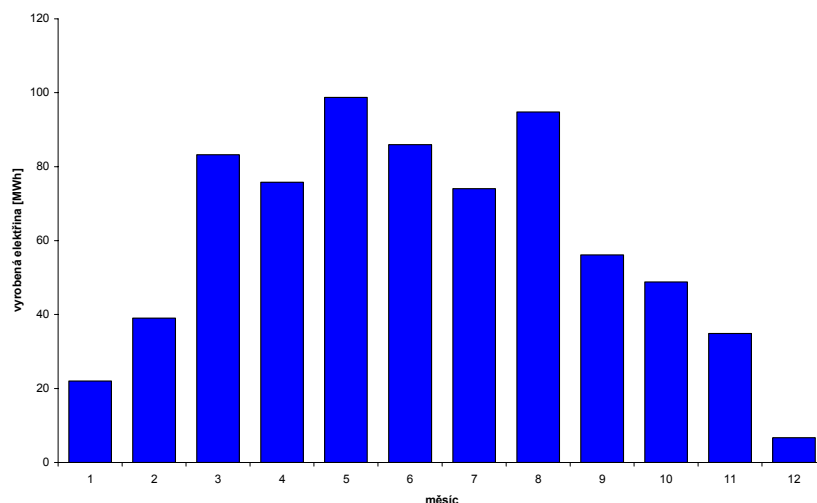
Malá vodní elektrárna je umístěna na řece Blanici, v obci Heřmaň v jižních Čechách. Nachází se v budově bývalého mlýna, který má název Červený mlýn. Elektrárna je tvořena jezem, který zajišťuje vodní spád 1,65 m a náhonem s délkou 2,79 km. V elektrárně se nachází dvě turbíny o celkovém elektrickém výkonu 21 kW. První turbína byla uvedena do provozu v roce 2000 a jedná se o horizontální Francisovu turbínu se suchým kolenem od firmy Kohout o výkonu 10 kW a hltností 600 l/s. Druhá turbína je násosková vrtulová turbína Metaz MT5 o výkonu 11 kW a hltností 800 l/s, ta byla uvedena do provozu v roce 2003. Množství vyrobené elektrické energie v průběhu roku 2012 je znázorněno v grafu č. 2. [35]



Graf 2 - vyrobená elektrická energie za rok 2012 z MVE Červený mlýn v Heřmani

### 4.3 Fotovoltaická elektrárna Bušanovice I

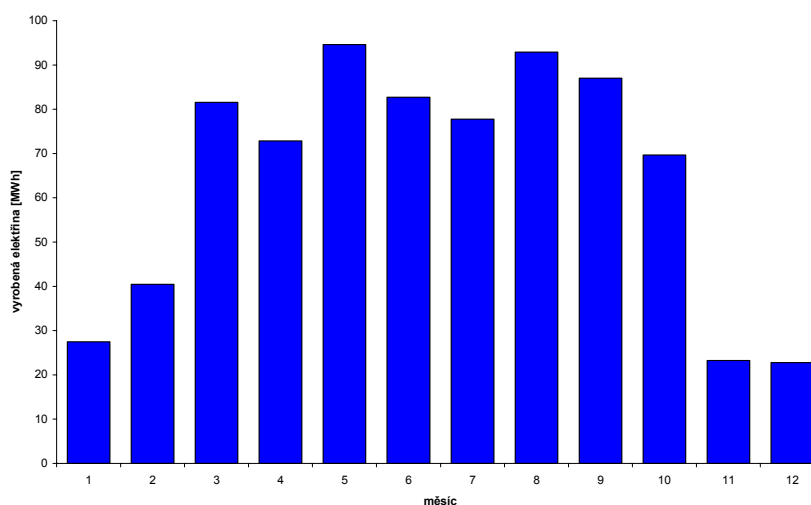
Elektrárna se nachází u obce Bušanovice v jižních Čechách, skládá se z 5320 polykrystalických panelů Mitsubishi PV-MF 130EA 2L o celkovém instalovaném špičkovém výkonu 693 kWp. Ty jsou umístěny na dřevěné konstrukci, která je upevněna pomocí ocelových kotev zalitých do betonových patek. Pro celou elektrárnu jsou využívány dva invertory SolarMax 300C, na jejichž výstupu je pak špičkový výkon elektrárny 600 kWp. Elektrárna byla zprovozněna v únoru roku 2007. Množství vyrobené elektrické energie v průběhu roku 2012 je znázorněno v grafu č. 3. [35]



Graf 3 - vyrobená elektrická energie za rok 2012 z FVE Bušanovice I

#### 4.4 Fotovoltaická elektrárna Bušanovice II

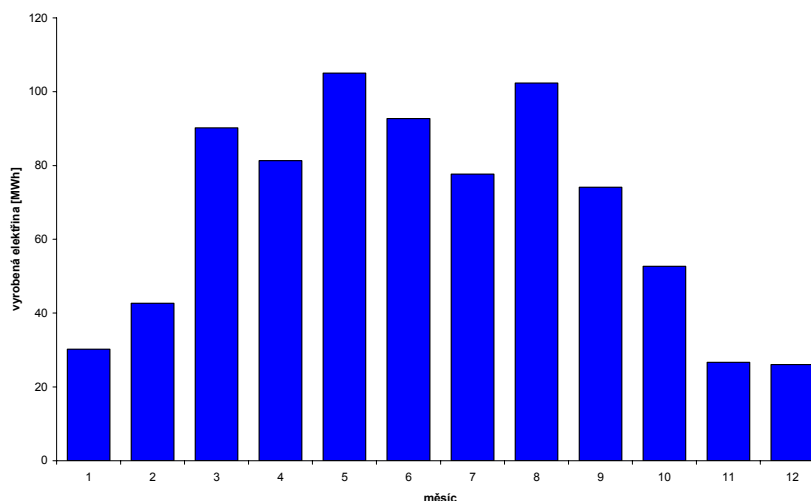
Elektrárna je rozšířením předchozí elektrárny, skládá se z 3816 monokrystalických panelů Solarfun SF160-24-M175 o celkovém instalovaném špičkovém výkonu 652 kWp. Ty jsou umístěny na dřevěné konstrukci, která je upevněna pomocí ocelových kotev zalitých do betonových patek. Pro celou elektrárnu je použito 78 invertorů SMC 8000TL a 3 invertory SMC 4000TL, na jejichž výstupu je pak špičkový výkon celé elektrárny 600 kWp. Elektrárna byla zprovozněna v únoru roku 2008. Množství vyrobené elektrické energie v průběhu roku 2012 je znázorněno v grafu č. 4. [35]



Graf 4 - vyrobená elektrická energie za rok 2012 z FVE Bušanovice II

#### 4.5 Fotovoltaická elektrárna Bušanovice III

Elektrárna je prozatím posledním rozšířením předchozí elektrárny a skládá se z 3744 monokrystalických panelů Trinasolar TSM-1080DC01 o celkovém instalovaném špičkovém výkonu 574 kWp. Ty jsou umístěny také na dřevěné konstrukci stejným způsobem jako u předchozí elektrárny. Pro celou elektrárnu je použito 30 invertorů SMC 11000TL a 27 invertorů SMC 10000TL. Elektrárna byla zprovozněna v únoru roku 2011. Množství vyrobené elektrické energie v průběhu roku 2012 je znázorněno v grafu č. 5. [35]



Graf 5 - vyrobená elektrická energie za rok 2012 z FVE Bušanovice III

## 5 Analýza dat výroby elektřiny z uvedených elektráren

Hodnoty použité pro tvorbu grafů jsou uvedeny v příloze B – Data z elektráren.

### 5.1 Data z BPS Kestřany

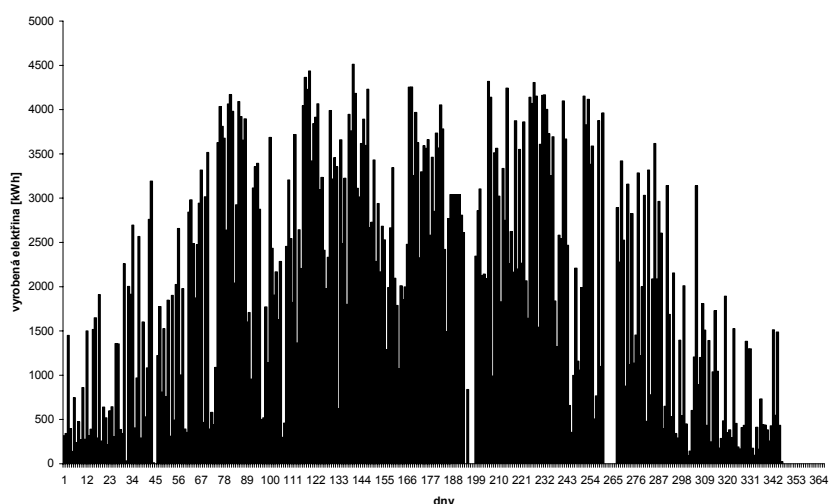
Stabilita výroby elektrické energie z BPS byla popsána v kapitole 3.4 Stabilita a predikce výroby z bioplynové stanice (BPS). Z grafu č. 1 je patrné, že výroba z BPS je během roku poměrně stabilní, až na drobné výkyvy způsobené plánovanými odstávkami, případně technickými problémy. Nejméně elektrické energie elektrárna vyrobila v měsíci lednu a to 341,5 MWh. Maximum o hodnotě 390,2 MWh bylo vyrobeno v prosinci. Průměrná měsíční výroba v roce 2012 se pohybovala okolo 372 MWh.

### 5.2 Data z MVE Červený mlýn v Heřmani

Výroba elektrické energie z MVE Červený mlýn v Heřmani je znázorněna v grafu č. 2. Měsíční výroba se během roku pohybovala okolo 10 MWh. Nejvíce elektrické energie vyrobila elektrárna v březnu, kdy výroba byla 12,7 MWh. Minimum vyrobené energie o hodnotě 9,1 MWh bylo za měsíc listopad.

### 5.3 Data z FVE Bušanovice I

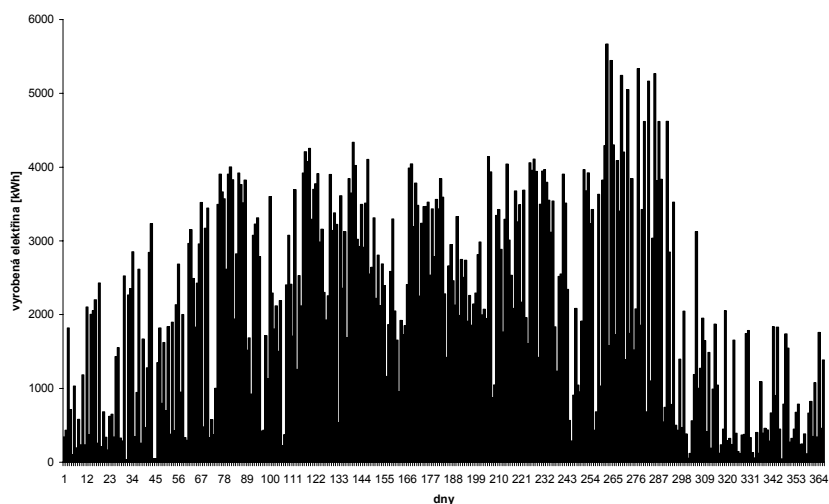
Na grafu č. 6 je znázorněna denní výroba této elektrárny za rok 2012, z něho je patrná velká nestabilita výroby a proto je predikce výroby z FVE velmi důležitá. Z grafu č. 3 je možno vidět, že výroba v zimních měsících je o 80 % nižší než v letních. Nejvíce elektrické energie bylo vyrobeno v květnu (98,8 MWh) a srpnu (94,8 MWh).



Graf 6 - denní výroba elektrické energie za rok 2012

### 5.4 Data z FVE Bušanovice II

Na grafu č. 7 je znázorněna denní výroba této elektrárny za rok 2012. Z grafu č. 4 je zřetelně vidět, že výroba v zimních měsících je taktéž o 80 % nižší než v letních. Nejméně elektrické energie bylo vyrobeno v listopadu (23,2 MWh) a prosinci (22,8 MWh).

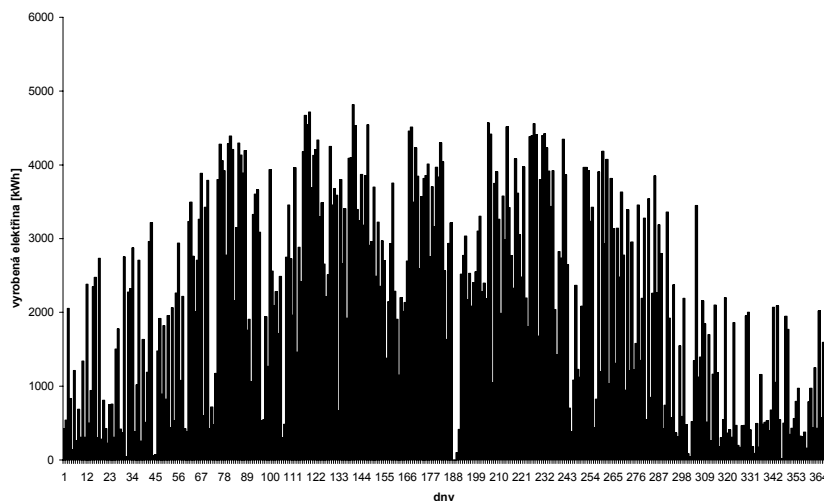


Graf 7 - denní výroba elektrické energie za rok 2012



## 5.5 Data z FVE Bušanovice III

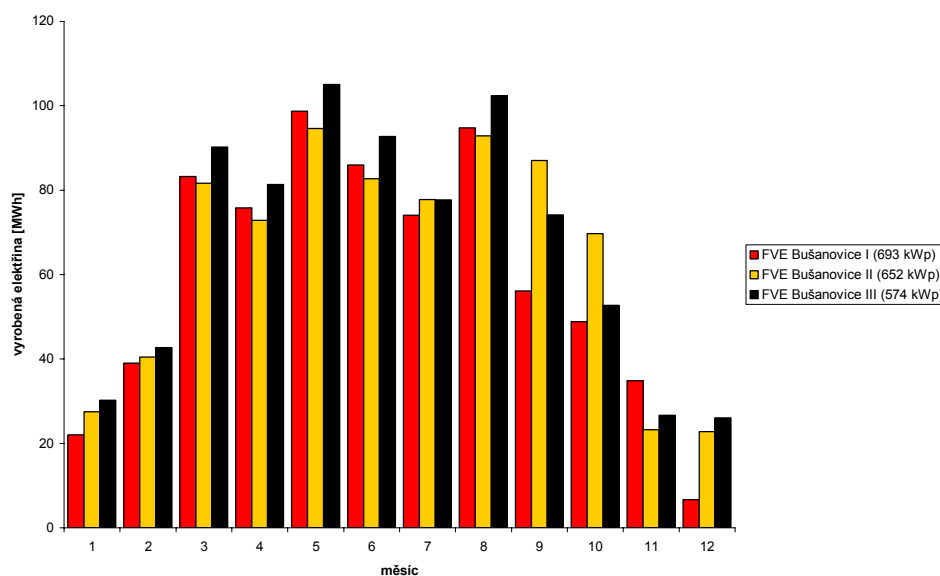
Na grafu č. 8 je znázorněna denní výroba této elektrárny za rok 2012, maximální denní výroba elektrické energie byla 19. května (4,8 MWh). Z grafu č. 5 je možné určit maximální hodnotu měsíční výroby elektrické energie, jež byla v květnu, a bylo vyrobeno 105 MWh. Nejméně elektrické energie bylo vyrobeno ve stejných měsících jako u předchozích FVE, u kterých se jednalo o listopad (26,7 MWh) a prosinec (26 MWh).



Graf 8 - denní výroba elektrické energie za rok 2012

## 5.6 Porovnání výroby FVE Bušanovice I, II, III

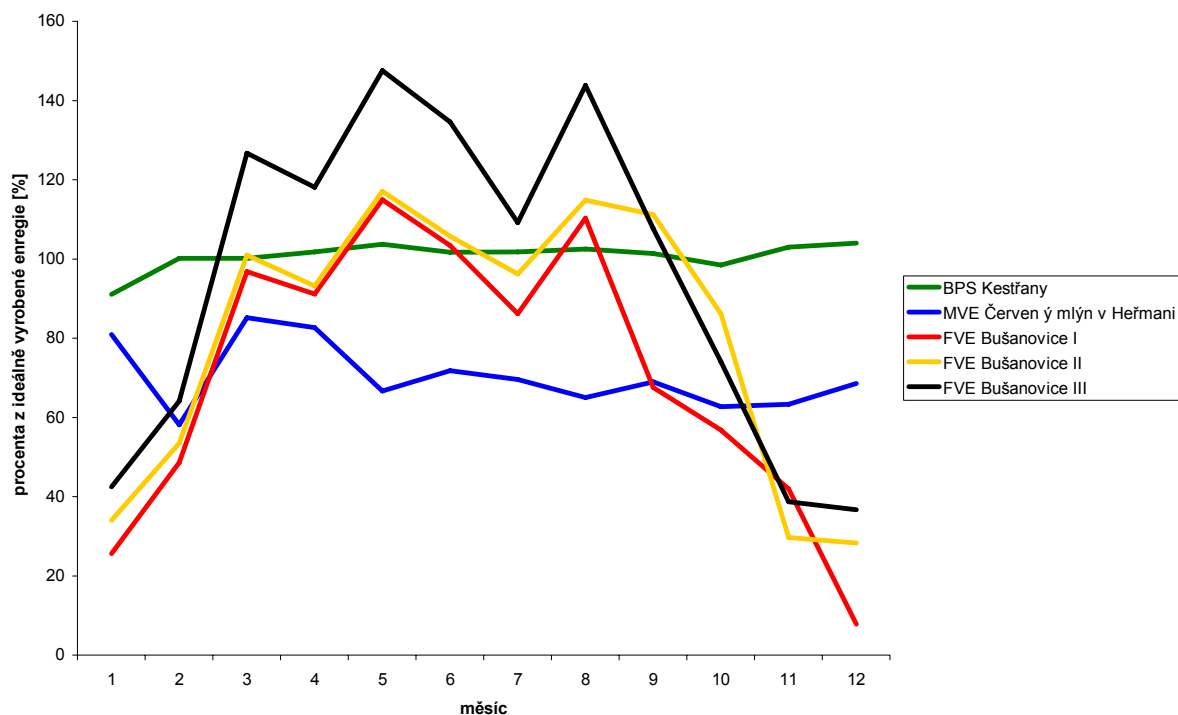
V grafu č. 9 jsou zobrazeny hodnoty měsíční výroby elektrické energie z fotovoltaických elektráren Bušanovice I, II a III. Z grafu je možné zjistit zajímavou skutečnost, že fotovoltaická elektrárna Bušanovice III, která má nejmenší instalovaný výkon (574 kWp), dosahuje nejvyšší měsíční výroby elektrické energie. Jelikož je tato elektrárna nejmladší (v provozu od roku 2011) z těchto tří, může být tento jev zapříčiněn technologickým pokrokem při výrobě fotovoltaických panelů.



Graf 9 - porovnání výroby z FVE

## 5.7 Porovnání elektráren z hlediska stability výroby

Pro porovnání výše uvedených elektráren bylo nutné hodnoty vyrobené elektrické energie sjednotit na společnou veličinu. Jelikož každá elektrárna má jiný instalovaný výkon a v případě fotovoltaických elektráren i denní dobu výroby, zvolil jsem pro porovnání výrobu elektrické energie v procentech z předpokládané denní výroby. Pro bioplynovou stanici (12,1 MWh/den) a pro malou vodní elektrárnu (0,48 MWh/den) odpovídá předpokládaná denní vyráběná elektrická energie vztahu  $W = P_{inst} \cdot t$ , kde  $P_{inst}$  je instalovaný výkon elektrárny a veličina  $t$  je doba výroby za den (pro tyto elektrárny jsem zvolil 23 hodin). U fotovoltaických elektráren FVE Bušanovice I (2,77 MWh/den), FVE Bušanovice II (2,61 MWh/den) a FVE Bušanovice III (2,3 MWh/den) je předpokládaná denní vyráběná elektrická energie taktéž vypočtena ze vztahu  $W = P_{inst} \cdot t$ , kde  $P_{inst}$  je instalovaný výkon elektrárny a veličina  $t$  je doba výroby za den (pro fotovoltaické elektrárny jsem zvolil 4 hodiny). Takto přepočtené hodnoty jsou uvedeny v grafu č. 10, z kterého je možno jasně říci, že nejstabilnějším zdrojem je bioplynová stanice, která téměř po celý rok vyrábí elektrickou energii stabilně. Dalším poměrně stabilním zdrojem je malá vodní elektrárna, jejíž výroba sice nedosahuje 100 %, ale udržuje výrobu okolo 65 % během celého roku. Z tohoto grafu jsou viditelné rozdíly ve výrobě z fotovoltaických elektráren. Nejnížší procentuální výrobu má FVE Bušanovice I, která je v provozu od roku 2007 a je tvořena polykrystalickými panely.



Graf 10 - porovnání uvedených výroben

## Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval možnostmi získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Jelikož je výroba elektrické energie z těchto zdrojů podporována různými státními dotačními systémy, dochází ke značnému rozvoji ve využívání obnovitelných zdrojů energie. Dalším důvodem rozvoje těchto zdrojů je snaha snížit naši energetickou závislost na fosilních palivech.

V první části této diplomové práce jsem uvedl různé možnosti získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů, které jsou rozděleny do pěti základních skupin podle primárního zdroje energie. Těmi jsou sluneční, větrná, vodní, geotermální energie a energie biomasy.

V druhé části této práce jsem se zabýval připojovacími podmínkami, které musí být splněny pro získání povolení na připojení výroby. Dále jsou zde uvedeny základní provozní hodnoty pro distribuční sítě nn, vn a 110 kV, které musí výroby dodržet. Tyto provozní hodnoty zahrnují například zpětné vlivy na napájecí síť, kterými jsou flickr, proudy vyšších harmonických a další zpětné vlivy.

Třetí část jsem věnoval stabilitě a predikci výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie. Zde jsou popsány faktory, které ovlivňují stabilitu výroby z jednotlivých obnovitelných zdrojů energie. Dále jsou zde také uvedeny možnosti predikce této výroby.

Poslední dvě kapitoly jsou věnovány konkrétním elektrárnám využívajících různé obnovitelné zdroje energie. Pro tyto elektrárny jsem získal data o vyráběné elektrické energii v měsíčních intervalech, kromě fotovoltaických elektráren, pro které jsou získaná data v denních intervalech. Z těchto dat jsem následně sestavil grafy, které znázorňují průběh výroby elektrické energie během roku. Po porovnání uvedených elektráren z hlediska stability výroby elektrické energie se ukázala jako nejstabilnější BPS Kestřany a jako druhá nejstabilnější je MVE Červený mlýn v Heřmani. Výroba elektrické energie z fotovoltaických elektráren byla velmi proměnlivá, to je možné vidět na grafech č. 6, 7, 8.

Nejkomplikovanější částí při psaní této práce bylo získání dat od provozovatelů elektráren, jelikož většina provozovatelů považuje tato data za velmi citlivá a nepřejí si je proto zveřejňovat. Psáním této práce jsem získal ucelený přehled o způsobu využívání obnovitelných zdrojů energie.

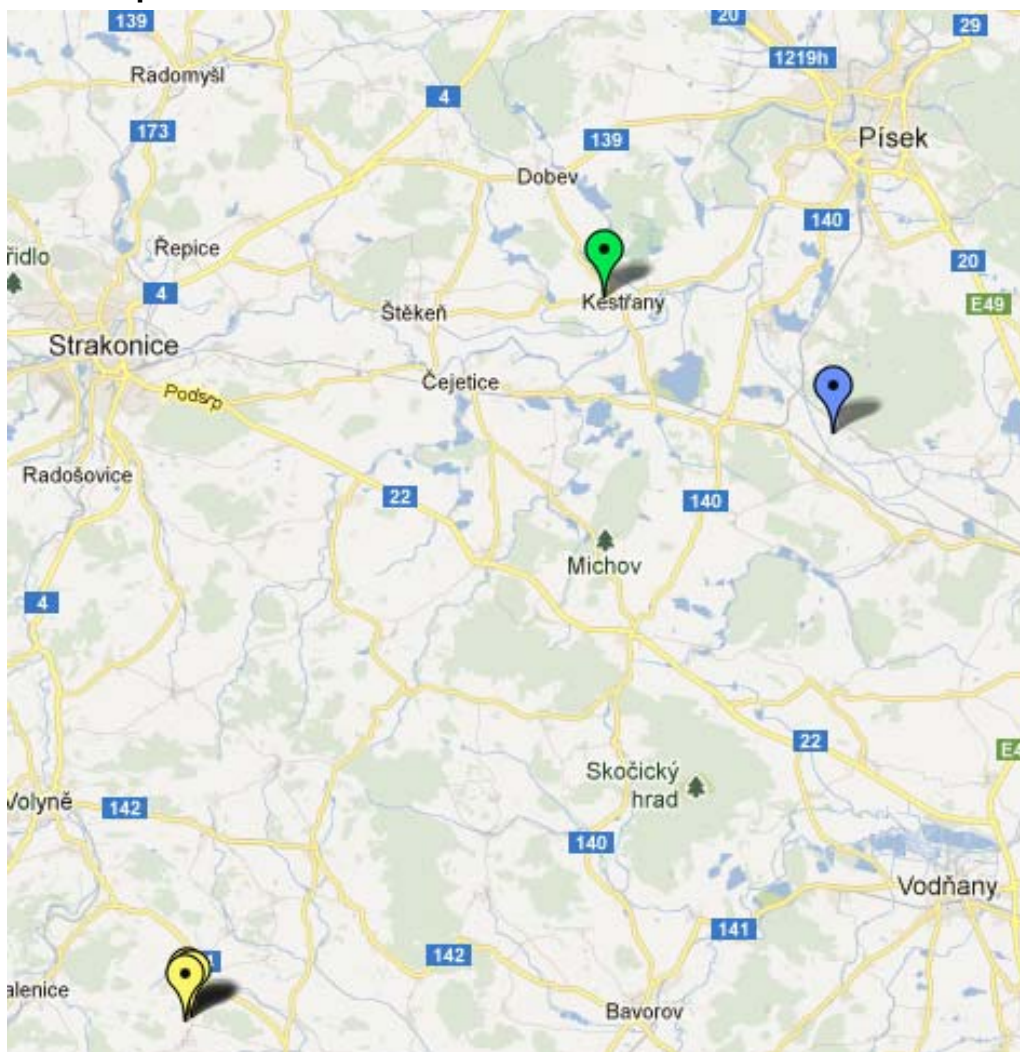
Na závěr bych rád uvedl, že využívání energie z obnovitelných zdrojů je potřeba nadále rozvíjet a při tomto rozvoji se především zaměřit na možnosti predikce výroby z OZE. Další vývoj technologií by byl vhodný zaměřit také na možnosti akumulace energie, které by kompenzovaly výkyvy při výrobě z OZE.

## Použitá literatura

- [1] <http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/Zpravodaj%20CSVE/Csve-zpravodaj-2012-07+08.pdf>
- [2] <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k12.htm>
- [3] <http://www.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [4] [http://solargis.info/doc/\\_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-cz.png](http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-cz.png)
- [5] <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [6] <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [7] Quaschnig, Volker: Obnovitelné zdroje energií, Grada, Praha 2010
- [8] kolektiv autorů: Obnovitelné zdroje energie, FCC PUBLIC, Praha 2001
- [9] <http://vesmir.cz/clanek/vitr-obnovitelna-energie>
- [10] [http://www.litovany.ic.cz/index\\_soubory/down/s4\\_01\\_09.pdf](http://www.litovany.ic.cz/index_soubory/down/s4_01_09.pdf)
- [11] Škorpil, J.; Kasářík, M.: Obnovitelné zdroje energie I., ZČU v Plzni, 2000
- [12] <http://www.alstom.com/power/renewables/hydro/hydro-turbines/bulb-turbines/>
- [13] <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [14] <http://www.ossberger.de/cms/pt/hydro/ossberger-turbine/>
- [15] <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektřarny-cez.html>
- [16] <http://mve.energetika.cz/>
- [17] kolektiv autorů: Velká kniha o energie, L.A. Consulting Agency, Praha 2001
- [18] <http://technik.ihned.cz/c1-58318670-geotermalni-elektřarny-zkouseji-nadkritickou-paru>
- [19] EkoWATT kolektiv autorů: Obnovitelné zdroje energie, Ministerstvo životního prostředí, Praha 2009
- [20] <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>
- [21] Libra, M.; Poulek, V.: Fotovoltaika, ILSA, 2009
- [22] Murtinger, K.; Beranovský, J.; Tomeš, M.: Fotovoltaika, elektřina ze slunce, ERA group, Brno 2008
- [23] Mužík, O.; Kára, J.: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR.  
<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>
- [24] [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [25] Bačík, O.: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu.  
<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>
- [26] Jelínek A. a kolektiv: Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel, Agrospoj, Praha 2001
- [27] <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/FNR-Basisdaten-Bioenergie-2012.pdf>
- [28] Pravidla provozování distribuční soustavy  
<http://www.eon-distribuce.cz/cs/distribuce-elektřiny/predpisy.shtml>
- [29] ČHMÚ kolektiv autorů: Atlas podnebí Česka, Praha 2007
- [30] Cihelka, J.: Solární tepelná technika, Praha 1994
- [31] kolektiv autorů: OZE a možnosti jejich uplatnění v ČR, ČEZ, Praha 2007
- [32] <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-vody>
- [33] <http://www.chmi.cz/>
- [34] [http://www.envitec-biogas.cz/fileadmin/References/CzechRepublic/EnviTec\\_ref\\_flyer\\_4x\\_CZ\\_1203\\_print.pdf](http://www.envitec-biogas.cz/fileadmin/References/CzechRepublic/EnviTec_ref_flyer_4x_CZ_1203_print.pdf)
- [35] Údaje od provozovatelů uvedených elektráren.

## Přílohy

### Příloha A – Mapa rozmístění elektráren



zelená – BPS Kestřany, modrá – MVE Červený mlýn v Heřmani, žlutá – FVE Bušanovice I – III  
[maps.google.com]

### Příloha B – Data z elektráren

BPS Kestřany		MVE Červený mlýn v Heřmani	
Inst. výkon [kW]	526	Inst. výkon [kW]	21
<b>Měsíc</b>	<b>Výroba [MWh]</b>	<b>Měsíc</b>	<b>Výroba [MWh]</b>
Leden	341,54	Leden	12,12
Únor	351,44	Únor	8,15
Březen	375,71	Březen	12,75
Duben	369,26	Duben	11,97
Květen	388,74	Květen	9,97
Červen	368,87	Červen	10,41

Červenec	381,51
Srpen	384,35
Září	368,02
Říjen	369,24
Listopad	373,68
Prosinec	390,22

Červenec	10,42
Srpen	9,73
Září	10,00
Říjen	9,38
Listopad	9,17
Prosinec	10,26

<b>FVE Bušanovice I</b>	
<b>Inst. výkon [kW]</b>	<b>693</b>
<b>Měsíc</b>	<b>Výroba [MWh]</b>
Leden	22,00
Únor	39,07
Březen	83,21
Duben	75,81
Květen	98,75
Červen	86,01
Červenec	74,05
Srpen	94,76
Září	56,14
Říjen	48,83
Listopad	34,84
Prosinec	6,67

<b>FVE Bušanovice II</b>	
<b>Inst. výkon [kW]</b>	<b>652</b>
<b>Měsíc</b>	<b>Výroba [MWh]</b>
Leden	27,47
Únor	40,46
Březen	81,61
Duben	72,86
Květen	94,64
Červen	82,71
Červenec	77,80
Srpen	92,88
Září	87,01
Říjen	69,70
Listopad	23,22
Prosinec	22,81

<b>FVE Bušanovice III</b>	
<b>Inst. výkon [kW]</b>	<b>574</b>
<b>Měsíc</b>	<b>Výroba [MWh]</b>
Leden	30,21
Únor	42,69
Březen	90,20
Duben	81,35
Květen	105,01
Červen	92,73
Červenec	77,72
Srpen	102,35
Září	74,12
Říjen	52,68
Listopad	26,66
Prosinec	26,07