

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V ČR

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN CR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ KOZUMPLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Kozumplik

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:

Obnovitelné zdroje energie v ČR

v anglickém jazyce:

Renewable energy sources in CR

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Odborná rešerše využívání obnovitelných zdrojů energie v ČR se zaměřením na solární energii

Cíle bakalářské práce:

- všeobecný přehled obnovitelných zdrojů v ČR
- využití solární energie
- konkrétní využití slunečního záření v lokalitě jihovýchodní Moravy.

Seznam odborné literatury:

Cihelka,J.:Solární tepelná technika

Kolektiv: Obnovitelné zdroje energie, Alfa, 2002

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.10.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Obsahem bakalářské práce je odborná rešerše obnovitelných zdrojů energie v České republice. Je uveden princip, využití, potenciál a výhody a nevýhody jednotlivých typů obnovitelných zdrojů - vody, větru a biomasy. Detailně je pak pojednáno o využití sluneční energie pro fotovoltaickou přeměnu na elektrickou energii. Na závěr je popsána jedna z mnoha nedávno vzniklých fotovoltaických elektráren na jižní Moravě, sluneční elektrárna ve Bzenci.

Abstract

The content of bachelor study is the technical recherche of the renewable resources of energy in the Czech republic. It appears here the principal, use, potential and advantages and disadvantages of each type of renewable resources - water, wind and biomass. Then the use of solar energy for photovoltaic conversion to electrical energy is described in detail. At the end of this study is described one of the many recently build photovoltaic power stations in the South Moravia territory, the solar power station in Bzenec.

Klíčová slova

obnovitelné zdroje, voda, vítr, biomasa, slunce, energie, fotovoltaický jev, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, solární elektrárna

Key words

renewable resources, water, wind, biomass, sun, energy, photovoltaic effect, photovoltaic cell, photovoltaic panel, solar power station

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

KOZUMPLÍK, O. *Obnovitelné zdroje energie v ČR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Čestné prohlášení

Já, Ondřej Kozumplík, prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně, dne

.....
Ondřej Kozumplík

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. za jeho odborné vedení, věnovaný čas a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

Úvod	13
1. Vodní energie	15
1.1 Vodní energie a její potenciál v ČR	15
1.2 Rozdělení vodních elektráren	15
1.3 Turbíny používané u vodních elektráren	16
1.3.1 Kaplanova turbína	16
1.3.2 Francisova turbína	16
1.3.3 Peltonova turbína	16
1.4 Výhody vodních elektráren	17
1.5 Nevýhody vodních elektráren	17
2. Větrná energie	18
2.1 Mechanismy zabránění přetížení větrné elektrárny	18
2.1.1 Pitch control	18
2.1.2 Stall control	18
2.2 Potenciál větrné energie v ČR	18
2.3 Větrné elektrárny s převodovkou a bez převodovky	19
2.4 Stožáry větrných elektráren	20
2.5 Výhody větrných elektráren	20
2.6 Nevýhody větrných elektráren	20
3. Energie z biomasy	21
3.1 Zdroje biomasy	21
3.2 Metody úprav biomasy	22
3.3 Způsoby získávání energie z biomasy	22
3.3.1 Spalování	22
3.3.2 Zpracování na kvalitnější paliva	22
3.4 Potenciál biomasy v ČR	22
3.5 Výhody biomasy	23
3.6 Nevýhody biomasy	23
4. Sluneční energie	24
4.1.1 Slunce	24
4.1.2 Sluneční záření	24
4.2 Solární elektrárny	25
4.3 Rozdělení slunečních elektráren	26
4.4 Zapojení solárních elektráren	26

4.5 Historie fotovoltaiky	26
4.6 Princip fotovoltaické přeměny energie	27
4.7 Generace fotovoltaických článků	28
4.8 Výroba fotovoltaických článků	29
4.9 Konstrukce článků	30
4.10 Typy fotovoltaických článků	31
4.10.1 Křemíkové monokrystalické články	31
4.10.2 Křemíkové polykrystalické články	31
4.10.3 Křemíkové amorfnní články	31
4.11 Směry vývoje fotovoltaických článků	32
4.11.1 Galiumarsenid	32
4.11.2 Diselenid mědi a india	32
4.11.3 Články na bázi organických látek	32
4.11.4 Články na bázi nanostruktur	32
4.11.5 Světové trendy	33
4.12 Fotovoltaické panely	33
4.13 Možnosti zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů	34
4.13.1 Oboustranné moduly	34
4.13.2 Koncentrátory	34
4.13.3 Koncentrátory s rovinným zrcadlem	35
4.13.4 Koncentrátory s parabolickým zrcadlem	35
4.13.5 Fresnelovy čočky	36
4.13.6 Sledovače Slunce	36
4.14 Budoucnost fotovoltaiky v ČR	36
5. Konkrétní využití sluneční energie na území jižní Moravy	38
Závěr	40
Seznam použitých zdrojů	42
Seznam použitých zkratk	44

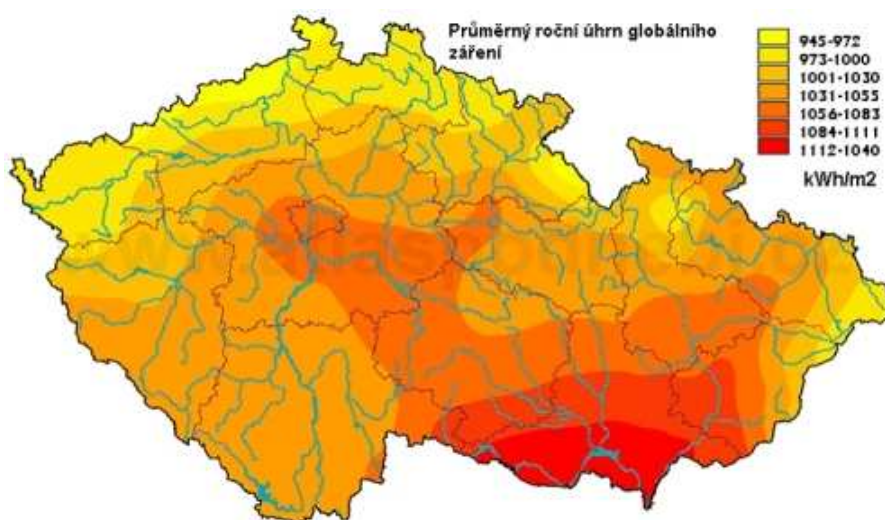
Úvod

Tématem mé bakalářské práce jsou obnovitelné zdroje energie se zaměřením na solární energii. Je to z toho důvodu, že tento obor mě velmi zajímá a myslím si, že do budoucna je velmi perspektivní a žádaný. Díky tomu, že jsem z jižní Moravy, můžu sledovat, jak v okolí dochází v poslední době k masivní výstavbě fotovoltaických elektráren. Toto téma je mi tedy velmi blízké a chtěl bych se o něm touto cestou dozvědět co nejvíce.

Energetika je odvětví, které se zabývá výrobou energie a její následnou distribucí. V dnešním světě, který se rychle rozvíjí, je kladen velký důraz na udržení tohoto rozvoje. Aby mohl být zachován, je třeba do budoucna najít i jiné zdroje energie. Fosilních paliv bude za pár desítek let nedostatek a státy, které budou mít dostatek energie z obnovitelných zdrojů, nebudou muset řešit nedostatek energie. I dnes už není možné, aby docházelo k rozvoji jen za cenu zvyšování výroby energie z fosilních paliv. Ta totiž výrazně znečišťuje naše životní prostředí. Energii z těchto paliv dnes svět spotřebovává výrazně rychleji, než se tvoří.

Do budoucna je tedy naší jedinou možností najít si nové zdroje energie, a to obnovitelné. Ty jsou nevyčerpatelné, a navíc nezatežují životní prostředí. Sluneční energie, kterou se budu výrazněji zabývat v této rešerši, je nejdůležitější obnovitelný zdroj energie. Sluneční záření dopadá na naši zemi neustále a jedná se tedy o naprosto čistý a perspektivní zdroj energie. Na naši planetu dopadá záření o výkonu cca. $1,8 \times 10^{17} \text{ W}$ jen s mírnými změnami dle roční doby. To je asi 11 000 krát více než výkon, který lidstvo vyrobí a následně spotřebuje. Tato energie by se dala vyrobit, kdyby bylo sluneční záření využito na 0,13 % povrchu Země s účinností 5 %.[5] Z dopadající energie se však dá využít jen malá část, solární energie tedy nemůže ani zdaleka konkurovat tepelným či jaderným elektrárnám. Uplatňuje se však jako doplňkový zdroj a její význam rychle vzrůstá, zejména v odlehlých oblastech Země, kam nevede elektrická síť a není zde ani zdroj vodní energie. Veškerá energie, která se dnes na světě vyrobí, by se dala vyrobit ve fotovoltaických panelech o ploše asi $1000 \times 1000 \text{ km}^2$. [1] Jen plocha pouště Sahara s ideálními podmínkami pro fotovoltaickou elektrárnu je asi desetinásobná. Navíc ve světě existuje spousta podobných oblastí v Arábii, v Arizoně, v Chile či v Austrálii.

V České republice se rovněž začíná fotovoltaika velmi rychle rozšiřovat, zejména na jižní Moravě, kde vzniklo několik velkých elektráren a další stále přibývají.



Obr. 1: Solární mapa ČR [15]

Na obrázku vidíme mapu České republiky s vyznačením průměrné roční solární energie dopadající na povrch našeho území. Maximální denní hodnota za jasného letního dne je $6,8 \text{ kWh} \times \text{m}^{-2} \times \text{den}^{-1}$. [1] Vidíme, že na jižní Moravu dopadá nejvíce slunečního záření. Nejméně pak v Krušných horách.

Cílem mé práce je seznámit čtenáře se solární energií, zmíním se však okrajově i o vodní energii, o větrné energii a o energii z biomasy. Budu se zabývat výrobou elektrické energie ve fotovoltaických elektrárnách a jednu z nich, která leží na jižní Moravě, si přiblížíme.

1. Vodní energie

1.1 Vodní energie a její potenciál v ČR

Možnosti využití vodní energie v ČR se omezují pouze na využití energie vodních toků. Nevýhodou našeho území je, že většina řek zde pramení a odtéká přes zahraniční země do moře. Naším územím tedy neprotéká žádná velká řeka. Lze tedy budovat spíše menší vodní elektrárny či přečerpávací elektrárny. Největší pozornost je dnes upřena na Vltavskou vodní kaskádu, kde již fungují vodní elektrárny o celkovém výkonu 706 MW. Současně je třeba udržovat, či případně modernizovat stávající vodní elektrárny.

1.2 Rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny lze dělit z několika hledisek.[7]

Rozdělení dle výkonu:

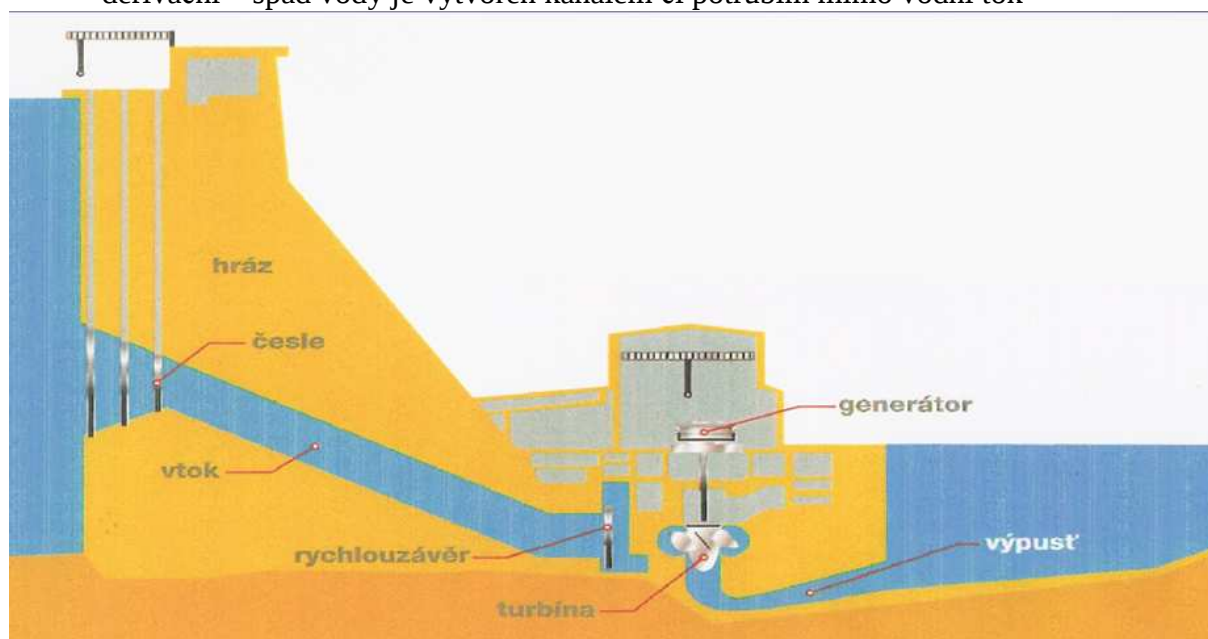
- malé – s instalovaným výkonem do 10 MW
- střední – s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW
- velké – s instalovaným výkonem nad 200 MW

Rozdělení dle charakteru:

- průtočné (říční) – umístěny v přímém kontaktu s vodním tokem
- derivační – jsou umístěny na uměle vybudovaném kanálu
- akumulární – využívají vodních nádrží pro svůj akumulární (přerušovaný) provoz
- vyrovnávací – slouží k vyrovnání odtoků z akumulární elektrárny

Rozdělení dle spádu:

- přehradové – spád vody je tvořen přehradou
- jezové – spád vody je tvořen jezem
- derivační – spád vody je vytvořen kanálem či potrubím mimo vodní tok



Obr. 2: Schéma vodní elektrárny [16]

1.3 Turbíny používané u vodních elektráren

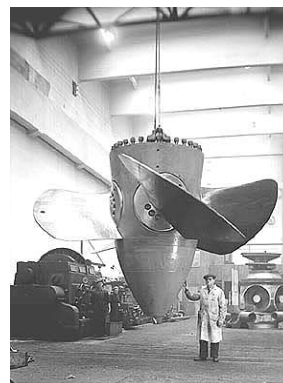
Voda, která stéká spádovým potrubím, naráží do lopatek turbíny, předává jí svou tlakovou a kinetickou energii, čímž se turbína roztočí a přemění energii vody na energii mechanickou.

Turbíny můžeme dělit dle působení tlaku na:

- přetlakové – Kaplanova a Francisova turbína
- rovnotlaké – Peltonova turbína

1.3.1 Kaplanova turbína

Byla vynalezena profesorem brněnské univerzity Viktorem Kaplanem na začátku 20. století. Její velkou výhodou je možnost regulace náklonu lopatek a dobrá účinnost. Nevýhodou je vyšší cena, jelikož je tvarově složitá, a tedy náročná na výrobu. Je výhodné ji použít pro nízké spády v řádu několika metrů a vyšší průtoky, které nejsou konstantní. [11]



Obr. 3: Kaplanova turbína [17]

1.3.2 Francisova turbína

Byla vynalezena Jamesem B. Francisem. Je to přetlaková turbína, což znamená, že voda, která prochází turbínou, zmenšuje svoji rychlost a odevzdává turbíně svoji energii. Nevýhodou této turbíny je nemožnost regulace a nižší účinnost. Výhodou je možnost použití této turbíny při zpětném chodu jako čerpadla. Používá se proto hlavně v energetice pro přečerpávací elektrárny a pro střední, stabilní průtoky a střední spády.[11]



Obr. 4: Francisova turbína [18]

1.3.3 Peltonova turbína

Byla vynalezena Lesterem Allanem Peltonem. Je to rovnotlaká turbína, kdy voda proudí na její rotor tečně pomocí trysek. Její lopatky jsou stavěny proti směru toku vody, čímž je turbína roztočena. Její účinnost roste s rostoucím tlakem přivodní vody. Výhodou je možnost regulace, což se provádí pomocí regulační jehly. Její použití je výhodné pro vysoké spády a malé průtoky. [11]



Obr. 5: Peltonova turbína [16]

1.4 Výhody vodních elektráren

- neznečišťují životní prostředí
- neprodukují žádný odpad
- jsou vysoce bezpečné
- provzdušňují vodní toky a zbavují je naplavenin

1.5 Nevýhody vodních elektráren

- hlučnost
- nevkusné začlenění do přírody

2. Větrná energie

Základem větrné energie jsou aerodynamické síly, které vznikají podél speciálně tvarovaných listů rotoru. Působením aerodynamických sil na list vrtule se pak převádí kinetická energie větru pomocí větrné turbíny na rotační mechanickou energii. S rostoucí rychlostí větru rostou vztahové síly na rotor s druhou mocninou a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Musí tedy existovat efektivní a rychlá regulace výkonu rotoru, aby nedošlo k mechanickému přetížení elektrárny. [7]

2.1 Mechanismy zabránění přetížení větrné elektrárny

Existují dva mechanismy, jak zabránit při velkých rychlostech větru přetížení rotoru:

- pitch control
- stall control

2.1.1 Pitch control

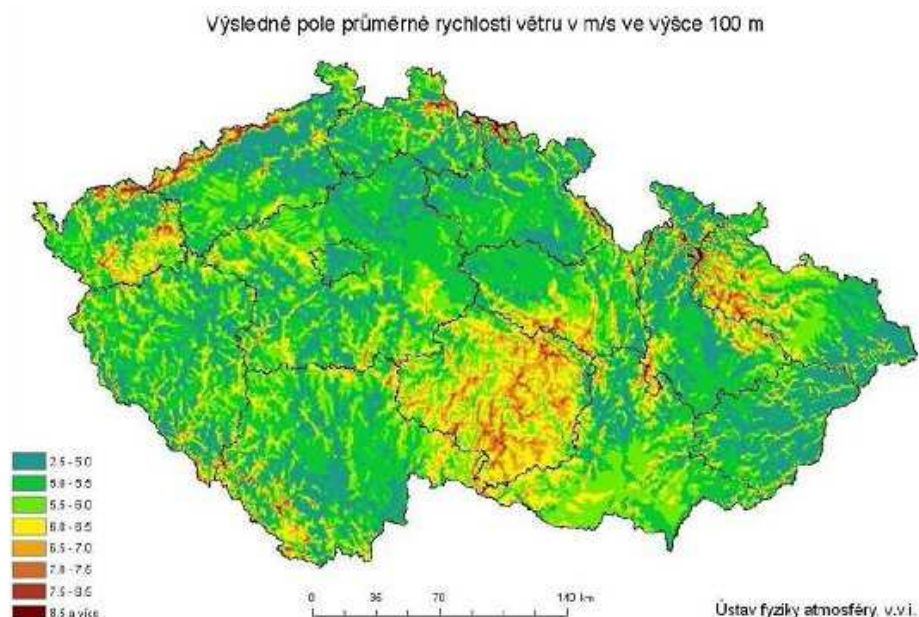
Pitch control představuje aktivní systém regulace, který pracuje se vstupním signálem o výkonu generátoru. Při překročení nominálního výkonu generátoru změní systém nastavení listů rotoru vůči proudění vzduchu, což vede ke snížení aerodynamických sil působících na rotor a ke snížení výkonu. Výhodou tohoto systému je, že výkon elektrárny je neustále upravován tak, aby byl co nejbližší nominálnímu výkonu. Další výhody jsou nepotřebnost brzd, vyšší kontrola výkonu a produkce energie pro celý rozsah rychlostí větru, menší zatížení listů rotoru a tím i jeho nižší hmotnost.[7]

2.1.2 Stall control

Stall control spočívá v tom, že listy rotoru jsou našroubovány na náboji v pevném úhlu. Geometrie profilu rotoru jsou však navrženy tak, aby v okamžiku vysokých rychlostí větru, vytvořily turbulence na straně rotoru, který nečelí větru. Tím se zabráňuje většímu působení aerodynamické síly na rotor. [7]

2.2 Potenciál větrné energie v ČR

Oblasti vhodné pro rozvoj větrné energie jsou v ČR zejména horské oblasti, kde jsou výhodné povětrnostní podmínky. Musíme ale uvážit, že velká horská území jsou chráněnými krajinnými oblastmi a nelze v nich tedy elektrárny stavět. Je třeba se tedy zaměřit na experimentální průzkum profilů větru v oblastech, které nejsou chráněné a stavět elektrárny i v nižších oblastech. Zkušenosti z Rakouska a Německa naznačují, že by to neměl být problém ani v našich podmínkách. S dnešní výškou stožárů větrných elektráren kolem 100 m lze využívat proudění vzduchu nad povrchem země i v nižších polohách. Očekává se, že v roce 2010 dosáhne celkový výkon větrných elektráren v ČR až 500 MW. Největší potenciál pro využití větrné energie pak mají oblasti severních Čech a severní Moravy, následuje jižní Morava a západní Čechy.

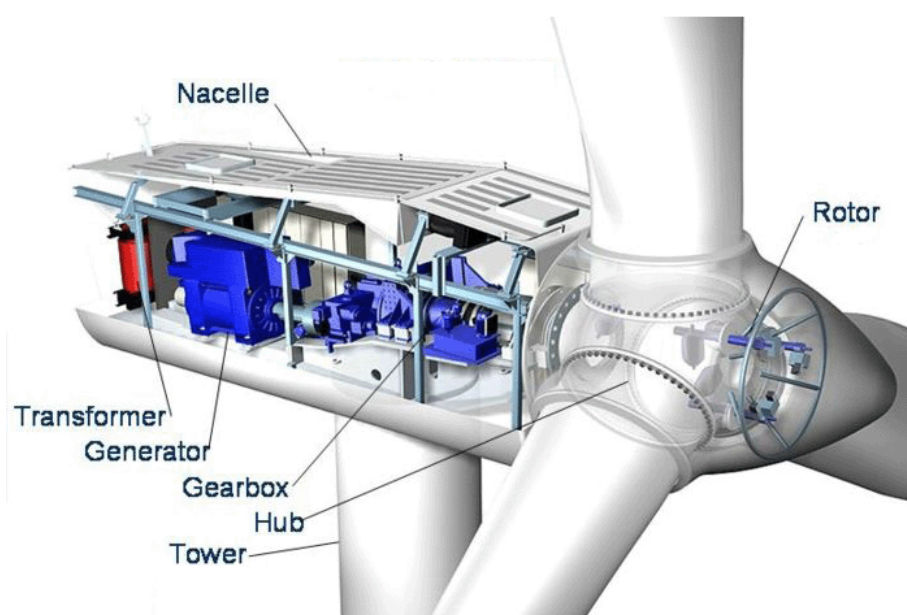


Obr. 6: Větrná mapa ČR [19]

2.3 Větrné elektrárny s převodovkou a bez převodovky

Bezpřevodkové řešení využívá nízkorychlostních multipólových generátorů. Ty mají ovšem velké rozměry a bývá tak problém s jejich transportem. Výhodou je, že se značně sníží počet strojních částí, není potřeba velké převodové skříně, není třeba olejů a údržba je tak jednodušší.

Převodkové řešení využívá hnacího hřídele, ložisek, převodovek a spojek. Převodovka pak zajišťuje plynulý převod nízkých otáček rotoru na vysoké otáčky generátoru. Nevýhodou převodovky je nutnost její údržby, aby nedošlo k její poruše. V praxi se ovšem můžeme setkat s oběma typy větrných elektráren a záleží vždy na dané firmě, jakou zvolí variantu.[7]



Obr. 7: Schéma větrné elektrárny s převodovkou [20]

2.4 Stožáry větrných elektráren

Nejrozšířenější jsou stožáry z ocelových tubusů mírně kónického tvaru. V současné době se jejich výška pohybuje od 100 m do 120 m. V poslední době se však lze setkat i se stožáry příhradové konstrukce. Jejich výhodou je vysoká úspora oceli a snadný transport oproti tubusovým stožárům. Někteří ovšem tvrdí, že nepůsobí v krajině esteticky. Na druhou stranu v krajině je spousta stožárů vysokého napětí stejné konstrukce a bylo by možné tyto stožáry větrných elektráren snáze přehlédnout, pokud by byly v blízkosti stožárů elektrického vedení.



Obr. 8: Stavba větrné elektrárny [12]

2.5 Výhody větrných elektráren

- neprodukují žádné odpady
- jedná se o zcela čistou energii
- jsou téměř bezúdržbové
- snadná instalace

2.6 Nevýhody větrných elektráren

- narušují krajinný ráz
- hlučnost
- ruší zvěř

3. Energie z biomasy

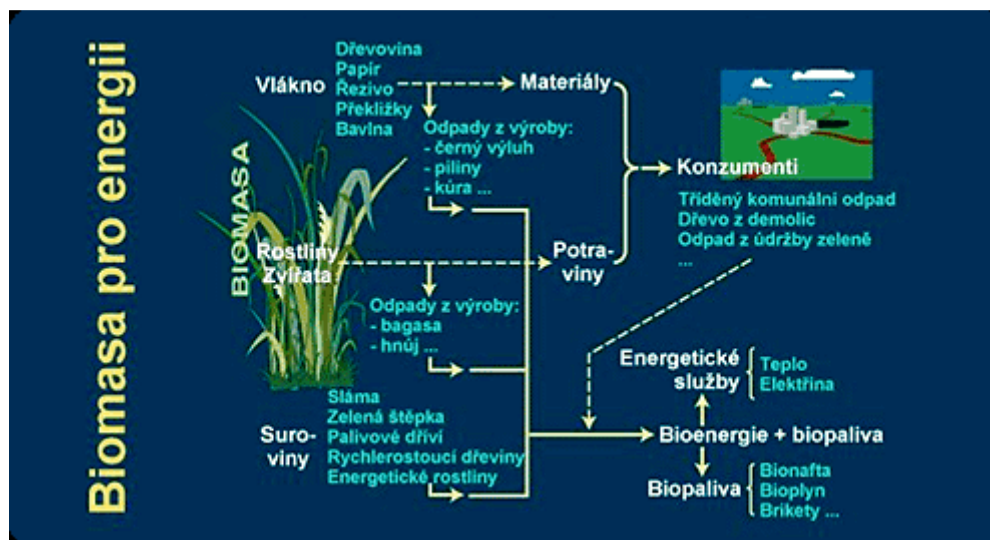
Dalším zdrojem energeticky využitelné energie je sluneční energie uložená v organických materiálech - biomase. Pojem biomasa bývá označována biologicky rozložitelná část výrobků, odpadků a zbytků ze zemědělství a lesnictví. Dále jsou to také cíleně pěstované energetické plodiny a biologicky rozložitelné části komunálního odpadu. Základním stavebním prvkem živé hmoty je uhlík, jehož chemické vazby obsahují energii, a který tak lze využít k získání energie. Nejčastěji se jako biomasa využívá dřevo a dřevní odpad, sláma obilovin a olejnin a energetické rostliny pěstované k tomuto účelu na půdách, které nejsou potřebné pro produkci potravin či krmiv.[7]

3.1 Zdroje biomasy

V podmínkách ČR představují biomasu zejména:[7]

- dřevní odpady - štěpky, kůra, piliny
- nedřevní fytomasa - obilná a řepková sláma, energetické plodiny
- průmyslové odpady rostlinného původu - např. papírenské odpady
- produkty živočišné výroby - kejda, chlévská mrva
- čistírenské kaly, tříděný komunální odpad
- kapalná biopaliva

V ČR se nejvíce využívá dřevního odpadu, který vzniká při zpracování a těžbě dřeva. Dále se začíná ve větší míře využívat energetických plodin, které mají tu výhodu, že pro jejich pěstování lze využívat i půdu, nevhodnou pro pěstování potravin či krmiv, a také půdu zdevastovanou důlní činností.



Obr. 9: Využití biomasy [21]

3.2 Metody úprav biomasy

Je třeba, aby před vlastním vstupem do energetického zařízení byla biomasa upravena. Tyto technologie úprav závisí na požadovaném druhu a kvalitě hmoty vstupující do energetického zařízení.

Tyto technologie lze rozřadit do následujících skupin:[7]

- suché procesy - spalování, zplyňování, pyrolýza
- mokré procesy - alkoholové a metanové kvašení
- fyzikální a chemické procesy - štípání, drcení, lisování, esterifikace
- získávání odpadního tepla - kompostování, čištění odpadních vod

3.3 Způsoby získávání energie z biomasy

3.3.1 Spalování

Jedná se o nejstarší zpracování biomasy, při kterém se rozkládá organický materiál na hořlavé plyny a při následné oxidaci dochází k uvolňování energie, vody a oxidu uhličitého. Výhodou spalování biomasy je to, že množství uvolněného oxidu uhličitého je malé a je v podstatě rovno množství tohoto plynu vázaného do rostlin v zemědělských porostech. Také množství uvolněných oxidů síry je mnohem menší než u spalování fosilních paliv. Důležitou věcí u dokonalého spalování biomasy je dostatečně vysoká teplota, účinné směšování se vzduchem, aby nedocházelo k nadměrné produkci nežádoucích oxidů a nestalo se, že některé plyny budou hořet až v komíně.[8]

3.3.2 Zpracování na kvalitnější paliva

Jedná se zejména o využití dřeva, které se pro energetické využití může štěpkovat a piliny lze lisovat do briket. Brikety lze vyrábět rovněž lisováním slámy a dalších tzv. energetických rostlin, kterými jsou zejména laskavec, konopí seté, komonici bílou, šťovík krmný a další.

3.4 Potenciál biomasy v ČR

V ČR se využívá nejvíce spalování dřevního paliva a energetických plodin. Spalování dřeva patří k nejlevnějším způsobům získávání energie. Další využitelnost biomasy v ČR je velmi žádoucí a očekává se vznik dalších zařízení pro spalování biomasy. Už nyní fungují v ČR některé elektrárny na biomasu (Poříčí u Trutnova, Tisová u Sokolova, Hodonín, Dvůr Králové), jejichž výkon by měl být do budoucna navýšen. V budoucnu je cílem ČR dosáhnout většího využití biomasy a zvýšit produkci energetických plodin, jelikož pro jejich pěstování jsou v ČR příhodné podmínky. Velký potenciál skýtají také bioplynové stanice, které slouží ke zpracování biologicky rozložitelných odpadů, vstupním materiálem ale může být téměř cokoliv organického původu, např. tráva, siláž, zbytky z potravinové výroby, exkrementy hospodářských zvířat. Výroba bioplynu je zatím rozvíjejícím se oborem, který má však velký potenciál.



Obr. 10: Elektrárna Hodonín spalující biomasu [22]

3.5 Výhody biomasy

- neutrální k produkci oxidu uhličitého
- využití přebytečné zemědělské půdy
- tuzemský zdroj energie
- popel po spalování biomasy lze využít jako hnojivo
- možnost spalování tříděného komunálního odpadu

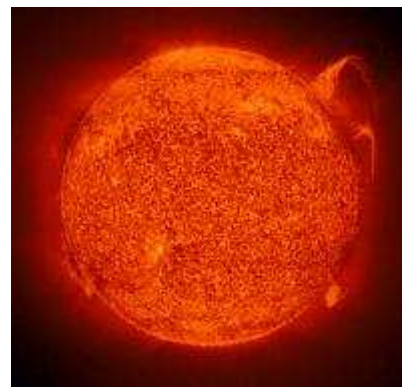
3.6 Nevýhody biomasy

- nižší výhřevnost
- větší objem paliva, nároky na skladovací prostory
- nutnost úpravy před spálením
- nutnost likvidace popela
- vyšší investiční náklady

4. Sluneční energie

4.1.1 Slunce

Slunce je největší a nejdůležitější hvězda naší sluneční soustavy. Vzniklo asi před 5 miliardami let z mlhoviny, z plynů a prachu. Vlivem gravitačních sil se tato mlhovina začala smršťovat a zahřívat. Poté co teplota v centru této mlhoviny dosáhla hranice pro vznik termonukleárních reakcí, začala se z jádra uvolňovat jaderná energie a Slunce se stalo gigantickým přírodním zdrojem energie. Postupně pak nastala rovnováha mezi energií, která se uvolňuje z jádra a energií vyzařenou z povrchu.



Obr. 11: Slunce [23]

Ani toto však nebude trvat nekonečně dlouho a jednou se energie vyčerpá a Slunce zanikne. Slunce však nyní je a ještě dlouho bude největším zdrojem energie ve sluneční soustavě. Všechna energie na Zemi pochází z tohoto zdroje, jen s výjimkou jaderné energie.

V následující tabulce vidíme některé parametry Slunce:

veličina	střední hodnota
poloměr Slunce	$r_s = 6,96 \times 10^8 m$
hmotnost Slunce	$m_s = 1,99 \times 10^{30} kg$
výkon Slunce	$P_s = 3,91 \times 10^{26} W$
efektivní teplota fotosféry	$T_s = 5800 K$
tíhové zrychlení na povrchu	$g_s = 274 m \times s^{-2}$
vzdálenost Země od Slunce	$R_{sz} = 1,49 \times 10^{11} m$
solární konstanta	$I = 1367 W \times m^{-2}$

Obr.12: Tabulka s údaji o Slunci[1]

4.1.2 Sluneční záření

Sluneční záření, které pronikne atmosférou, se z hlediska směrovosti dělí na tři složky. Největší část energie připadá na tzv. přímé záření. To je ze Slunce směřováno pouze ve velmi malém úhlu. Menší část energie připadá na tzv. difúzní (rozptýlené) záření, které je vlivem průchodu atmosférou rozptýleno odrazem o molekuly plynů ve větším úhlu. Jen malá část energie připadá na tzv. difúzní izotropní záření, které je vlivem průchodu atmosférou rozptýleno natolik, že má stejnou intenzitu ze všech směrů. Toto záření převládá při zatažené obloze, kdy slunce přímo nesvítí. Odraz slunečních paprsků od okolí se zmenšuje, ale zvětšuje se jejich rozptyl v atmosféře.[3]

4.2 Solární elektrárny

Přeměna solární energie na jiné formy je známá už od pradávna. V minulosti se např. využívalo soustředěných slunečních paprsků k roztápění ohně pomocí lupy, rovněž se ohřívala voda pomocí zrcadel, která soustředila sluneční paprsky a např. roku 1883 na výstavě v Paříži, předváděli A. Mouchot a A. Piffr zařízení, ve kterém vznikala pára pohánějící parní stroj a následně tiskařský stroj. [1]

I dnes pracují některé elektrárny na stejném principu, kdy sluneční záření koncentrované pomocí zrcadel vytváří páru pohánějící turbínu, která je spojena s generátorem elektrické energie. Tyto elektrárny se označují jako věžové a několik takových elektráren lze najít v Kalifornii. Jejich výkon je kolem 20 MW. Páru dokáží ohřát na teplotu kolem 560°C a jejich účinnost je kolem 17 %. Jejich velkým problémem je však vysoká technická i finanční náročnost při nastavování zrcadel, které musí být nastaveny s velkou přesností. Navíc je nutné zrcadla pravidelně čistit a při velké ploše zrcadel je problém také s odolností vůči povětrnostním podmínkám. První takovou pokusnou elektrárnou je „Solar One“ v Kalifornii, dokončená roku 1985, která dosahuje výkonu až 10 MW a má věž vysokou 70 m.



Obr. 13: Věžová elektrárna Solar One v Kalifornii [24]

4.3 Rozdělení slunečních elektráren

Sluneční elektrárny můžeme tedy rozdělit na dva typy dle typu přeměny energie:

- **elektrárny s fotovoltaickou přeměnou**

Je tvořena fotovoltaickými panely, v nichž dochází fotovoltaickým jevem ke vzniku stejnosměrného elektrického proudu, který se elektronickým měničem přeměňuje na střídavý elektrický proud.

- **elektrárny s termickou přeměnou**

Sluneční záření se pomocí zrcadel soustřeďuje na ohniskový absorbér, kterým protéká teplotonosná kapalina (většinou voda), která se zahřívá na vysokou teplotu. Tím se vytváří přehřátá pára, která se pak využívá pro pohon turbíny spojené s generátorem elektrické energie. Takové elektrárny je vhodné stavět v pouštních oblastech s vysokým počtem slunečních dnů v roce a s dostatečnou plochou pro umístění několika set zrcadel pro soustředění slunečního záření do věžového absorbérů.

4.4 Zapojení solárních elektráren

Solární elektrárny měnící sluneční záření pomocí fotovoltaických panelů mohou být zapojeny buď jako ostrovní, či síťové.

Ostrovní solární elektrárna není připojena do veřejné sítě a dodává proud jen do malé oblasti, často i jen jedinému spotřebiči. Ten je pak závislý na množství elektrické energie, kterou elektrárna vyrobí.

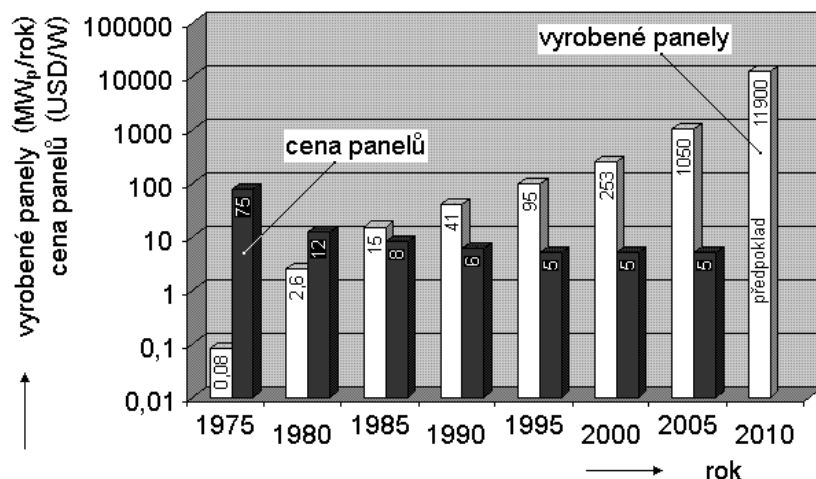
Naopak **síťová solární elektrárna** je zapojena do veřejné elektrické sítě a v době přebytku vlastního výkonu do sítě energii dodává.

4.5 Historie fotovoltaiky

V roce 1839 byl fotovoltaický jev náhodně objeven mladým francouzským fyzikem Alexandrem Becquerelem. Ten si při pokusech s kovovými elektrodami ponořenými v elektrolytu všiml, že při jejich osvětlení začne procházet malý proud. Ovšem první skutečný fotovoltaický článek byl vytvořen až roku 1877. S použitím selenu jej vyrobili Adams a Day. Roku 1883 pak navrhl Fritts článek o ploše 30 cm^2 a účinnosti kolem 1 %. Většímu využití však bránila příliš nízká účinnost. Významně pak posunul tuto technologii až ve 20. století Jan Czochralski, který vyvinul přípravu monokrystalů křemíku. Křemíkový fotovoltaický článek si pak nechal jako první patentovat roku 1946 Russell S. Ohl v USA. V Bellových laboratořích pak roku 1954 vyrobili fotovoltaický článek z křemíku s účinností 6 %. Taková účinnost již byla dostatečná pro praktické využití, ovšem hodně vysoká byla zatím cena, která byla ovlivněna především nutností drahé výroby velmi čistého křemíku. [2]

Velkým impulzem pro rozvoj fotovoltaiky bylo použití článků na napájení umělých družic po roce 1957. Protože to byla jediná možnost, jak zajistit napájení takové družice, nehrála zde

vysoká cena roli. Na zemi se fotovoltaika rozvíjí až v 70. letech, kdy klesá cena článků. Začaly se používat v odlehlých oblastech bez elektrické sítě. Další rozšíření nastává po ropné krizi v sedmdesátých letech, kdy se začaly hledat cesty, jak se stát méně závislým na ropě a zemním plynu a do výzkumu nových technologií pro výrobu energie se začalo významněji investovat. Vývoj fotovoltaiky ukazuje následující graf.



Obr. 14: Vývoj výroby a ceny fotovoltaických panelů [25]

Významný rozvoj fotovoltaiky proběhl v posledních letech, kdy se masivně rozšířilo její využití po celém světě, včetně naší republiky. Významně je to ovlivněno především velkou státní podporou, jistotou pevné výkupní ceny elektřiny a nutností dostat se na 8% podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů dle EU.

4.6 Princip fotovoltaické přeměny energie

Abychom přeměnili energii proudu fotonů dopadajících ze Slunce v energii elektrickou, potřebujeme volné elektrony a elektrický potenciál, který je uvede do pohybu směrem ze zdroje do spotřebiče. Volné elektrony máme k dispozici v každém kovu, potřebujeme jim však dodat energii potřebnou k jejich pohybu a také je usměrnit požadovaným směrem. Sluneční záření je tvořeno fotony, které jsou schopny předat svou energii volnému elektronu v kovu. Při ozáření kovu zářením se uvolňují elektrony z jeho povrchu, a pokud je energie dostatečná, pak po sobě zanechá elektron kladný náboj, který označujeme jako díra. Tento elektron je pak přitážen jinou dírou a jeho energie se uvolní v teplo. Potřebujeme tedy donutit elektrony, aby než zapadnou do další díry, prošly elektrickým obvodem a energii získanou od fotonu přeměnily v práci v obvodu. Toto se dá lépe realizovat v polovodičích než v kovech, jelikož polovodiče nemají volné elektrony, ale snadno zde můžou vzniknout vlivem dopadajícího slunečního záření. [2]

K oddělení elektronů z děr je potřeba vytvořit tzv. PN přechod. Tento PN přechod je základem pro pochopení fotovoltaického jevu. Nejrozšířenější polovodič křemík je tvořen mřížkou, která obsahuje 4 atomy. Ty jsou spojeny kovalentními vazbami, které se můžou přerušit dodáním poměrně malého množství energie. U křemíku tedy i při pokojové teplotě mají některé elektrony dostatečnou energii k tomu, aby se z těchto vazeb uvolnily, proto křemík vede v malé míře elektrický proud. Se zvyšující se teplotou (ozářením slunečním zářením) se energie dodávaná na přerušování kovalentních vazeb zvyšuje a křemík se stává více

vodivým. Tato vodivost se ještě výrazně zvýší, pokud do krystalové struktury křemíku přidáme příměsi. [2]

Pokud nahradíme v krystalu křemíku některé atomy prvky V. skupiny periodické tabulky prvků (např. As, P, Sb), které mají 5 valenčních elektronů, pak pouze 4 jsou vázány kovalentní vazbou s atomy Si. Pátý elektron zůstane jen slabě vázán k atomu příměsi. Takový polovodič označujeme jako typ N (z angl. negative). Dodáním malé energie se tento slabě vázaný elektron utrhne a stane se volným elektronem. Tyto pětimočné atomy tedy nazýváme donory, jelikož jsou dárci volných elektronů.

Jestliže nahradíme v krystalu křemíku některé atomy prvky III. skupiny periodické tabulky prvků (např. B, Al, Ga), které mají pouze 3 valenční elektrony, pak všechny tři jsou vázány kovalentní vazbou s atomy Si a zbylá nezaplňená vazba se bude chovat jako kladná díra. Takový polovodič označujeme jako typ P (z angl. positive). Trojmočné příměsi pak nazýváme akceptory, jelikož vytváří díry pro příjem volných elektronů. [1]

Spojením těchto dvou typů polovodičů pak vznikne v místě dotyku tenká vrstva, označovaná jako PN přechod. Ta má velmi užitečné vlastnosti. Koncentrace záporných volných elektronů je totiž větší v polovodiči typu N než v typu P, zatímco koncentrace kladných děr je vyšší v polovodiči typu P než v typu N. Ve snaze vyrovnat koncentrace přechází difuzí elektrony do části P a díry do části N. Když přijdou do kontaktu, dojde k rekombinaci nábojů, tedy záporný elektron zaplní kladnou díru. To se ovšem brzy zastaví, jelikož po elektronech zůstanou v polovodiči typu N kladně nabité náboje a po dírách v polovodiči typu P záporné náboje. Vzniklé elektrické pole další difuzi zastaví a ustaví se rovnováha. Stejně množství elektronů, které přejdou difuzí, je přetaženo zpět působením elektrického pole. Tuto rovnováhu potřebujeme narušit. To lze působením slunečního záření, kdy se jeho vlivem generují další volné elektrony a díry a elektrické pole PN přechodu je oddělí a pošle na opačné strany. Elektrony pak přechází do typu N, který se stane záporným pólem fotovoltaického článku. Díry přechází do typu P, který se stane kladným pólem.

V případě použití křemíku je napětí fotovoltaického článku asi 0,6 V, což je pro jeho využití málo. Proto se články spojují do sérií o 36 či 72 článcích, ty pak dávají 18, resp. 36 V. Křemík, jako materiál pro fotovoltaický článek, je nejlepší především z toho důvodu, že může využít fotony s energií větší než 1,1 eV, což je záření o vlnových délkách menších než 1100nm. Do takových vlnových délek spadá velká část energie slunečního záření, to je tedy hlavní důvod využívání křemíku pro výrobu fotovoltaických článků. [2]

Ovšem v důsledku toho, že ne celá část energie slunečního záření spadá do energetické oblasti využitelné pro křemíkové články, lze dosáhnout využití energie slunečního záření kolem 55%. U reálného fotovoltaického článku však dochází k dalším ztrátám a v praxi lze dosáhnout účinnosti 10-20 %.

4.7 Generace fotovoltaických článků

Často se rozlišují čtyři generace fotovoltaických článků.[2]

1. generace

Jedná se o články vyrobené z monokrystalických destiček křemíku s vytvořeným PN přechodem. Vyznačují se dobrou účinností a v současnosti jsou stále ještě nejpoužívanější.

Nevýhodou je velká spotřeba velmi čistého křemíku při jejich výrobě, což je technologicky náročné.

2. generace

Vyznačuje se využíváním tenkovrstvých článků z polykrytalického či amorfního křemíku. Výhodou je nižší množství křemíku potřebného pro výrobu, tedy nižší cena. Nevýhodou je nižší účinnost, která navíc klesá s časem.

3. generace

Tady zařazujeme články, u kterých se k oddělení nábojů používá jiných metod než PN přechodu a často i jiných materiálů než polovodičů. Často jsou to polymery či nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček. Zatím se však takové články v praxi neuplatňují.

4. generace

Tady řadíme vícevrstvé články vyrobené z kompozitů. Ty jsou schopny efektivně využívat širokou část slunečního spektra tím, že každá kompozitní vrstva dokáže využít světlo různých vlnových délek. Záření o jiných vlnových délkách, které využít neumí, pak propustí do dalších vrstev, kde je toto záření využito.

4.8 Výroba fotovoltaických článků

Nejvíce rozšířenými články jsou dnes křemíkové články, jelikož křemík má spoustu výhod. Je to druhý nejvíce zastoupený prvek v zemské kůře (tvoří 26 %), je tedy snadno dostupný a levný. Není jedovatý a je prozkoumán nejvíce ze všech polovodičů. Jak už bylo řečeno, dokáže využít velkou část energie slunečního záření, což jej předurčuje pro výrobu fotovoltaických článků.

V přírodě se vyskytuje ve formě křemene neboli oxidu křemičitého. Drobná zrnka křemene pak tvoří křemenný písek, z něž se vyrábí surový křemík. To se děje redukcí křemenného písku uhlíkem v elektrické obloukové peci. U takto získaného surového křemíku dosahujeme čistoty až 99 %, to ovšem k využití ve fotovoltaice nestačí. Křemík je tedy třeba zbavit nežádoucích příměsí, což jsou většinou příměsi Fe, Al a C. To se děje tzv. chlоровým cyklem. Surový křemík je převeden na těkavou sloučeninu (trichorsilan) a poté proběhne destilace. Poté se zpět vyredukuje čistý křemík ve formě hrudek. Tyto hrudky se pak roztaví a tavenina se nalije do formy, kde pomalým chladnutím vznikají monokrytalická zrna křemíku. Pak je potřeba vytvořit křemíkové ingoty, což se dělá tzv. Czochralskiho metodou, jejíž princip je v tom, že malé monokrytalické zrno křemíku se ponoří do taveniny o teplotě 1400° C jako zárodek. Ten je velmi pomalu z taveniny vytahován a nechává se otáčet kolem své osy. Tím vzniká podlouhlý křemíkový ingot. Ten se pak rozřeže na destičky o tloušťce asi 100 µm, které tvoří základ fotovoltaických článků.



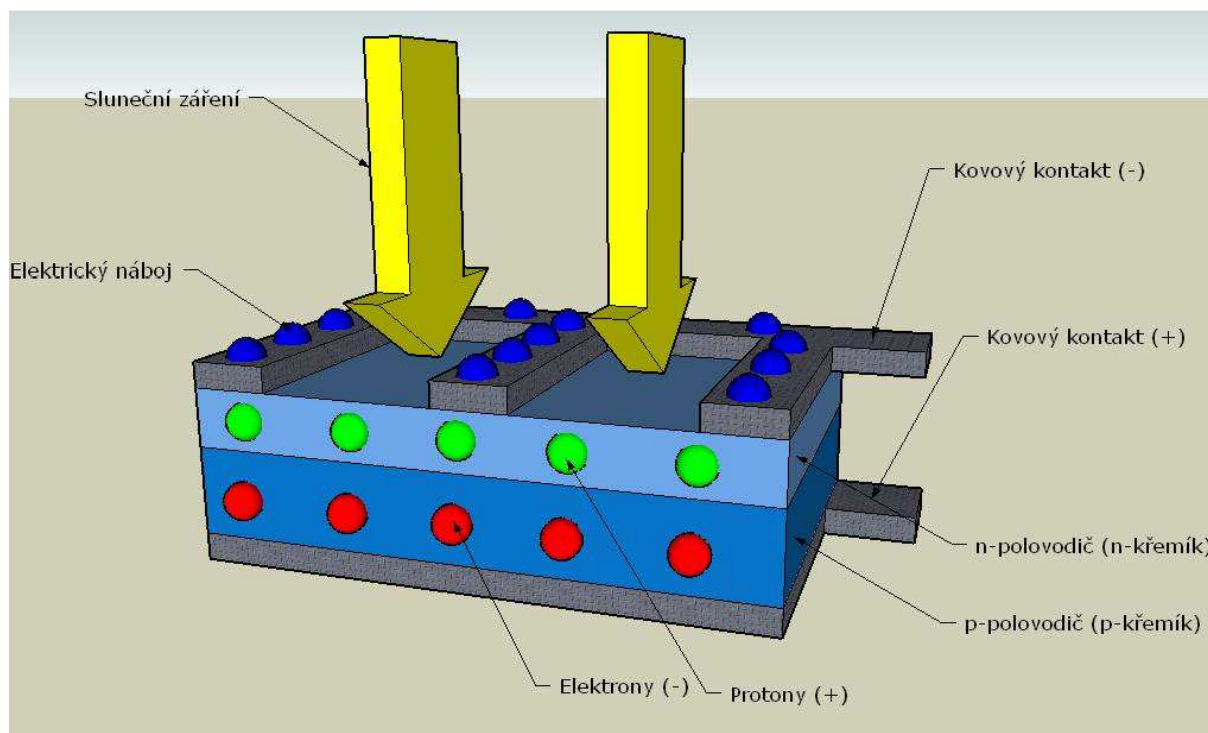
Obr. 15: Křemíkové ingoty [26]

4.9 Konstrukce článků

Fotovoltaický článek je vlastně velkoplošnou polovodičovou diodou s PN přechodem orientovaným kolmo k čelní ploše. V difúzních pecích probíhá difúze příměsí atomů III. či V. skupiny periodické tabulky pro vytvoření PN přechodu. Na čelní straně je článek opatřen antireflexní úpravou k minimalizaci odrazu záření a maximálního využití dopadajícího záření. Články jsou tedy z přední strany tmavé. Přední kontakt bývá ve tvaru mřížky. Zakrývá tudíž jen minimální část plochy a umožňuje záření dopadat na co největší plochu. Zadní kontakt bývá celoplošný, pokud se nejedná o článek oboustranný. Kontakty na články jsou nanášeny většinou sítotiskem, případně vakuovým napařováním, což už je ovšem dražší technologie. Tloušťka článků bývá kolem 0,2mm.[2] Takto zkonstruovaný článek má však nižší účinnost přeměny energie v důsledku rekombinačních ztrát.



Obr. 16: Křemíkový solární článek [12]



Obr. 17: Řez fotovoltaickým článkem [27]

Pro zvýšení účinnosti se provádí řada konstrukčních zdokonalení. Povrch je chemicky ošetřen vrstvou oxidu křemičitého a jen v některých místech je vrstva proleptána pro odvod elektrického náboje. Vyleptaná struktura malých jehlanů na přední straně umožňuje snadný vstup fotonů do článku. Ovšem pokud projdou, aniž by způsobily fotovoltaickou přeměnu a odrazí se od zadní elektrody, nemohou na přední straně vystoupit z článku ven a jsou odrazem vráceny zpět do článku. Musí tedy znovu projít přechodem PN, což značně zvyšuje pravděpodobnost fotovoltaické přeměny.

V případě oboustranných fotovoltaických článků, které mají na zadní straně stejnou strukturu jako na přední straně, je účinnost ještě vyšší. Fotony totiž mohou na zadní stranu po odrazu od země dopadat současně s fotony dopadajícími přímo na přední stranu a množství vyrobené elektrické energie se zvýší. Jak už bylo řečeno, účinnost fotovoltaických článků se pohybuje v rozmezí 10-20 %.[2]

4.10 Typy fotovoltaických článků

4.10.1 Křemíkové monokrystalické články

Jsou základními a nejstaršími typy křemíkových článků, vyráběné z monokrystalických křemíkových ingotů Czochralského metodou popsanou výše. Rozměr krystalů je v řádech 10cm. Ingoty se rozřezou speciální drátovou pilou na tenké plátky tloušťky 0,1 mm. Na povrchu se plátky vyleští a odleptají. Polovodičový PN přechod se vytvoří přidávkou fosforu, který na povrchu vytvoří vrstvu, která je vodivostí typu N.

4.10.2 Křemíkové polykrystalické články

Dnes jsou tyto články nejběžnější. Články polykrystalického křemíku se vyrábějí odléváním čistého křemíku do forem tvaru ingotů. Ingoty se řezou na tenké plátky. Výhodou těchto článků je to, že výroba odléváním je mnohem jednodušší metoda (tedy levnější) a lze vytvořit bloky se čtvercovým či obdélníkovým průřezem.

4.10.3 Křemíkové amorfnní články

Tyto články se vyrábí procesem rozkladu vhodných sloučenin křemíku (silanu) ve vodíkové atmosféře. Tak lze připravit velmi tenké vrstvy křemíku na skleněné či polyamidové podložce. Tyto vrstvy jsou amorfnní, nemají tedy pravidelnou krystalickou strukturu a obsahují určité procento vodíku. Díky větší absorpci slunečního záření může být tato vrstva podstatně tenčí a už vrstva o tloušťce 1mm je schopna pohltit 90 % slunečního záření. Lze tedy vyrobit velmi tenké fotovoltaické články, které lze využít jako krycí fólie na střechy. Problémem je, že tento materiál s nepravidelnou strukturou má velké množství poruch ve struktuře. Některé atomy křemíku kolem sebe nemají atomy, s kterými by mohly vytvořit vazbu a na těchto místech pak dochází k rekombinaci nábojů, což vede ke snížení proudu a účinnosti. Částečně lze tento problém řešit navázáním vodíku na tyto volné vazby, což pak ovšem vede k nestabilitě, jelikož struktura je narušována oxidací vzdušným kyslíkem. Účinnost těchto článků tedy dosahuje maximálně 10 %. Výhodou je výrazně nižší spotřeba křemíku při výrobě, a tedy nižší cena. Nyní ovšem převažují negativa nad pozitivy, do budoucna se ovšem předpokládá další vývoj k dosažení vyšších účinností.[2]

4.11 Směry vývoje fotovoltaických článků

Díky tomu, že v současné době rychle roste fotovoltaický průmysl, začíná se projevovat nedostatek křemíku pro výrobu fotovoltaických článků a vzniká tlak na vývoj nových druhů článků na bázi jiných materiálů. S rozvojem fotovoltaického průmyslu se také zvyšují investice do vývoje a cílem je vytvořit takové technologie výroby, aby cena fotovoltaických článků byla natolik nízká, že by se v budoucnu vyrovnala ceně elektřiny z klasických zdrojů. Už dnes se lze tedy setkat s novými materiály pro fotovoltaické články.

4.11.1 Galiumarsenid

Jedná se o tenkovrstvé monokrystalické články, které lze vyrobit s odlišnými vlastnostmi a přizpůsobit tak našim potřebám. Toho lze docílit různým poměrem galia a arsenidu a použitím různých příměsí. Tyto články pak mají vysokou absorpci slunečního záření a stačí několik mikronů, aby byly schopny pohltit téměř celé spektrum dopadajícího slunečního záření. Jsou také méně citlivé na vyšší teploty než křemík, což zvyšuje účinnost. Jedinou nevýhodou je to, že galium je velmi málo se vyskytující prvek a arsen je jedovatý.

4.11.2 Diselenid mědi a india

Rovněž se jedná o tenkovrstvý materiál, který se vyznačuje vysokou absorpcí slunečního záření, kdy stačí jediný mikrometr pro pohlcení 99 % slunečního záření. Dosahují účinnosti kolem 15 % a pomalu se začínají využívat i v praxi. Nevýhodou je vyšší cena než u křemíku.

4.11.3 Články na bázi organických látek

Tento vývoj je zaměřen na nízkou cenu článků a využívá výhodných vlastností organických polovodičů. Organické polovodičové články lze vytvořit použitím velmi jemného oxidu titaničitého, jehož krystalky jsou v řádu nanometrů. Do tohoto oxidu je nasáknut vodný roztok elektrolytu obsahující jód a vhodné barvivo (organický komplex ruthenia). Barvivo zachycením fotonu pak vytváří excitovaný stav (elektrony v obalu jsou přeneseny do vyšších energetických hladin) a přenesení elektronu na vrstvu oxidu titanu. Elektron oxidem prosákne na průhlednou elektrodu a je odveden do obvodu, který je uzavřen tak, že na druhé elektrodě je elektron přenesen na jód, vytvoří jodidový anion a ten redukuje oxidované barvivo, které může přijmout další foton. Výhodou takových článků je menší nárok na čistotu materiálů, nevýhodou jsou pak problémy s kapalným a korozivním elektrolytem, který se nesmí rozkládat působením slunečního záření. Bylo dosaženo účinnosti až 7,3 %. [28]

4.11.4 Články na bázi nanostruktur

V poslední době se vyvinuly také technologie, které umožňují vyrobit velmi malé struktury označované jako kvantové tečky. V těchto strukturách je možné nastavit velikost šířky energetického pásma pro pohlcování slunečního záření. Dosahované účinnosti jsou však zatím velmi nízké.

4.11.5 Světové trendy

V nedávné době firma IBM ohlásila vyvinutí fotovoltaického zařízení, které dokáže koncentrovat sluneční záření do jediného malého fotovoltaického článku. Jeho teplota by běžně dosáhla až 600° C, nicméně vědci této firmy dokázali vyvinout účinný systém chlazení, který tuto teplotu snižuje na 85° C. Z jediného cm^2 tak lze získat až 70 W elektrické energie, což je pětikrát více, než dokážou dnes běžné solární panely. To by mohlo výrazně snížit náklady na fotovoltaická zařízení, které jsou dnes, i přes narůstající výrobu, stále velmi vysoké. Solární farmy postavené na koncentrační technologii využijí mnohem méně celkové plochy fotovoltaických článků, do kterých však bude koncentrováno mnohem více slunečního světla. (Převzato z [12]).

4.12 Fotovoltaické panely

Fotovoltaický panel je tvořen několika články zapojenými do sérioparalelní kombinace. Každý článek poskytuje napětí kolem 0,5 V, spojují se tedy do modulů, který je tvořen buď 36, nebo 72 články. Moduly pak poskytují napětí 18 V, resp. 36 V. Maximální výkon pak záleží na celkové velikosti plochy panelů.



Obr. 18: Fotovoltaický panel [29]

Panel je tvořen několika vrstvami. Na přední straně je kalené sklo, odolné proti nárazu a kroupám. Vhodné je také použít sklo se sníženým obsahem železa, které má lepší propustnost pro spektra slunečního záření. Také se vytváří antireflexní vrstva pro snížení ztrát světla odrazem. Na sklo se pokládá plastová EVA fólie (ethylvinylacetát) a na ni se skládají vzájemně propojené články. Přes tyto články se opět pokládá plastová EVA fólie. Zadní strana je pak tvořena polymerem, nepropustným pro vodní páru a odolným vůči slunečnímu záření. Poté se vyčerpá vzduch mezi těmito vrstvami a celý panel se zahřeje nad teplotu tání EVA fólie. Modul se usadí do pevného rámu, který musí být odolný povětrnostním podmínkám a vůči sněhu. Poté, co se zahřátím fólie rozteče, zalije fotovoltaické články v prostoru mezi předním sklem a zadní polymerovou stěnou. Nakonec se panely zatmelují silikonovým olejem. Tím jsou utěsněny vůči vnikání vlhkosti či jiných nečistot. Životnost kvalitních panelů se pohybuje v rozmezí 20-30 let.[1]

4.13 Možnosti zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů

Jelikož fotovoltaické moduly jsou drahé, hledáme další možnosti ke zvýšení jejich účinnosti. To se dá docílit buď úpravou vlastních fotovoltaických panelů, nebo jejich instalací.

Co se týče výroby, používá se antireflexní vrstva k eliminaci odrazu a hřebenový kontakt, k eliminaci zastínění modulu (jak již bylo zmíněno dříve). Také lze využít oboustranných modulů pro využití odraženého záření a jeho pohlcení na zadní straně panelů. Při instalaci modulů lze pak využít koncentrátoři slunečních paprsků s pohyblivými stojany doplněnými sledovačem Slunce.

4.13.1 Oboustranné moduly

Díky průhledné zadní stěně modulu dokáží tyto panely využít i záření odražené od terénu či okolních ploch. Tím lze zvýšit množství vyrobené energie až o 20 %. V dnešní době se oboustranné moduly už cenově příliš neliší od standardních jednostranných modulů, proto je jejich použití výhodné. [1]

4.13.2 Koncentrátoři

Koncentrátor je zařízení, které slouží k odběru slunečních paprsků z velké plochy a k jejich soustředění do malé plochy fotovoltaického panelu. Tím se výrazně zvýší jeho výkon. Navíc jejich cena je výrazně nižší než cena samotného fotovoltaického modulu.

Problémem jsou však následující nevýhody:[2]

1/ nižší využití slunečního záření a potřeba natáčení za sluncem

Největší nevýhodou je právě snížení hodnot úhlu dopadajícího záření. Na normální fotovoltaický panel můžou dopadat sluneční paprsky pod úhlem 0° až 90°, navíc při zatažené obloze využije panel i difuzního (rozptýleného) slunečního záření. Ovšem s použitím koncentrátoru se rozsah úhlů, z kterých je koncentrátor schopen záření zachytit značně snižuje, a to úměrně rostoucí koncentrací.

U ideálního koncentrátoru platí vztah:

$$\theta_c = \frac{1}{C}$$

θ_c [°] je jedna polovina úhlového rozsahu, z něhož je koncentrátor schopen záření zachytit

C [-] je koncentrace (poměr intenzity záření dopadajícího na koncentrátor a intenzity záření z koncentrátoru vystupujícího)

Z tohoto vztahu vyplývá, že chceme-li dosáhnout vysoké koncentrace, je třeba přesného sledování slunce. V klimatických podmínkách ČR je velká část dopadajícího záření difuzního charakteru a využití koncentrátorů je tedy nevýhodné. Koncentrátoři je vhodné využívat v oblastech, kde je průměrná energie dopadajícího záření větší než 1700 kWh z metru čtverečního za rok a převládá jasná obloha.

2/ optické ztráty

Každý koncentrátor, ať už ve formě zrcadla či čočky, trpí určitými ztrátami pohlcením či rozptýlením slunečního záření.

3/ rovnoměrné ozáření

Žádný z koncentrátorů nedokáže zajistit zcela rovnoměrnou intenzitu dopadajícího záření na fotovoltaický modul, čímž se snižuje jeho účinnost.

4/ zahřívání

Při vysoké koncentraci záření se fotovoltaické články zahřívají, což má za následek zejména u křemíkových článků snížení účinnosti.

5/ životnost

Životnost zrcadel je ve venkovním prostředí značně omezena klimatickými vlivy. Materiál zrcadel, kterým bývá často hliníkový plech, je třeba chránit vhodnou ochrannou vrstvou.

4.13.3 Koncentrátory s rovinným zrcadlem

Výhodou tohoto koncentrátoru je snadná výroba rovinného zrcadla, navíc dochází ke koncentraci jak přímého slunečního záření, tak difuzního. Nevýhodou je malá dosažitelná koncentrace záření (v praxi jen asi 1,5 krát). Je tedy třeba použití těchto zrcadel kombinovat s oboustrannými fotovoltaickými panely a natáčecím stojanem.



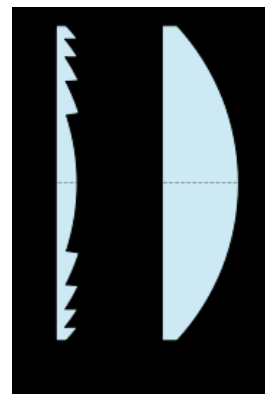
Obr. 19: Sluneční koncentrátor s rovinnými zrcadly [30]

4.13.4 Koncentrátory s parabolickým zrcadlem

Parabolickým zrcadlem jsme schopni docílit vysoké koncentrace záření, avšak nevýhodami jsou zejména nutnost natáčení za sluncem a výrazné zahřívání článků. Je tedy třeba panely účinně chladit, umísťují se proto na žebrované kovové chladiče s vodou, kterou zahřívají, a ta se dále využívá. Výhodnější je použití galiumarsenidu jako materiálu panelu, jelikož ten je méně náchylný na pokles účinnosti s rostoucí teplotou.

4.13.5 Fresnelovy čočky

Jejich výhodou je vysoká schopnost koncentrace, které se dosahuje tak, že tato čočka je tvořena několika mikrokonzentratory. Tím lze soustředit dopadající paprsky do jediné oblasti. Nevýhodou je nutnost jejich natáčení ve dvou osách s vysokou přesností orientace. [1]



Obr. 20: Tvar Fresnelovy a klasické čočky [31]

4.13.6 Sledovače Slunce

Principů, na kterých sledovače Slunce pracují, je celá řada, z nichž některé se osvědčily méně, jiné více. Existují provedení s natáčením kolem jedné osy, či kolem dvou os.



Obr. 21: Fotovoltaický panel se sledovačem Slunce a natáčecím stojanem [30]

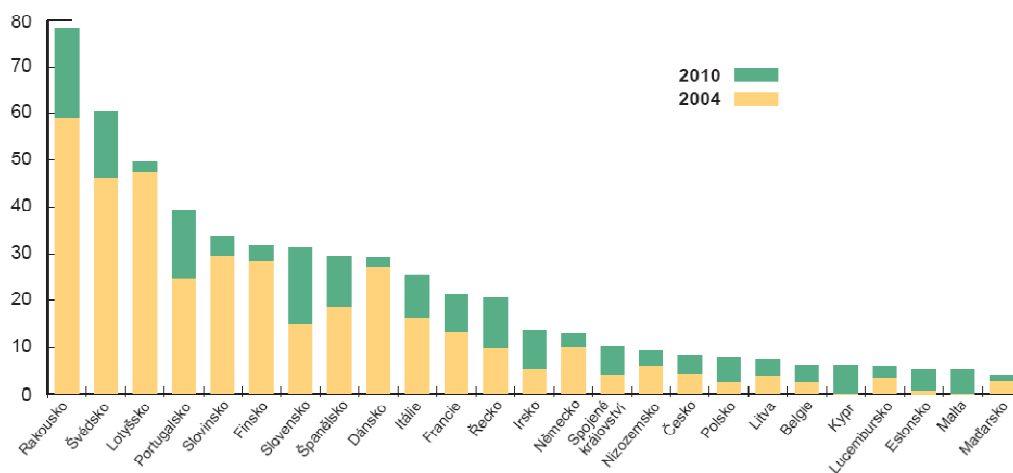
4.14 Budoucnost fotovoltaiky v ČR

V posledním roce či dvou se v ČR velmi rozmohl boom solárních elektráren. Dle ERU dosáhl jejich celkový výkon na konci roku 2009 neuvěřitelných 411 MWp. V roce 2009 byly zároveň uvedeny do provozu elektrárny o výkonu 350 MWp, což je o 100 MWp více, než byly nejvyšší odhady Czech RE Agency z října 2009. Očekávalo se, že na konci roku 2010 může být celkový výkon fotovoltaických elektráren až 1500 MWp, momentálně už je však požádáno o připojení až 3000 MWp.

Za důvod tohoto obrovského rozvoje fotovoltaiky v ČR lze považovat zejména vysokou podporu ze strany státu, který si až nyní uvědomil, že podpora fotovoltaiky nebyla nastavena správně. Solární energie pokrývá pouze 7 % celkové výroby energie z obnovitelných zdrojů, avšak spotřebuje téměř 40 % prostředků. Vláda ČR tedy schválila, že od začátku roku 2011 bude moc ERU snižovat výkupní ceny solární energie o více než 5 % ročně. Ceny mají být nastaveny tak, aby nebylo dosaženo návratnosti investic kratší než 11 let. [12]

Do roku 2020 by měla Česká republika dle návrhu Evropské komise zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na výrobě energie na 13 %. Do tohoto čísla jsou však zahrnuty i další obnovitelné zdroje, jimiž jsou v podmínkách ČR zejména vodní a větrná energie a energie z biomasy. Podíl OZE na výrobě elektřiny však v roce 2009 činil jen 5,2 %. Bylo by tedy vhodné odlišit podpory jednotlivých zdrojů s ohledem na jejich potenciál v našich podmínkách.

Podíl výroby elektřiny z OZE na hrubé spotřebě elektřiny v EU



Obr. 22: Podíl výroby elektřiny z OZE na hrubé spotřebě elektřiny v EU [9]

Dalším významným problémem, který se v ČR objevil po masovém připojování solárních elektráren do sítě, je zastaralá elektrická síť v ČR. Ta by nebyla schopna zvládnout nápor obrovského množství elektrické energie vyrobené solárními elektrárnami. Z tohoto důvodu požádala v nedávné době ČEPS (Česká energetická přenosová soustava) provozovatele distribučních soustav (tedy ČEZ, E.ON,...), aby pozastavili udělování souhlasů o připojení nových fotovoltaických elektráren do sítě. Připojování dalších zdrojů do sítě by mohlo ohrozit bezpečný a spolehlivý provoz elektrizační soustavy. [12]

5. Konkrétní využití sluneční energie na území jižní Moravy

Jelikož tématem mé bakalářské práce jsou hlavně fotovoltaické elektrárny a pocházím z oblasti, kde jejich počet v posledních letech výrazně vzrostl, rozhodl jsem se jednu z nich, v sousedním městě Bzenec navštívit a blíže tady přiblížit.

Jedná se o fotovoltaickou elektrárnu, která vznikla v katastrálním území města Bzenec. Investorem a zároveň i vlastníkem je společnost České slunce servisní s.r.o., zabývající se kompletním zajištěním výstavby fotovoltaických elektráren. Výstavba této elektrárny byla rozdělena do dvou etap.



Obr. 23: Celkový pohled na FVE Bzenec
(tmavé panely KANEKA, světlé panely SUNTECH) [32]

První etapa výstavby trvala od září 2008 do prosince 2008 a instalovaný výkon činil 688kWp. Druhá etapa výstavby trvala od června 2009 do srpna 2009 a jejím výsledkem bylo zvýšení výkonu o 1360 kWp. Nyní tedy elektrárna disponuje celkovým výkonem asi 2 MWp. Ten zajišťuje 7143 ks panelů SUNTECH STP-280-24/Vb, každý o špičkovém výkonu 280 W a 4600 ks panelů KANEKA 75, každý o špičkovém výkonu 75 W. Panely SUNTECH o rozměrech 2x1m jsou vyrobeny z polykrystalických článků křemíku, zatímco panely KANEKA o rozměrech 1x1m jsou vyrobeny z monokrystalických článků křemíku. Účinnost těchto panelů je kolem 16 %. Celková plocha panelů pak činí asi $18\,886\text{ m}^2$ a celková plocha elektrárny jsou 4 hektary.

Všechny panely jsou upevněny na pevnou hliníkovou konstrukci, která je hluboko zavrtaná do země a dokáže odolat větru o rychlosti až 130km/h. Sklon panelů je 30° a elektrárna je orientována na jih s odchylkou 5° na jihozápad. Hodnota slunečního svitu se v těchto zeměpisných šířkách průměrně pohybuje kolem 1000 kWh/m^2 . Součástí elektrárny jsou také měniče stejnosměrného napětí na střídavé. Jsou použity měniče SMA SMC 10 000TL a 11 000TL. Celá elektrárna je připojena do elektrické sítě firmy E.ON, a dodávaná elektrická energie je firmou E.ON vykupována.



Obr.24: Střídač na konstrukci FVE Bzenec

Náklady na výstavbu takové fotovoltaické elektrárny se pohybují kolem 70 mil. Kč na 1 MW výkonu, přičemž musíme počítat s tím, že je potřeba zajistit údržbu panelů. Náklady spojené s údržbou pak představují až 7 % ročních výnosů. Navíc je potřeba při výstavbě počítat i s dalšími náklady, jako je oplocení a zabezpečení celého areálu kamerovým systémem vůči vandalismu a zlodějům. Přesto se výstavba této elektrárny vyplatila a návratnost takové investice se pohybuje kolem 12 let.



Obr.25: Pohled na panely SUNTECH



Obr.26: Pohled na FVE Bzenec



Obr.27: Pohled na FVE zpoza oplocení (vzadu vpravo vidět tmavé panely KANEKA)

Závěr

Cílem této práce bylo uvést přehled obnovitelných zdrojů energie v ČR. Patří mezi ně především energie z biomasy a vodní energie. V posledních letech však dochází k velkému rozvoji energie sluneční a větrné. V této práci byl stručně vysvětlen princip přeměny energie. Následně byla rovněž popsána zařízení pro její přeměnu. Byl uveden potenciál každého typu obnovitelné energie a také výhody a nevýhody daného typu OZE.

Dále byla detailněji popsána přeměna sluneční energie na elektrickou energii. Tu lze vyrábět pomocí dvou různých typů slunečních elektráren - s fotovoltaickou či termickou přeměnou. V našich zeměpisných šířkách je ovšem využití termické přeměny nevhodné, jelikož sluneční záření zde nedosahuje dostatečně vysokých hodnot a počet slunečných dnů v roce je nízký. Proto se v ČR a na území téměř celé Evropy využívá fotovoltaické přeměny pomocí fotovoltaických panelů. Ty v poslední době zaznamenaly velký rozvoj, došlo ke zvýšení účinnosti a snížení jejich ceny. To zapříčinilo společně s vysokými státními dotacemi velký rozvoj fotovoltaické energie v ČR, zejména v oblastech s vysokou hodnotou slunečního záření. V ČR se jedná především o oblast jižní Moravy, nejvíce Znojensko, Břeclavsko a Hodonínsko.

Na závěr této práce byla přiblížena fotovoltaická elektrárna ve městě Bzenec, které se nachází nedaleko Hodonína. Jedná se o elektrárnu soukromého investora, kterou postavila a zároveň provozuje společnost České slunce servisní a.s., která se zabývá kompletní výstavbou fotovoltaických elektráren. Tato elektrárna byla vybudována ve dvou etapách v letech 2008 až 2009 a výsledný výkon dosahuje asi 2 MWp. Vyrobenou energii dodává do sítě společnosti E.ON, která ji ze zákona musí vykupovat po dobu 20 let za danou cenu, která v roce 2010 činí 13 050 Kč/MW. [10] Z tohoto pohledu je vidět, že výstavba fotovoltaických elektráren, ačkoliv není vůbec levnou záležitostí, se vyplatí.

Na druhou stranu je potřeba se na věc podívat i z jiného úhlu. Výstavbou a následným připojením velkého počtu solárních elektráren do přenosové sítě dochází k jejímu přetěžování. Solární elektrárny mají velkou nevýhodu v nemožnosti regulace. V noci nedodávají žádnou energii, naopak v létě za slunečných dnů vyrábí obrovské množství energie, které přetěžuje síť. Proto muselo dojít k regulaci výkupních cen energie z OZE, která nastane od roku 2011. Co víc, muselo dokonce dojít k zastavení vydávání povolení pro připojení nově vznikajících slunečních elektráren, jelikož hrozil kolaps přenosové soustavy. Tyto problémy je třeba do budoucna řešit.

Proto by bylo vhodné omezit dotace pro sluneční energii a naopak podpořit rozvoj dalších obnovitelných zdrojů. Nejvíce vhodná se jeví biomasa, která má v ČR příznivé podmínky pro rozvoj, díky velké ploše nevyužité orné půdy, která se dá využít pro pěstování energetických plodin. Méně výhodné podmínky jsou v ČR pro rozvoj větrné energie, jelikož zde není dostatek oblastí s větrným potenciálem pro stavbu větrných elektráren. Jejich stavbě navíc často brání ochránci přírody.

Jiným přijatelným řešením by mohla být výstavba dalších přečerpávacích vodních elektráren, jejichž velkou výhodou by mohlo být to, že ve dne vyrobenou elektrickou energii ze slunečních elektráren by mohly spotřebovávat na čerpání vody do horní nádrže. Zatímco v noci, kdy sluneční elektrárny elektřinu nevyrábí, by voda z horní nádrže přečerpávací vodní

elektrárny roztáčela turbínu a ta by vyráběla elektrickou energii na pokrytí špičkové spotřeby elektrické energie ve večerních hodinách.

Rovněž by měla pokračovat modernizace přenosové sítě, protože sluneční elektrárny a další obnovitelné zdroje energie budou do budoucna získávat na významu, a to nejenom v ČR.

Seznam použitých zdrojů

- [1] LIBRA, M., POULEK, V. *Fotovoltaika*. 1.vyd. Praha: ILSA, 2009. 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2
- [2] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M. *Fotovoltaika - elektrina ze Slunce*. 2.vyd. Brno: Era group, 2008. 81 s. ISBN 978-80-7366-133-5
- [3] CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství Malina Tomáš, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9
- [4] LIBRA, M., POULEK, V. *Zdroje a využití energie*. 1.vyd. Praha: ČZU, 2007. 141 s. ISBN 978-80-213-1647-8
- [5] LADENER, H., SPÄTE, F. *Solární zařízení*. 1.vyd. Praha: GRADA Publishing, 2003. 267 s. ISBN 80-247-0362-9
- [6] NOVÁK, J. *Úspory energie v rodinných domech a bytech*. 1. vydání Praha: GRADA Publishing, 1999, 136s. ISBN 80-7169-283-2
- [7] MOTLÍK, J., et al. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice* [online]. Vydáno: 2007. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/obnovitelne_zdoje_energie_a_moznosti_jejich_vyuziti_pro_cr.pdf
- [8] ČEZ, a.s. *Obnovitelné zdroje energie a skupina ČEZ*. Praha: ČEZ, a.s., 2009. 43 s.
- [9] ČEZ, a.s. [online]. Dostupné z: <http://www.cez.cz>
- [10] Energetický regulační úřad [online]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/>
- [11] Vodní turbíny: Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodní_turbína
- [12] Ekologické bydlení [online]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu>
- [13] Czech RE Agency, o.p.s. [online] Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs>
- [14] Actum, s.r.o. *Alternativní zdroje energie: sluneční elektrárny* [online]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/slunecni-solarni-elektrarny.htm>
- [15] Solarhit: Slunce ve vašich službách [online]. Dostupné z: <http://www.solarhit.cz/index.asp?menu=775>
- [16] Vodní elektrárny [online]. Dostupné z: <http://elektrarny.xf.cz/>
- [17] The water power [online]. Dostupné z: http://www.history.tampere.fi/rapids/vesihtml/2py24_en.htm

- [18] The Worlds of David Darling [online]. Dostupné z: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/AE_Francis_turbine.html
- [19] ČSVE - Česká společnost pro větrnou energii [online]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/hrozi-cesku-zamoreni-vetrnymi-elektrarnami-/79>
- [20] Rowan university [online]. Dostupné z: <http://www.rowan.edu/>
- [21] CENTROPOL ENERGY, a.s. [online]. Dostupné z: <http://www.centropol.cz/alternativni-energie.aspx>
- [22] Panoramio - fotografie z celého světa [online]. Dostupné z: <http://www.panoramio.com/photo/997614>
- [23] Astronomické informace [online]. Dostupné z: <http://astro.wz.cz/astro/soustava/slunce.html>
- [24] INFORSE - International network for Sustainable energy [online]. Dostupné z: <http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/slnko/slnko.html>
- [25] 3pól - Magazín plný pozitivní energie [online]. Dostupné z: <http://www.tretipol.cz/763/print>
- [26] Fotovoltaika aneb získávání elektřiny ze Slunce [online]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/vyroba.php>
- [27] Projekt Na Výsluní [online]. Dostupné z: <http://www.na-vysluni.eu/investor-cooz3.php>
- [28] ECN Energietechnologie [online]. Dostupné z: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05078.pdf>
- [29] Solarhaus - solární systémy a solární elektrárny [online]. Dostupné z: <http://www.solarhaus.cz/co-je-fotovoltaika>
- [30] Obnovitelná energie a úspory energie [online]. Dostupné z: <http://energie.tzb-info.cz>
- [31] Wikipedie - otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fresnelova_čočka
- [32] České slunce servisní s.r.o. - instalace solárních systémů [online]. Dostupné z: <http://www.ceskeslunce.cz/>

Seznam použitých zkratk

ČR	Česká republika
OZE	obnovitelné zdroje energie
EU	Evropská unie
FVE	fotovoltaická elektrárna
ERU	Energetický regulační úřad
MWp	megawatt peak (špičkový výkon)