ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Obnovitelné zdroje energie a jejich využití pro energetiku

Autor: **Martin Bezouška**

Vedoucí práce: **Ing. Pavel Žitek**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Katedra energetických strojů a zařízení Akad. rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Martin Bezouška**
Rodné číslo: **920116/0749**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**

Téma bakalářské práce: ***Obnovitelné zdroje energie a jejich využití pro energetiku***

Osnova bakalářské práce:

- nastiňte základní obnovitelné zdroje energie a popište způsob její výroby z nich.
- vysvětlete fotovoltaickou a fototermální přeměnu energie a popište možnosti jejího využití v energetice
- popište typy fototermálních elektráren
- pro vhodně zvolený fototermální systém vypracujte tepelné schéma energetického bloku
- parametry cyklu vhodně zvolte podle vybraného technického řešení

Rozsah bakalářské práce:
a) textová část: Rešerše
b) grafická část: Tepelné schéma

Doporučená literatura:

- M. Libra, V. poulek, *Fotovoltaika, teorie I praxe využití solární energie*
- K. Brož, B. Šourek, *Alternativní zdroje energie*
- P. Mastný, J. Drápela, S. Mišák, J. Macháček, M. Ptáček, L. Radil, T. Bartošík, T. Pavelka, *Obnovitelné zdroje elektrické energie*
- G. Lorenzini, C. Biserni, G. Flacco, solar thermal and biomass energy
- J. Škopek, Parní trubína tepelný a pevnostní výpočet
- Andreas Henze, Werner Hillebrand, Elektrický proud ze slunce
- Ralf Haselhuhn, Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Žitek

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michal Buršík

Datum zadání bakalářské práce:

Termín odevzdání bakalářské práce:

L.S.

děkan vedoucí katedry

V Plzni dne: 21. 10. 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.
Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: ……………………. **. . . . .**
podpis autora

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Žitkovi za výtečnou spolupráci. Dále bych rád věnoval poděkování konzultantovi Ing. Michalu Buršíkovi za nápomoc, poskytnuté rady i materiály při řešení bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Bezouška		**Jméno** Martin
STUDIJNÍ OBOR	„Stavba energetických strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Ing. Žitek		**Jméno** Pavel
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KKE		
DRUH PRÁCE	~~**DIPLOMOVÁ**~~	**BAKALÁŘSKÁ**	**Nehodící se škrtně-te**
NÁZEV PRÁCE	Obnovitelné zdroje energie a jejich využití pro energetiku		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KKE		**ROK ODEVZD.**	2016

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	61		**TEXTOVÁ ČÁST**	42		**GRAFICKÁ ČÁST**	19

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Bakalářská práce obsahuje rešerši o obnovitelných zdrojích energie a návrh tepelného schématu parní turbíny ve dvou variantách pro fototermální elektrárnu věžového typu se zásobníkem tepelné energie.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	Tepelné schéma, fotovoltaické panely, energetika, elektrárny, solární kolektory, slunce, obnovitelné zdroje

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	**Surname** Bezouška		**Name** Martin
FIELD OF STUDY	“ Design of Power Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Ing. Žitek		**Name** Pavel
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE		
TYPE OF WORK	~~**DIPLOMA**~~	**BACHELOR**	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	Renewable energy sources and their use in energy industry		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Power System Engineering		**SUBMITTED IN**	2016

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	61		**TEXT PART**	42		**GRAPHICAL PART**	19

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	Bachelor work includes thesis about renewable energy sources and design of the heat balance diagram of steam turbine in two variants for photothermal power plant - tower type with the reservoir of thermal energy.
KEY WORDS	Heat balance diagram, photovoltaic panels, power plants, sun, renewable energy sources, solar collectors, energetics

Obsah

Přehled použitých zkratek a symbolů ... 3
Úvod ... 4
1 Obnovitelné zdroje energie ... 5
1.1 Energie Slunce ... 5
1.1.1 Energie dopadající na Zem ... 6
1.2 Energie vody ... 9
1.2.1 Rozdělení vodních elektráren: ... 10
1.3 Energie větru ... 13
1.3.1 Definice větru: ... 13
1.3.2 Větrné elektrárny: ... 15
1.4 Energie biomasy ... 18
1.4.1 Biomasa rostlinného původu: ... 18
1.4.2 Biomasa živočišného původu ... 19
1.5 Energie slapových jevů ... 20
1.5.1 Princip slapového jevu ... 20
1.5.2 Využití slapových jevů pro energetiku: ... 21
1.6 Energie geotermální ... 23
1.6.1 Využití geotermální energie ... 24
2 Využití fotovoltaické energetiky v ČR a ve světě ... 26
2.1 Fotovoltaická přeměna ... 26
2.2 Fotovoltaické články ... 27
2.2.1 Monokrystalické články ... 27
2.2.2 Polykrystalické články ... 27
2.2.3 Tenkovrstvé články ... 28
2.2.4 Články CIS (Copper-Indium-diSelenid) ... 28
2.3 Organické články ... 28
2.4 Fotovoltaický boom v České republice ... 28
2.5 Výhody, nevýhody a aplikace fotovoltaických článků ... 29
2.5.1 Výhody fotovoltaických článků ... 29
2.5.2 Nevýhody fotovoltaických článků ... 29
2.5.3 Aplikace fotovoltaických článků ... 29
3 Využití fototermální energetiky v ČR a ve světě ... 30
3.1 Fototermální přeměna ... 30
3.2 Rozdělení fototermálních systémů ... 31
3.3 Fototermální kolektory ... 32
3.3.1 Kapalinové ... 32
3.3.2 Vzduchové solární kolektory ... 34
3.3.3 Koncentrující solární kolektory ... 34
3.4 Využití pro energetiku ... 35

4 Fototermální elektrárny 36
4.1 Elektrárny s parabolickými kolektory 36
4.2 Elektrárny s Fresnelovými kolektory 38
4.3 Elektrárny s heliostatickými kolektory 39
4.3.1 Věže s otevřeným objemovým absorbérem 40
4.3.2 Věže s tlakovým přijímačem 40
4.3.3 Věže s roztavenou solí jako teplonosnou látkou 41
4.3.4 Ekonomika solárních elektráren věžových systémů 41
4.4 Elektrárny s talířovitými kolektory (stirling systémy) 42
4.5 Elektrárny komínové 43
4.6 Využití pro energetiku 43
5 Tepelné schéma pro okruh parní turbíny 44
5.1 Varianta 1 44
5.1.1 Zadání varianty 1 44
5.1.2 Výpočty pro variantu 1 46
5.1.3 Výsledky variant 1 50
5.2 Varianta 2 52
5.2.1 Zadání varianty 2 52
5.2.2 Výpočty pro variantu 2 54
5.2.3 Výsledky variant 2 59
5.3 Porovnání obou variant 61
6 Závěr 62
Seznam použité literatury a informačních zdrojů 63
Seznam obrázků 65
Seznam tabulek 66

Přehled použitých zkratek a symbolů

K	kelvin
MW	megawat
m	metr
kg	kilogram
s	sekunda
P	výkon
T	absolutní teplota
r	poloměr
p	tlak
°C	stupeň Celsia
g	tíhové zrychlení
s	měrná entropie
h	měrná entalpie
m	hmotnostní průtok
bar	bar
v	měrný objem

Úvod

Cílem této práce je popsat problematiku a využití obvyklých druhů obnovitelných zdrojů energie, následně se detailně zaměřit na fototermální a fotovoltaickou energetiku. Pro všeobecné popsání široké problematiky obnovitelných zdrojů bude čerpáno z rozsáhlých literárních i internetových zdrojů českého i zahraničního původu. Výsledkem bude rešerše popisující problematiku základních obnovitelných zdrojů energie, budou detailně popsány principy fotovoltaické i fototermální energetiky a vysvětlen způsob a princip práce ostatních, často zmiňovaných obnovitelných zdrojů.

Dále bude navrženo tepelné schéma parní turbíny pro obvyklé zapojení do systému fototermální elektrárny věžového typu s roztavenou solí, odborně nazývaný „Molten salt power tower“. Tento typ elektráren nevyužívá přímou přeměnu slunečního záření na elektrickou energii, jako dobře známe fotovoltaické panely, ale využívá přeměnu nepřímou, přes teplonosné medium. Tepelné schéma bude navrženo ve dvou různých variantách, které se budou lišit v regenerační části. První varianta bude mít jeden nízkotlaký ohřívák a směšovací nádrž, tzv. odplyňovák, druhá varianta bude mít navíc vysokotlaký ohřívák, díky kterému je možné předehřát vodu vstupující do parogenerátoru na vyšší teplotu a tím zvýšit průtok páry přiváděné do turbíny. Pro výpočet tepelného schématu bude čerpáno z literárních zdrojů a bude využit software firmy Doosan Škoda Power.

Výsledkem práce bude zhodnocení obou způsobů zapojení tepelného oběhu a určení, který z nich má pro tento typ aplikace větší opodstatnění. Pro tyto účely bude stanoven heat-rate obou cyklů, díky kterému je možné volbu racionálně kalkulovat. Předpokládá se, že účinnost varianty, ve které je navíc obsažen vysokotlaký ohřívák bude vyšší (heat-rate oběhu nižší). Pro obě varianty bude určen základní koncept parní turbíny (počet těles), vstupní hrdlo, výstupní hrdlo pro připojení kondenzátoru a dále minimální průměry odběrových hrdel pro regeneraci.

1 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, které můžeme teoreticky čerpat do doby, kdy bude na Slunci probíhat termonukleární fúze, zároveň se obnovují alespoň tak rychle jako se spotřebovávají. Jedná se o energii Slunce, vody, větru a biomasy, tyto obnovitelné zdroje energie mají svůj původ v energii Slunce. Dále existují obnovitelné energie, které svůj původ v energii Slunce nemají a to energie přílivu a geotermální energie [1].

1.1 Energie Slunce

Slunce je naše nejbližší a nejdůležitější hvězda, která je největším trvalým zdrojem energie naší sluneční soustavy a zároveň je jejím středem. Slunce má tvar koule o poloměru $r_s \approx 6{,}96 * 10^8$ m což je 109 krát větší poloměr než má naše planeta. Jedná se o běžnou hvězdu, která vznikla zhruba před 5 miliardami let z mlhoviny prachů a plynů, které se díky působení gravitačních sil postupně smršťovaly, a tím se zvyšovala teplota mlhoviny. Poté co teplota v jádru dosáhla hranice, při níž dochází ke slučování jader vodíku za vzniku jader helia, nebo-li termojaderné fúzi (cca $T=10^7$ K) se Slunce proměnilo v obrovský přírodní termonukleární reaktor s nepředstavitelným výkonem $P_s \approx 3{,}91 * 10^{26}$ W. Termonukleární fúze probíhá v jeho jádře při teplotě $T \approx 13 * 10^6$ K a tlaku $p \approx 2 * 10^{10}$ MPa. Podle množství hélia, které vzniklo, lze odhadnout stáří Slunce, které je zhruba 5 miliard let a také jeho životnost, která se odhaduje na dalších 5-10 miliard let. Slunce je tvořeno z převážné většiny atomárním vodíkem, který tvoří 70%, dále z helia 28%, které je produktem termonukleární fúze a zbylá 2% tvoří ostatní prvky z periodické soustavy prvků. Všechny složky jsou ve hmotě naší hvězdy obsaženy ve formě žhavých elektricky vodivých prvků, což je skupenství plasmy. Postupem času došlo k rovnováze mezi uvolněnou energií v jádře Slunce a energií vyzářenou z jeho povrchu [1,2,3].

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

Tabulka 1 Parametry Slunce[2]

1.1.1 Energie dopadající na Zem

Energie ze Slunce dopadá na zemský povrch kontinuálně, ale její rozložení není pravidelné a je závisle na daném místě a čase. Z celkového výkonu Slunce dopadá na naši planetu jen velmi malá část. Přibližný výkon Slunce je $P_s \approx 3{,}91*10^{26}$, ale pouze ΔP_s výkonu který je vyzářen z povrchu Slunce, dopadá na povrch Země. Vezmeme-li v úvahu střední vzdálenost naší planety od Slunce $R_{sz} \approx 1{,}49*10^{11}$ m a poloměr planety Země $r_z \approx 6{,}37*10^{6}$ m, dostaneme vztah:

$$\Delta \mathrm{Ps} = \frac{\pi * r_z^2}{4\pi * R_{sz}^2} * \mathrm{Ps} \approx 1{,}79 * 10^{17} W$$

Při porovnání celkového vyzářeného výkonu ze Slunce a výkonu dopadajícího na naši planetu dostaneme následující vztah:

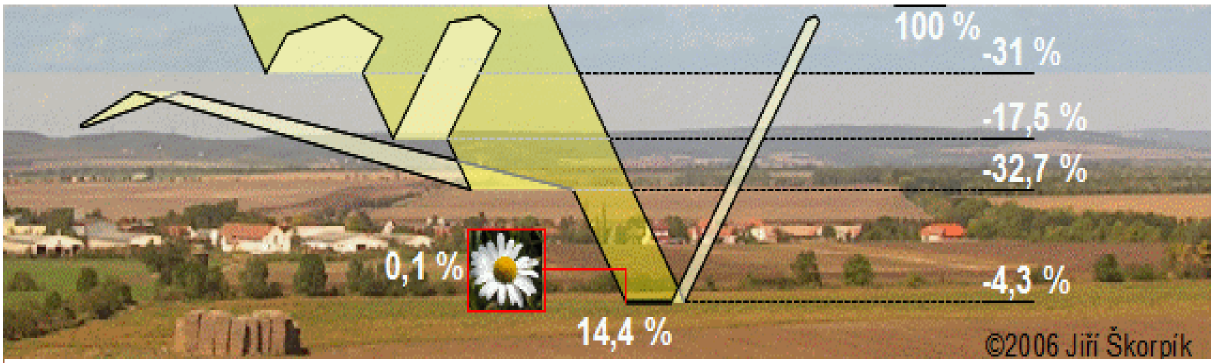
$$\frac{\Delta P_s}{P_s} = \frac{1{,}79 * 10^{17}}{3{,}91 * 10^{26}} \approx 45{,}8 * 10^{-9}$$

Z porovnání je jasné, že z celkového výkonu Slunce dopadá na naši planetu, pouze něco okolo 45,8 miliardtin, což je sice málo, ale vzhledem k tomu že i pouhých 45,8 miliardtin představuje $1790*10^{8}$ MW jedná se o obrovský zdroj energie, který z drtivé části nedovedeme energeticky využít.

Dále je důležité zavést si pojem střední intenzita záření dopadající na jednotku plochy planety Země:

$$I = \frac{\Delta P_s}{\pi * r_z^2} \approx 1367 \ \mathrm{W} * m^{-2}$$

Tato hodnota se nazývá solární konstantou a je to hodnota intenzity slunečního záření nad atmosférou naší planety. Skutečná hodnota, která dopadá na povrch Země je odlišná, protože při průchodu záření atmosférou planety dochází ke ztrátám. Z celkového množství záření se průměrně 31% odrazí o horní vrstvu atmosféry, vodní páru obsaženou v mracích a různé částečky prachu, 17,5% je pohlceno při průchodu atmosférou, 32,7 % dopadá na světové moře a oceány, 4,3% energie se odráží od souše, 14,4% jsou pohlceny zemským povrchem a přemění se tak na teplo země, zbytek energie 0,1% spotřebují rostliny pro fotosyntézu, viz obr 1. [1,2,3,4]

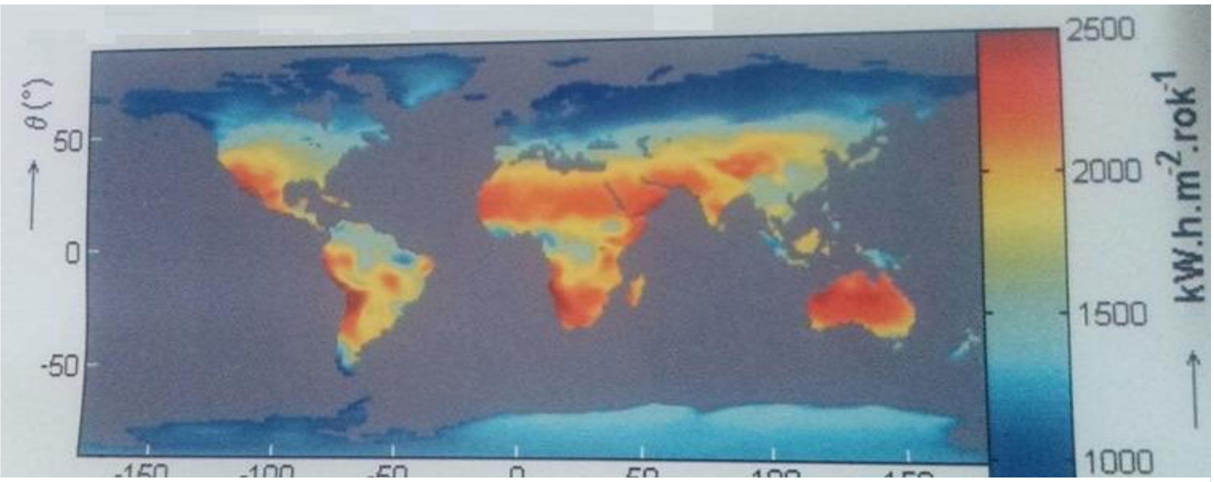


Obrázek 1 Průchod záření atmosférou [4]

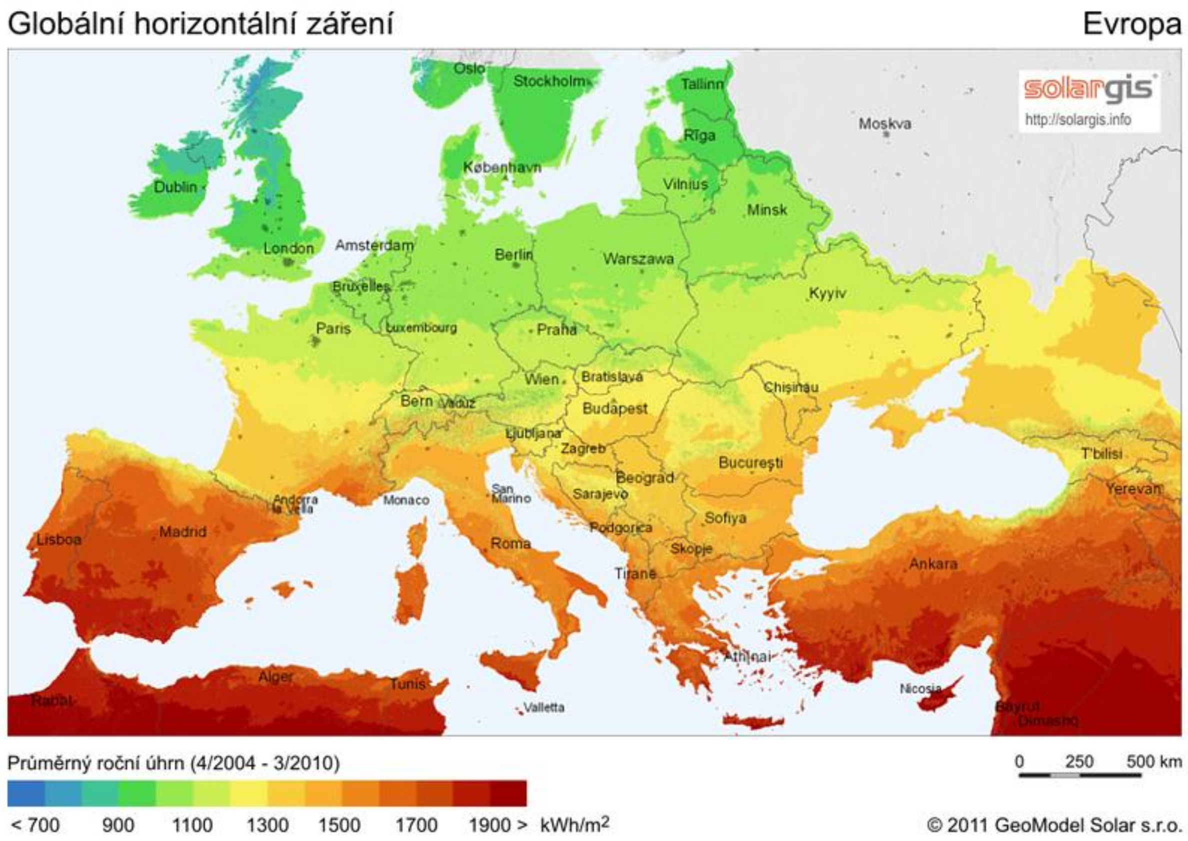
Na zemský povrch tedy dopadá méně energie než na povrch atmosféry. Průměrné procentuální hodnoty jsou uvedeny na obrázku 1, avšak aktuální hodnota intenzity záření závisí na zemských souřadnicích, aktuálním počasí, ročním období nebo je-li den či noc. Poté lze říci, že maximální intenzita záření, které dopadá na povrch Země je:

$$I_{max} = 1100\ W * m^{-2}$$

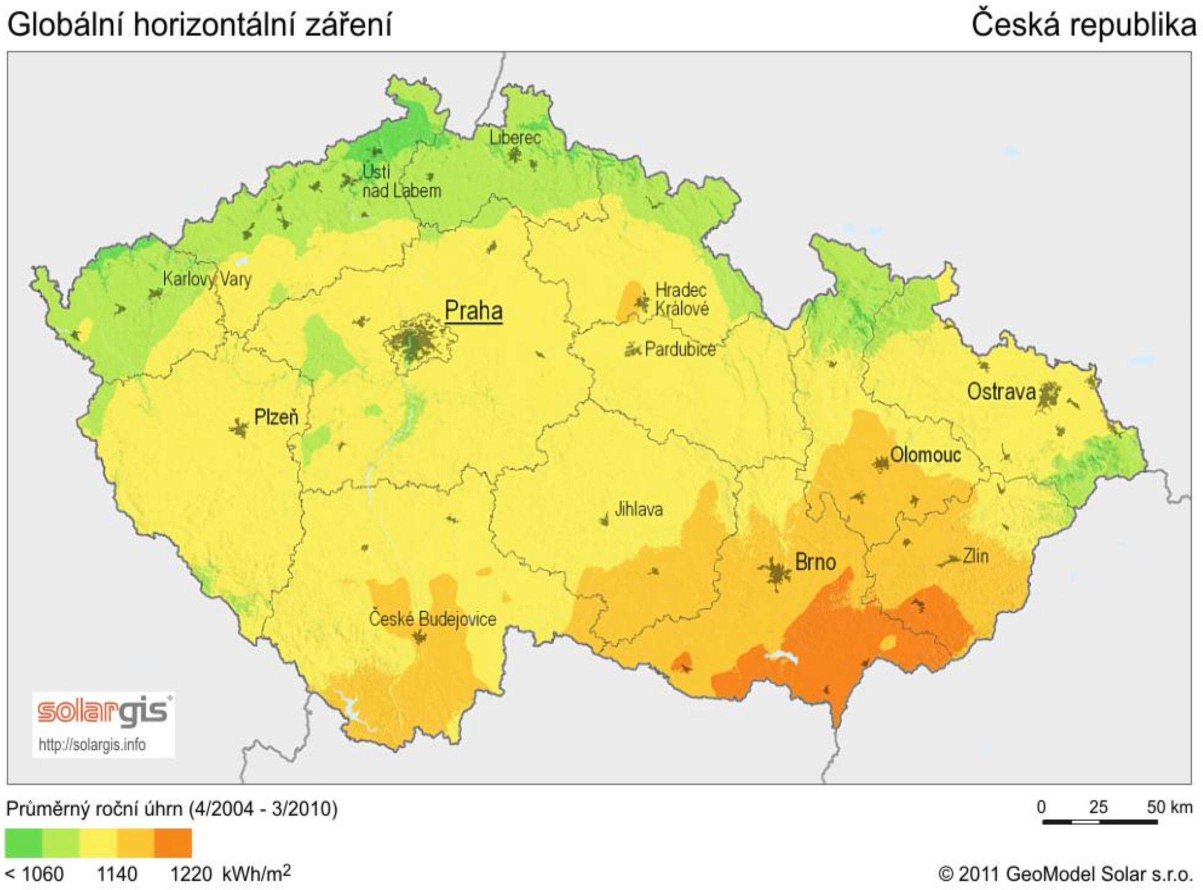
To je ale pouze maximální průměrná hodnota na celé naší planetě, reálná hodnota je značně závislá na zeměpisné šířce. Tato závislost je vidět na slunečních mapách světa, Evropy a České republiky.



Obrázek 2 Solární mapa světa[2]



Obrázek 3 Solární mapa Evropy [5]



Obrázek 4 Solární mapa České Republiky [5]

Jak je vidět ze solárních map, intenzita záření není v České republice oproti jiným oblastem světa příliš vysoká. Dosahuje zde maximálně $I_{maxČŘ} \approx 1220\ kW{*}m^{-2}$. Oproti některým místům na světě, jako třeba Spojené státy americké v Mohavské poušti, kde intenzita záření dosahuje $I_{maxS} \approx 2500\ kW{*}m^{-2}$, je to méně než polovina.[1] Na zemský povrch dopadá část záření přímo a část difuzně.

- **Přímé sluneční záření:**

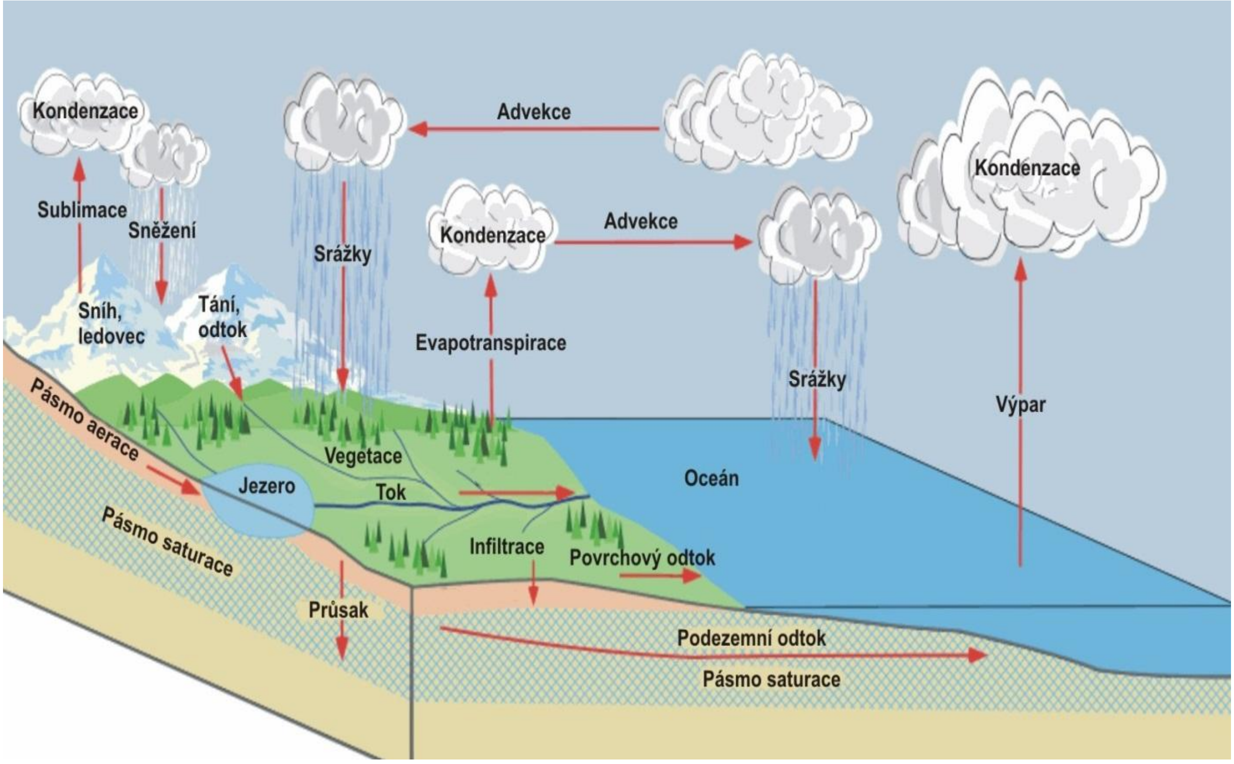
Je takové záření, které při průchodu atmosférou není nijak odraženo či pohlceno a poté znovu vyzářeno.

- **Difuzní záření:**

Sluneční záření je záření, které se odrazilo od částeček obsažených v atmosféře (např. vodní kapky, prach) a změnilo směr. Vlnová délka tohoto záření zůstává stejná jako před odrazem. Množství difuzního záření závisí na oblačnosti a znečištění atmosféry. Tyto jevy naopak zmenšují množství přímého záření. Například při zatažené obloze dopadá na povrch Země pouze difuzní záření.[4]

1.2 Energie vody

Energie vody stejně jako většina obnovitelných zdrojů má svůj původ z energie vyzářené naším Sluncem. Z celkové energie dopadající na zemský povrch dopadá přibližně 70 % na plochu moří a oceánů, což je vidět na obrázku 1, kde se voda odpařuje a v plynném skupenství je větry odnášena do vyšších a chladnějších vrstev atmosféry. Zde předá své skupenské teplo a zkondenzuje, poté ve formě deště nebo sněhu padá zpět na zemský povrch. Tento koloběh se nazývá koloběh vody a je znázorněn na obrázku 5.

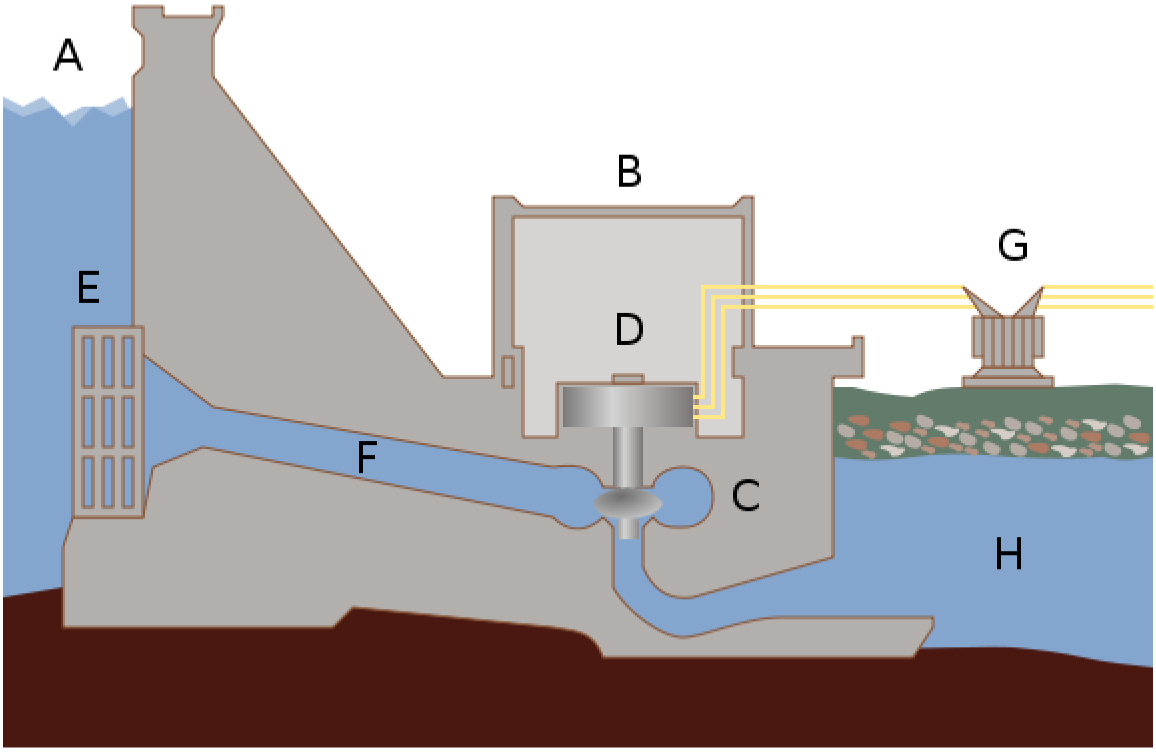


Obrázek 5 Koloběh vody [6]

Pokud je voda větry přenesena na místo s vyšší nadmořskou výškou, kde zkondenzuje, tak spadne na povrch Země ve formě deště popřípadě sněhu, poté díky gravitaci steče zpět do moře nebo oceánu podzemním nebo nadzemním vodním tokem. Právě nadzemní vodní toky mají z energetického hlediska velký význam a potenciál, protože vodní tok je v přírodě nositelem mechanické, potenciální polohové, následně potenciální tlakové a kinetické energie.

Energie nadzemního vodního toku patří v historii lidstva k nejdéle využívaným obnovitelným zdrojům energie. V dnešní době je technologie přeměny mechanické energie vodního toku na energii elektrickou na vysoké úrovni a děje se tak pomocí vodních turbín ve vodních elektrárnách.

Schéma vodní elektrárny:



Obrázek 6 Schématický řez vodní elektrárnou [1]

Popis obrázku 6

- A - hladina přehradní nádrže
- B - budova elektrárny
- C - turbína, kolem ní rozváděcí kolo a pod ní odtokový kanál
- D - generátor na společné ose s turbínou
- E - česle a uzávěr
- F - přívodní kanál
- G - transformátor, napojující elektrárnu do rozvodné sítě
- H - odtok [1]

1.2.1 Rozdělení vodních elektráren:

1.2.1.1 Z hlediska instalovaného výkonu:

- *Malé vodní elektrárny:*

Malá vodní elektrárna je jakákoliv vodní elektrárna, která má instalovaný výkon do 10 MW. Dříve v České republice existovalo zhruba 11 400 malých vodních děl, nyní jich je v provozu

pouze 1400. Díky tomuto faktu je jasné, že prostory pro stavbu malých vodních v České republice jsou a nejsou zanedbatelné. [8, 31]

- *Vodní elektrárny:*

Vodní elektrárna je jakákoliv vodní elektrárna, která má instalovaný výkon nad 10 MW. V České republice díky jejímu geografickému umístění, je v současné době možnost stavby velkých vodních děl již vyčerpána. [8, 31]

1.2.1.2 Z hlediska možnosti hospodaření s vodou:

- *Akumulační*

Akumulační vodní elektrárny se vyznačují objemnou nádrží vody, která je vyprojektována pro danou lokalitu a průtok řek, což je zároveň její nevýhodou, protože vybudování objemné nádrže zabere velké množství plochy. Pokud porovnáme výkon elektrárny a plochu co zabere, patří tato elektrárna k nejnáročnějším elektrárnám vůbec. Tento typ elektrárny nefunguje na plný výkon celý den, ale pouze v určitých částech dne kdy je elektrické energie nedostatek, po zbytek dne se elektrárna doplňuje a tím dochází k akumulaci energie. Díky objemné vodní nádrži se elektrárna dá použít i jako ochrana před přírodními živly například povodněmi. [4]

- *Průtočné*

Průtočné vodní elektrárny se vyznačují tím, že pracují s aktuálním přirozeným průtokem daného vodního toku až do maximálního průtoku, který je schopna vodní turbína pojmout.

- *Přečerpávací*

Přečerpávací vodní elektrárna se vyznačuje tím, že pro svůj provoz potřebuje minimálně 2 nádrže jednu horní a jednu dolní. Hlavní funkce elektrárny je regulace elektrické energie v rozvodné síti. Pokud je v přenosové soustavě nedostatek elektrické energie, elektrárna spustí turbínový režim a vodu z horní nádrže přepouští přes turbínu do spodní nádrže a generuje tak elektrickou energii. V době kdy je elektrické energie nadbytek (převážně v noci), elektrárna spustí čerpadlový režim a vodu ze spodní nádrže čerpá do horní nádrže a tím spotřebovává nadbytek elektrické energie z rozvodné sítě. Paradoxně tento typ elektrárny, díky tomu že účinnost není stoprocentní, spotřebuje více energie, než vyrobí. I tak však tvoří nezbytnou součást elektrifikační soustavy a plní klíčovou roli ve stabilitě dodávek v průběhu dne.

1.2.1.3 *Z hlediska velikosti spádu:*

- *Nízkotlaké*

Nízkotlaké vodní elektrárny mají výškový rozdíl hladin do 20 m.

- *Středotlaké*

Středotlaké vodní elektrárny mají výškový rozdíl hladin do 100 m.

- *Vysokotlaké*

Vysokotlaké vodní elektrárny mají výškový rozdíl hladin nad 100 m.

Obrázek 7 Středotlaká, akumulační, vodní elektrárna Orlík[40]

1.3 Energie větru

Energie větru patří mezi obnovitelné zdroje energie a stejně jako většina obnovitelných zdrojů energie má svůj původ v energii Slunce.

1.3.1 Definice větru:

Pod pojmem vítr rozumíme meteorologický prvek, který popisuje proud vzduchu v atmosféře a to zejména jeho horizontální vektorovou složku. U větru se určuje jeho směr a rychlost.

- *Směr větru:*

Směr větru je směr, kterým vítr vane. Většinou se měří v úhlových stupních. Kde:

0°= bezvětří

90°= východní vítr

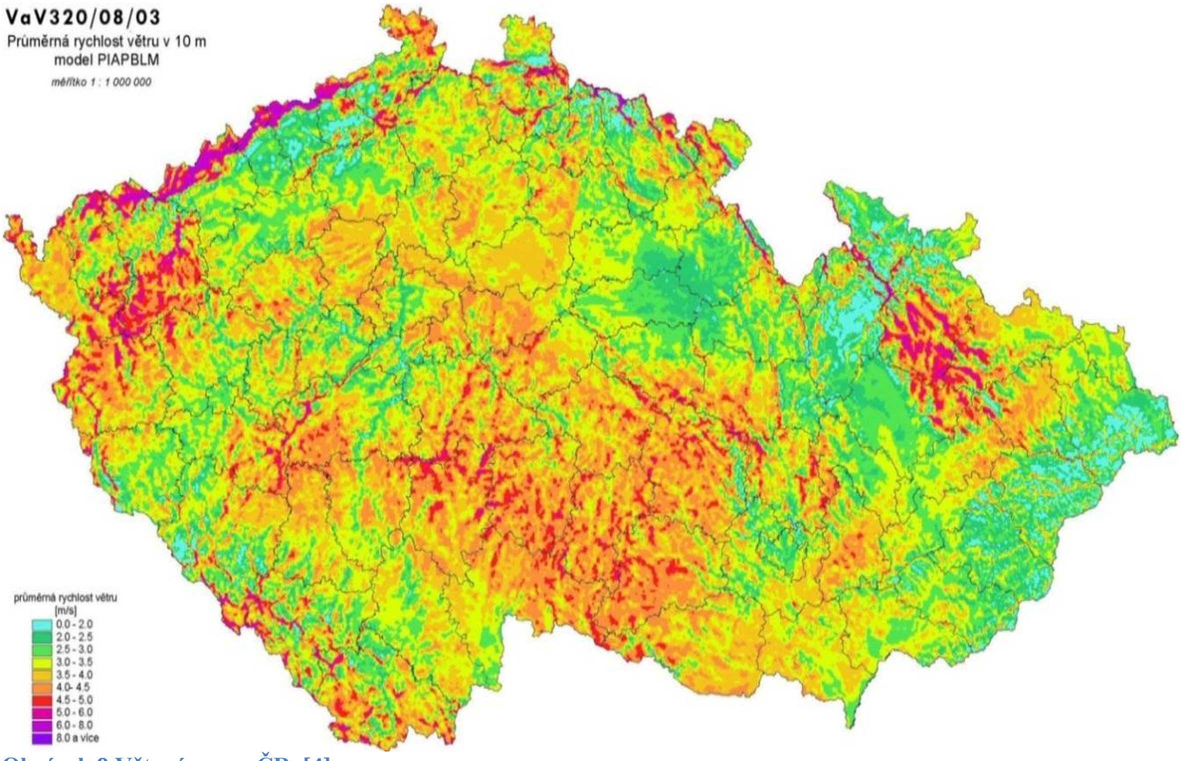
180°= jižní vítr

270°= západní vítr

360°= severní vítr

- *Rychlost větru:*

Rychlost větru je většinou uváděna v m/s, je to vzdálenost kterou vzduch urazí za jednotku času. Rychlost větru se dá měřit pomocí anemometru. Pokud k anemometru přidáme záznamové zařízení, nazývá se anemograf. Díky mnoha záznamům z anemografů, které jsou v České Republice rozmístěny v meteorologických stanicích, lze sestavit větrnou mapu. [9,3,1]



Obrázek 8 Větrná mapa ČR, [4]

Dále se dá rychlost větru určit pomocí Beaufortovi stupnice síly větru:

Stupeň	Označení	Rozpoznávací znaky	Rychlost (m/s)
0	Bezvětří	kouř stoupá kolmo vzhůru	0,0 - 0,2
1	Vánek	směr větru je poznatelný podle pohybu kouře, vítr neúčinkuje na větrnou korouhev	0,3 - 1,5
2	Slabý vítr	vítr je cítit ve tváři, listy stromu šelestí	1,6 - 3,3
3	Mírný vítr	listy stromů a větvičky jsou v trvalém pohybu	3,4 - 5,4
4	Dosti čerstvý vítr	vítr zdvihá prach, pohybuje slabšími větvemi	5,5 - 7,9
5	Čerstvý vítr	listnaté keře se začínají hýbat, na vodních plochách se tvoří menší vlny	8,0 - 10,7
6	Silný vítr	vítr pohybuje silnějšími větvemi, je těžké používat deštník	10,8 - 13,8
7	Prudký vítr	vítr pohybuje celými schody, chůze proti větru je obtížná	13,9 - 17,1
8	Bouřlivý vítr	vítr ulamuje větve, chůze proti větru je téměř nemožná	17,2 - 20,7
9	Vichřice	vítr způsobuje menší škody na stavbách	20,8 - 24,4
10	Silná vichřice	vyvrací stromy, způsobuje větší škody na stavbách	24,5 - 28,4
11	Mohutná vichřice	působí rozsáhlá zpustošení	28,5 - 32,6
12	Orkán	ničivé účinky	32,7 a více

Tabulka 2 Beaufortova stupnice síly větru [9]

Vznik větru:

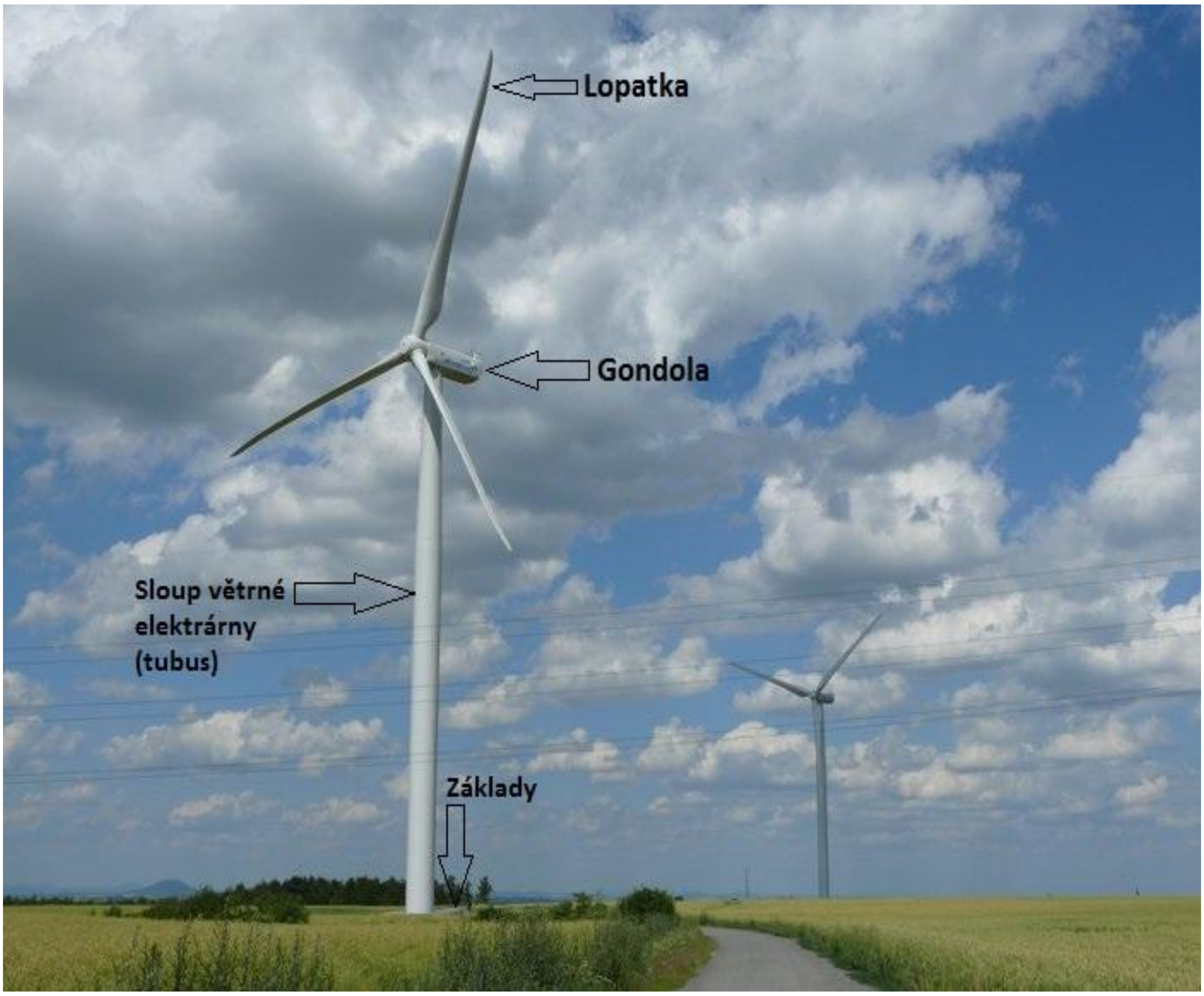
Proudění vzduchu v atmosféře je vyvoláno díky rozdílu atmosférických tlaků vzduchu a rotací planety. Rozdíl tlaků vzniká nerovnoměrným zahříváním povrchu planety, což je způsobeno mnoha faktory, zejména typem povrchu, protože například poušť se zahřívá rychleji než oceán. Dále pak záleží na barvě povrchu a zeměpisných parametrech. Vzduch se poté od povrchu zahřívá a v atmosféře vznikají místa s různou teplotou vzduchu. Díky tomu že studený vzduch je těžší než teplý vzduch, začne teplý vzduch stoupat nahoru do tlakové níže, kde se ochladí a vrací se zpět do tlakové výše. Na povrchu proudí vzduch vždy z tlakové výše, do tlakové níže. Díky působení Coriolisovy síly se mění i směr větru, na severní polokouli se stáčí vítr doprava na jižní polokouli obráceně. Čím je větší tlakový rozdíl mezi tlakovou výší a níží, tím je rychlost větru větší. [9, 10, 3,4]

1.3.2 Větrné elektrárny:

Větrná elektrárna je lopatkové zařízení, které přeměňuje kinetickou energii proudu vzduchu na energii mechanickou a dále v generátoru na energii elektrickou. Jedná se o malá zařízení o výkonu 100 W, až po největší, která dosahují výkonu 8 MW. V České republice je největší větrná elektrárna postavena u obce Pchery viz- obrázek 9, kde jsou dvě turbíny, každá o instalovaném výkonu 3 MW. [4, 12, 13]

- *Konstrukce*

Existuje mnoho typů konstrukcí větrných elektráren, ale v naprosté většině se dnes využívá pouze jeden konstrukční typ a to větrná elektrárna s axiálním vstupem - obrázek 9.



Obrázek 9 Větrná elektrárna s axiálním vstupem[10]

Základy:

U větrných elektráren tvoří základy převážně betonová deska. Velikost betonové desky se odvíjí od velikosti elektrárny. Například u větrné elektrárny s výškou sloupu 75m se jedná o rozměry cca 10x10x5 m. Elektrárny, které jsou stavěny na vodní hladině, mají základy položené na dně.

Sloup větrné elektrárny:

Sloup větrné elektrárny neboli tubus, je dutý, musí být dostatečně odolný, aby vydržel nápory větru a unesl celé soustrojí, dále musí být vysoký, aby byla turbína nad přízemním pásmem větrných turbulencí. Středem tubusu vede schodiště, nebo žebřík pro přístup do gondoly, dále je tubusem vedeno vedení elektrické energie.

Gondola:

V gondole je umístěná celá strojovna větrné elektrárny, každý výrobce používá svou technologii pro vybavení strojovny. Ta je ve sklolaminátové gondole vždy umístěna. Na obrázku 10 můžeme vidět schematický řez větrné elektrárny od českého výrobce Wikov. [4,14]

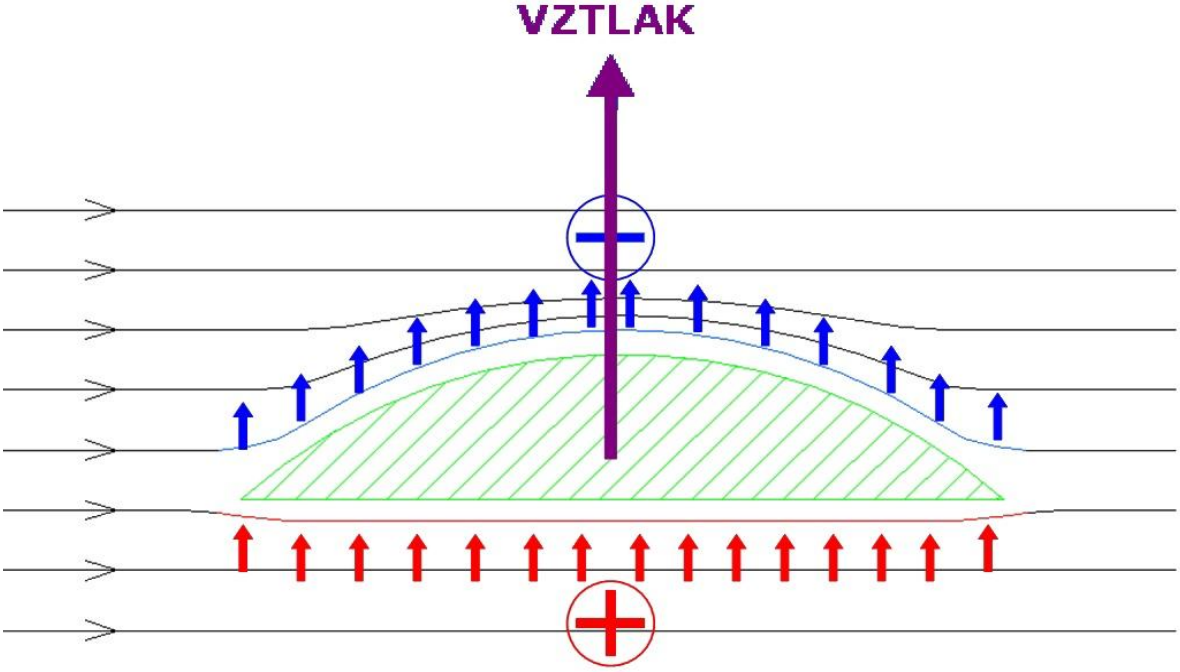
Obrázek 10 Řez strojovnou větrné elektrárny [14]

Lopatky:

Lopatky odebírají větru jeho kinetickou energii a roztáčí tím hřídel. Počet lopatek se liší u různých elektráren. Vzhledem k výhodám jsou dnes u větších větrných elektráren použity třílisté vrtule. [14]

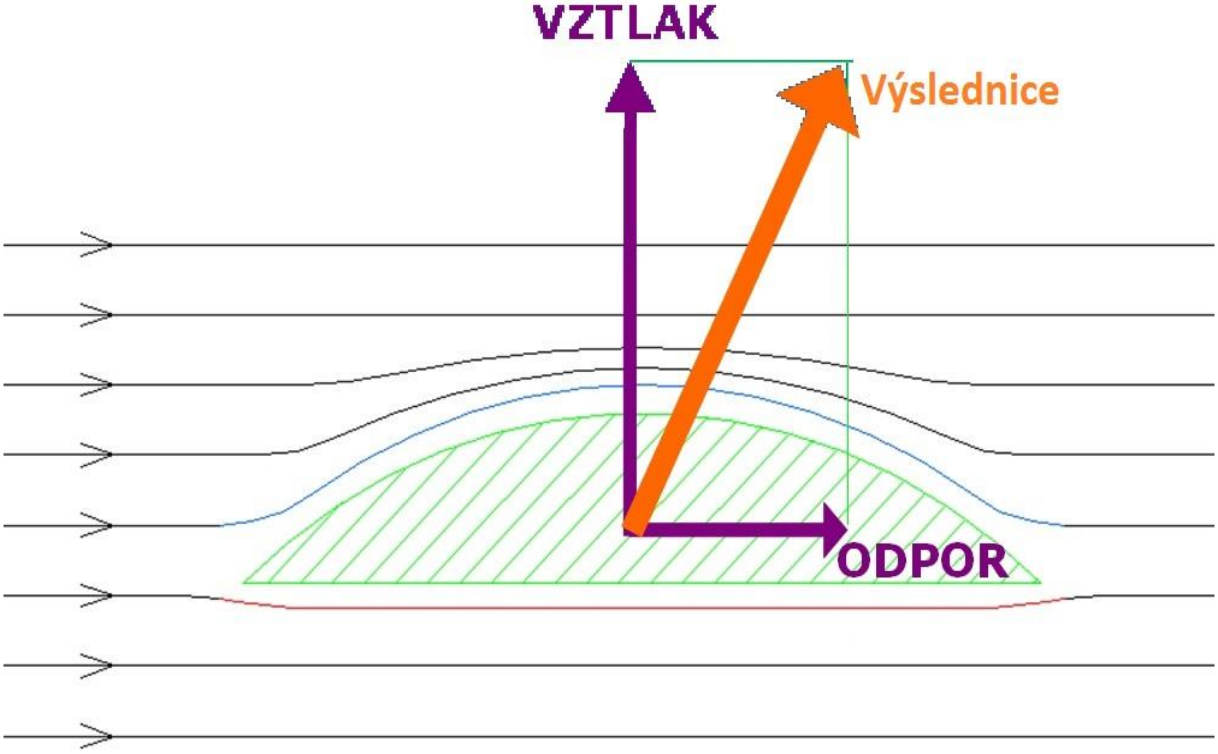
- *Transformace energie*

Proudící vzduch, který proudí přes rotor, předává část své kinetické energie lopatkám. Tato odebraná energie se transformuje na mechanickou energii otáčejícího se hřídele. Hřídel může být na generátor napojen přímo nebo přes převodovku. Děje se tomu díky vzniku vztlaku na lopatkách rotoru. Vztlak vzniká tehdy, pokud vzduch obtéká list lopatky. Vzduch, který obtéká lopatku z jedné strany, má větší rychlost a tím menší tlak, což je vidět na obrázku 11. Čím větší je rozdíl tlaků, tím je větší vztlaková síla. [4,14]



Obrázek 11 Vztlaková síla [14]

Na profilu, který je obtékán proudem vzduchu, vzniká kromě vztlakové síly i síla odporová, která je menší v poměru vůči vztlaku. Pokud se tyto dvě síly sečtou, vznikne pak jedna síla, která se nazývá výslednice. Na obrázku 12 je vyznačena oranžově. [14]



Obrázek 12 Výslednice [14]

1.4 Energie biomasy

Pod pojmem biomasa rozumíme všechny látky, které jsou rostlinného nebo živočišného původu. Některé tyto látky se hodí pro energetické účely. Energie, která se získává z biomasy, se řadí mezi obnovitelné zdroje energie a stejně jako většina obnovitelných zdrojů má svůj původ v energii Slunce, kterou v sobě zachycují rostliny. Podle původu biomasy ji lze rozdělit do několika skupin podle jejího původu. [15, 4]

1.4.1 Biomasa rostlinného původu:

Biomasu rostlinného původu lze dále dělit na odpadní biomasu a biomasu pěstovanou za účelem získání energie. Velká výhoda odpadní biomasy spočívá v tom, že díky ní se můžeme zbavit odpadu, který by byl stejně nevyužit nebo by byl jinak zbytečně zahozen a navíc s ním lze částečně zmenšit spotřebu neobnovitelných fosilních paliv. [15]

Dřevo a odpady z dřeva:

Jedná se o klasické energetické dřevo, které se využívá v domácnostech, kde se spaluje v kotlích či krbech v podobě polen. Pro spalování v elektrárnách je nutné dřevo zpracovat do jiné podoby a to dřevní štěpky. Dřevní štěpka lépe prohořívá a dá se použít v automatických přikládacích zařízeních. Ty jsou v průmyslových aplikacích nezbytné. Pro vytvoření dřevní štěpky lze použít i slabé větve. Dále se dají využít odpady z papírnictví. Pro pěstování se využívají rychle rostoucí dřeviny, které se vyznačují vysokým váhovým přírůstkem, který převyšuje ostatní dřeviny a zároveň krátkým obdobím mezi sklizněmi, které bývá 3-7 let. [15,1]

Obrázek 13 Plantáž rychle rostoucích topolů [16]

Sláma:

Sláma, která vznikne ze zemědělských plodin, je významným zdrojem biomasy. Pro energetické účely se využívá sláma řepky olejné, sláma obilovin nebo zbytky kukuřice, která je pěstována pro zrno. Energie ze slámy se získává spalováním v kotlích. [15,1]

Olejnaté plodiny:

Do této kategorie spadají rostliny, které obsahují semena, z kterých se dá za tepla lisovat olej. Semena se lisují ve šnekových lisech a jsou před začátkem lisování pro to přizpůsobeny zahřátím na 80-90 °C. Lisováním můžeme získat přibližně 50% oleje, zbytek se po lisování smíchá s rozpouštědlem a poté předestiluje. Celková účinnost procesu se pohybuje kolem 98%. Takto získaný olej se dá esterifikovat. Esterifikace je chemický proces, kde reaguje alkohol s kyselinou a vzniká ester a voda. Pokud esterifikujeme takto vylisovaný olej, vzniklý ester se nazývá bionafta. Rostliny, které obsahují olejná semena, jsou například- slunečnice, len nebo řepka olejka. [15,1]

1.4.2 Biomasa živočišného původu

Biomasa živočišného původu má svůj původ ze zvířat. Jedná se hlavně o jejich exkrementy, ale také o jejich tuk, který z určitých důvodů nemohl být zpracován například pro lidskou výživu. [15,1]

Kejda:

Kejda je směs tuhých a tekutých zvířecích výkalů, které jsou ve stájích, kde není podestýlka. Takto vzniklá kejda se dá umístit do anaerobního fermentoru, kde pomocí kontrolované mikrobiální přeměny organických látek bez přístupu vzduchu vzniká bioplyn bohatý na metan. Takto vzniklý bioplyn se dá spalovat. Odpad z fermentoru se dá dále využívat pro hnojení půdy. [15,1]

Obrázek 14 Fermentor [18]

Hnůj:

Hnůj má oproti kejdě velký podíl slámy, vzniká při chovu zvířat, která jsou ustájena na podestýlce. Díky množství slámy je nutné hnůj před vložením do fermentoru rozmělnit. [15,1]

Kafilerní tuky:

Kafilerní tuk se produkuje v kafilerii z mrtvých zvířat, která nemohla být zpracována pro jiné účely. Kafilerní tuk se dá spalovat nebo ho lze přeměnit na bionaftu. Rozdíl v přeměně na bionaftu oproti olejům z rostlin je v množství přidaných látek. [15,1]

1.5 Energie slapových jevů

Energie slapových jevů neboli energie přílivu a odlivu má svůj původ v rotační kinetické energii naší planety a gravitační síle. Gravitační silou na planetu Zemi působí hlavně Měsíc, dále Slunce a v neposlední řadě také planety, zejména Jupiter. Kdyby Měsíc neexistoval, působení slapových sil by se na naší planetě snížilo přibližně o jednu třetinu. Energie slapových jevů je považována za obnovitelný zdroj energie, ale na rozdíl od ostatních obnovitelných zdrojů energie nemá svůj původ z energie, kterou vyzáří Slunce. Velkou výhodou oproti ostatním obnovitelným zdrojům je velká spolehlivost, která se dá přesně předvídat, příliv a odliv není nijak závislý na počasí, nebo ročnímu období a vyskytuje se pravidelně. Jediné na čem slapová energie závisí, je pouze rotační kinetická energie Země a konstelaci planet.

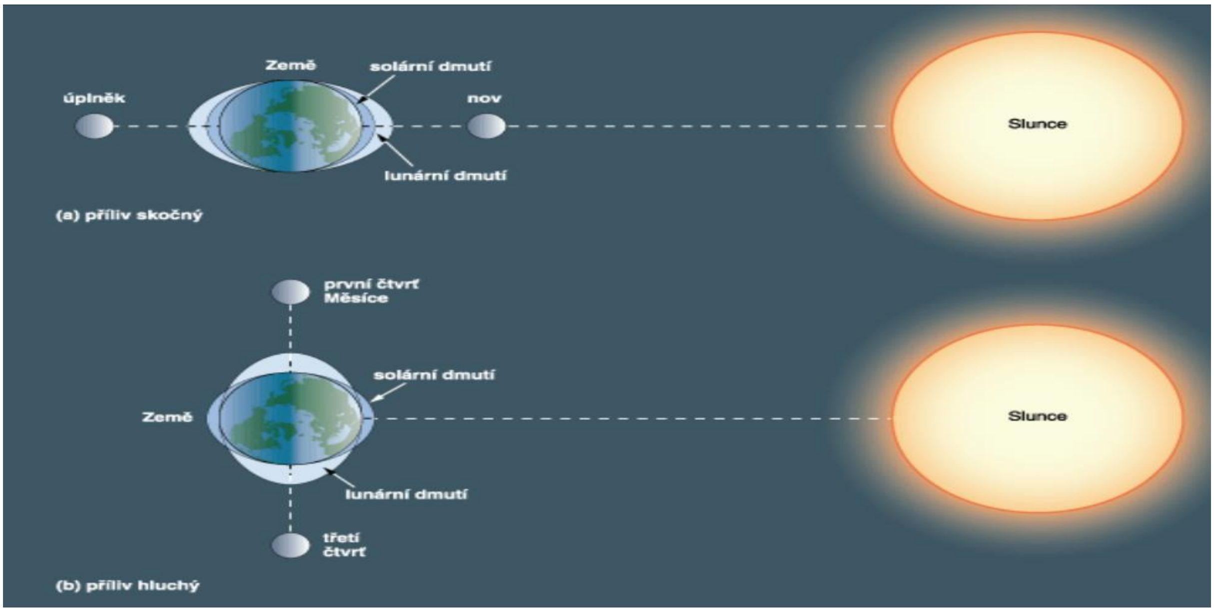
1.5.1 Princip slapového jevu

Příliv neboli dmutí vzniká díky tomu že, gravitační síla je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti, a čím je vzdálenost větší, tím její síla klesá. Dále musíme pohlížet na soustavu Země-Měsíc, jako na rotaci dvou těles kolem společného těžiště, které se nachází uvnitř planety, konkrétně 4800 km od jejího středu. Díky rotaci Země kolem těžiště Země-Měsíc působí na Zemi setrvačná odstředivá síla. Na odvrácené straně Země od Měsíce převládá odstředivá síla a tím vzniká příliv, na straně přivrácené k Měsíci převládá přitažlivá síla Měsíce a vzniká také příliv. Na protilehlých stranách Země tedy existují dvě přílivové výdutě a mezi nimi je oblast odlivu. Velikost přílivu a odlivu se odvíjí od polohy Měsíce a Slunce proti Zemi a rozlišují se dva extrémy největší a nejmenší příliv. Kromě polohy planet o výšce přílivu rozhoduje tvar pobřeží nebo úhel dna. Nejvyšší příliv na světě nastává v zálivu Fundy v Kanadě, kde je rozdíl hladin až 20 metrů. V Evropě je to na pobřeží Francie v zátoce Mont-Saint-Michel, kde dosahuje rozdíl hladin kolem 13 metrů. [1, 15, 40]

- Největší příliv neboli skokový, nastane, pokud je Měsíc Slunce a Země v jedné přímce.

- Nejmenší přiliv neboli hluchý, nastane, pokud spojnice Slunce Země a Měsíce svírá pravý úhel, jak je vidět na obrázku 15.

Slapové deformace způsobují ztrátu energie soustavy Země-Měsíc vlivem vnitřního tření. Díky tomu se Měsíc vzdaluje od naší planety, zhruba o 3,8 cm za jeden rok a prodlužuje se délka dne přibližně o 1,5 sekundy za deset tisíc let. [1, 15, 40]



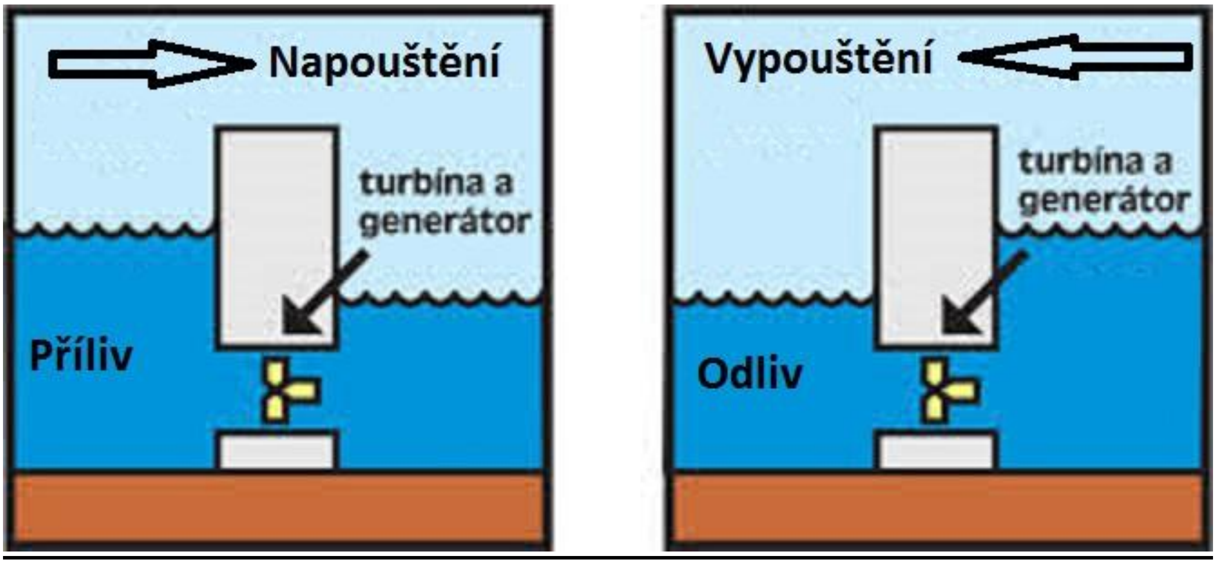
Obrázek 15 Největší a nejmenší příliv[40]

1.5.2 Využití slapových jevů pro energetiku:

Pro energetiku lze slapových jevů využít dvěma způsoby, v přehradních elektrárnách nebo pomocí elektráren, které pracují s přílivovými proudy.

- **Přehradní elektrárna**

Při použití přehradní hráze se využívá rozdílů hladin. Díky tomu že rozdíl hladin není všude stejný, existuje pouze několik míst na světě, kde lze stavět tento typ přílivových elektráren. Na obrázku 17 jsou vidět místa na světě kde je příliv větší než čtyři metry. Princip fungování tohoto typu elektrárny je takový, že se při přílivu napouští voda do přílivové laguny, která se kvůli tomu vystavěla. Voda je napouštěna přes turbíny spojené s generátory, které tím generují elektrickou energii, když je voda napuštěna a nastane odliv, začne se voda vypouštět ven z nádrže opět přes turbíny spojené s generátorem a ty znovu generují elektrickou energii. [1, 15, 40]

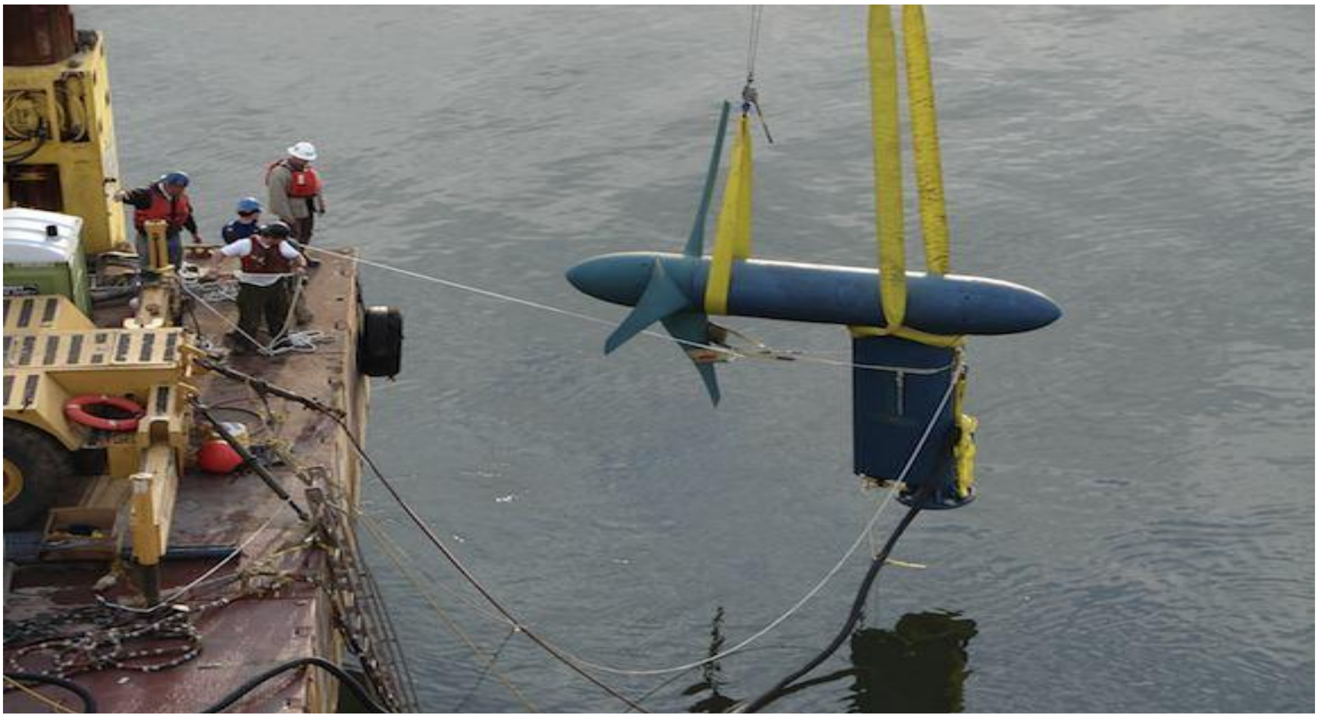


Obrázek 16 Schématický řez přílivovou elektrárnou[42]

Obrázek 17 Místa na Zemi, kde je rozdíl hladin větší než 4 metry[1]

Elektrárny pracující s přílivovými proudy

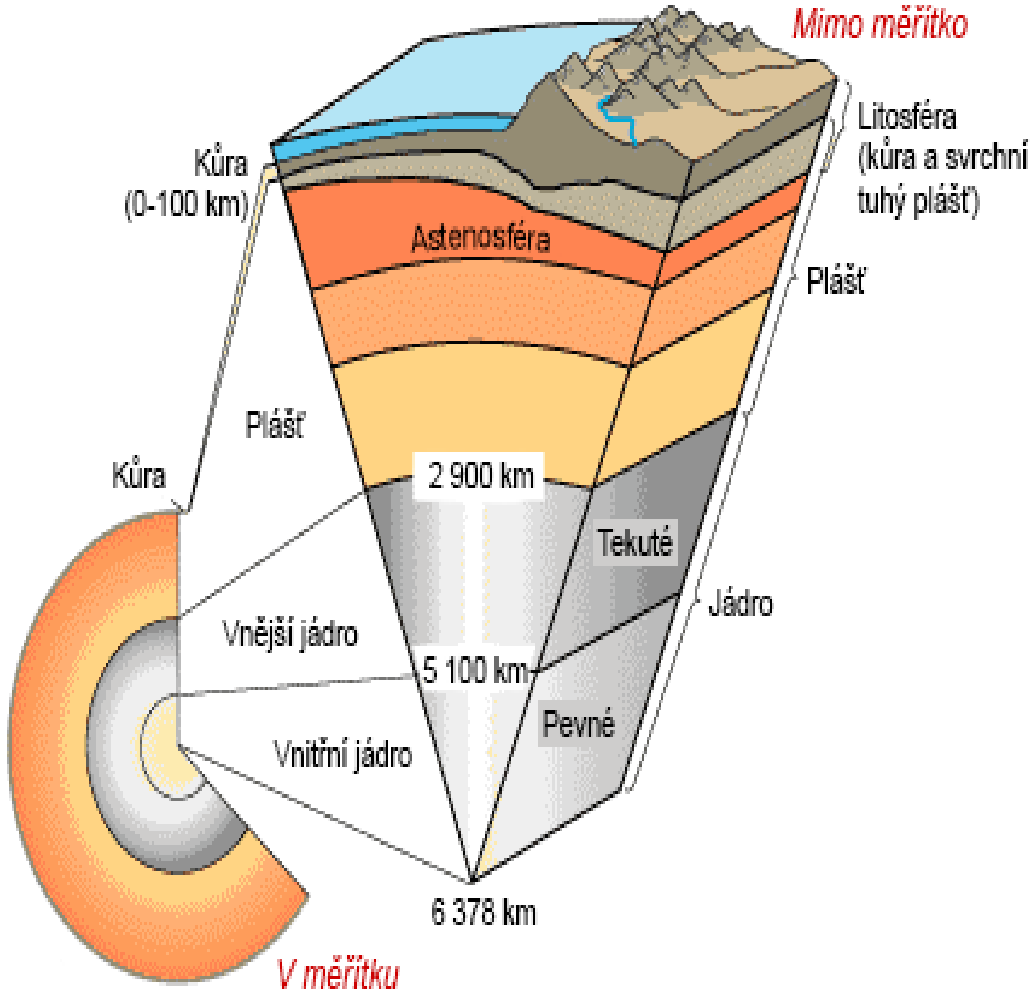
Elektrárny, které pracují s přílivovými proudy, pracují na podobném principu jako větrné elektrárny, s tím rozdílem že jsou pod vodou a získávají energii tím, že zpomalují podmořský proud vody, který lze snadno vyhledat a předpovědět, což je velká výhoda například oproti větrným elektrárnám. [1, 15, 40]



Obrázek 18 Přílivová turbína [41]

1.6 Energie geotermální

Energie geotermální je považována za obnovitelný zdroj energie, i když lze některé její ložiska vyčerpat. Na rozdíl od ostatních obnovitelných zdrojů energie nemá svůj původ z energie, kterou vyzáří Slunce. Její původ je v energii jádra naší planety, kterou naše planeta získala při svém vzniku z mateřské mlhoviny, ale pouze z menší části. Větší část získává z dalších sekundárních zdrojů, jakými jsou pohyby litosférických desek nebo jaderné pochody uvnitř planety. Mezi jaderné pochody patří štěpení prvků uranu, thoria nebo draslíku z toho pochází kolem 40% celkové tepelné energie. Potenciál energie jádra Země dosahuje každý rok hodnoty až 5.10^{20} $J.rok^{-1}$. Energie je ovšem rozptýlena a její tepelný tok z nitra Země je malý a dosahuje 57 $mW.m^{-2}$. Na území České republiky dosahuje tepelný tok hodnoty 62,8 $mW.m^{-2}$ což je oproti energetickému toku ze Slunce, který dosahuje průměrně na celé planetě 1367 $W.m^{-2}$ velmi málo. V oblastech kde je zvýšena sopečná činnost může být hodnota vyšší a to až 300 $W.m^{-2}$. Teplo je z jádra planety k jejímu povrchu přenášeno konvekcí a kondukcí, radiační složka je velmi malá a nemá téměř žádný význam. Díky tepelnému odporu zemské kůry se teplota zvyšuje o 20 - 30 °C na 1000 m hloubky. [15,4]



Obrázek 19 Složení Země [19]

1.6.1 Využití geotermální energie

Energie tepla Země lze využít ve vhodných podmínkách k vytápění, nebo výrobě elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Vzhledem k různým podmínkám na Zemi lze systémy, které využívají geotermální energii rozdělit na systémy využívající nízkopotenciální a vysokopotenciální energii.

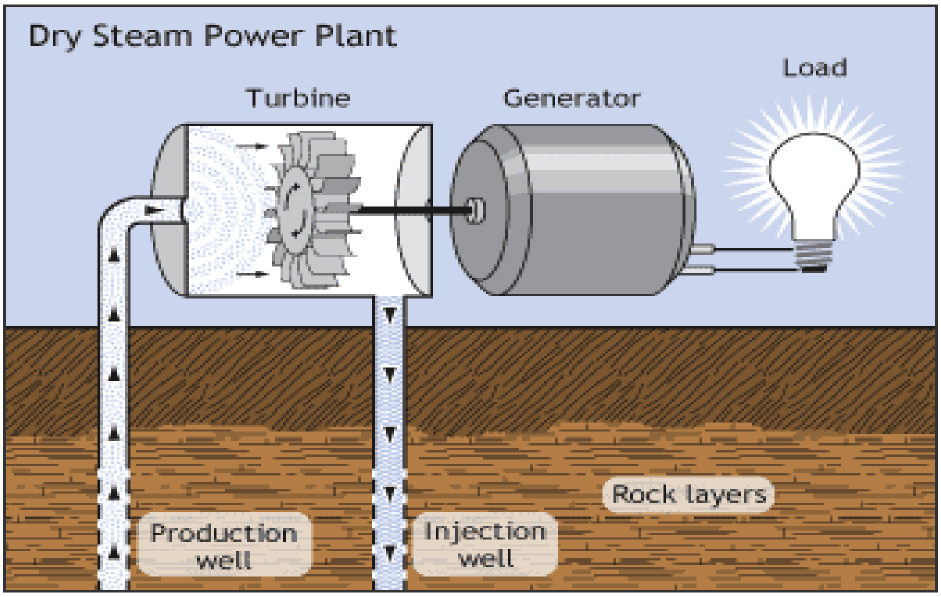
Systémy využívající nízkopotenciální energii:

Jedná se o nejrozšířenější systémy, které využívají tepla Země. Konstrukce systémů je rozdílná podle výrobce, ale z převážné většiny se jedná o tepelná čerpadla.

Systémy využívající vysokopotenciální energii:

- **Metoda suchých par**

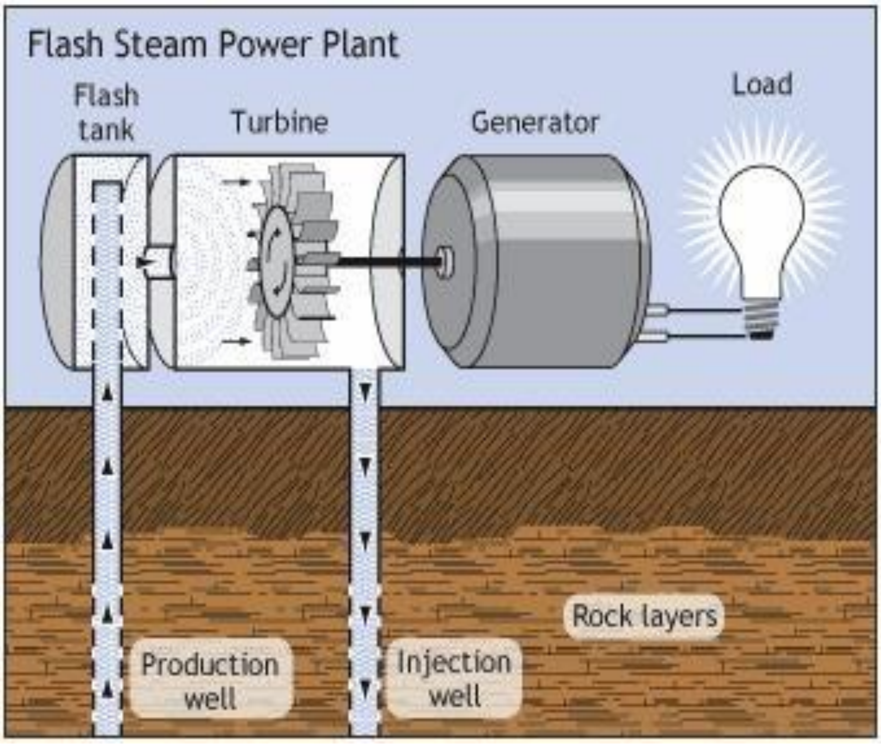
Tato metoda je založena na přímém získávání par ze Země. V dnešní době už nemá velké využití, neboť lokality, které byly vhodné pro budování nových energetických jednotek, jsou již zastavěny nebo vyčerpány. Při budování této elektrárny se zavede vrt do země, z kterého se pára získává přímo. V počátcích používání této metody se voda nevracela zpět do vrtu, ale díky pozdějšímu vývoji a také díky vyčerpání některých jednotek se zkondenzovaná voda zavádí zpět do vrtu, dále to zvyšuje celkovou účinnost celé elektrárny. Nevýhodou této metody jsou různé plyny, které jsou obsaženy v páře. Tyto plyny snižují účinnost nebo mohou být smrtelně nebezpečné, jako příklad těchto plynů můžeme uvést sirovodík neboli sulfan, který je smrtelně nebezpečný, dále oxid uhličitý nebo metan. V praxi existují různé metody, jak se dají tyto plyny bezpečně oddělit. [15]



Obrázek 20 Schéma geotermální elektrárny pro systém suché páry [20]

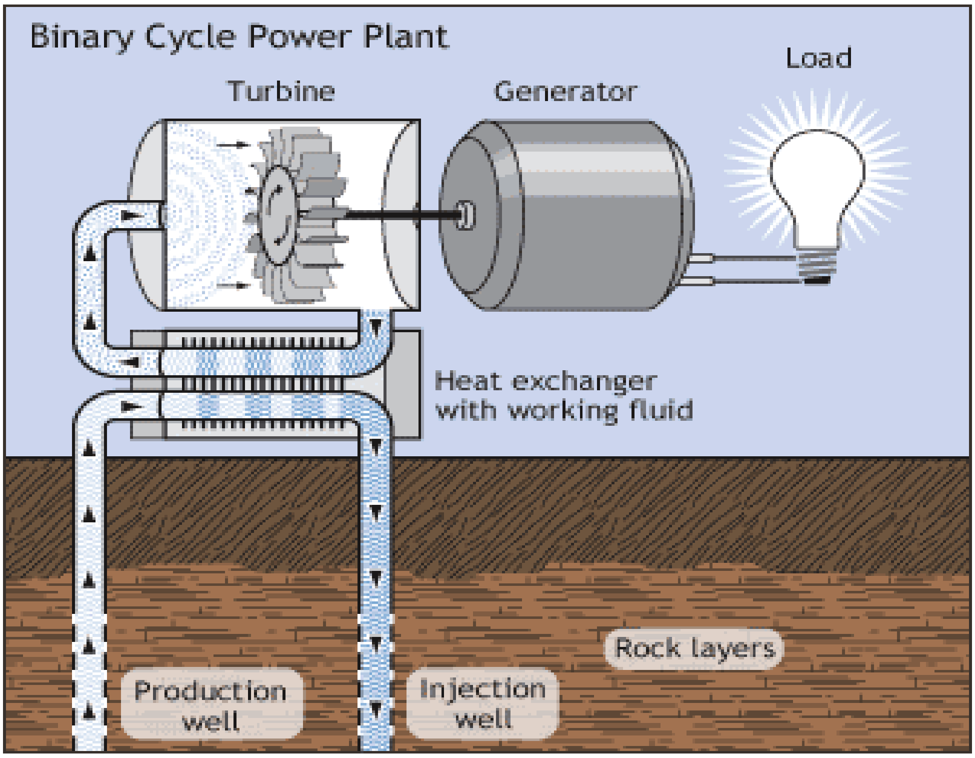
- **Metoda mokrých par**

Princip této metody spočívá v tom, že se do injektážního vrtu vhání voda a produkčním vrtem je čerpána zahřátá voda zpět na povrch. Pro energetické účely je vhodné, aby měla voda teplotu alespoň 160°C. Podle systému na kterém elektrárna pracuje, je voda na povrchu při menším tlaku odpařena a následně odvedena do parní turbíny. Jedná se o systém flash nebo double flash.



Obrázek 21 Schéma geotermální elektrárny pro systém mokré páry [20]

Pokud voda předá část své tepelné energie ve výměníku a teprve pára z výměníku je odváděna na turbínu, jedná se o systém s binárním cyklem. V případě nižších teplot lze použít látky s nízkým bodem varu, například toluen nebo jiné druhy látek na bázi uhlovodíků. [15]



Obrázek 22 Schéma geotermální elektrárny pro binární systém [20]

2 Využití fotovoltaické energetiky v ČR a ve světě

V České republice i ve světě je energie, která se získává pomocí fotovoltaických panelů široce využívána. Díky široké možnosti použití fotovoltaických panelů se využívají jak v ostrovních solárních systémech, tak i v síťových solárních systémech.

- **Ostrovní systém**

Ostrovní systém je takový systém, který není napojen na rozvodnou síť a zásobuje jen malou oblast například rodinný dům nebo chatu. Pokud se podíváme na jeden rodinný dům, nemá to z energetického hlediska velký význam, ale pokud by se těmito systémy vybavilo mnoho domácností, jednalo by se o značné energetické úspory. Z hlediska rozvodné sítě to má velký význam, protože v některých oblastech neexistuje rozvodná síť a právě tento systém není složité postavit. [2]

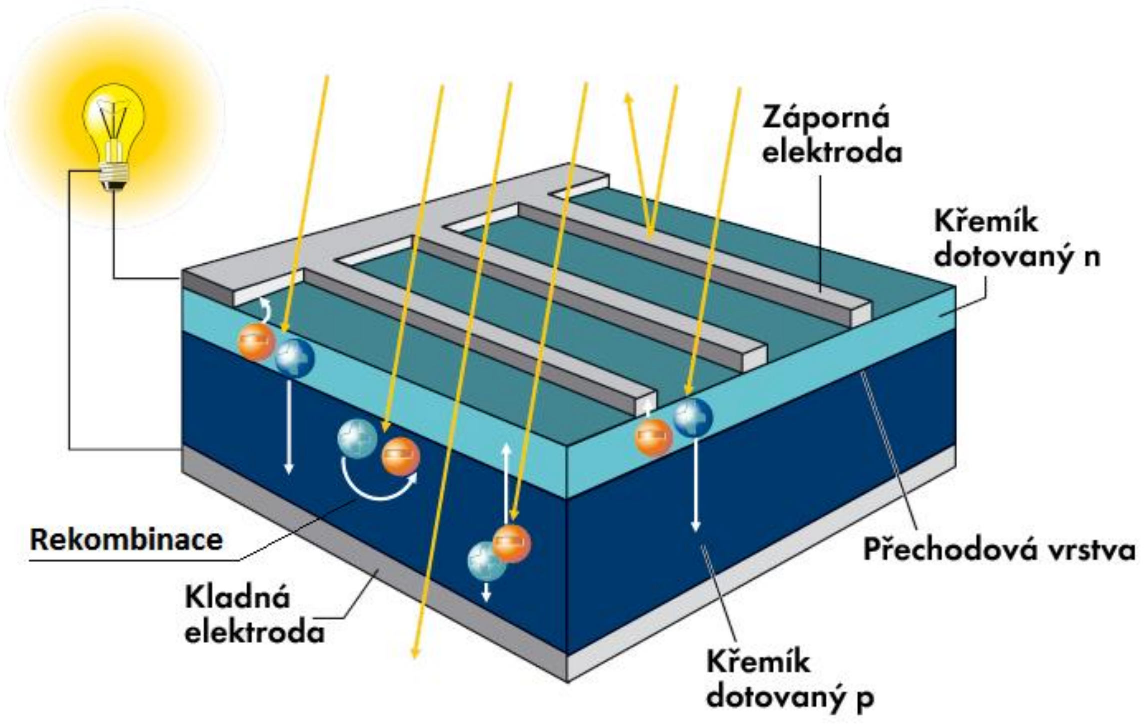
- **Síťové systémy**

Síťové systémy jsou napojeny na rozvodnou síť elektrické energie. Může se jednat o fotovoltaické elektrárny nebo také o rodinné domy. Síťový systém je schopen v době přebytku energie dodávat energie do sítě a době jejího nedostatku energii ze sítě odebírat. [2]

2.1 Fotovoltaická přeměna

Ve fotovoltaickém panelu probíhá přímá přeměna slunečního záření na elektrickou energii. Přeměna spočívá ve fyzikálním jevu, který probíhá nehlučně bez vzniku emisí a spotřeby látek v solárně aktivním materiálu. Solární články se skládají z polovodičů, většinou jsou tyto polovodiče křemíkové. Polovodiče jsou látky, jejichž elektrická vodivost leží mezi vodivostí kovu a dielektrika. Polovodiče se přívodem energie mohou stát vodivými. Čtyři vnější elektrony atomu křemíku tvoří vazby elektronových párů se sousedními atomy. U krystalických solárních článků při tom vzniká pravidelná krystalická mřížka. V článku spolu hraničí dvě elektricky odlišně dotované a tím rozdílně vodivé polovodičové oblasti. Dotování je umělé dodání atomů jiného prvku do polovodiče za účelem cílené změny jeho elektrické vodivosti a vlastností. Mezi kladně dotovanou oblastí (p) a záporně dotovanou oblastí (n) vzniká vnitřní elektrické pole, které je způsobeno difúzí nadbytečných elektronů z polovodiče n do polovodiče p v prostoru pn přechodu. Vzniká oblast s malým počtem volných nosičů náboje, takzvaná vrstva prostorového náboje. V oblasti n vrstvy prostorového náboje zbývají kladně, v oblasti p záporně nabité atomy dotujícího prvku. Tím vzniká elektrické pole, které je orientováno proti směru pohybu nosičů náboje, takže difúze elektronů nemůže pokračovat donekonečna. Dopadne-li na solární článek světlo, může zářivá energie fotonů uvolňovat elektrony z jejich vazeb v atomové mřížce. Fotony se přitom absorbují. Uvolněné záporně nabité elektrony jsou pak volně pohyblivé a na svém původním místě ponechají kladný náboj, takzvanou díru. Vnitřní elektrické pole solárního článku způsobuje, že jsou oba elektrické náboje přitahovány do opačných směrů. Náboje postupují odlišnými cestami, záporné náboje putují k přední straně článku a kladné náboje putují k zadní straně. V důsledku takto vznikají opačné polarity přední a zadní strany vzniká mezi nimi rozdíl potenciálů, který lze naměřit jako elektrické napětí. Toto napětí naprázdno leží u krystalických solárních článků obvykle v rozmezí 0,6 až 0,7 V. Uzavře-li se elektrický obvod, teče přes spotřebič proud. Některé elektrony nedosáhnou kontaktů, nýbrž rekombinují. Rekombinovaný elektron se nepodílí na

průtoku proudu. Difúze nosičů náboje k elektrickým kontaktům tedy způsobuje, že na solárním článku vzniká napětí. [45]



Obrázek 23 Schéma funkce solárního panelu [36]

2.2 Fotovoltaické články

Fotovoltaických panelů je více druhů. Liší se svým tvarem, barvou, materiálem nebo výkonovými parametry. Důležité typy solárních článků můžeme rozdělit takto:

2.2.1 Monokrystalické články

Skládají se z jediného krystalu křemíku, většinou jsou čtvercové nebo čtvercové se zaoblenými rohy. Elektrická kvalita těchto článků je vysoká, dosahuje účinnosti přes 21%, avšak průměrná účinnost dosahuje 15 až 17 %. Účinnost se odvíjí od čistoty použitého křemíku. [45]

2.2.2 Polykrystalické články

Skládají se z více krystalů křemíku, vyrábí se ve čtvercovém provedení. Průměrná účinnost se pohybuje mezi 13 až 16%. Polykrystalický křemík lze vyrábět jednodušeji a levněji než monokrystalický křemík, v čemž spočívá jeho výhoda. [45]

2.2.3 Tenkovrstvé články

Díky vysoké ceně za materiál a energie při výrobě krystalických křemíkových článků, vznikl tlak na snížení těchto výrobních nákladů, které jsou u tenkovrstvých článků podstatně nižší. Další výhodou těchto článků je menší citlivost na teplotu a zastínění, flexibilita, lepší využití spektrální nabídky Slunce, geometrická volnost, možná průhlednost materiálu nebo homogenní vzhled. [45]

2.2.4 Články CIS (Copper-Indium-diSelenid)

Technika CIS dosahuje v současné době nejvyšších účinností v oblasti tenkovrstvých technologií. Články CIS nepodléhají stárnutí vyvolané světlem jako křemíkové články, ale mají problémy v teplém a vlhkém prostředí, proto je nutné je dobře ochránit proti vlhkosti, například dobrým zarámováním. [45]

Obrázek 24 Fotovoltaické články [39]

2.3 Organické články

Jiná technologie umožňující přímou výrobu elektrické energie bez použití polovodičů využívá speciálně geneticky upravené bílkoviny, které vyrábí elektřinu prostřednictvím fotosyntézy. Tato technologie je zatím poměrně nová, předpokládá se ale, že by výroba podobných organických panelů mohla být dokonce levnější než u klasických křemíkových fotovoltaických článků. Účinnost organických solárních panelů by se měla pohybovat kolem 25 %. [37]

2.4 Fotovoltaický boom v České republice

V letech 2008-2010 proběhl na území České republiky velký fotovoltaický boom. Bylo to způsobeno několika faktory:

- Prudký pokles ceny fotovoltaických článků na trhu
- Přijetí tzv. energetického zákona z roku 2001
- Přijetí zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie
- stanovení pevných výkupních cen ze strany ERÚ pro rok 2006, které činily více než dvojnásobek hodnoty pro povinné výkupy elektřiny z fotovoltaiky o rok dříve a zhruba dvanácti násobek tržní ceny elektřiny. [38]

Díky tomu stoupl instalovaný výkon z 66 MW v roce 2008 na 1953 MW na konci roku 2010. Tak rychlý nárůst způsobil politické zamrazení všech obnovitelných projektů, aby se předešlo výpadkům vyvolaným nestabilitou dodávek, které tento zdroj způsobuje. Díky vysokým výkupním cenám bude mít český stát vysoké náklady i v budoucnu, vzhledem k různým faktorům, které nejsou předem jasné jako je vývoj kurzu koruny, inflace a další makroekonomické veličiny nelze náklady přesně spočítat. [38,14]

2.5 Výhody, nevýhody a aplikace fotovoltaických článků

2.5.1 Výhody fotovoltaických článků

- Pro výrobu elektrické energie využívají pouze sluneční záření a není zapotřebí žádného dalšího speciálního vybavení, jako je například parní turbína nebo stirlingův motor, které potřebují fototermální elektrárny.
- Během výroby elektrické energie nijak neznečišťují životní prostředí.
- Instalace i výstavba není nijak náročná.
- Minimální údržba.
- Využívají difúzní i přímé sluneční záření a dají se využít kdekoliv. [1]

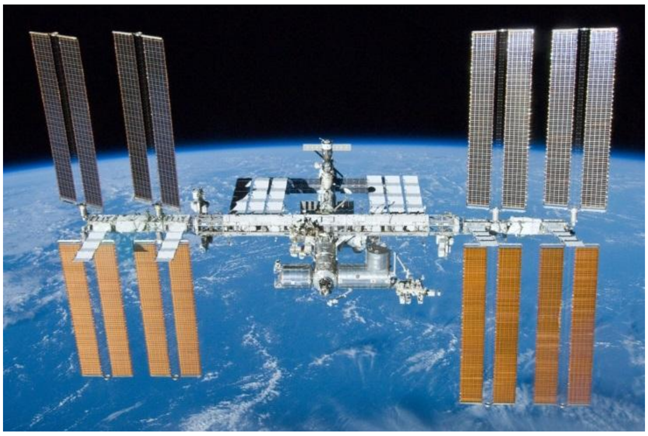
2.5.2 Nevýhody fotovoltaických článků

- Nízká účinnost ve srovnání s fototermálními elektrárnami.
- Zatím není efektivní, používaný nebo levný způsob regulace a tím vzniká obrovská nestálost dodávek energie.
- Postupem času se snižuje jejich účinnost. [1]

2.5.3 Aplikace fotovoltaických článků

Vzhledem k tomu, že je možné tyto články využít kdekoliv, je jejich aplikace opravdu široká. Nejčastěji se uplatňují ve fotovoltaických elektrárnách nebo jako zdroj proudu pro budovy. Dále se můžeme setkat s dalšími aplikacemi, kde fotovoltaické články jsou jako zdroj elektrické energie: [44]

- vesmírné družice
- výzkumná vozítka na jiných planetách
- kalkulačky
- veřejné osvětlení
- automobily
- lodě
- letadla
- silniční radary
- některé typy externích nabíječek



Obrázek 25 Aplikace fotovoltaických článků na stanici ISS [1]

3 Využití fototermální energetiky v ČR a ve světě

V České republice je fototermální energie využívána pouze k ohřevu vody pomocí solárních kolektorů, které jsou většinou na střechách rodinných domů. Vzhledem k zeměpisné poloze České republiky a s tím souvisejícím dopadem zářivé energie Slunce na jednotku plochy by zde bylo ekonomicky nevýhodné budovat velké fototermální elektrárny. Ve světovém měřítku se fototermální energie využívá stejně jako v České republice ve fototermálních kolektorech. V příznivých zeměpisných oblastech, kde je dostatek slunečních dní, vysoký dopad vyzářené energie Sluncem na jednotku plochy a dobré ekonomické zajištění, se provozují fototermální elektrárny. Největší fototermální elektrárna Ivanpah (obrázek 26) s instalovaným výkonem 392 MW se nachází v Mohavské poušti ve Spojených státech amerických, kde intenzita záření dosahuje nejvyšších hodnot na naší planetě. Nejvíce fototermálních elektráren je provozováno na území Spojených států amerických a Španělska. Celkový instalovaný výkon fototermálních elektráren, které jsou v provozu na celém světě, činí 3650,8 MW. [1]

Obrázek 26 Nejvýkonnější fototermální elektrárna na světě Ivanpah [21]

3.1 Fototermální přeměna

Fototermální přeměna je jednou z nejsnadnějších cest jak z energie, kterou vyzáří Slunce získat energii tepelnou. Děje se tak absorpcí slunečního záření na povrchu tuhých látek a kapalin, kde se energie fotonů mění na pohyb molekul, neboli teplo. Sluneční záření se dá koncentrovat a tím se dají získat vysoké teploty, čehož se využívá ve fototermálních koncentrujících elektrárnách.

3.2 Rozdělení fototermálních systémů

Zařízení, která využívají fototermální přeměny slunečního záření se dají podle teploty rozdělit na tři druhy:

1) Nízkoteplotní fototermální systém:

   Nízkoteplotním fototermálním systémem rozumíme systém, který pracuje při teplotě 100-120 °C. Takto nízká teplota nemá pro výrobu elektrické energie využití, ale velice dobře se využije pro ohřev vody nebo pro vytápění budov. Nízko-teplotní fototermální systémy jsou rozšířenější než středně-teplotní nebo vysoko-teplotní systémy. Zařízení, které využívá nízkoteplotní fototermální technologii se nazývá solární kolektor, který je podrobněji popsán v kapitole 3.3. [22]

2) Středněteplotní fototermální systém:

   Středněteplotním fototermálním systémem rozumíme systém, který pracuje při teplotě 100-250 °C. Nejvíce se tohoto systému využívá jako solárních pecí nebo jako solární sporák, pro vaření potravin. V zemích s nedostatečnou energetickou infrastrukturou, jako jsou některé africké země, může mít tento systém využití. [22]

3) Vysokoteplotní fototermální systém:

   Vysokoteplotním fototermálním systémem rozumíme systém, který pracuje s teplotami nad 250 °C. Jedná se o koncentrující systémy, které jsou využity ve fototermálních elektrárnách, nebo pro vysokoteplotní chemické procesy, například produkci vodíku. Různé typy vysokoteplotních fototermálních systémů, které jsou využity ve fototermálních elektrárnách, budou podrobně rozepsány v kapitole 4. Fototermální elektrárny. [22]

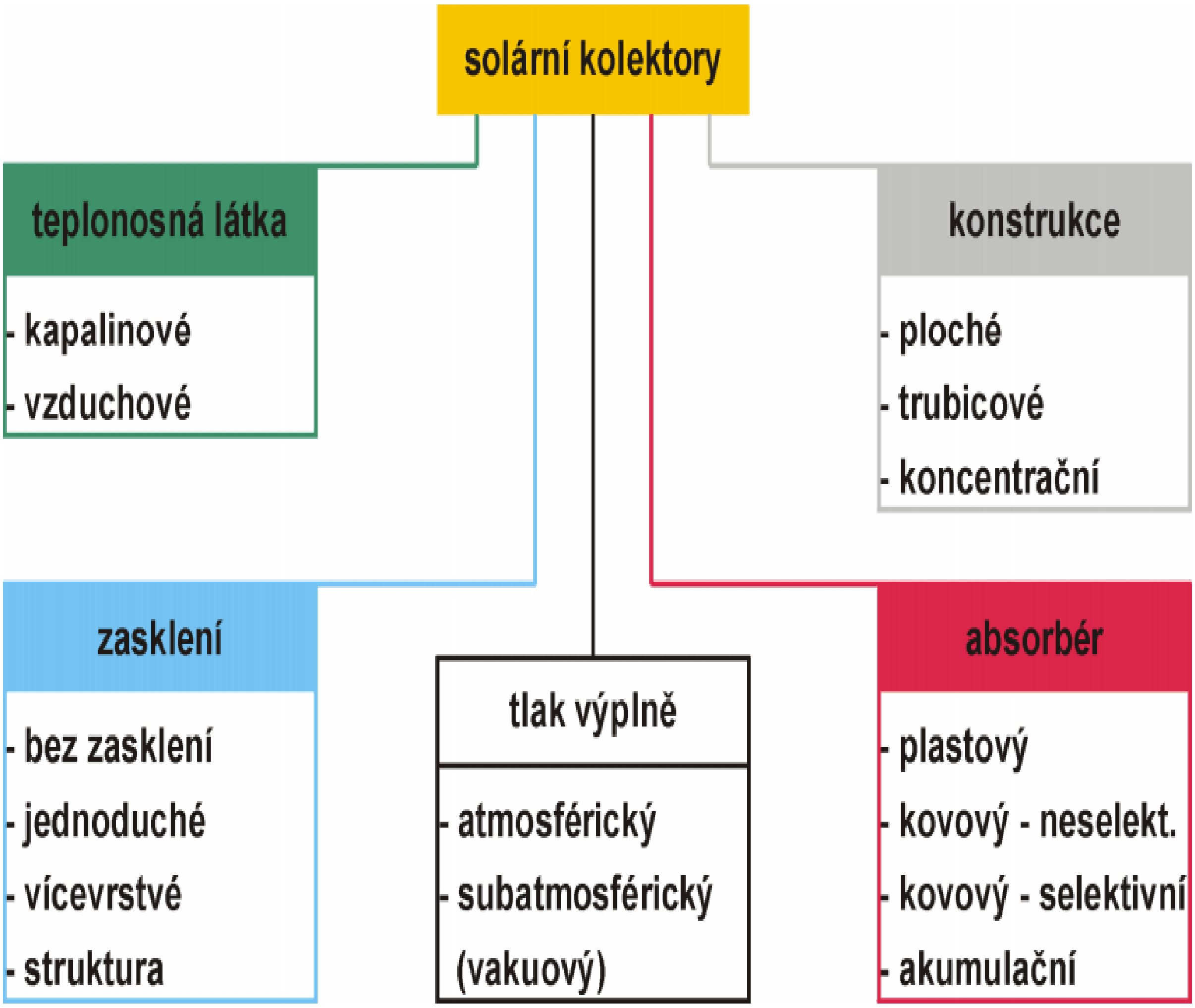
Fototermální systémy se dále dají dělit na aktivní a pasivní systémy.

1) **Aktivní systém,** rozumíme takový systém, který tepelnou energii ze svého povrchu cíleně odvádí na jiné místo pomocí teplonosné kapaliny, kterou je například voda nebo nemrznoucí směs, nebo teplonosným plynem, například vzduchem. Aktivní fototermální systém je například solární kolektor.

2) **Pasivní systém**, rozumíme takový systém, který vzniklou tepelnou energii nikam netransportuje a využívá ji přímo v místě jejího vzniku. Jedná se například o využití slunečního záření přímo v budovách pomocí různých architektonických prvků, například akumulační solární stěny, energetické fasády nebo energetické střechy.

3.3 Fototermální kolektory

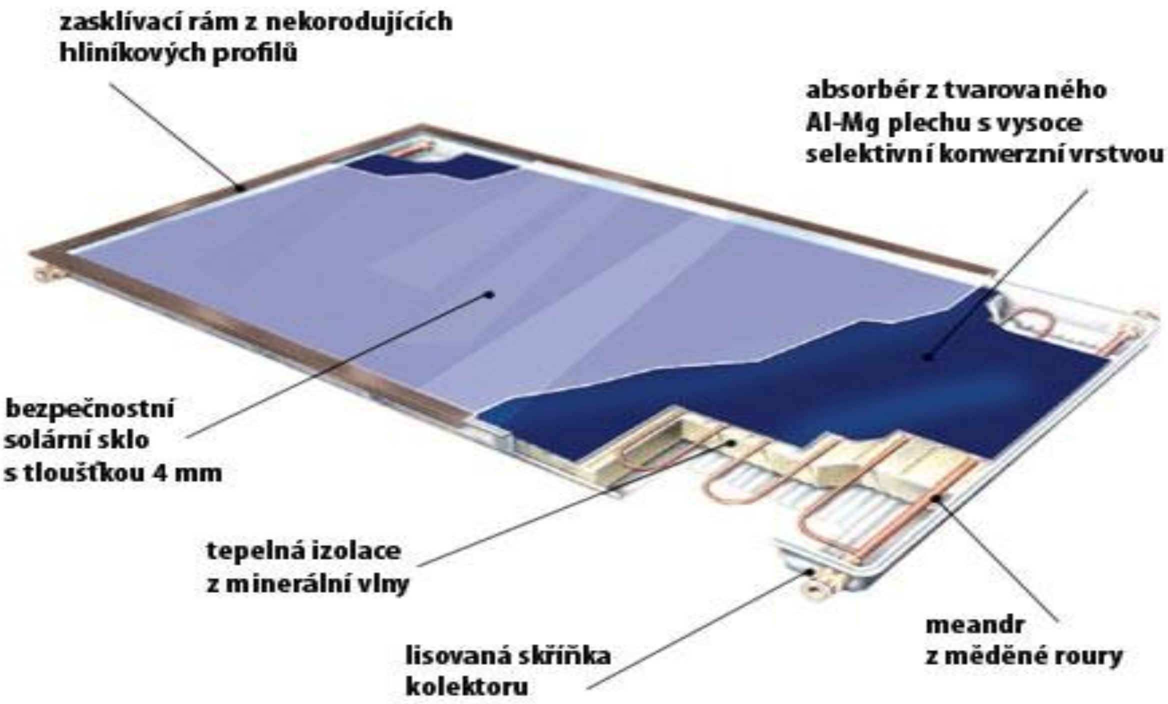
Solární tepelný kolektor je zařízení, které pohlcuje sluneční záření a přeměňuje ho na tepelnou energii, která je předávána teplonosné látce proudící kolektorem. Užívání názvu panel se potlačuje, aby nedocházelo k nežádoucím záměnám s fotovoltaickými panely [3]. Solární kolektory lze podle několika hledisek rozdělit na určité typy, které jsou vidět na obrázku 27.



Obrázek 27 Rozdělení solárních kolektorů [24]

3.3.1 Kapalinové

Kapalinové solární kolektory, odvádí teplo, které je zachycené v absorbéru pouze kapalinou. Nejčastější využití těchto kolektorů je pro ohřev vody. V České republice i ve světě existuje několik fototermálních systémů, které slouží pro ohřev vody a jsou nejběžnější. Jsou to vakuové trubicové kolektory, vakuové ploché kolektory, ploché kolektory pro celoroční užití a ploché kolektory bez transparentního krytu. Nejčastější konstrukce solárního kolektoru je vidět na obrázku 28. [3]



Obrázek 28 Konstrukce solárního kolektoru [23]

3.3.1.1 Vakuové trubicové kolektory

Tento typ kolektoru se vyznačuje nejvyšší účinností. Při vysokých teplotách teplonosné látky, která bývá přes 100 °C a nízkým tlakem uvnitř trubice, který se blíží vakuu, jsou téměř eliminovány veškeré tepelné ztráty vedením do okolí. Tento typ kolektoru je vhodné využívat pro ohřev vody na vyšší teploty, které jsou nad 80 °C, nebo v extrémních podmínkách, jako jsou vysokohorské chaty. Nevýhodou těchto kolektorů je jejich vysoká cena a nemožnost obnovení vakua uvnitř trubice v případě poruchy. [3]

3.3.1.2 Vakuové ploché kolektory

Tento typ kolektoru, je jedním z nejmodernějších výrobků z oblasti solární techniky. Má nízké tepelné ztráty vedením díky vakuu, stejně jako trubkový vakuový kolektor a zároveň má nižší výrobní náklady. Z technologické i ekonomické stránky se jedná o optimální řešení mezi trubkovými a plochými kolektory a díky tomu jsou předurčeny pro masové využívání. Jejich velkou výhodou je, že po připojení vývěvy lze obnovit vakuum, což u trubkového kolektoru nelze. Využití je obdobné jako u trubkových kolektorů. [3]

3.3.1.3 Ploché kolektory pro celoroční využití

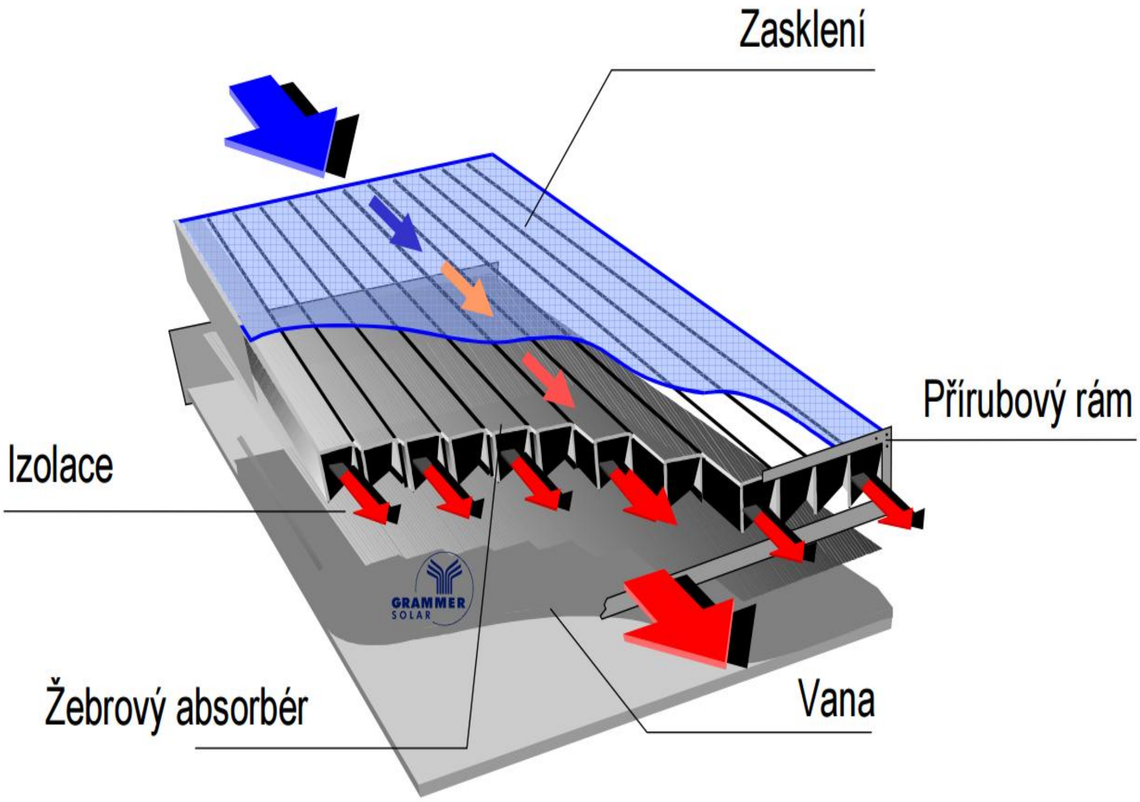
V současné době se jedná o nejrozšířenější typ kolektorů, který je instalován. Značná nevýhoda tohoto typu oproti vakuovým, jsou vyšší tepelné ztráty, které jsou způsobeny vedením. Dále je zde nebezpečí kondenzace vodních par, které sníží celkovou účinnost tohoto systému. Tento nejrozšířenější typ se nejčastěji využívá k ohřevu užitkové vody, ohřevu bazénů nebo na přitápění. [3]

3.3.1.4 Ploché kolektory bez transparentního krytu

Tento typ kolektoru je vlastně pouze nezakrytý absorbér. Vzhledem k vystavení povětrnostním vlivům a tím způsobenému proudění vzduchu kolem absorbéru vznikají velké tepelné ztráty, proto se využívají jen sezónně například na ohřev venkovních bazénů. [3]

3.3.2 Vzduchové solární kolektory

Vzduchové solární kolektory odvádí teplo, které je zachycené v absorbéru pouze vzduchem. Nejčastější využití těchto kolektorů je pro vytápění nebo přitápění v budovách, pro vysoušení vlhkých objektů, v zemědělství pro sušení potravin nebo pro vyhřívání chodníků, parkovacích ploch a střech, kde je díky tomu udržen stále suchý povrch. Velkou výhodou oproti kapalinovým solárním kolektorům je jejich konstrukční jednoduchost a s tím související nižší cena. Díky jednoduché konstrukci jsou navíc vzduchové solární kolektory vysoce spolehlivé a mají dlouhou životnost. [3,24]



Obrázek 29 Konstrukce teplovzdušného solárního kolektoru [24]

3.3.3 Koncentrující solární kolektory

Tento konstrukční typ fototermálních kolektorů se využívá tam, kde je potřeba dodávat energii na vyšších teplotních hladinách, než na které mohou dosáhnout ploché či trubicové kolektory. Koncentrující kolektory využívají toho, že se solární záření dá odrazit. Kolektor je tvořen odrazovými plochami, které soustředí solární záření na absorbér, tento typ se využívá ve fototermálních elektrárnách viz kapitola 7. [3]

3.4 Využití pro energetiku

Fototermální kolektory, které pracují při nízkých teplotách, mohou být použity pro ohřev teplé užitkové vody, vytápění či přitápění. Tím se dá ušetřit fosilních zdrojů, které jsou k tomuto účelu jinak využívány. Fototermální kolektor, který slouží k ohřevu vody nebo pro vytápění, je ve většině případů pouze lokální zdroj pro jednu stavbu. Jedna stavba nemá příliš velké využití pro energetiku. Při masovém rozšíření těchto systémů do mnoha staveb by úspora fosilních paliv byla značná. Například v České republice topí uhlím přibližně 400 tisíc domácností, které průměrně zaplatí 15 tisíc korun ročně při topení hnědým uhlím [25]. Průměrná cena hnědého uhlí se v České republice pohybuje okolo 3500 korun za tunu [26]. Z následujících údajů lze vypočítat, jakou mají české domácnosti spotřebu uhlí.

$$Spotřeba\ uhlí = \frac{průměrná\ cena}{cena\ za\ tunu} \times počet\ domácností = \frac{15000}{3500} \times 400000 \cong 1{,}7 \times 10^6$$

Spotřeba českých domácností je tedy 1,7 milionu tun uhlí. Pokud by všechny tyto domácnosti byly vybaveny fototermálními systémy vytápění, je toto množství uhlí ušetřeno každý rok. Fototermální kolektory, které pracují při vysokých teplotách, se dají využívat ve fototermálních elektrárnách, které mají pro energetiku velký význam.

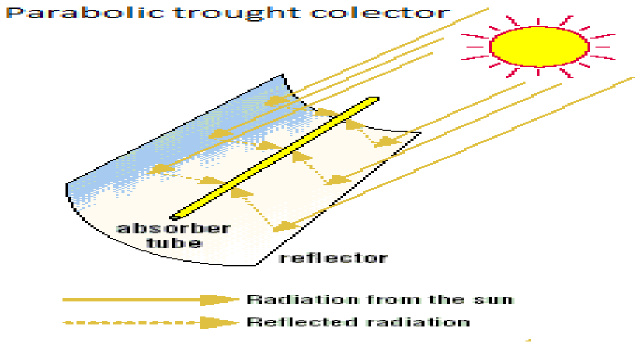
Obrázek 30 Příklad solárního vytápění [27]

4 Fototermální elektrárny

Fototermální elektrárna je zařízení, které využívá nepřímé přeměny energie vyzářené Sluncem, na energii elektrickou. Z převážné většiny fungují fototermální elektrárny na stejném principu. Tím principem je koncentrace solárního záření do ohniska, kde je zahřívána teplonosná látka, která pohání tepelné motory jako je Stirlingův motor nebo parní turbína. Ve většině případů odevzdá teplonosná látka své teplo ve výparníku. Tam vzniká pára, která následně pohání parní turbíny. Ve světě se pro výrobu elektrické energii ve fototermálních elektrárnách nejvíce využívají parabolické (žlabové) kolektory a věžové systémy s heliostatickými kolektory. Elektrárny vybaveny Fresnelovy kolektory jsou málo využívané. Talířové strirling systémy a komínové systémy jsou spíše v testovacích fázích. [31]

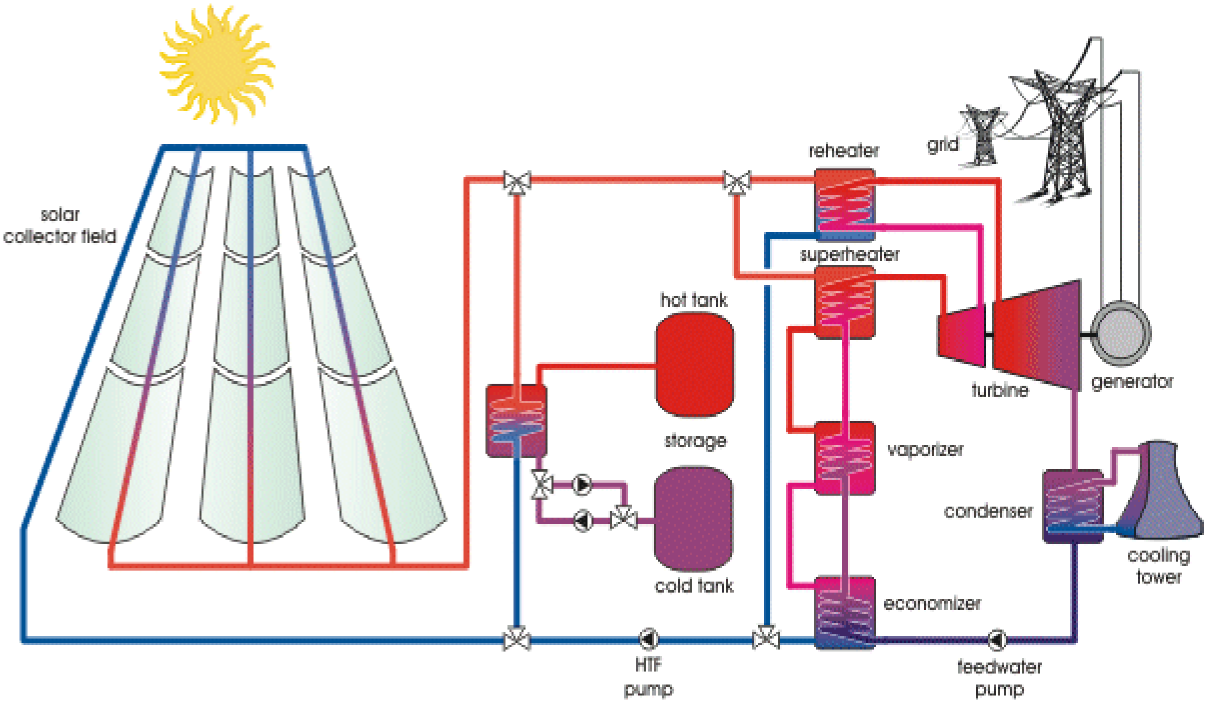
4.1 Elektrárny s parabolickými kolektory

Tento typ elektrárny dokáže pracovat pouze s přímým slunečním zářením. V současné době se jedná o nejrozšířenější typ kolektorů, které jsou instalovány ve fototermálních elektrárnách. Kolektory tohoto typu se skládají z velkých zahnutých zrcadel, která koncentrují záření do fokální linie, kde je umístěn absorbér, jak je vidět na obrázku 31.



Obrázek 31 Schéma odrážení u parabolického žlabového kolektoru [28]

Absorbér je kovová trubice, která je z důvodu snížení tepelných ztrát uzavřena ve skleněné trubici. Absorpční trubice je potažena spektrálně selektivním materiálem, který zlepšuje absorpční vlastnosti. Zároveň se zlepšují izolační vlastnosti a tím se zvedá celková účinnost elektrárny. Uvnitř absorbéru proudí teplonosná látka, kterou ve většině případů bývá termoolej. Ten je uvnitř trubice zahříván na teplotu kolem 400 °C. Tyto kolektory jsou sestavovány do dlouhých řad, které mají 300 - 600 m. Délka jednoho kolektoru bývá 8 – 20 m, tyto řady poté tvoří výsledné solární kolektorové pole. Po zahřátí teplonosné látky předá teplonosná látka své teplo vodě. Vodu do systému pro výrobu páry přivádí čerpadlo. Systém pro výrobu páry se skládá z ekonomizéru, odpařovače a ohřívače. Vyprodukovaná pára proudí do vysokotlaké části turbíny, poté co proteče vysokotlakou částí, teče do přihříváku, kde se zvýší její teplota. Dále teče přihřátá pára do středně a nízkotlaké části turbíny. Turbína odebírá páře energii a mění jí na mechanickou energii otáčejícího se hřídele. Hřídel je pevnou spojkou spojen s generátorem, kde se mechanická energie mění na energii elektrickou. Poté co pára proteče celou turbínou, zkondenzuje v kondenzátoru. Zkondenzovanou vodu přečerpá čerpadlo zpět do systémů pro výrobu páry. Celková účinnost této elektrárny dosahuje 11-14 %, podle probíhajících projektů se budují elektrárny tohoto typu v rozmezí 50 – 300 MW elektrických. [30,31]



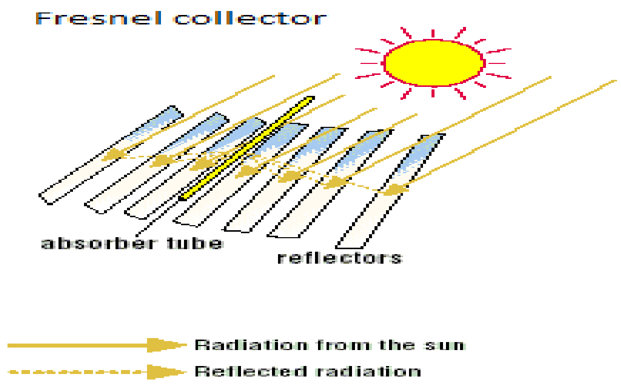
Obrázek 32 Schéma fototermální elektrárny s parabolickými kolektory [28]

Obrázek 33 Parabolický solární koncentrující kolektor [29]

Elektrárny tohoto typu jsou také vybaveny zařízením, které je schopné teplo ukládat. Pro uskladnění se využívají dva tanky, jedná se o takzvaný teplý a studený tank. V obou tancích je roztavená sůl, v teplém tanku se její teplota pohybuje kolem 380°C a ve studeném okolo 290 °C. Přebytečné teplo, které vzniká v kolektorech, ohřívá sůl, která je přiváděna ze studeného tanku. V případě nedostatku tepla, které nastává například v noci, se čerpá sůl z teplého tanku do studeného, tím se zahřívá kapalina a je dostatek tepla potřebné pro výrobu páry pro turbínu. Roztavená sůl se skládá z dusičnanu sodného (60%) a dusičnanu draselného (40%), tato sloučenina je známá jako ledek.

4.2 Elektrárny s Fresnelovými kolektory

Tento typ elektrárny dokáže pracovat pouze s přímým slunečním zářením. Princip fungování elektrárny s Fresnelovými čočkami je naprosto totožný, jako je u elektrárny s parabolickými kolektory. Jediný rozdíl je, že jsou místo parabolických zrcadel použity Fresnelovy čočky, které odrážejí záření na absorpční trubici pomocí plochý zrcadel jak je vidět na obrázku 34, 35.



Obrázek 34 Schéma odrážení paprsků u Fresnelova kolektoru[28]

Fresnelovy kolektory jsou využívány méně než parabolické, mají menší celkovou účinnost, která dosahuje maximálně 11 %. Jejich výhoda spočívá v jejich konstrukci, která se skládá z mnoho standardizovaných a jednoduše dostupných součástí, které nejsou příliš drahé. Podle probíhajících projektů se tyto elektrárny budují v rozmezí 15 – 200 MW elektrických. [30, 31]

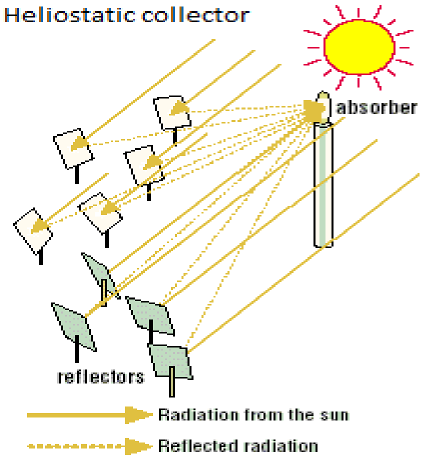
Obrázek 35 Fresnelovi koncentrující solární kolektory [30]

4.3 Elektrárny s heliostatickými kolektory

Tento typ fototermální elektrárny dokáže pracovat pouze s přímým slunečním zářením. Skládá se z věže, na které je umístěn absorbér a ze stovek až tisíců heliostatických neboli rovinných zrcadlových kolektorů, které jsou rozmístěny kolem věže, jak je vidět na obrázku 36.

Obrázek 36 Fototermální elektrárna s heliostatickími kolektory [32]

Součástí věže je i řídící jednotka, která zajišťuje optimální natáčení zrcadel, protože u tohoto typu fototermální elektrárny je velice důležité optimální natočení zrcadel, tak aby paprsky směřovaly do absorbéru, který je na vrcholu věže, jak je vidět na obrázku 37.

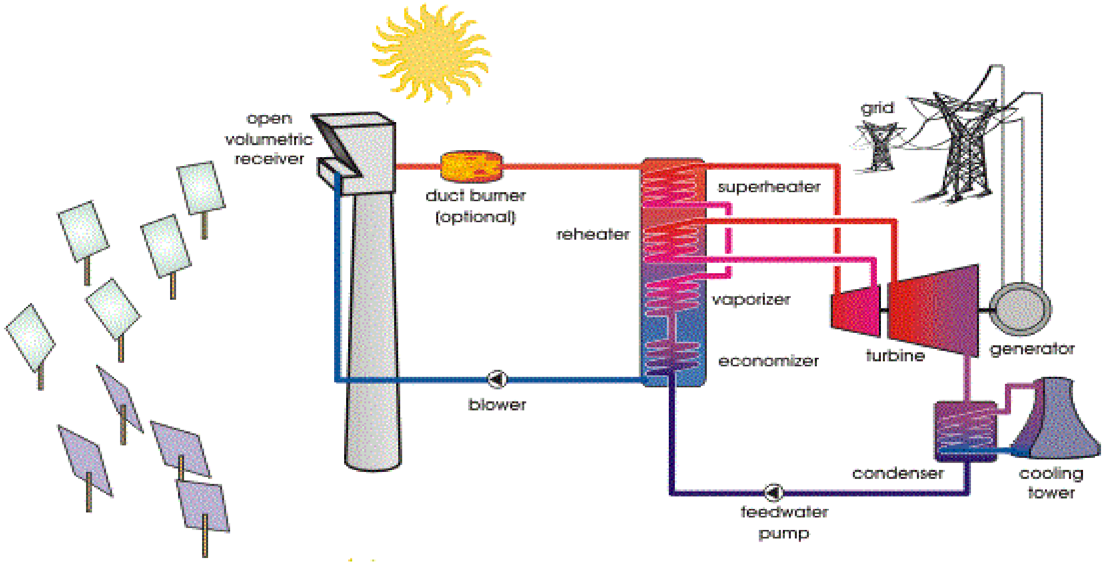


Obrázek 37 Schéma odražení paprsků u heliostatických kolektorů [28]

V absorbéru na který dopadají paprsky, je díky nim zapříčiněn vysoký nárůst teploty, který může být až 1000 °C. V absorbéru proudí teplonosná látka, která se zde ohřeje a předá teplo v parogenerátoru. V parogenerátoru se ohřívá voda a vzniká tak potřebná pára pro chod turbíny, která pohání elektrický generátor. Teplonosnou látkou může být vzduch nebo roztavená sůl. Ve srovnání s elektrárnami, které využívají parabolické kolektory, má tento systém vyšší účinnost. U žlabových kolektorů má absorbér mnohem větší plochu a z toho odvozené větší tepelné ztráty. Dále u věžového systému je záření koncentrované do jednoho místa a tím se docílí vzniku vyšších teplot a z toho odvozená vyšší účinnost. Celková účinnost věžových systémů se pohybuje v rozmezí 16-17 % . Elektrárny s věží a heliostatickými kolektory mohou být v několika provedení. Princip fungování je velice podobný, liší se hlavně v použitém teplonosném médiu nebo v konstrukci absorbéru. [28]

4.3.1 Věže s otevřeným objemovým absorbérem

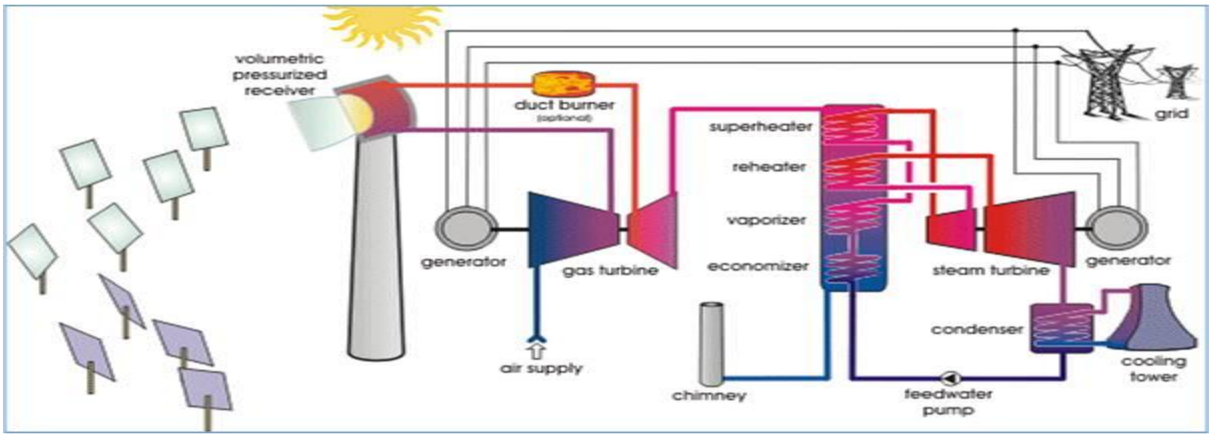
Tento typ elektrárny používá dmychadlo pro dopravu velkého objemu vzduchu do absorbéru. Absorbér se může skládat z drátěného pletiva, keramiky nebo kovových materiálů, které jsou složeny do voštinové konstrukce, což je konstrukce složená do formy včelích pláství. Při průchodu vzduchu absorbérem přechází teplo absorbéru do vzduchu, který se tím zahřeje na teploty mezi 650 – 850 °C. Vzduch ochlazuje vnější stranu absorbéru a díky tomu jsou největší teploty uvnitř materiálu, tím se docílí ještě menší tepelné ztráty, kterou způsobuje tepelná radiace (sálání). Poté putuje horký vzduch do výparníku, kde předá své teplo vodě a vzniká tak pára potřebná pro pohon parní turbíny, která pohání generátor. Poté co pára proteče vysokotlakou částí turbíny proteče do přihříváku, kde zvýší svou teplotu, dále proteče do středo a nízkotlaké části parní turbíny kde vykoná práci, zkondenzuje v kondenzátoru a čerpadlem se přečerpá zpět do výparníku. [28]



Obrázek 38 Schéma solární věže s objemovým přijímačem [28]

4.3.2 Věže s tlakovým přijímačem

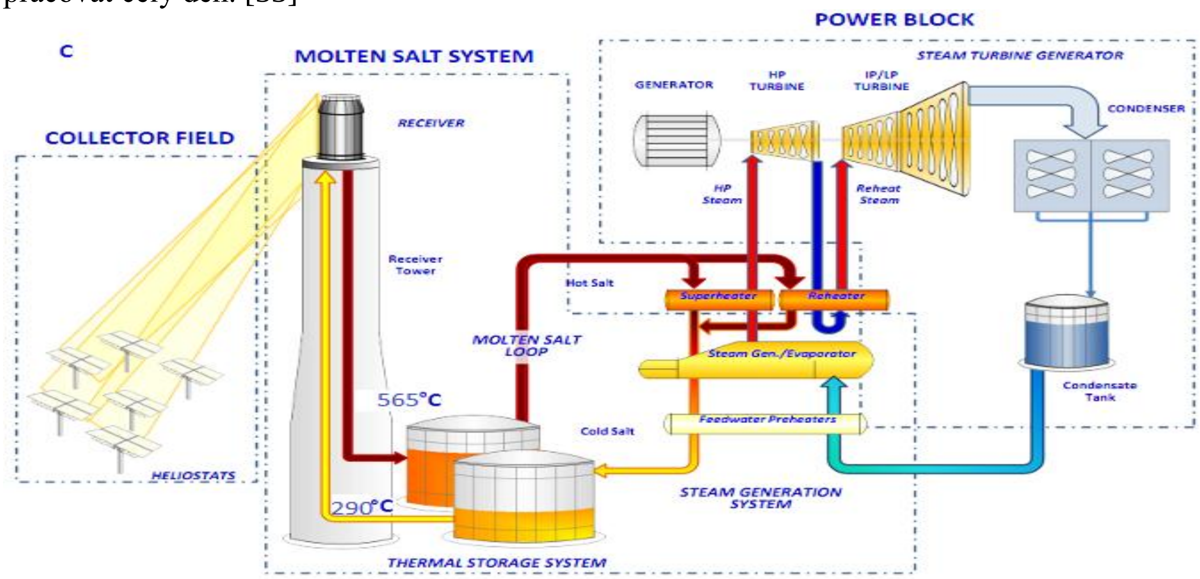
Tento typ elektrárny využívá jako teplonosnou látku také vzduch, který je ale kompresorem stlačen na tlak kolem 15 barů. Absorbér je umístěn v průhledné a průsvitné kupoli, která ho odděluje od okolního prostředí. V absorbéru se stlačený vzduch zahřívá na vysoké teploty, které dosahují až 1100 °C. Takto zahřátý vzduch pohání plynovou turbínu, která je spojena s kompresorem a generátorem, který generuje elektrickou energii. Odpadní teplo z plynové turbíny putuje dále do parogenerátoru, kde produkuje páru pro pohon parní turbíny, ta je také připojena ke generátoru, který produkuje další elektrickou energii. Díky použití plynové turbíny dosahuje elektrárna vyšší účinnosti než v předchozím případě, přibližně o 20%. Další procesy jsou shodné s parním cyklem s přihříváním, který je popsán u varianty s objemovým přijímačem. Jedná se o klasický paroplynový cyklus, kde je vzduch zahříván pomocí obnovitelného slunečního záření, místo spalování neobnovitelného zemního plynu. [28]



Obrázek 39 Schéma solární věže s tlakovým přijímačem a paroplynovým cyklem [28]

4.3.3 Věže s roztavenou solí jako teplonosnou látkou

Tento typ elektrárny využívá jako teplonosnou látku roztavenou sůl, která je ohřívána v absorbéru, na který je soustředěno solární záření. V absorbéru se sůl zahřeje na teploty kolem 565 °C, dopraví se do teplého zásobníku, odkud je dále čerpána do systémů pro výrobu páry. Takto vyrobená pára pohání parní turbíny. Jedná se o klasický parní cyklus s přihříváním, který je popsán u systému s objemovým přijímačem. Poté co teplá roztavená sůl předá své teplo v systémech pro výrobu páry, se ochladí na teplotu kolem 290 °C a přečerpá se do studeného zásobníku, odkud je čerpána do absorbéru, kde se ohřeje. Díky tepelným zásobníkům je tento typ elektrárny schopen generovat elektrickou energii i v době kdy nesvítí Slunce a zároveň tepelnou energii ukládat když Slunce svítí dostatečně, proto je elektrárna schopna pracovat celý den. [33]



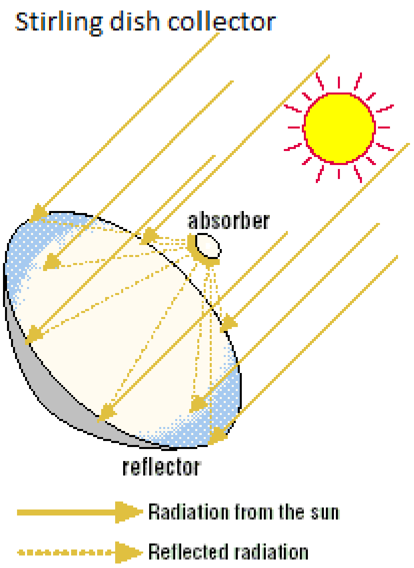
Obrázek 40 Schéma solárního systému s roztavenou solí [33]

4.3.4 Ekonomika solárních elektráren věžových systémů

Vzhledem k ekonomickým nákladům na výstavbu a provoz se nevyplatí stavět elektrárny s instalovaným výkonem pod 10 MW, protože pokud by byl její výkon menší, její provoz je obvykle neekonomický. Z ekonomického hlediska je ideální velikost systému, která má instalovaný výkon mezi 50 až 200 MW. Ve světě se staví i elektrárny s větším výkonem, ale jedná se o více systémů, například největší solární elektrárna Ivanpah má instalovaný výkon 392 MW, který dosahují 3 systémy, Ivanpah 1 má instalovaný výkon 126 MW a Ivanpah 2 a Ivanpah 3 mají instalovaný výkon 133 MW. [1, 28]

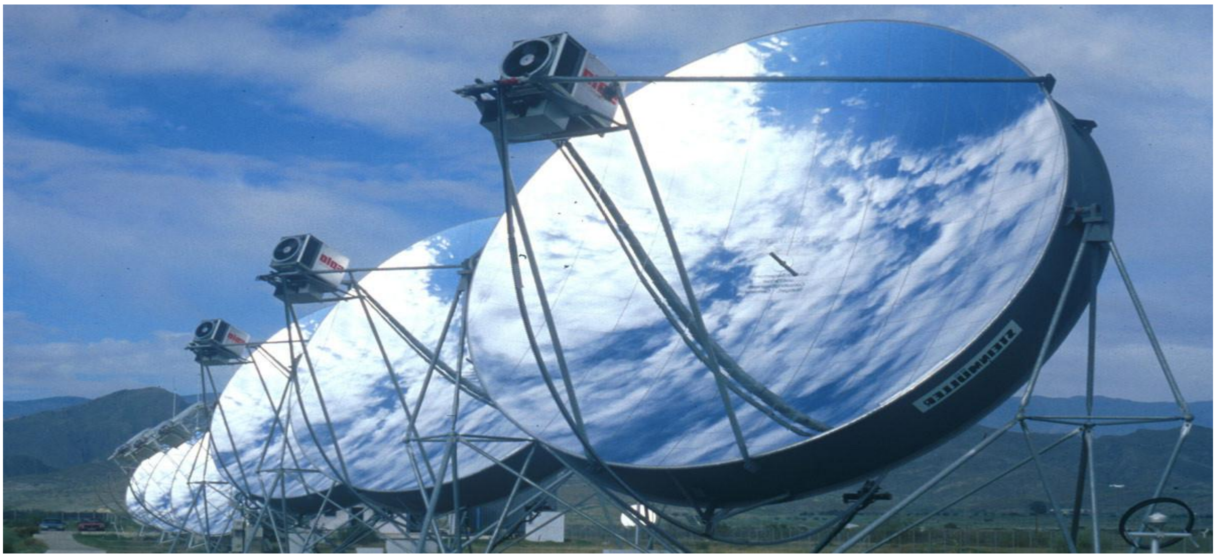
4.4 Elektrárny s talířovitými kolektory (stirling systémy)

Tento typ elektrárny dokáže pracovat pouze s přímým slunečním zářením. Skládá se z kolektoru, který je talířovitého tvaru, stirlingova motoru, generátoru, naváděcího zařízení a vlastní konstrukce. U tohoto typu je také důležité přesné natočení na Slunce, talířovitý kolektor poté koncentruje záření do absorbéru jak je vidět na obrázku 41.



Obrázek 41 Schéma odrážení paprsků u talířovitého kolektoru [28]

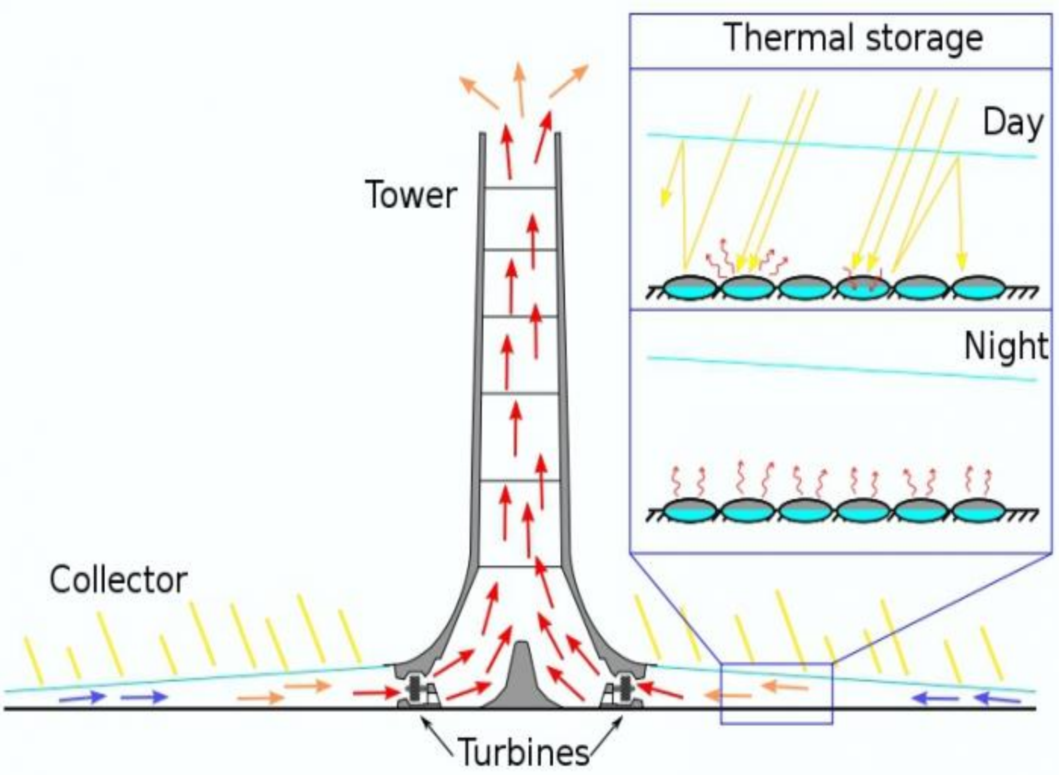
Teplo, které je absorbované v absorbéru, je využito pro pohon stirlingova motoru, ten přeměňuje tepelnou energii na energii mechanickou. Tato mechanická energie pohání generátor, který je k stirlingově motoru připojen. Účinnost tohoto systému může dosahovat více než 20%. Některé prototypy tohoto systému byly v několika zemích úspěšně otestovány, nicméně výroba elektřiny tímto systémem byla příliš drahá oproti žlabům nebo heliostatům s věží. Finanční náklady na tento systém může snížit pouze sériová výroba, která zatím neexistuje.



Obrázek 42 Talířové kolektory se stirlingovým motorem [34]

4.5 Elektrárny komínové

Tento typ jako jediný dokáže pracovat s přímým i difúzním slunečním zářením. Jeho hlavní částí je vysoký komín, který může dosahovat výšek až 1000 metrů. Komín je obklopen velkou střechou, která může mít v průměru i 130 metrů a funguje jako kolektor. Střecha je šikmá, tak že při cestě ke středu komína narůstá její výška a tvoří tak trychtýřovitý tvar. Dále jsou pod střechou vzduchové turbíny. Elektrárna funguje tak, že slunce ohřeje půdu a vzduch pod střechou, ohřátý vzduch stoupá vzhůru podél střechy, až ke komínu, kde proud vzduchu dosahuje vysokých rychlostí. Do proudu vzduchu se postaví větrná turbína, která generuje elektrickou energii. Zahřátá půda zároveň funguje jako akumulátor tepelné energie a je schopna zahřívat vzduch značnou dobu po západu Slunce. Účinnost tohoto systému je menší než 2% a závisí na výšce komína. Z ekonomického hlediska se dají tyto elektrárny postavit pouze na velice levném pozemku nebo na pozemku, který je zdarma. Tyto oblasti se nacházejí většinou v pouštích. Výroba elektrické energie není jedinou funkcí tohoto systému, plocha pod kolektorovou střechou se dá využít jako skleník pro pěstování zemědělských plodin.



Obrázek 43 Schéma komínové solární elektrárny [35]

4.6 Využití pro energetiku

Fototermální elektrárny mají pro energetiku velký význam, protože fungují díky energii, která je obnovitelná a nemusí se tak spalovat nebo štěpit nerostné bohatství. Díky systémům skladování tepelné energii lze tyto elektrárny vyžívat i pro stálé zatížení stejně jako běžné tepelné elektrárny. Bohužel tyto elektrárny z ekonomických nebo technických důvodů nelze stavět kdekoliv na planetě, ale pouze ve vhodných lokalitách, kde je dostatečná intenzita slunečního záření na jednotku plochy a to minimálně 1800 kWh/m^2. Jedná se tedy o státy, které jsou položeny jižněji než Česká republika. [31]

5 Tepelné schéma pro okruh parní turbíny

Cílem těchto výpočtů je porovnat dvě různé varianty tepelných schémat.

5.1 Varianta 1

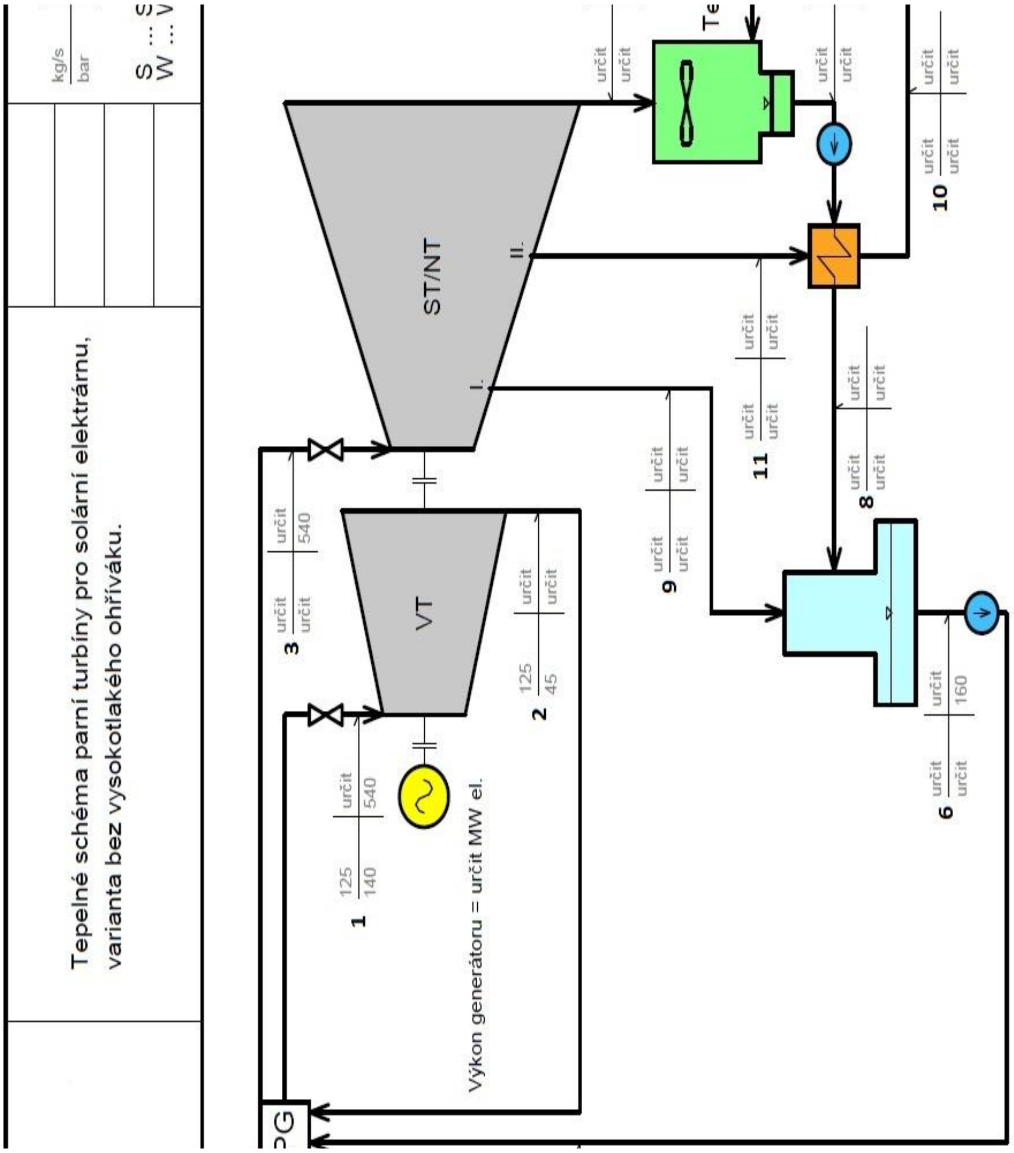
Cílem této kapitoly je vypočítat parametry zadaného tepelného schématu, vypočítat minimální průměry potrubí, výstupní plochu do kondenzátoru, účinnost, výkon na svorkách generátoru a heat rate.

5.1.1 Zadání varianty 1

Pro výpočet tepelných schémat, jsou zadány parametry:

- Tlak na vstupu do VT p_1 = 140 bar
- Teplota v na vstupu do VT t_1 = 540 °C
- Hmotnostní průtok na vstupu do VT m_1 = 125 kg/s
- Tlak na výstupu z VT p_2 = 45 bar
- Hmotnostní průtok na výstupu z VT p_2 = 125 kg/s
- Teplota na vstupu ST/NT t_3 = 540°C
- Teplota napájecí vody t_{nv} = 160 °C
- Teplota okolního vzduchu $t_{okolí}$ = 50°C
- Tlakové ztráty v parogenerátoru do VT $p_{ztráta\ VT}$ = 8%
- Tlakové ztráty v parogenerátoru do ST $p_{ztráta\ ST}$ = 6%
- Účinnost generátoru = 98%
- Tepelné schéma je vidět na obrázku 44.

Ostatní parametry vhodně zvolit.



Obrázek 44 Zadání tepelného schématu bez vysokotlakého ohříváku, varianta 1

5.1.2 Výpočty pro variantu 1

5.1.2.1 Výpočet parametrů pracovní látky:

Výpočet tepelného schématu proběhl v následujícím pořadí. Spodní indexy jsou voleny podle čísel u křížů, které jsou vidět na obrázku 44.

1) Vstup do VT

Zadaným parametrům odpovídá hodnota měrné entalpie h_1 = 3434,2 kJ/kg a hodnota měrné entropie s_1 = 6,532 kJ/kg*K

2) Výstup z VT

Vzhledem k uvažování dokonale těsné turbíny je hmotnostní průtok roven hmotnostnímu průtoku na vstupu, tedy $m_2 = m_1$ = 125 kg/s.
Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost vysokotlaké části turbíny zvolena η_{VT} = 89%. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám p_2 = 45 bar, $s_2 = s_1$ odpovídá h_{2is} = 3091,9 kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_1 a získáme entalpii na výstupu z VT části.
$h_2 = h_1 - \Delta h * \eta_{VT} = h_1 - (h_1 - h_{2is}) * \eta_{VT} = 3129{,}6\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_2 a h_2 odpovídá teplota t_2 = 369°C.

3) Vstup do ST/NT

Tlak p_3 odpovídá tlaku p_2 sníženým o tlakovou ztrátu v parogenerátoru, tedy
$p_3 = p_2 * p_{ztráta\ ST}$ = 42,3 bar. Teplota přihřátí je ze zadání t_3 = 540°C, těmto parametrům p_3 a t_3 odpovídá h_3 = 3535,1 kJ/kg. Vzhledem k tomu že v schématu nebyl doposud žádný odběr je $m_3 = m_2$ = 125 kg/s. Teplotě t3 a entalpii h3 odpovídá entropie s3 = 7,179 kJ/kg*K.

4) Výstup ze vzduchem chlazeného kondenzátoru.

Nejdříve je nutné určit teplotu, při níž probíhá kondenzace páry, tedy teplotu t_k. K tomu je nutné znát teplotu okolního vzduchu ($t_{okolí}$), ohřátí chladícího vzduchu ($t_{ohřátí}$) a koncový teplotní rozdíl (δ_{tk}). Koncový teplotní rozdíl byl zvolen δ_{tk} = 8°C. Ohřátí chladícího vzduchu bylo zvoleno $t_{ohřátí}$ = 5°C. Teplotu kondenzace získáme z následujícího vztahu:
$t_k = t_{okolí} + t_{ohřátí} + \delta_{tk}$ = 63°C = t_4. Teplotě t4 odpovídá tlak na mezi sytosti p_4 = 0,23 bar. Teplotě t_4 a tlaku p_4 odpovídá hodnota entalpie h_4 = 263,7 kJ/kg.

5) Výstup z ST/NT části turbíny

Tlak p_5 odpovídá tlaku p_4 s navýšením o tlakové ztráty v kondenzátoru (Δp). Rychlost výstupu do kondenzátoru byla zvolena c = 100 m/s. Koeficient tlakové ztráty byl zvolen ρ = 0,08. Tlakové ztráty v kondenzátoru lze určit pomocí následujícího vztahu: $\Delta p = \rho(\frac{c}{100})^2 * p_k = 0{,}018\ bar$. Tlak $p_5 = p_4 + \Delta p$ = 0,25 bar. Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost středo/nízkotlaké části turbíny zvolena $\eta_{ST/NT}$ = 90%. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám p_5 = 0,25 bar, $s_3 = s_5$ odpovídá h_{5is} = 2395,8 kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_3 a získáme entalpii na výstupu z ST/NT části. $h_5 = h_3 - \Delta h * \eta_{VT} = h_3 - (h_3 - h_{5is}) * \eta_{ST/NT} = 2509\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_5 a h_5 odpovídá teplota t_5 = 64,7°C.

6) Výstup z odplyňováku

Teplota napájecí vody je podle zadání $t_{nv} = t_6 = 160°C$. Tomu odpovídá tlak na mezi sytosti $p_6 = 6{,}2$ bar. Teplotě t_6 a tlaku p_6 odpovídá entalpie $h_6 = 675{,}6$ kJ/kg. V odplyňováku se sbíhají všechny větve a tím musí být hmotnostní průtok stejný jako na vstupu do ST/NT tedy $m_6 = 125$ kg/s

7) Parametry za napájecím čerpadlem

Díky tlakovým ztrátám v parogenerátoru $p_{ztráta\ VT} = 8\%$, musí napájecí čerpadlo vyvinout vyšší tlak právě o 8% než je na vstupu do VT. Tlak za napájecím čerpadlem je tedy $p_7 = p_1 / p_{ztráta\ VT} = 151{,}2$ bar. Teplota i hmotnostní průtok zůstávají stejné jako na výstupu z odplyňováku, $t_7 = 160°C$, $m_7 = 125$ kg/s. Hodnotám p_7 a t_7 odpovídá hodnota entalpie $h_7 = 684{,}2$ kJ/kg.

8) Parametry po ohřátí v nízkotlakém ohříváku (NTO)

Teplota ohřátí v NTO byla zvolena $t_{ohřátí} = 47°C$. Teplota za NTO $t_8 = t_4 + t_{ohřátí} = 110°C$. Vzhledem ke správné funkci cyklu je nutné aby kondenzátní čerpadlo zvýšilo tlak na hodnotu, která je rovna tlaku v odplynění, $p_8 = p_6 = 6{,}2$ bar. Tlakové ztráty v NTO a vodním potrubí jsou zanedbány. Hodnotám p_8 a t_8 odpovídá hodnota $h_8 = 461{,}7$ kJ/kg.

9) Parametry prvního odběru pro funkci odplyňováku

Tlak odběru z turbíny odpovídá tlaku v odplyňováku navýšeného o tlakové ztráty v parním potrubí. Tlaková ztráta v parním potrubí turbína-odplyňovák byla zvolena $\Delta p_{odplyňovák} = 10\%$.
Tlak $p_9 = p_6 * 1{,}1 = 6{,}8$ bar. Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost středo/nízkotlaké části turbíny zvolena $\eta_{ST/NT} = 90\%$. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám $p_9 = 6{,}8$ bar, $s_3 = s_9$ odpovídá $h_{9is} = 2985{,}5$ kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_3 a získáme entalpii na prvním odběru z ST/NT části. $h_9 = h_3 - \Delta h * \eta_{VT} = h_3 - (h_3 - h_{9is}) * \eta_{\frac{ST}{NT}} = 3040{,}4\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_9 a h_9 odpovídá teplota $t_9 = 290{,}7°C$.

10) Parametry za NTO na parní straně

Teplota odpovídá teplotě vody za NTO na vodní straně navýšenou o koncový teplotní rozdíl δ_{NTO}. Koncový teplotní rozdíl byl zvolen $\delta_{NTO} = 4°C$. Teplota $t_{10} = t_8 + \delta_{NTO} = 114°C$. Této teplotě odpovídá tlak na mezi sytosti $p_{10} = 1{,}6$ bar. Hodnotám p_{10} a t_{10} odpovídá hodnota entalpie $h_{10} = 478{,}3$ kJ/kg.

11) Parametry na druhém odběru z turbíny

Tlak odběru z turbíny odpovídá tlaku za NTO p_{10} navýšeného o tlakové ztráty v parním potrubí. Tlaková ztráta v parním potrubí turbína-NTO byla zvolena $\Delta p_{NTO} = 6\%$.
Tlak $p_{11} = p_{10} * 1{,}06 = 1{,}7$ bar. Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost středo/nízkotlaké části turbíny zvolena $\eta_{ST/NT} = 90\%$. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám $p_{11} = 1{,}7$ bar, $s_3 = s_{11}$ odpovídá $h_{11is} = 2701{,}8$ kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením

účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_3 a získáme entalpii na druhém odběru z ST/NT části. $h_{11} = h_3 - \Delta h * \eta_{VT} = h_3 - (h_3 - h_{11is}) * \eta_{\frac{ST}{NT}} = 2785{,}1\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_{11} a h_{11} odpovídá teplota t_{11} = 156,8°C.

12) Určení hmotnostních průtoků

Díky znalosti většiny parametrů oběhu jsme schopni určit poměr velikosti odběrů pomocí rovnic. Účinnost odplyňováku a NTO byla zvolena $\eta_{odplyňovák} = \eta_{NTO}$ = 99%

- Rovnice pro odplyňovák, kde Y = hledané poměrové množství

$Y*(h_9-h_6)*\eta_{odplyňovák} = (1-Y)*(h_6-h_8)$ => Y = 0,0837

Hmotnostní průtok páry, která proudí do odplyňováku $m_9 = m_3*Y$ = 10,5 kg/s.

- Rovnice pro NTO, kde Z = hledané poměrové množství

$Z*(h_{11}-h_{10})*\eta_{NTO} = (1-Y)*(h_8-h_4)$ => Z = 0,1109

Hmotnostní průtok páry, která proudí do NTO $m_{11} = m_3*Z$ = 13,9 kg/s. Vzhledem k nulovým únikům pracovní látky v NTO je hodnota hmotnostního průtoku před ním a za ním stejná, $m_{11} = m_{10}$.

Hmotnostní průtok na výstupu z turbíny je roven rozdílu hmotnostního průtoku na vstupu a hmotnostního průtoku na odběrech, $m_5 = m_3 - m_{11} - m_9$ = 100,6 kg/s.

Hmotnostní průtok na výstupu z kondenzátoru je roven součtu hmotnostních průtoků na výstupu z turbíny a na druhém odběru. Zároveň je tento průtok roven průtoku, mezi NTO a odplyňovákem, $m_4 = m_8 = m_{10} + m_5$= 114,5 kg/s.

5.1.2.2 Výpočet minimálního průměru potrubí a výstupní plochy

Pokud známe rychlost proudu v potrubí (c), hmotnostní průtok (m) a měrný objem (v) je možné vypočítat průtočný průřez (A). Z průtočného průřezu lze vypočítat průměr potrubí (d). Při znalosti tlaku a entalpie je možné z parních tabulek určit hodnotu měrného objemu. Rychlost proudu závisí na několika parametrech. Průměrné hodnoty se pohybují:

- 100 m/s na výstupu do kondenzátoru
- 50 m/s v parním potrubí
- 1,5 m/s ve vodním potrubí

Vztah pro výpočet průtočného průřezu: $\boldsymbol{A = \frac{v*m}{c}}$

Vztah pro výpočet průměru: $\boldsymbol{d = \sqrt{\frac{4*A}{\pi}}}$

Pomocí výše uvedených vztahů je možné vypočítat výstupní plochy a průměry potrubí, které jsou uvedeny v kapitole Výsledky.

5.1.2.3 *Výpočet výkonu na svorkách generátoru a heat rate*

Měrná práce, kterou turbína páře odebrala je rovna rozdílu měrných entalpií. Pokud bude rozdíl měrných entalpií vynásoben hmotnostním průtokem, vyjde mechanický výkon turbíny.

- Mechanický výkon VT dílu

$P_{VT} = m_1*(h_1-h_2) = 38{,}076$ MW

- Mechanický výkon na ST/NT dílu

Díky existenci regeneračních odběrů je nutné počítat s touto odebranou párou, která v turbíně nevykoná práci.

$P_{ST/NT} = m_3*(h_3-h_9)+(m_3-m_9)*(h_9-h_{11})+(m_3-m_9-m_{11})*(h_{11}-h_5) = 118{,}797$ MW

- Výkon na svorkách generátoru

Výkon, který naměříme na svorkách generátoru je roven součtu mechanických výkonů turbíny násobené účinností generátoru. Účinnost generátoru byla vzhledem k reálným generátorům zvolena $\eta_{generátor}$= 98%

$P_{generátor} = (P_{VT} + P_{ST/NT})* \eta_{generátor} = 153{,}73\ MW_{elektrických}$

- Heat rate

Heat rate je převrácená hodnota účinnosti, tedy HR = $\frac{\textit{přivedený tepelný výkon}}{\textit{výkon na svorkách generátoru}} = \frac{\text{Ppřivedený}}{\text{Pgenerátor}}$

Přivedený tepelný výkon se získá z rozdílu entalpií, který bude násoben hmotnostním průtokem. Tepelný výkon se přivádí v parogenerátoru.

$P_{přivedený} = m_1*(h_1-h_7)+m_2*(h_3-h_2) = 394{,}437\ MW_{tepelných}$

HR = $\frac{\text{Ppřivedený}}{\text{Pgenerátor}} * 3{,}6 = 9236{,}812$ kJ/kWh

5.1.3 Výsledky variant 1

- Výsledné hodnoty pracovní látky jsou vidět na obrázku 45

- Minimální průměry parního potrubí:

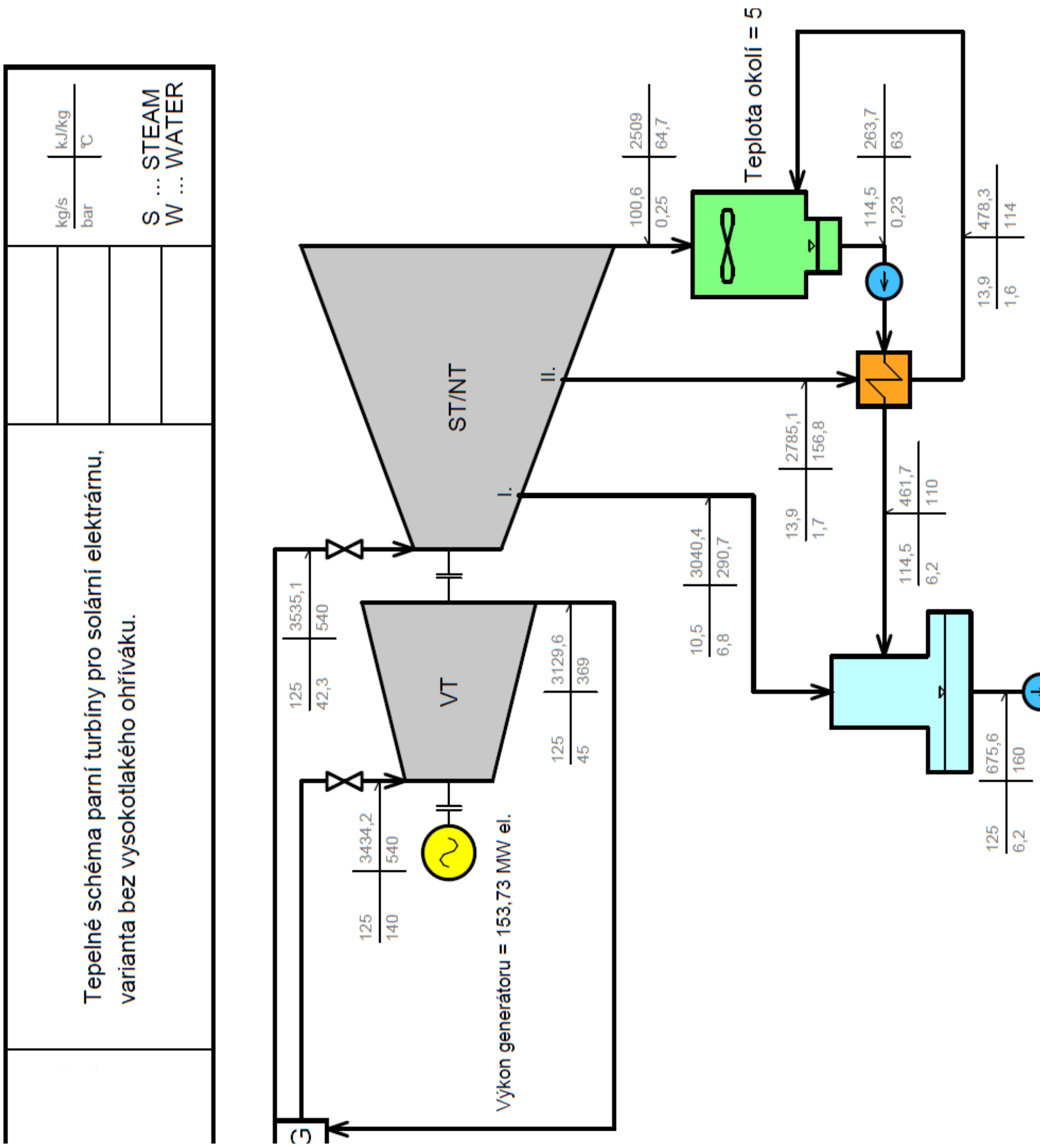
1) Zavádění VT páry: 278,3 mm
2) Odvod z VT části do parogenerátoru: 440,2 mm
3) Zavádění ST páry: 524,3 mm
4) Odběr do odplyňováku: 316,5 mm
5) Odběr do NTO: 631,2 mm

- Velikost výstupní plochy do kondenzátoru: 6,02 m^2

- Minimální průměry vodního potrubí:

1) Kondenzátor-NTO: 314,7 mm
2) NTO-Kondenzátor: 111,5 mm
3) NTO-odplyňovák: 319,7 mm
4) Odplyňovák-parogenerátor: 342 mm

- Heat rate: 9236,812 kJ/kWh
- Účinnost: 38,9 %
- Přivedený tepelný výkon: 394,44 MW
- Výkon na svorkách generátoru: 153,73 MW



Obrázek 45 Výsledné hodnoty pracovní látky pro variantu 1

5.2 Varianta 2

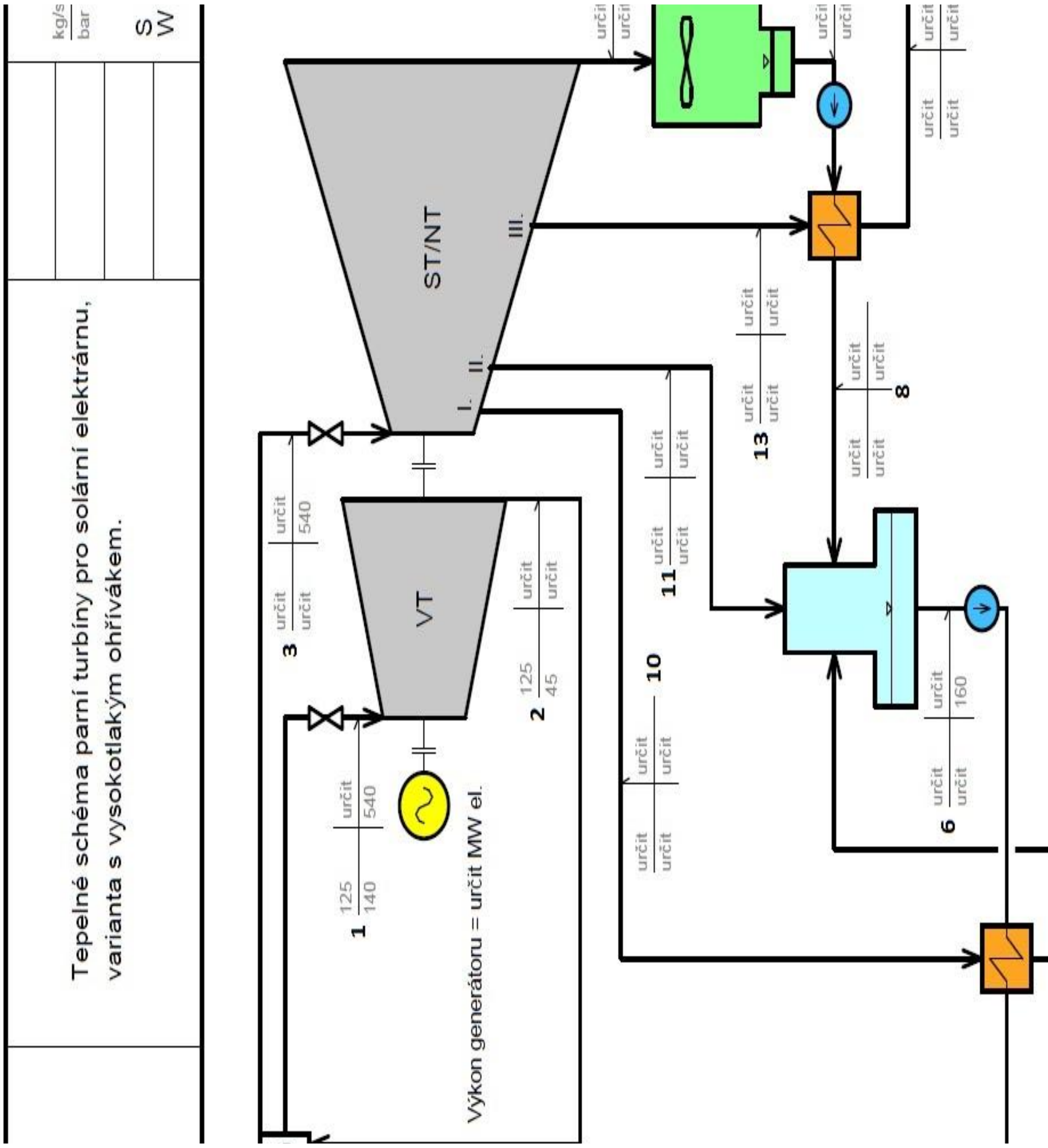
Cílem této kapitoly je vypočítat parametry zadaného tepelného schématu, vypočítat minimální průměry potrubí, výstupní plochu do kondenzátoru, účinnost, výkon na svorkách generátoru a heat rate.

5.2.1 Zadání varianty 2

Pro výpočet tepelných schémat, jsou zadány parametry:

- Tlak na vstupu do VT p_1 = 140 bar
- Teplota v na vstupu do VT t_1 = 540 °C
- Hmotnostní průtok na vstupu do VT m_1 = 125 kg/s
- Tlak na výstupu z VT p_2 = 45 bar
- Hmotnostní průtok na výstupu z VT p_2 = 125 kg/s
- Teplota na vstupu ST/NT t_3 = 540°C
- Teplota napájecí vody t_{nv} = 190 °C
- Teplota odplynění $t_{odplynění}$ = 160°C
- Teplota okolního vzduchu $t_{okolí}$ = 50°C
- Tlakové ztráty v parogenerátoru do VT $p_{ztráta\ VT}$ = 8%
- Tlakové ztráty v parogenerátoru do ST $p_{ztráta\ ST}$ = 6%
- Účinnost generátoru = 98%
- Tepelné schéma je vidět na obrázku 46

Ostatní parametry vhodně zvolit.



Obrázek 46 Zadání tepelného schématu s vysokotlakým ohřívákem, varianta 2

5.2.2 Výpočty pro variantu 2

5.2.2.1 Výpočet parametrů pracovní látky:

Výpočet tepelného schématu proběhl v následujícím pořadí. Spodní indexy jsou voleny podle čísel u křížů, které jsou na obrázku 46.

1) Vstup do VT

Zadaným parametrům odpovídá hodnota měrné entalpie h_1 = 3434,2 kJ/kg a hodnota měrné entropie s_1 = 6,532 kJ/kg*K

2) Výstup z VT

Vzhledem k uvažování dokonale těsné turbíny je hmotnostní průtok roven hmotnostnímu průtoku na vstupu, tedy $m_2 = m_1$ = 125 kg/s.
Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost vysokotlaké části turbíny zvolena η_{VT} = 89%. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám p_2 = 45 bar, $s_2 = s_1$ odpovídá h_{2is} = 3091,9 kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_1 a získáme entalpii na výstupu z VT části.
$h_2 = h_1 - \Delta h * \eta_{VT} = h_1 - (h_1 - h_{2is}) * \eta_{VT} = 3129{,}6\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_2 a h_2 odpovídá teplota t_2 = 369°C.

3) Vstup do ST/NT

Tlak p_3 odpovídá tlaku p_2 sníženým o tlakovou ztrátu v parogenerátoru, tedy
$p_3 = p_2 * p_{ztráta\ ST}$ = 42,3 bar. Teplota přihřátí je ze zadání t_3 = 540°C, těmto parametrům p_3 a t_3 odpovídá h_3 = 3535,1 kJ/kg. Vzhledem k tomu že v schématu doposud nebyl žádný odběr je $m_3 = m_2$ = 125 kg/s. Teplotě t3 a entalpii h3 odpovídá entropie s3 = 7,179 kJ/kg*K.

4) Výstup ze vzduchem chlazeného kondenzátoru.

Nejdříve je nutné určit teplotu, při níž probíhá kondenzace páry, tedy teplotu t_k. K tomu je nutné znát teplotu okolního vzduchu ($t_{okolí}$), ohřátí chladícího vzduchu ($t_{ohřátí}$) a koncový teplotní rozdíl (δ_{tk}). Koncový teplotní rozdíl byl zvolen δ_{tk} = 8°C. Ohřátí chladícího vzduchu bylo zvoleno $t_{ohřátí}$ = 5°C. Teplotu kondenzace získáme z následujícího vztahu:
$t_k = t_{okolí} + t_{ohřátí} + \delta_{tk}$ = 63°C = t_4. Teplotě t4 odpovídá tlak na mezi sytosti p_4 = 0,23 bar. Teplotě t_4 a tlaku p_4 odpovídá hodnota entalpie h_4 = 263,7 kJ/kg.

5) Výstup z ST/NT části turbíny

Tlak p_5 odpovídá tlaku t_4 s navýšením o tlakové ztráty v kondenzátoru (Δp). Rychlost výstupu do kondenzátoru byla zvolena c = 100 m/s. Koeficient tlakové ztráty byl zvolen ρ = 0,08. Tlakové ztráty v kondenzátoru lze určit pomocí následujícího vztahu: $\Delta p = \rho(\frac{c}{100})^2 * p_k = 0{,}018\ bar$. Tlak $pt_5 = p_4 + \Delta p$ = 0,25 bar. Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost středo/nízkotlaké části turbíny zvolena $\eta_{ST/NT}$ = 90%. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám p_5 = 0,25 bar, $s_3 = s_5$ odpovídá h_{5is} = 2395,8 kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_3 a získáme entalpii na výstupu z ST/NT části. $h_5 = h_3 - \Delta h * \eta_{VT} = h_3 - (h_3 - h_{5is}) * \eta_{ST/NT} = 2509\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_5 a h_5 odpovídá teplota t_5 = 64,7°C.

6) Výstup z odplyňováku

Teplota odplynění je podle zadání $t_{odplynění} = t_6 = 160°C$. Tomu odpovídá tlak na mezi sytosti $p_6 = 6{,}18$ bar. Teplotě t_6 a tlaku p_6 odpovídá entalpie $h_6 = 675{,}6$ kJ/kg. V odplyňováku se sbíhají všechny větve a tím musí být hmotnostní průtok stejný jako na vstupu do ST/NT tedy $m_6 = 125$ kg/s

7) Parametry za napájecím čerpadlem

Díky tlakovým ztrátám v parogenerátoru $p_{ztráta\ VT} = 8\%$, musí napájecí čerpadlo vyvinout vyšší tlak právě o 8% než je na vstupu do VT. Tlak za napájecím čerpadlem je tedy $p_7=p_1/\ p_{ztráta\ VT} = 151{,}2$ bar. Hmotnostní průtok zůstává stejný jako na výstupu z odplyňováku, $m_7 = 125$ kg/s. Teplota napájecí vody je ze zadání $t_{NV} = t_7 = 190°C$.Hodnotám p_7 a t_7 odpovídá hodnota entalpie $h_7 = 814{,}2$ kJ/kg.

8) Parametry po ohřátí v nízkotlakém ohříváku (NTO)

Teplota ohřátí v NTO byla zvolena $t_{ohřátí} = 47°C$. Teplota za NTO $t_8 = t_4+t_{ohřátí} = 110°C$. Vzhledem ke správné funkci cyklu je nutné aby kondenzátní čerpadlo zvýšilo tlak na hodnotu, která je rovna tlaku v odplynění, $p_8 = p_6 = 6{,}18$ bar. Tlakové ztráty v NTO a vodním potrubí jsou zanedbány. Hodnotám p_8 a t_8 odpovídá hodnota $h_8 = 461{,}7$ kJ/kg.

9) Parametry za vysokotlakým ohřívákem (VTO) na parní straně

Teplota odpovídá teplotě vody za VTO na vodní straně navýšenou o koncový teplotní rozdíl δ_{VTO}. Koncový teplotní rozdíl byl zvolen $\delta_{NTO} = 5°C$. Teplota $t_9 = t_7+ \delta_{VTO} = 195°C$. Této teplotě odpovídá tlak na mezi sytosti $p_9 = 14$ bar. Hodnotám p_9 a t_9 odpovídá hodnota entalpie $h_9 = 829{,}9$ kJ/kg.

10) Parametry prvního odběru pro funkci VTO

Tlak odběru z turbíny odpovídá tlaku za VTO p_9 navýšeného o tlakové ztráty v parním potrubí. Tlaková ztráta v parním potrubí turbína-VTO byla zvolena $\Delta p_{NTO} = 10\%$.
Tlak $p_{10} = p_9 * 1{,}10 = 15{,}4$ bar. Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost středo/nízkotlaké části turbíny zvolena $\eta_{ST/NT} = 90\%$. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám $p_{10} = 15{,}4$ bar, $s_3 = s_{10}$ odpovídá $h_{10is} = 3203{,}5$ kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_3 a získáme entalpii na prvním odběru z ST/NT části. $h_{10} = h_3 - \Delta h * \eta_{\frac{ST}{NT}} = h_3 - (h_3 - h_{11is}) * \eta_{\frac{ST}{NT}} = 3236{,}7\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_{10} a h_{10} odpovídá teplota $t_{10} = 391{,}2°C$.

11) Parametry druhého odběru pro funkci odplyňováku

Tlak odběru z turbíny odpovídá tlaku v odplyňováku navýšeného o tlakové ztráty v parním potrubí. Tlaková ztráta v parním potrubí turbína-odplyňovák byla zvolena $\Delta p_{odplyňovák} = 10\%$.
Tlak $p_{11} = p_6 * 1{,}1 = 6{,}8$ bar. Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost středo/nízkotlaké části turbíny zvolena $\eta_{ST/NT} = 90\%$. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám $p_{11} = 6{,}8$ bar, $s_3 = s_{11}$ odpovídá $h_{11is} = 2985{,}5$ kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením

účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_3 a získáme entalpii na prvním odběru z ST/NT části. $h_{11} = h_3 - \Delta h * \eta_{VT} = h_3 - (h_3 - h_{11is}) * \eta_{\frac{ST}{NT}} = 3040{,}4\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_{11} a h_{11} odpovídá teplota t_{11} = 290,7°C.

12) Parametry za NTO na parní straně

Teplota odpovídá teplotě vody za NTO na vodní straně navýšené o koncový teplotní rozdíl δ_{NTO}. Koncový teplotní rozdíl byl zvolen δ_{NTO} = 4°C. Teplota $t_{12} = t_8 + \delta_{NTO}$ = 114°C. Této teplotě odpovídá tlak na mezi sytosti p_{12} = 1,6 bar. Hodnotám p_{12} a t_{12} odpovídá hodnota entalpie h_{12} = 478,3 kJ/kg.

13) Parametry na třetím odběru z turbíny

Tlak odběru z turbíny odpovídá tlaku za NTO p_{12} navýšeného o tlakové ztráty v parním potrubí. Tlaková ztráta v parním potrubí turbína-NTO byla zvolena Δp_{NTO} = 6%.
Tlak $p_{13} = p_{12}$* 1,06 = 1,7 bar. Vzhledem k realizovaným strojům byla tepelná účinnost středo/nízkotlaké části turbíny zvolena $\eta_{ST/NT}$ = 90%. V ideální turbíně pára expanduje izoentropicky. Těmto ideálním podmínkám p_{13} = 1,7 bar, $s_3 = s_{13}$ odpovídá h_{13is} = 2701,8 kJ/kg. Hodnotu výstupní entalpie s uvažováním účinnosti stroje, získáme z rozdílu entalpií a násobením účinnosti. Tuto hodnotu odečteme od původní h_3 a získáme entalpii na druhém odběru z ST/NT části. $h_{13} = h_3 - \Delta h * \eta_{ST/NT} = h_3 - (h_3 - h_{13is}) * \eta_{ST/NT} = 2785{,}1\ kJ/kg$
Podmínkám na výstupu p_{13} a h_{13} odpovídá teplota t_{13} = 156,8°C.

14) Určení hmotnostních průtoků

Díky znalosti většiny parametrů oběhu jsem schopni určit poměr velikosti odběrů pomocí rovnic. Účinnost VTO, odplyňováku a NTO byla zvolena η_{VTO} = 98%, $\eta_{odplyňovák} = \eta_{NTO}$ = 99%.

- Rovnice pro VTO kde X = hledané poměrové množství

X*(h10-h9)* η_{VTO} = h7-h6 => X = 0,0587572

Hmotnostní průtok páry, která proudí do VTO $m_{10} = m_3$*Z = 7,3 kg/s. Vzhledem k nulovým únikům pracovní látky v NTO je hodnota hmotnostního průtoku před ním a za ním stejná, $m_{10} = m_9$.

- Rovnice pro odplyňovák, kde Y = hledané poměrové množství

[Y*(h_{11}-h_6)+X*(h9-h6)]* $\eta_{odplyňovák}$ = (1-X-Y)*(h_6-h_8) => Y = 0,0752695

Hmotnostní průtok páry, která proudí do odplyňováku $m_{11} = m_3$*Y = 9,4 kg/s.

- Rovnice pro NTO, kde Z = hledané poměrové množství

Z*(h_{13}-h_{12})* η_{NTO} = (1-X-Y) * (h_8-h_4) => Z = 0,104882

Hmotnostní průtok páry, která proudí do NTO $m_{13} = m_3*Z = 13{,}1$ kg/s. Vzhledem k nulovým únikům pracovní látky v NTO je hodnota hmotnostního průtoku před ním a za ním stejná, $m_{13} = m_{12}$.

Hmotnostní průtok na výstupu z turbíny je roven rozdílu hmotnostního průtoků na vstupu a hmotnostních průtoků na odběrech, $m_5 = m_3 - m_{13} - m_{11} - m_{10} = 95{,}2$ kg/s.

Hmotnostní průtok na výstupu z kondenzátoru je roven součtu hmotnostních průtoků na výstupu z turbíny a na třetím odběru. Zároveň je tento průtok roven průtoku, mezi NTO a odplyňovákem, $m_4 = m_8 = m_{13} + m_5 = 108{,}3$ kg/s.

5.2.2.2 *Výpočet minimálního průměru potrubí a výstupní plochy*

Pokud známe rychlost proudu v potrubí (c), hmotnostní průtok (m) a měrný objem (v) je možné vypočítat průtočný průřez (A). Z průtočného průřezu lze vypočítat průměr potrubí (d). Při znalosti tlaku a entalpie je možné z parních tabulek určit hodnotu měrného objemu. Rychlost proudu závisí na několika parametrech. Průměrné hodnoty se pohybují:

- 100 m/s na výstupu do kondenzátoru
- 50 m/s v parním potrubí
- 1,5 m/s ve vodním potrubí

Vztah pro výpočet průtočného průřezu: $\boldsymbol{A = \frac{v*m}{c}}$

Vztah pro výpočet průměru: $\boldsymbol{d = \sqrt{\frac{4*A}{\pi}}}$

Pomocí výše uvedených vztahů je možné vypočítat výstupní plochy a průměry potrubí, které jsou uvedeny v kapitole Výsledky.

5.2.2.3 *Výpočet výkonu na svorkách generátoru a heat rate*

Měrná práce, kterou turbína páře odebrala je rovna rozdílu měrných entalpií. Pokud bude rozdíl měrných entalpií vynásoben hmotnostním průtokem, vyjde mechanický výkon turbíny.

- Mechanický výkon VT dílu

$P_{VT} = m_1*(h_1-h_2) = 38{,}076$ MW

- Mechanický výkon na ST/NT dílu

Díky existenci regeneračních odběrů je nutné počítat s touto odebranou párou, která v turbíně nevykoná práci.

$P_{ST/NT} = m_3*(h_3-h_{10})+(m_3-m_{10})*(h_{10}-h_{11})+(m_3-m_{10}-m_{11})*(h_{11}-h_{13})+m_5*(h_{13}-h_5) = 114{,}227$ MW

- Výkon na svorkách generátoru

Výkon, který naměříme na svorkách generátoru je roven součtu mechanických výkonů turbíny násobené s účinností generátoru. Účinnost generátoru byla vzhledem k reálným generátorům zvolena $\eta_{generátor}$= 98%

$P_{generátor} = (P_{VT} + P_{ST/NT})*\ \eta_{generátor}= 149{,}26\ MW_{elektrických}$

- Heat rate

Heat rate je převrácená hodnota účinnosti, tedy HR = $\frac{přivedený\ tepelný\ výkon}{výkon\ na\ svorkách\ generátoru} = \frac{\text{Ppřivedený}}{\text{Pgenerátor}}$

Přivedený tepelný výkon se získá z rozdílu entalpií, který bude násoben hmotnostním průtokem. Tepelný výkon se přivádí v parogenerátoru.

$P_{přivedený} = m_1*(h_1-h_7)+m_2*(h_3-h_2) = 378{,}1875\ MW_{tepelných}$

HR = $\frac{\text{Ppřivedený}}{\text{Pgenerátor}}$ *3,6= 9121,5 kJ/kWh

5.2.3 Výsledky variant 2

- Výsledné hodnoty pracovní látky jsou vidět na obrázku 47.

- Minimální průměry parního potrubí:

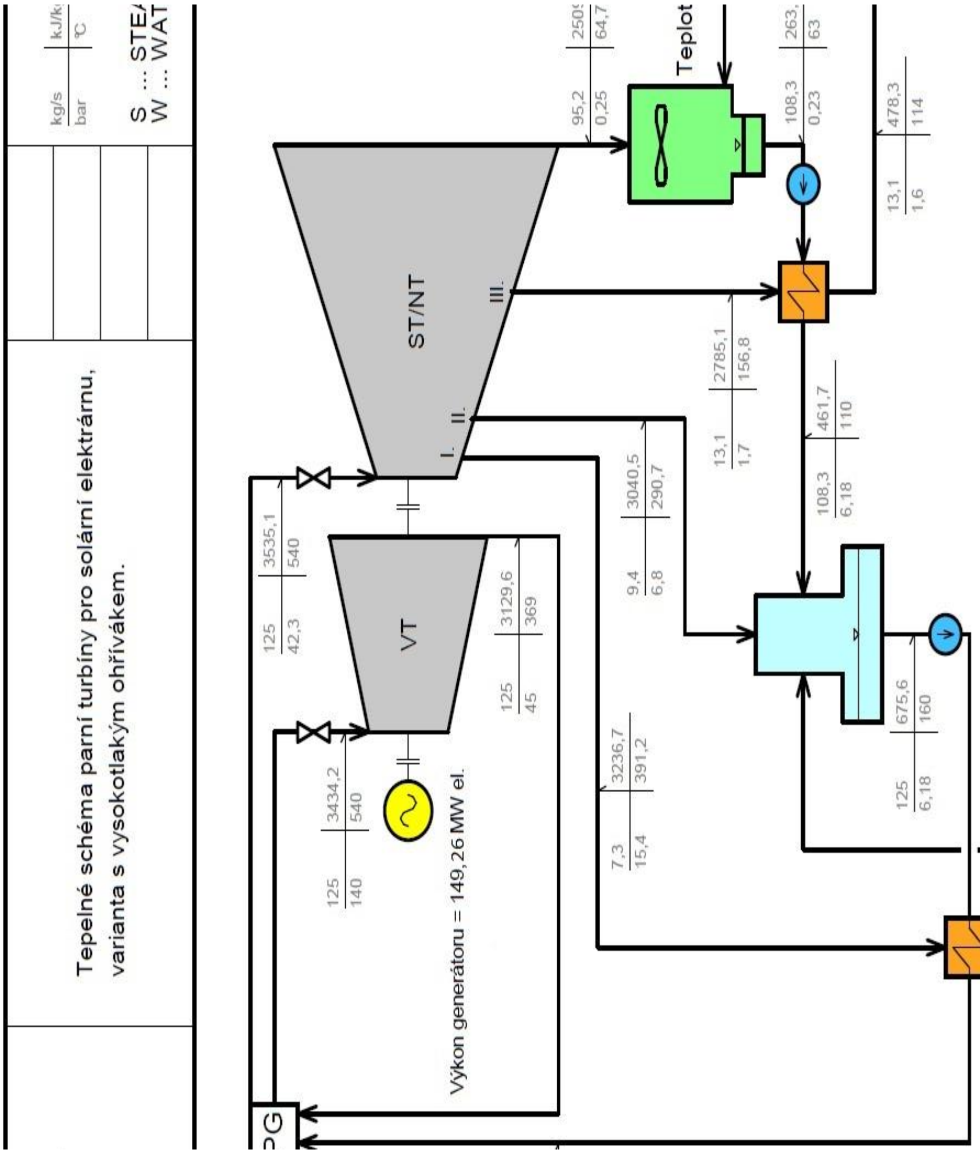
1) Zavádění VT páry: 278,3 mm
2) Odvod z VT části do parogenerátoru: 440,2 mm
3) Zavádění ST páry: 524,3 mm
4) Odběr do VTO: 191 mm
5) Odběr do odplyňováku: 300 mm
6) Odběr do NTO: 613,6 mm

- Velikost výstupní plochy do kondenzátoru: 5,69 m^2

- Minimální průměry vodního potrubí:

1) Kondenzátor-NTO: 306 mm
2) NTO-Kondenzátor: 108,4 mm
3) NTO-odplyňovák: 311 mm
4) VTO-Odplyňovák: 85 mm
5) Odplyňovák-VTO: 342 mm
6) VTO-Parogenerátor: 346 mm

- Heat rate: 9121,5 kJ/kWh
- Účinnost: 39,4%
- Přivedený tepelný výkon: 378,2
- Výkon na svorkách generátoru: 149,26 MW



Obrázek 47 Výsledné hodnoty pracovní látky pro variantu 2

5.3 Porovnání obou variant

	Varianta 1	Varianta 2
Přivedený tepelný výkon [MW]	394,44	378,2
Výkon na svorkách generátoru [MW]	153,73	149,26
Účinnost cyklu [%]	38,97	39,46
Heat rate [kJ/kWh]	9236,812	9121,5
Výstupní plocha do kondenzátoru [m^2]	6,02	5,69

Tabulka 3 Porovnání tepelných schémat

6 Závěr

V bakalářské práci byla popsána problematika obvyklých obnovitelných zdrojů energie, které mají obrovský potenciál. Jejich možnosti využití jsou obrovské od malých ostrovních systémů, přes menší lokální zdroje, až po velké elektrárny. Pokud existují vhodné podmínky pro vybudování obnovitelného zdroje, měli by se tyto podmínky využít a daný zdroj vybudovat. Vhodné podmínky pro některé zdroje jsou velmi omezené a v některých případech narušují přírodní rovnováhu dané oblasti.

Největší potenciál z obnovitelných zdrojů připadá na sluneční záření, jeho intenzita, která dopadá na povrch Země, činí $1790*10^8$ MWt. Z drtivé většiny toto množství nejsme schopni využít. Nejsnadnější způsob využití této energie je pomocí přímé přeměny na tepelnou energii ve fototermálních kolektorech nebo na energii elektrickou pomocí fotovoltaického článku. Nejefektivnějším způsob přeměny solární energie na energii elektrickou je pomocí fototermální elektrárny, která využívá sofistikované zařízení, podobné jako mají tepelné elektrárny. S výhodou tak lze použít ověřené praxe v konstrukci parních turbín tak, aby byly vhodné i pro tyto specifické aplikace. Z těchto důvodů byl tepelný výpočet okruhu parní turbíny zvolen pro tento typ obnovitelného zdroje.

Byly napočteny okruhy parní turbíny s regenerací. V první variantě byl uvažován odplyňovák a jeden NTO. Ve druhé variantě následně zapojení s dodatečně přidaným VTO. Vzhledem k okrajovým podmínkám byla ve druhém případě uvažována teplota napájecí vody pro parogenerátor 190 stupňů Celsia. Teplota odplynění tak byla pro obě varianty zachována. Porovnání obou variant bylo pouze z hlediska energetické náročnosti oběhu (heat rate). Ekonomická studie nebyla předmětem této práce.

Po porovnání obou napočtených variant bylo zjištěno, že okruh s přidaným VTO ohřívákem je z hlediska heat rate cyklu úspornější. Pro zachování identického množství páry z parogenerátoru tak bude zapotřebí menší množství tepla, tedy nižší investice do zrcadel atd. Zároveň s tím však došlo k poklesu celkové vyrobené elektrické energie. Důvodem je přidaný odběr z turbíny, a tedy menší hmotností průtok páry stupni za tímto odběrem. Při dodržení dodávaného tepelného výkonu 394,44 MWt jako u varianty bez VTO by se zvýšil výkon na svorkách generátoru v cyklu s VTO o 6,41 MWe, to je o 1,94 MWe více než u varianty 1.

Z těchto úvah je patrné, že pokud bychom hledali cestu nejefektivnějšího využití tepla, byl by počet ohříváků v regenerační smyčce „nekonečný“. S tím by však docházelo ke snižování vyrobené elektrické energie (za předpokladu konstantního vstupního množství). Správnou cestou je tedy nalézt kompromis a volit takový počet NTO a VTO ohříváků, aby při dané kapacitě zdroje tepla, bylo vyrobeno požadované množství elektřiny.

Seznam použité literatury a informačních zdrojů

[1] https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana

[2] M. Libra, V. poulek, *Fotovoltaika, teorie I praxe využití solární energie*

[3] K. Brož, B. Šourek, *Alternativní zdroje energie*

[4] http://www.transformacni-technologie.cz/

[5] http://solargis.info/

[6] http://www.gopixpic.com/

[7] http://www.tv-adams.wz.cz/

[8] ČSN 75 0128

[9] http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vitr.php

[10] http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/jak-vznika-vitr/

[11] http://pajarouk.rajce.idnes.cz/Pchery_-_vetrna_elektrarna/#P1060172.JPG

[12] http://www.wind-systems.eu/vetrna-turbina-elektrarna-jpt-100.php

[13] http://cleantechnica.com/2014/01/28/largest-wind-turbine-world-ready-production/

[14] http://www.csve.cz/cz

[15] P. Mastný, J. Drápela, S. Mišák, J. Macháček, M. Ptáček, L. Radil, T. Bartošík, T. Pavelka, *Obnovitelné zdroje elektrické energie*

[16] http://www.ireceptar.cz/zahrada/uzitkova-zahrada/rychle-rostouci-dreviny-na-topeni-i/

[17] http://nd05.jxs.cz/238/602/ec56392cc9_86076183_o2.jpg

[18] http://hradec.idnes.cz/bioplynove-stanice-stavi-farmari-ve-velkem-fkz-/hradec-zpravy.aspx?c=A120407_1760915_hradec-zpravy_kvi [19]

[19] https://www.prirodovedci.cz/zeptejte-se-prirodovedcu/218

[20] http://nadrevo.blogspot.cz/2009/11/geotermalni-energie.html

[21] http://www.improntaunika.it/2014/02/energia-solare-finalmente-funzione-il-progetto-ivanpah/

[22] G. Lorenzini, C. Biserni, G. Flacco, solar thermal and biomass energy

[23] http://www.tzb-info.cz/

[24] http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni_materialy/aze/p2-solarni_kolektory.pdf

[25] http://www.penize.cz/bydleni/29387-topeni-uhlim-zdrazuje-ale-zatim-se-vyplati

[26] http://tn.nova.cz/clanek/zpravy/na-vasi-strane/za-kolik-se-da-sehnat-topne-uhli-velky-prehled-cen.html

[27] http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni.php

[28] http://www.volker-quaschning.de/articles/fundamentals2/index_e.php

[29] http://www.dlr.de/dlr/presse/en/desktopdefault.aspx/tabid-10309/472_read-2343/#/gallery/4361

[30] http://eon-energieplus.vevyrobe.cz/ekologicka-energie/slunecni-energie/elektrina-ze-slunce-fotovoltaika-a-solarne-termicke-elektrarny

[31] časopis energetika

[32] http://www.finetubes.co.uk/case-studies/gemasolar-the-worlds-first-commercial-solar-power-plant-which-can-generate/

[33] http://engineering.curiouscatblog.net/2010/12/18/molten-salt-solar-reactor-approved-by-california/

[34] http://www.sbp.de/

[35] http://www.solaripedia.com/

[36] http://www.solar-is-future.cz/

[37] http://www.ekobonus.cz/

[38] http://ekolist.cz/

[39] http://www.kulhavy.cz/

[40] http://www.stranypotapecske.cz/teorie/priliv-odliv.asp

[41] http://www.ekobydleni.eu/energie/new-york-vyuzije-energii-prilivu-k-vyrobe-elektriny

[42] http://www.ekostrazce.cz/texty/obnovitelne-zdroje

[43] J. Škopek, Parní trubína tepelný a pevnostní výpočet

[44] Andreas Henze, Werner Hillebrand, Elektrický proud ze slunce

[45] Haselhuhn, Ralf, Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu,

Seznam obrázků

Obrázek 1 Průchod záření atmosférou [4] ... 6
Obrázek 2 Solární mapa světa[2] ... 7
Obrázek 3 Solární mapa Evropy [5] ... 7
Obrázek 4 Solární mapa České Republiky [5] ... 8
Obrázek 5 Koloběh vody [6] ... 9
Obrázek 6 Schématický řez vodní elektrárnou [1] ... 10
Obrázek 7 Středotlaká, akumulační, vodní elektrárna Orlík[40] ... 12
Obrázek 8 Větrná mapa ČR, [4] ... 13
Obrázek 9 Větrná elektrárna s axiálním vstupem[10] ... 15
Obrázek 10 Řez strojovnou větrné elektrárny [14] ... 16
Obrázek 11 Vztlaková síla [14] ... 17
Obrázek 12 Výslednice [14] ... 17
Obrázek 13 Plantáž rychle rostoucích topolů [16] ... 18
Obrázek 14 Fermentor [18] ... 19
Obrázek 15 Největší a nejmenší přiliv[40] ... 21
Obrázek 16 Schématický řez přílivovou elektrárnou[42] ... 21
Obrázek 17 Místa na Zemi, kde je rozdíl hladin větší než 4 metry[1] ... 22
Obrázek 18 Přílivová turbína [41] ... 22
Obrázek 19 Složení Země [19] ... 23
Obrázek 20 Schéma geotermální elektrárny pro systém suché páry [20] ... 24
Obrázek 21 Schéma geotermální elektrárny pro systém mokré páry [20] ... 25
Obrázek 22 Schéma geotermální elektrárny pro binární systém [20] ... 25
Obrázek 23 Schéma funkce solárního panelu [36] ... 27
Obrázek 24 Fotovoltaické články [39] ... 28
Obrázek 25 Aplikace fotovoltaických článků na stanici ISS [1] ... 29
Obrázek 26 Nejvýkonnější fototermální elektrárna na světě Ivanpah [21] ... 30
Obrázek 27 Rozdělení solárních kolektorů [24] ... 32
Obrázek 28 Konstrukce solárního kolektoru [23] ... 33
Obrázek 29 Konstrukce teplovzdušného solárního kolektoru [24] ... 34
Obrázek 30 Příklad solárního vytápění [27] ... 35
Obrázek 31 Schéma odrážení u parabolického žlabového kolektoru [28] ... 36
Obrázek 32 Schéma fototermální elektrárny s parabolickými kolektory [28] ... 37
Obrázek 33 Parabolický solární koncentrující kolektor [29] ... 37
Obrázek 34 Schéma odrážení paprsků u Fresnelova kolektoru[28] ... 38
Obrázek 35 Fresnelovi koncentrující solární kolektory [30] ... 38
Obrázek 36 Fototermální elektrárna s heliostatickími kolektory [32] ... 39
Obrázek 37 Schéma odražení paprsků u heliostatických kolektorů [28] ... 39
Obrázek 38 Schéma solární věže s objemovým přijímačem [28] ... 40
Obrázek 39 Schéma solární věže s tlakovým přijímačem a paroplynovým cyklem [28] ... 41
Obrázek 40 Schéma solárního systému s roztavenou solí [33] ... 41
Obrázek 41 Schéma odrážení paprsků u talířovitého kolektoru [28] ... 42
Obrázek 42 Talířové kolektory se stirlingovým motorem [34] ... 42
Obrázek 43 Schéma komínové solární elektrárny [35] ... 43
Obrázek 44 Zadání tepelného schématu bez vysokotlakého ohříváku, varianta 1 ... 45
Obrázek 45 Výsledné hodnoty pracovní látky pro variantu 1 ... 51
Obrázek 46 Zadání tepelného schématu s vysokotlakým ohřívákem, varianta 2 ... 53
Obrázek 47 Výsledné hodnoty pracovní látky pro variantu 2 ... 60

Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry slunce [2] 5
Tabulka 2 Beaufortova stupnice síly větru [9] 14
Tabulka 3 Porovnání tepelných schémat 61