

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

**VÝROBA A ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. František Špulák

Autor: Jan Neruda

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi výroby elektrické energie při využití různých energetických zdrojů. Podrobněji se zde věnuji tepelným, jaderným, vodním, větrným a slunečním elektrárnám. U těchto elektráren popisuji princip výroby elektrické energie, možnosti jejich využití, výhody a nevýhody. Poté tyto elektrárny srovnávám z různých hledisek. Na závěr jsem se provedl měření s fotovoltaiickým článkem, kterým jsem chtěl zjistit závislost vyrobeného napětí na natočení článku ke zdroji světla.

## **Annotation**

This thesis deals with possibilities of electric power generation by using different energetic sources. I focus in detail on heat power plants, nuclear power plants, hydraulic power plants, wind power plants and solar energy power plants, where I describe the principle of electric power generation, possibilities of their utilization and their advantages and disadvantages. Then I compare these plants from different aspects. I also made measurements with the barrier-level photocell, by which I wanted to find out the dependence of produced voltage on the barrier-level photocell displacement to the light source.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma výroba a zdroje elektrické energie vypracoval samostatně, pouze s použitím uvedené literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

.....  
V Českých Budějovicích 24.4.2008

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu RNDr. Františku Špulákovi, za jeho ochotu, cenné rady a odborné vedení při vypracovávání této práce.

## **OBSAH:**

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Úvod .....</b>                                | <b>7</b>  |
| <b>2. Elektrárna a energetické zdroje .....</b>     | <b>8</b>  |
| <b>3. Tepelné elektrárny .....</b>                  | <b>9</b>  |
| 3.1 Hlavní části a princip výroby energie .....     | 9         |
| 3.2 Vyčištění spalin a odsíření .....               | 12        |
| 3.3 Řízení a regulace .....                         | 13        |
| 3.4 Moderní tepelná elektrárna .....                | 14        |
| 3.5 Výhody a nevýhody tepelných elektráren .....    | 15        |
| <b>4. Jaderné elektrárny .....</b>                  | <b>17</b> |
| 4.1 Druhy jaderných elektráren .....                | 17        |
| 4.2 Hlavní části a princip výroby energie .....     | 17        |
| 4.3 Jaderný reaktor .....                           | 20        |
| 4.3.1 Konstrukce jaderných reaktorů .....           | 21        |
| 4.3.2 Nejpoužívanější typy jaderných reaktorů ..... | 22        |
| 4.4 Výhody a nevýhody jaderných elektráren .....    | 24        |
| <b>5. Vodní elektrárny .....</b>                    | <b>26</b> |
| 5.1 Energie vody .....                              | 26        |
| 5.2 Hlavní části a princip výroby energie .....     | 27        |
| 5.3 Typy vodních elektráren .....                   | 28        |
| 5.4 Výhody a nevýhody vodních elektráren .....      | 32        |
| <b>6. Větrné elektrárny .....</b>                   | <b>34</b> |
| 6.1 Větrná energie .....                            | 34        |
| 6.2 Hlavní části a princip výroby energie .....     | 35        |
| 6.3 Typy větrných elektráren .....                  | 37        |
| 6.4 Budoucnost větrné energetiky v ČR .....         | 40        |
| 6.5 Výhody a nevýhody větrných elektráren .....     | 41        |
| <b>7. Sluneční elektrárny .....</b>                 | <b>42</b> |
| 7.1 Sluneční energie .....                          | 42        |
| 7.2 Solární kolektor .....                          | 43        |
| 7.3 Fotovoltaické články a panely .....             | 44        |
| 7.3.1 Fotovoltaické systémy .....                   | 45        |

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.3.2 Fotovoltaický článek z ekonomického hlediska .....   | 46        |
| 7.4 Typy slunečních elektráren .....                       | 47        |
| 7.5 Výhody a nevýhody slunečních elektráren .....          | 49        |
| <b>8. Srovnání elektráren a energetických zdrojů .....</b> | <b>50</b> |
| <b>9. Předvedení fotovoltaického článku .....</b>          | <b>54</b> |
| 9.1 Sestavení měřicí aparatury .....                       | 54        |
| 9.2 Měření a naměřené hodnoty .....                        | 57        |
| 9.3 Vyhodnocení měření .....                               | 60        |
| <b>10. Závěr .....</b>                                     | <b>61</b> |
| Použitá literatura .....                                   | 62        |

## 1. Úvod

Elektrická energie je v současné nepostradatelnou součástí našeho každodenního života. První elektrárny vznikaly již ke konci 19. století, od té doby se postupně zdokonalovaly a začínaly využívat nové tzv. obnovitelné zdroje elektrické energie.

Hlavním cílem této práce je blíže popsat principy výroby elektrické energie u jednotlivých typů elektráren a představit nové metody při využívání některých alternativních zdrojů energie. Konkrétněji je zde věnována pozornost tepelným, jaderným, vodním, větrným a slunečním elektrárnám. Dalším dílčím cílem je srovnání efektivnosti, dopadu na životní prostředí, výhod a nevýhod a podílu využívání odlišných zdrojů elektrické energie v rámci České republiky. Z praktického hlediska jsem navrhl a sestrojil za použití stavebnice LEGO Dacta fotovoltaický článek, na kterém jsem provedl měření elektrického napětí a zkoumal jeho závislost na natočení ke zdroji světla.

Údaje k této práci jsou čerpány z odborné literatury a internetových odkazů uvedených ze seznamu literatury.

Práce je strukturována do sedmi větších kapitol, kdy se v prvních pěti zaměřuji na jednotlivé typy elektráren – tepelná, jaderná, vodní, větrná a sluneční. Šestá kapitola se skládá z grafů a tabulek srovnání elektráren a energetických zdrojů z různých hledisek. Poslední kapitola je zaměřena na samotnou praktickou část této práce, ve které jsem provedl měření na fotovoltaickém článku.

## 2. Elektrárna a energetické zdroje

Elektrárna je technologické zařízení sloužící k výrobě elektrické energie, která se získává přeměnou z energie vázané v nějakém energetickém zdroji. U většiny elektráren se energie z tohoto zdroje převede na energii mechanickou, kterou pomocí generátoru přeměníme na elektrickou energii.

Alternativou může být využití fotovoltaického jevu nebo termoelektrického jevu, ale zatím jsou tyto možnosti použitelné jen pro nižší výkony.

Z ekologického pohledu rozdělujeme energetické na zdroje obnovitelné a neobnovitelné.

Za neobnovitelné zdroje energie jsou považovány ty, jejichž množství je omezené, potenciální regenerace dlouhodobá a v brzké době hrozí jejich úplné spotřebování (desítky až stovky let).

Většina elektrické energie se dnes vyrábí z neobnovitelných zdrojů, hlavně v tepelných elektrárnách spalováním fosilních paliv nebo v jaderných elektrárnách štěpnou jadernou reakcí.

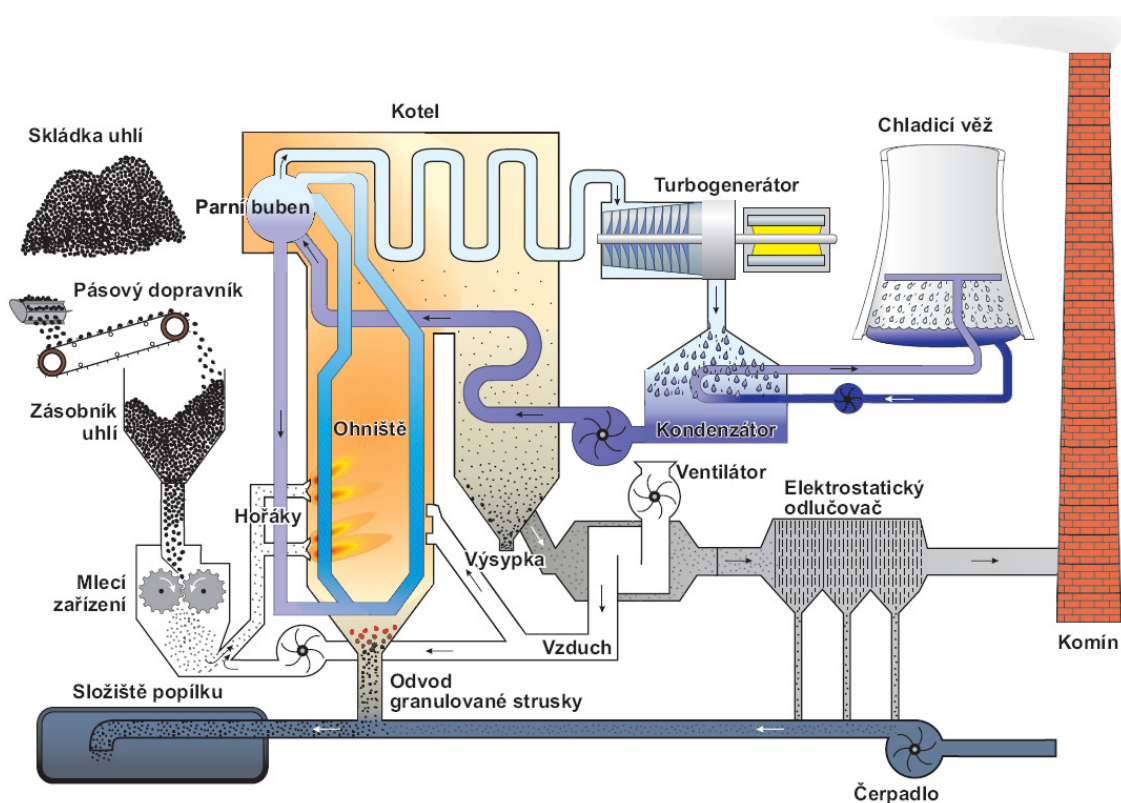
Za obnovitelné zdroje se považují takové zdroje, které se v přírodě samovolně neustále obnovují ze zdrojů s velmi dlouhým horizontem vyčerpání (např. vyčerpání sluneční energie se očekává až za několik miliard let). Elektrárny využívající obnovitelné zdroje jsou vodní, větrné, geotermální, sluneční.

### 3. Tepelné elektrárny

Energie z fosilních paliv je stejně jako jaderná energetika v novodobé historii 20. a 21. století nepostradatelnou. Také výroba elektrické energie byla od samého počátku v rozhodující míře závislá na spalování uhlí, později i ropných produktů a zemního plynu. Podíl uhelných elektráren na světové výrobě elektřiny je rozhodující dodnes.

#### 3.1 Hlavní části a princip výroby energie

Tepelná elektrárna (Obr. 3.1) může být příkladem rozličných způsobů přeměňování jednotlivých typů energie na druhé. Chemická energie se ukrytá ve fosilním palivu se mění na tepelnou, tepelná na mechanickou a mechanická na elektrickou. Většina uhelných elektráren je uspořádána do tzv. výrobních bloků. Výrobní blok se skládá z kotle, turbíny, alternátoru, vývodového transformátoru, chladicí věže a odlučovačů popílku, v novější podobě také z odsiřovacího zařízení. Dalším zařízením, které může být společné několika blokům, je zauhlování, vodní hospodářství (přivaděče, čerpadla, chemická úprava), komín, pomocná zařízení k odběru popílku a odsiřování. [1]



Obr. 3.1 Schéma tepelné elektrárny [20]

Uhelná elektrárna spotřebuje přibližně 1 tunu uhlí na každou vyrobenou MWh, záleží samozřejmě na druhu uhlí a jeho výhřevnosti. Velmi přibližně lze říci, že 200 MW elektrárenský blok spálí 200 tun hnědého uhlí za hodinu. Znamená to, že běžná elektrárna spotřebuje denně kolem deseti vlaků uhlí po třiceti vagonech. Z toho plyne, že je výhodné, když elektrárna stojí co nejbližší zdroje paliva. Do elektrárny se proto někdy odpravuje uhlí přímo z povrchového dolu pásovými dopravníky. Jinak se většinou uhlí dopravuje po železnici. V areálu elektrárny bývá sklad paliva, který musí udržovat určitou rezervu. Velikost takové pohotovostní skládky se řídí vzdáleností elektrárny od dolu a pohybuje se od sto tisíc do jednoho milionu tun uhlí. Na skládce pracují nakladače a další pásové dopravníky, které přesouvají uhlí do zásobníků kotlů. Uhlí musí projít drtící stanicí a uhelnými mlýny, které ho rozmetou na jemný prášek. Jemný uhelný prach se spolu s předehřátým vzduchem vhání práškovými hořáky do spalovací komory kotle (čím jemnější je uhelný prach, tím víc se spalování podobá hoření plynu). Dnes se používají prášková ohniště, dříve se užívala i roštová. Kotle mohou být válcové, granulační, výtavné, fluidní. Práškové uhlí hoří velmi intenzivně, intenzivní je i přestup tepla do výhřevných ploch. Práškové spalování tak umožňuje stavět kotle vysokých výkonů. Hořící uhelný prach předá svou energii vodě ve výparníku a páře v přehříváčích. Zbytky vyhořelého paliva padají dolů jako struska nebo jsou unášeny spalinami jako popílek. Struska padá do výsypky, chladí se ve vodě, vynašeč jí dopraví do drtiče a odtud pak na skládku (odkaliště). K ukládání strusky se používají přírodní prohlubně nebo staré lomy. Odkaliště bývá někdy vzdálené i několik kilometrů od elektrárny, po ukončení ukládání se překryje zeminou a stává se součástí nové krajiny.

Elektrárna spotřebuje velké množství vody. V uzavřeném okruhu kotel – turbína – kondenzátor – kotel obíhá voda jako teplotonosné médium, kondenzátor chladí jiná voda jako chladicí médium. Kromě toho se spotřebuje další voda na plavení strusky a popílku, další při odsiřování. Do kotlů se vhání voda zbavená všech nečistot a chemicky upravená, aby nezpůsobovala korozi. Kotel 220MW bloku je schopen vyrábět až 660 tun páry za hodinu při tlaku 18 MPa. Moderní elektrárenské kotle bývají tzv. průtlačného typu. Spalovací komora kotle je velký dutý prostor, jehož stěny i strop jsou tvořené trubkami o průměru 36 mm. Voda vstupuje nejprve do ekonomizéru, kde se přehřívá, pak teprve do výparníku (trubky tvořící stěnu kotle). Ve výparníku se voda v trubkách žářem plamenů mění na páru, ve speciálních svazcích trubek, které jsou

vysunuté do proudu spalín, se přehřívá na teplotu 530 °C – 550 °C a vede do turbíny. Přehřívá se na tak vysokou teplotu proto, že tzv. sytá pára obsahuje málo energie. Přehřátím z ní vyrobíme tzv. ostrou páru, ta už se vyplatí pustit do turbíny.

V turbíně probíhá přeměna vnitřní energie páry na mechanickou energii rotoru. Předehřátá ostrá pára přichází z kotle parovody a vstupuje do vysokotlakého stupně, kde předá první část energie. Z něj se vrátí spodem do přehříváku v kotli, kde se opět zvýší její teplota. Pak se znovu vede do turbíny, nejprve do její středotlaké části a pak do nízkotlaké části. Ze středotlakého do nízkotlakého jsou spodem vedena potrubí regulačních odběrů páry pro ohřev napájecí vody před vstupem do kotle. Všechny části turbíny jsou uloženy na společné hřídeli. Rozváděcí lopatky jsou nepohyblivé, spojené se statorem a vytvářejí systém kanálků, v nichž dochází k expanzi páry a zvýšení její rychlosti na 300 m/s i více. Kanály statoru směřují proud páry pod optimálním úhlem na oběžné lopatky rotoru, na nichž může navíc docházet k další expanzi páry. Z oběžných lopatek vstupuje pára do rozváděcích lopatek dalšího stupně turbíny. Rotory turbíny jsou uložena v kluzkých ložiskách. Na vstupu páry do vysokotlakého a středotlakého stupně jsou rychlouzávěrné a regulační ventily, kterými se reguluje výkon a které zabezpečují turbínu proti překročení dovolených otáček tím, že zavřou ve zlomku vteřiny přívod páry. Turbína je velmi přesný výrobek, jehož přesnost se pohybuje v desetinách milimetru. Při teplotách přes 500 °C dochází k teplotním dilatacím, při 3000 otáčkách za minutu k obrovskému namáhání rotorů i těles. Konce oběžných lopatek se obvykle pohybují nadzvukovými rychlostmi. Při provozu se sledují teploty a tlaky páry a oleje, otáčky, teploty kovu a ložisek, relativní posuvy rotorů vůči tělesům statoru, chvění, excentricita apod. S chodem turbíny tak souvisí celá řada dalších zařízení a pomocných provozů např. olejové hospodářství pro mazání ložisek.

Pára, která vykonala práci, odchází do kondenzátoru, kde se ochladí, zkondenzuje na vodu a systémem čerpadel se vrací do kotle. K tomu, aby pára opět zkondenzovala na vodu, je třeba dalšího okruhu chladicí vody. Je-li v blízkosti elektrárny velká řeka, bere se voda odtud (průtočné chlazení). Není-li v blízkosti řeka, odvádí se chladicí voda z kondenzátorů do chladících věží, kde se postřikuje a chladí protitahem vzduchu. V obou případech se teplo bez užítu ztrácí.

Elektřina se v elektrárně vyrábí v třífázových synchronních alternátorech. V alternátoru se přeměňuje mechanická energie na elektrickou energii. Alternátor je spojen s turbínou společnou hřídelí a dohromady tvoří turbosoustrojí. Jeho výkon se reguluje množstvím páry přiváděné do turbíny. Rotor koná vzhledem k tomu, že síť

pracuje se střídavým napětím o kmitočtu 50 Hz, 3000 otáček za minutu. Dříve se k výrobě elektřiny používala dynama, generátory stejnosměrného proudu. Střídavý proud má však velkou výhodu, dá se transformovat na vyšší napětí a přenášet tak na větší vzdálenosti s menšími ztrátami.

Pomocí vývodového transformátoru se napětí transformuje za původních 10 kV až 15 kV na 400 kV a vyvádí venkovním vedením do rozvodné sítě. Elektrárna proud nejen vyrábí, ale také jej sama spotřebovává v různých pomocných provozech a zařízeních (úpravy vody, ventilátory, mlýny, čerpadla, odlučovače dopravníky atd.). Na vývod alternátoru je proto připojen také odbočkový transformátor vlastní spotřeby. Abychom mohli alternátor vyrábějící elektrickou energii beze škody připojit přes transformátor k elektrické soustavě, musí mít elektřina stejné parametry jako ta, která již protéká soustavou. Alternátor je nutné před zatížením k síti nafázovat. [1]

### **3.2 Vyčištění spalin a odsíření**

Zachycení tuhých prachových částic je velmi důležité, neboť se na ně vážou těžké kovy, radioaktivní prvky a další škodlivé látky. Součástí moderních uhelných elektrárenských bloků jsou proto velké odlučovače popílku: cyklonové, elektrostatické, textilní i jejich vzájemná kombinace.

Cyklonový odlučovač využívá účinku odstředivých sil ve válcovém a kuželovém prostoru, do něhož se velkou rychlostí z bloku vhnějí kouřové spaliny. Těžší částice se ve víru dostanou na okraj a spadávají do zužující se části cyklonu, lehčí plyn odchází vzhůru. Účinnost takových odlučovačů pro malé částice není však dostatečná.

Elektrostatický odlučovač je v podstatě soustavou nabíjejících se elektrod a deskových sběrných elektrod. Kouřové spaliny proudí rychlostí 1 až 2 m/s kolem záporných nabíjecích elektrod, do nichž se přivádí stejnosměrný proud o napětí 40 kV až 70 kV. Částice prachu se nabíjí a pak jsou přitahovány kladnými sběrnými deskovými elektrodami. Popílek se mechanicky oklepává ze sběrných elektrod a padá do výsypek. Odlučovače se stavějí do několika sekcí za sebou a dosahují účinnosti i více jak 99 %. Přestože napětí na elektrodách je velmi vysoké, proud se pohybuje v setinách ampéru, takže vlastní spotřeba elektřiny je zanedbatelná.

Tkaninové filtry fungují stejně jako u domácího vysavače. Musí však být vyrobeny za speciálních vláken, aby odolaly vysokým teplotám. Mívají tvar rukávu a za provozu

se čistí ofukováním vzduchem, mívají lepší odlučitelnost než elektrostatické filtry, ta je vykoupena vyšší spotřebou elektrického proudu k pohonu kouřových ventilátorů.

Struska a popílek končí na odkališti, vyčištěné kouřové plyny vyletí komínem. Z 1 kg paliva vznikne asi 7 m<sup>3</sup> plynů. Uhlí, které se spaluje v elektrárnách, má nespalitelný podíl 25 až 30 %.

Mnohem těžším úkolem je zbavit se síry. Veškerá síra, která létá z komína, pochází z paliva. Prvním opatřením je tedy vybrat palivo, které bude mít co nejmenší obsah sirných sloučenin. Ropa a zemní plyn obsahují síry nejméně, černé uhlí o něco více a hnědé uhlí nejvíce, běžně 1 až 2,5 hmotnostního procenta, často i více. Tam, kde nelze změnit druh paliva nebo by to bylo příliš drahé, nezbývá než se síry zbavit dodatečně. Buď zvolit takový postup, při němž vznikne jen minimum plynných oxidů síry, nebo vyčistit kouřové plyny. Odsiřovací zařízení je velmi složitý chemický závod, integrovaný do areálu uhelné elektrárny. Odsiřovací procesy se dělí na regenerační a neregenerační a ty pak na suché, polosuché a mokré. Ve světě je známo asi 200 odsiřovacích metod. U nás i ve světě se nejčastěji používá mokrá vápencová vypírka. Odsiřovací jednotce, ve které proces probíhá, se říká také pračka nebo absorbér. Je to nádoba o průměru 15 m a výšce přes 40 m. V pračce procházejí kouřové plyny několika stupňovou sprchou, která rozstřikuje vápencovou suspenzi. Vápencová suspenze vzniká rozmícháním vápence ve vodě. Oxid siřičitý chemicky reaguje a vzniká hydrogensířičitan vápenatý, který dále oxiduje na dihydrát síranu vápenatého. Vzniklému produktu se říká energosádrovec a lze ho velmi dobře využít na výrobu sádry (ve stavebnictví). Touto metodou lze odstranit až 95 % síry z kouřových plynů.

Při spalování všech fosilních paliv vzniká oxid uhličitý. Je to plyn neškodný, nejedovatý, je přirozenou součástí atmosféry, a přece může způsobit problémy. Zvyšování jeho koncentrace v atmosféře způsobuje tzv. skleníkový efekt, který vede ke zvyšování teploty atmosféry, to pak k rozpouštění ledovců, což přináší zvednutí hladin oceánů. V současnosti neexistuje žádná metoda, která by dokázala CO<sub>2</sub> ze spalin odstranit.

### 3.3 Řízení a regulace

Elektrárenskou technologii je nutné operativně řídit. Děje se tak z blokové dozorny, někde je dozorna společná více blokům. Bezpečnost a spolehlivost elektrárny závisí na přesných měřeních potřebných parametrů a jejich regulaci. Propojené počítačové sítě

umožňují okamžitý přístup ke všem důležitým provozním datům. Vlastní spotřebu elektrárny řídí centrální dozorna, která je partnerem celostátního dispečinku. Řízení elektrizační soustavy s mnoha zdroji není lehké. Naše republika je protkána sítí elektrických vedení. Délka linky o napětí 400 kV dosahuje přes 3000 km, síť vedení 220 kV měří přibližně 2000 km. Protože elektřina je zvláštní zboží, které nejde sledovat, musí být výroba v každém okamžiku rovnováže se spotřebou. Schopnost regulovat soustavu je vyšší, je-li možné vzájemné propojení v rámci větších sítí. Česká republika spolu s Polskem, Maďarskem a Slovenskem ve sdružení Centrel se v roce 1995 propojila se západoevropskou elektrizační soustavou UCPTE. Přináší to mnoho výhod, vzájemným propojením se snižují ztráty elektrické energie. Ve vedení je možné vybrat si nejlevnější elektřinu, kterou soustavy nabízejí. Připojení naší elektrizační soustavy k západoevropské byl první reálný krok do spojené Evropy. [1]

### **3.4 Moderní tepelná elektrárna**

Od konce 18. století až dodnes výzkum, vývoj a provoz usilovaly o dosažení vysoké účinnosti využití uhlí při výrobě páry s vysokým tlakem a teplotou a následně při přeměně tepelné energie v parním stroji nebo turbíně na mechanickou a v generátoru na elektrickou energii. Zásadním problémem je účinnost transformačního procesu, tj. poměru mezi získanou energií a energetickým obsahem paliva. Výsledkem vývoje je očekávání čisté účinnosti energetického obsahu uhlí nad hranicí 50 %. Cílem vývoje je také na nejmenší dosažitelnou hodnotu snížit měrnou spotřebu paliva. Současný trend vývoje tepelných elektráren spalujících fosilní paliva se zaměřuje především na hledání lepších a účinnějších metod spalování. V centru zájmu vědců je i jaderná energetika, která v současné době zažívá velký rozvoj.

Cestu k lepšímu využití paliva nabízí kombinovaná výroba elektřiny a tepla - kogenerace. Spadá do ní i využití zemního plynu, topného oleje, biomasy a bioplynu apod. Jde především o jednotky, využívané v místě spotřeby. Vyšší účinnost přeměny a navíc snížení emisí a škodlivin, které uhelné technologie provázejí, představuje paroplynová kogenerace. Dosavadní způsob odstraňování síry, dusíkatých zplodin a prachu až na samém konci spalovacího procesu v klasických uhelných elektrárnách (odsíření, DENOX apod.) nejsou perspektivním řešením. Proto se hledá spalovací proces, který by zvládl využití jakéhokoli druhu uhlí a který by ho spálil bez škodlivých emisí a vyprodukoval využitelné teplo buď pro plynovou turbínu, nebo pro

zařízení ke zvýšení parametrů páry. Nejslibnější technologií je zplyňování uhlí. Přeměna uhlí na horký spalitelný plyn neutralizuje škodlivé emise už se stupni spalování a vyčistí produkt tak, aby mohl být spálen v elektrárně s plynovou turbínou a kombinovaným cyklem aniž by znečistil ovzduší či byl jednou z příčin skleníkového efektu.

Pravděpodobně nejvýhodnější způsob využití energetického uhlí dnes představuje integrace tlakového zplyňování uhlí a paroplynového cyklu. Jde o paroplynový cyklus, zaručující nejvyšší možnou účinnost přeměny. Místo zemního plynu využívá horkých plynů unikajících pod tlakem z uhelných zplyňovacích reaktorů. Z plynů jsou nejdříve odloučeny prachové částice, dále je plyn odsířen a zbaven dalších škodlivin. Po vyčištění jde do spalovací turbíny a vyrábí elektrickou energii. Odpadní teplo plynů, kombinované s teplem z reaktoru, je využito k výrobě vysokotlaké páry pro parní turbosoustrojí.

Účinnost takového cyklu může dosahovat až více než 55 %. Oproti konvenčním tepelným elektrárnám tato technologie snižuje spotřebu vody, produkuje méně tuhých odpadů než prášková topeniště nebo atmosférické fluidní kotle, odpady lze využít v zemědělství a stavebnictví, úroveň emisí  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a  $\text{CO}_2$  je až o čtvrtinu nižší než u nejmodernějších práškových ohnišť s o rád nižší než u zastaralých kondenzačních elektráren. [20]

### **3.5 Výhody a nevýhody tepelných elektráren**

V současné době se více než 44 % veškeré spotřebovávané elektrické energie ve světě vyrábí z uhlí. Výhodou uhelných elektráren je poměrně dobrá možnost regulace výkonu. Najíždění elektrárenských bloků trvá několik hodin, odstavit je lze ale okamžitě.

Jejich nevýhodou je poměrně nízká účinnost výroby. Pouze 28 až 35 % energie obsažené v uhlí se přemění v elektřinu. Velkou nevýhodou elektráren na fosilní paliva je jejich negativní vliv na životní prostředí. Spotřebovávají kyslík, chrlí do ovzduší oxid uhličitý a množství popílků, oxidu síry a oxidu dusíku. Tyto škodlivé plyny a částice se snažíme co nejvíce snižovat pomocí nových technologií.

Výkony největších elektráren v ČR a jejich uvedení do provozu jsem uvedl v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 Výkon největších tepelných elektráren v ČR

| <b>Název</b>       | <b>Instalovaný výkon</b>                | <b>Uvedení<br/>do provozu</b> | <b>Odsířeno<br/>od roku</b> |
|--------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| <b>Dětmarovice</b> | 4 x 200 MW                              | 1975 - 1976                   | 1998                        |
| <b>Mělník</b>      | 4 x 100 MW + 1 x 500 MW                 | 1971                          | 1998                        |
| <b>Chvaletice</b>  | 4 x 200 MW                              | 1977 - 1978                   | 1997                        |
| <b>Ledvice</b>     | 2 x 110 MW + 1 x 100 MW +<br>1 x 200 MW | 1966 - 1968                   | 1998                        |
| <b>Počerady</b>    | 5 x 200 MW                              | 1970 - 1977                   | 1995                        |
| <b>Prunéřov</b>    | 4 x 100 MW + 5 x 210 MW                 | 1967 (1982)                   | 1995                        |
| <b>Tisová</b>      | 172 MW + 100 MW                         | 1958 - 1962                   | 1997                        |
| <b>Tušimice</b>    | 4 x 200 MW                              | 1974 - 1975                   | 1997                        |

## **4. Jaderné elektrárny**

Elektrická energie se v jaderné elektrárně vyrábí stejně jako v elektrárnách spalujících fosilní paliva, rozdíl je pouze ve zdroji tepelné energie.

### **4.1 Druhy jaderných elektráren**

Nejjednodušší schéma jaderné elektrárny je jednookruhové. Přímou v reaktoru se varem vody vytvoří pára, která se vede k turbíně. Zde vykoná užitečnou práci a po ochlazení v kondenzátorech se vrací zpět do reaktoru. Celý cyklus se stále opakuje. Je to jednoduchý cyklus, ale má jednu nevýhodu. Voda z reaktoru může být mírně radioaktivní, může s sebou nést stopová množství aktivovaných korozních produktů. S touto vodou se dostává do styku velká část strojního vybavení elektrárny, hlavně turbína, kondenzátory a čerpadla. Tento způsob se u nových generací elektráren již nepoužívá.

Ve většině zemí se provozují dvouokruhové elektrárny. Voda, která chladí reaktor, koluje v tzv. primárním okruhu. Trubky primárního okruhu procházejí výměníkem, tzv. parogenerátorem, kde ohřívají vodu sekundárního okruhu. Teprve v něm vzniká pára, která vede k turbíně a do kondenzátorů. Sekundární chladicí okruh vůbec nepřijde do styku s reaktorem.

Některé elektrárny se speciálními typy reaktorů užívají dokonce tříokruhové schéma provozu. Jsou to např. rychlé množivé reaktory, využívající jako chladivo v primárním okruhu tekutý kov.

### **4.2 Hlavní části a princip výroby energie**

V reaktoru vzniká teplo především při štěpení jader uranu  $^{235}\text{U}$ . vzniklé teplo je prostřednictvím vody proudící v primárním chladícím okruhu odváděno z reaktoru do parogenerátoru, v jehož trubkách voda primárního okruhu proudí a vrací se zpět do reaktoru. V reaktoru a celém primárním okruhu je poměrně vysoký tlak, který zabraňuje vodě ve varu a vzniku páry. V parogenerátoru voda primárního okruhu předává teplo vodě sekundárního okruhu, která obklopuje zmíněné trubky, a to za podmínek umožňujících vznik vodní páry.

Od tohoto místa se schéma jaderné elektrárny (Obr. 4.1) v podstatě shoduje se schématem jakékoli tepelné elektrárny, neboť v následujících systémech a zařízeních, mezi nimiž dominuje turbína a generátor, dochází k přeměně pohybové energie proudící páry na energii elektrickou. Pára, jejíž tlak i teplota poklesly, je z turbíny odváděna do kondenzátorů, kde se ochlazení sráží na vodu a ta je vracena zpět do parogenerátoru, čímž se sekundární okruh uzavírá. Chlazení v kondenzátorech, v nichž je páře její již nevyužitelná energie, zajišťuje tzv. třetí chladicí okruh jaderné elektrárny. Jeho nejznámější částí jsou mohutné chladicí věže, zpravidla z daleka viditelné.

Jaderná elektrárna se dělí na tyto technologické celky jaderné, strojní a elektrické, podle radioaktivity na primární a sekundární (jadernou a klasickou) část.

Do primární části patří především reaktor, parogenerátory, zařízení potřebná k zabezpečení cirkulace chladiva mezi reaktorem a parogenerátory, tj. oběhová čerpadla a příslušné potrubí. Dále zařízení pro manipulaci s chladivem a k jeho čištění a zařízení pro manipulaci s palivem a čerstvým i vyhořelým, zařízení na zpracování, dopravu a ukládání radioaktivních odpadů a dekontaminační zařízení.

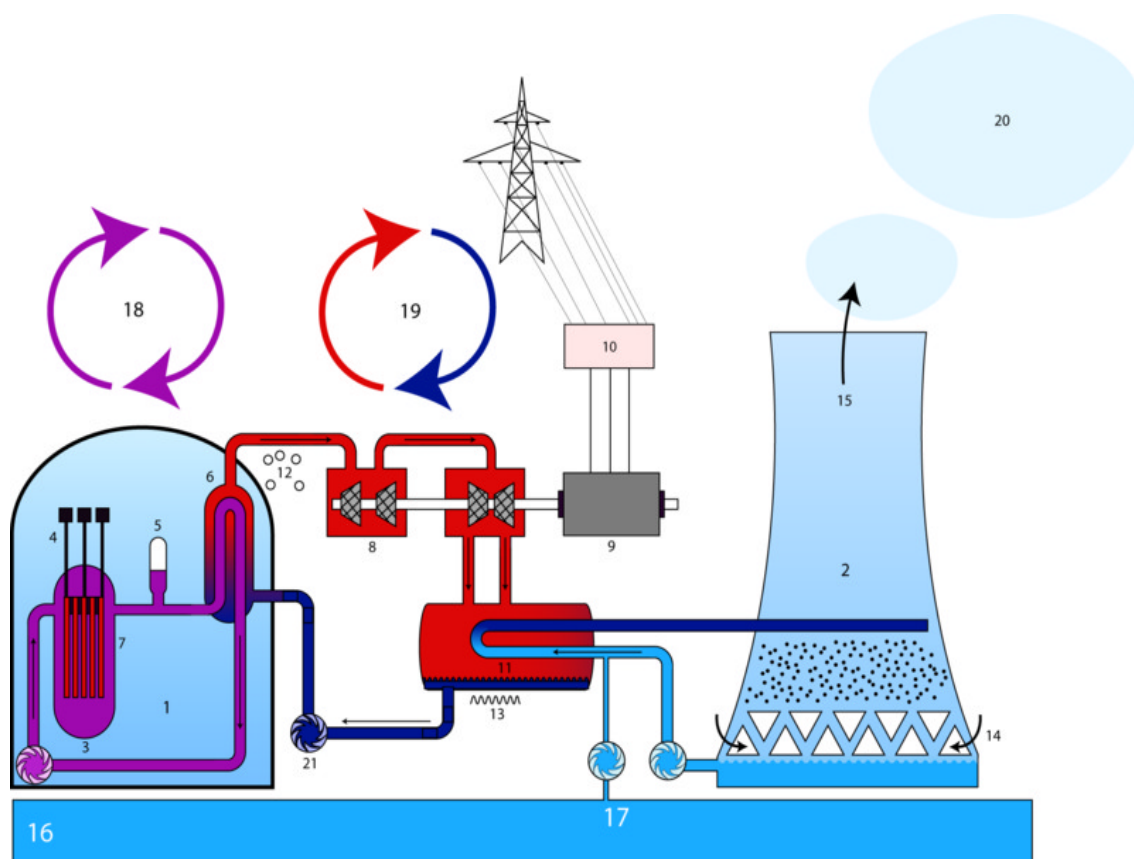
Prostředníkem mezi primárním a sekundárním okruhem je výměník sloužící k přenosu tepla z chladiva reaktoru do pracovní látky, která obíhá výměníkem. V případě, že ve výměníku nastává změna skupenství teplotnosné látky, hovoříme o parogenerátoru. V parogenerátorech probíhají postupně ty to tři procesy: ohřívání vody na teplotu varu, odpařování vody a mnoha případech i přehřívání páry. V parních generátorech konvenčních elektráren je odebráno teplo spalínám, které mají relativně vysokou teplotu a nízký tlak. Naopak tlak chladiva jaderných elektráren je značný a teploty jsou relativně nižší, nenastává proto sdílení tepla sáláním. Aby se dosáhlo co nejvyšších parametrů páry na vstupu do turbíny, je nutné v parních generátorech jaderných elektráren volit co nejmenší teplotní rozdíl mezi oběma látkami, které vyměňují teplo.

Oběhová čerpadla tlakovodních reaktorů pracují pod provozním tlakem 12 MPa až 16 MPa, provozní teplotou 280 °C až 300 °C, dopravované množství je 1000 kg/s až 6000 kg/s. oběhová čerpadla, potrubí i armatury jsou charakteristické vysokými nároky na těsnost i na jakost použitých konstrukčních materiálů. Problémem je odolnost vůči korozi, proto se většinou spojovací prvky vyrábějí z nerezavějících ocelí.

V sekundární části zaujímá nejvýznamnější postavení turbosoustrojí s kondenzačním a čerpacím zařízením. Při použití cirkulačního chlazení kondenzátorů sem patří i chladicí věže. Nezbytnou součástí je elektrické zařízení sloužící k vyvedení

výkonu elektrárny a k zajištění vlastní spotřeby. Významné je i vzduchotechnické zařízení.

Reaktory dodávají turbíně sytou páru o tlaku 5 až 7 MPa. I u jaderných elektráren směřuje vývoj k velkým výkonům. V současné době se provozují jednotky s jednohřídelovým uspořádáním s výkonem až 1300 MW. Pro ty výkony se stavějí turbíny od 1500 do 3000 ot/min., přičemž největší délky lopatek posledního stupně jsou 1 m. V jaderných elektrárnách se vyskytují následující zvláštnosti v konstrukci: pro zmírnění korozně erozních účinků vody je nutné omezit únik směsi vody a páry štěrbinami uvnitř stroje na minimum (místa ohrožená korozi se chrání vrstvou erozivzdorného materiálu), aby se zabránilo unikání páry z ucpávky turbínového hřídele do okolí, přivádí se do ucpávky suchý vzduch, na těsnost kondenzátoru se kladou nejvyšší požadavky. [1]



1. reaktorová hala, uzavřená v nepropustném kontejneru; 2. chladicí věž; 3. tlakovodní reaktor; 4. řídicí tyče; 5. kompenzátor objemu; 6. parogenerátor; 7. palivový zásobník; 8. turbína; 9. elektrický generátor; 10. transformační stanice; 11. kondenzátor sekundárního okruhu; 14. přívod vzduchu do chladicí věže; 15. odvod teplého vzduchu a páry; 16. oběhové čerpadlo primárního okruhu; 17. napájecí čerpadlo chladicího okruhu; 18. primární okruh (voda pod vysokým tlakem); 19. sekundární okruh (červeně pára, modře voda); 20. oblaka vzniklá kondenzací vypařené chladicí vody; 21. oběhové čerpadlo sekundárního okruhu

Obr. 4.1 Schéma jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem [20]

### 4.3 Jaderný reaktor

Jaderný reaktor je srdcem každé jaderné elektrárny. Jde o zařízení, v němž probíhá štěpná reakce. Mezi hlavní komponenty, které umožňují provoz reaktoru, patří palivo, moderátor, absorbátor a chladivo.

Jako palivo se používá přírodní uran, který je složen ze dvou izotopů s nukleonovými čísly 238 a 235. Pro štěpení je vhodný jenom izotop 235, kterého je v přírodním uranu pouze 0,7 % a proto se musí jaderné palivo tímto izotopem uměle obohacovat.

V jaderném reaktoru dochází k řízené štěpné reakci v palivu - jádra izotopu  ${}_{92}\text{U}^{235}$  zasažená pomalými neutrony se rozpadají na jádra lehčích prvků (odštěpky, fragmenty) a současně se při každém štěpení uvolní 2 - 3 rychlé neutrony. Fragmenty se vzájemně odpuzují a velkou rychlostí se od sebe rozlétají. Při jejich zabrzdění srážkami s ostatními atomy paliva se kinetická energie mění na teplo, materiál se silně zahřívá. Uvolněné neutrony mohou způsobit štěpení dalších uranových jader a jaderná reakce může dál probíhat jako řízená řetězová reakce.

Pravděpodobnost štěpení jádra uranu je tím větší, čím pomalejší jsou ostřelující neutrony. Při štěpení však vzniknou rychlé neutrony s průměrnou kinetickou energií do 2 MeV. Mají-li vyvolat štěpení, musí se jejich energie snížit na hodnotu mezi 0,025 - 0,5 eV. Zpomalování neutronů je způsobeno jejich srážkami s jádrem moderátoru, který obklopuje palivo. Zpomalené neutrony buď štěpí jádra uranu, nebo jsou pohlcovány stíněním reaktoru nebo materiálem (absorbátorem) regulačních tyčí. Pomocí regulačních tyčí se reguluje množství volných neutronů v reaktoru a tím i průběh štěpení a výkon reaktoru. Okamžité zastavení reakce zajišťují bezpečnostní tyče, které obsahují mnohem vyšší koncentraci absorbátoru. Pozvolné regulace změn výkonu se dosahuje změnou koncentrace kyseliny borité v chladivu. Část reaktoru, ve které je uloženo palivo a ve které probíhá štěpná reakce, se nazývá aktivní zóna.

Vsázka paliva do reaktoru typu VVER představuje dané množství  $\text{UO}_2$  ve tvaru válečků (pelet). Ty jsou uloženy v palivových proutcích sdružených do palivových souborů (kazet). Energetický obsah jedné pelety (v reaktoru jsou jich řádově desítky milionů) nahradí 1,6 t hnědého uhlí. Tato energie se z pelety získává v průběhu 4 let. Palivo se vkládá do aktivní zóny reaktoru. Palivové proutky jsou chráněny povlakem ze speciální slitiny, nejčastěji na bázi zirkonia. Tento povlak zaručuje předání tepla z paliva chladivu a zároveň nepropustí radioaktivní štěpné produkty.

Štěpící materiál vyžaduje neustálé ochlazování tak, aby nedošlo k roztavení povlaku jaderného proutku, úniku štěpných produktů a aby byla zajištěna bezpečnost reaktoru. To zajišťuje chladivo, které odvádí teplo tam, kde ho lze využít. Jako chladivo se nejlépe osvědčuje obyčejná voda, těžká voda, oxid uhličitý, helium, sodík a některé soli nebo slitiny.

Výměna paliva probíhá při zastaveném reaktoru zpravidla jednou za 1 až 1,5 roku. Přitom se nahradí 1/4 až 1/3 palivových kazet a nahradí se kazetami s čerstvým palivem. Použité palivo se navenek nijak neliší od paliva čerstvého, změnila se jeho vnitřní struktura. Místo části jader uranu 235 se v něm vyskytují jádra fragmentů a palivo se stalo radioaktivním. Výměna probíhá pod vodou, kazety s použitým palivem se několik let ochlazují v bazénu vedle reaktoru a teprve pak se přemístí do meziskladu použitého paliva.

Radioaktivní štěpné produkty při svém rozpadu produkují stále teplo, proto je potřeba použité palivové soubory chladit, než se nejaktivnější radionuklidy rozpadnou a teplota i radioaktivita klesne na úroveň, kdy je s nimi možno dále manipulovat.

### **2.3.1 Konstrukce jaderných reaktorů**

Při konstrukci jaderné elektrárny je kladen hlavní důraz na bezpečnost reaktoru. Pro případ okamžitého zastavení reaktoru jsou připraveny havarijní tyče. V nich bývá mnohem vyšší koncentrace absorbátoru než v tyčích regulačních. Havarijní tyče jsou vysunuty nad aktivní zónu, kde je drží elektromagnety. V případě nebezpečí havárie elektrárny havarijní signál vypne elektromagnety a tyče spadnou do aktivní zóny reaktoru a štěpnou reakci zastaví.

Reaktor je v podstatě velká nádoba, nebo soustava nádob, která musí odolávat vysokým tlakům, teplotám a intenzivnímu toku neutronů.

V současnosti se používají tři typy nádob reaktoru:

1. Reaktor s tlakovou nádobou (používají ho obě české jaderné elektrárny) je vhodný tam, kde je objem paliva přibližně stejně velký jako objem moderátoru. Reaktorová nádoba je vyrobena ze speciální nerezavějící oceli, průměr bývá okolo 7 metrů a výška až 23 metrů.

2. Reaktory s nádobou ze železobetonu se používají v elektrárnách, kde se ke zpomalování neutronů využívá grafit. Vnitřní rozměry takových železobetonových nádob dosahují desítek metrů. Jsou velmi odolné proti tlaku.

3. Reaktor s tlakovými trubkami je vhodný v případech, kde objem moderátoru je mnohem větší než objem paliva. Palivo je umístěno v trubkách obklopených bloky moderátoru. Celý systém je uzavřen v betonové budově.

#### 4.3.2 Nejpoužívanější typy jaderných reaktorů

V jaderných elektrárnách se používá mnoho konstrukčně rozdílných druhů reaktorů. Lze je rozdělit podle užívaného moderátoru neutronového toku a chladiva.

Tlakovodní reaktor VVER/PWR (obr. 4.2) je nejobvyklejší typ (asi 60 % všech reaktorů, včetně reaktorů v Dukovanech a Temelíně). Označuje se jako VVER (vodo-vodní energetický reaktor) nebo PWR (Pressurized water reactor). Tento reaktor je chlazen vodou o vysokém tlaku (řádově 100 bar), která také slouží jako moderátor reakce. Je to výrazný prvek bezpečnosti jaderných reaktorů. Pokud z jakéhokoliv důvodu není v reaktoru voda, reakce se sama zastaví. Pára pro pohon turbogenerátorů se vyvíjí mimo vlastní reaktor ve zvláštních parogenerátorech, kde vysokotlaká voda primárního okruhu zahřívá vodu o podstatně nižším tlaku v sekundárním okruhu.

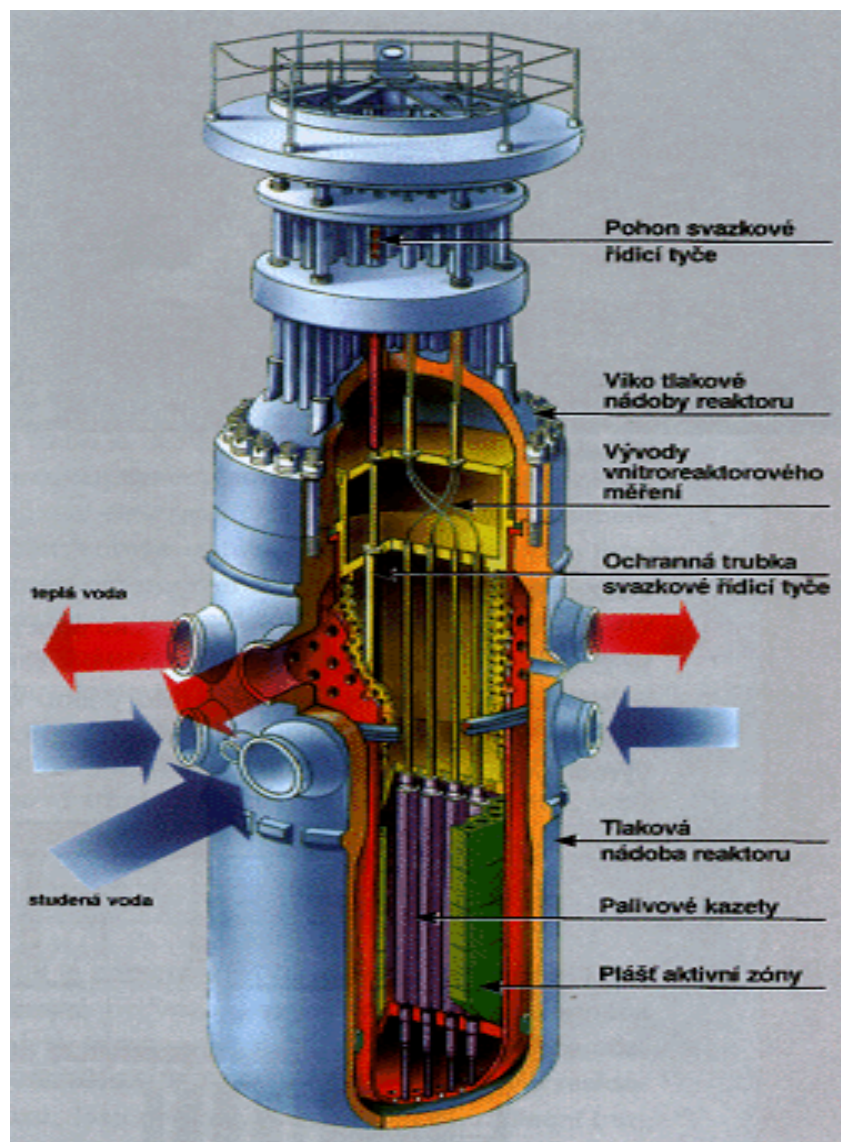
Varný reaktor ( BWR - boiling water reactor) druhý nejrozšířenější typ reaktoru (asi 21 %). Chladičem i moderátorem je voda. Je podobný VVER, ale k varu vody dochází přímo v tlakové nádobě reaktoru a vzniklá pára přímo pohání turbínu. Elektrárny s těmito reaktory jsou tedy jednookruhové. Má vyšší energetickou účinnost, ale nižší koeficient bezpečnosti.

RBMK (Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj) nebo LWGR (Light Water Graphite Reactor) je lehkovodní grafitový reaktor. Tento reaktor je stejně jako BWR varný, avšak není moderovaný vodou ale grafitem a var probíhá v kanálové trubce. Další odlišnost tkví v tom, že se skládá z množství trubek obalených grafitem a vlastní reaktor je přikryt betonovou deskou. V každé trubce je jeden palivový soubor. Výhodou z hlediska účinnosti je neexistence druhého okruhu. Pára z reaktoru proudí přímo do turbíny, takže na turbíně vzniká větší tepelný spád a přeměna energie má vyšší účinnost. Další výhodou je, že palivové soubory lze za provozu jednoduše vyjmout, a tak naráz vyměnit palivo bez odstávky. Při nesprávném zacházení je ale tento reaktor velmi nebezpečný (viz. Černobylská havárie). Kvůli odlišné konstrukci se při zvýšené teplotě a tlaku nebo dokonce při úniku vody z okruhu chová fyzikálně jinak než typ VVER. Neutrony jsou i nadále zpomalovány a nadále probíhá štěpení uranu, palivo ale

není ochlazováno a přinejmenším se začne tavit. Při pozdním zásahu může dojít k havárii.

Magnox GCR (Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor) je plynem chlazený reaktor, který se používá ve Velké Británii a také v Japonsku. Jako palivo se používá přírodní kovový uran ve formě tyčí po krytých oxidem magnézia. Aktivní zóna se skládá z grafitových bloků (moderátor), jimiž prochází mnoho kanálů (několik tisíc), do všech se umísťuje několik palivových tyčí. Aktivní zóna je uzavřena v kulové ocelové tlakové nádobě se silným betonovým stíněním. Palivo se běžně vyměňuje za provozu. K ochlazení se využívá oxid uhličitý, který se po ohřátí vede až do parogenerátoru, kde předá teplo vodě sekundárního okruhu. Tento reaktor má vysokou tepelnou účinnost srovnatelnou s tlakovými reaktory.

Na těžkovodním reaktoru typu CANDU (Canada Deuterium Uranium) je založená jaderná energetika Kanady. Jedná se o reaktor, který jako jaderné palivo využívá přírodní uran a jako chladivo a moderátor slouží těžká voda. Aktivní zóna reaktoru CANDU je umístěna v horizontálně položené nádrži (válci) z nerezové oceli, která je zaplněná těžkou vodou. Vnější povrch nádrže je obklopen betonovou vodotěsnou konstrukcí, ve které se nachází voda představující vlastně tepelnou a biologickou ochranu. Horizontálně rozložené pracovní kanály jsou tvořeny palivovými kazetami a výměna paliva se realizuje za provozu reaktoru tak, že se z jedné strany kanálu vkládá čerstvá kazeta a vyhořelá kazeta je tím z druhé strany vytlačována. Chladivo protéká kanály, v parogenerátoru předává svoje teplo pracovní látce sekundárního okruhu (obyčejné vodě) a vrací se zpět do reaktoru. Moderátor se nachází v mezikanálovém prostoru. [20]



Obr. 4.2 Tlakovodní jaderný reaktor

#### 4.4 Výhody, nevýhody jaderných elektráren

Výhoda jaderných elektráren je, že nevypouštějí do ovzduší škodlivé látky jako oxid siřičitý, oxidy dusíku, popílek, těžké kovy nebo oxid uhličitý. Spotřebovávají menší množství paliva než elektrárny tepelné a jaderné reaktory dosahují vysokých výkonů.

Nevýhodou jaderných elektráren je velká finanční nákladnost a doba likvidace jaderného odpadu.

V ČR jsou v provozu jaderné elektrárny Temelín a Dukovany, jejich parametry jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 4.3).

Mezi státy s největším počtem jaderných reaktorů patří USA (104), Francie (59), Japonsko (56), Rusko a Velká Británie (30).

Tabulka 4.3 Parametry jaderných elektráren v ČR

| <b>Název</b>                                             | <b>Dukovany</b> | <b>Temelín</b> |
|----------------------------------------------------------|-----------------|----------------|
| <b>Počet bloků</b>                                       | 4               | 2              |
| <b>Typ reaktoru</b>                                      | VVER 440 V 213  | VVER 1000      |
| <b>Tepelný výkon reaktoru</b>                            | 1375 MW         | 3000 MW        |
| <b>Vyváděný elektrický výkon</b>                         | 440 MW          | 981 MW         |
| <b>Počet palivových kazet</b>                            | 312             | 163            |
| <b>Počet palivových proutků v kazatě</b>                 | 126             | 312            |
| <b>Max. obohacení paliva <math>^{235}\text{U}</math></b> | 3,60%           | 5,00%          |
| <b>Vsázka paliva</b>                                     | 42 t            | 92 t           |
| <b>Parní výkon parogenerátoru</b>                        | 452 t/hod       | 1470 t/hod     |
| <b>Jmenovitý výkon turbíny</b>                           | 220 MW          | 1000 MW        |
| <b>Otáčky turbíny</b>                                    | 3000 ot/min     | 3000ot/min     |
| <b>výstupní napětí</b>                                   | 15,75 kV        | 24 kV          |

## 5. Vodní elektrárny

Vodní energie se svým charakterem řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Po vyčerpání své potenciální i kinetické energie odtéká voda zpět do moří, v nichž má potenciální energii nejmenší. Voda však získává svoji energii původní energii působením slunečního záření, které ji z moří odpařuje a vrací zpět do míst s velkou potenciální energií. Tento uzavřený koloběh vody je v přírodě nevyčerpatelným zdrojem energie. [3]

### 5.1 Energie vody

Energie vody (hydroenergie) je nejvýznamnější obnovitelný zdroj energie, a také jediný, který je ekonomicky konkurenčním fosilním palivům a jaderné energii.

Celkový výkon vodních toků a ledovců se odhaduje na 5000 GW. Nemůžeme však využít všechnu tuto energii. Část se jí ztrácí třením o dno a břehy toků, část je rozptýlena v podobě nevyužitelných potůčků a část je nutno ponechat, aby byl zachován přirozený koloběh vody v přírodě. Po takovéto redukci lze tedy počítat s maximálním využitelným výkonem asi 3000 GW.

V posledních třiceti letech výroba energie v hydroelektrárnách byla ztrojnásobena, ale účast hydroelektráren na celkové výrobě elektrické energie byla zvětšena jenom o 50% (z 2.2% na 3.3%). V jaderných elektrárnách je ve stejném období výroba zvětšena skoro stokrát, a účast osmdesátkrát. To je kvůli tomu, že využívání hydroenergie má svá omezení.

Nemůže se používat všude, protože závisí na množství rychle tekoucí vody a musí mít dostatečně vody během celého roku, jelikož elektrický proud se nemůže levně uskladňovat. Kvůli spádu vodní hladiny se stavějí hráze a akumulární vodní nádrže. To značně působí na cenu celé elektrárny a zvedá se hladina podzemních vod v okolí nádrže. [20]

Vodní elektrárny využívají kolem 25% světového hydroenergetického potenciálu. Většina nevyužitelného potenciálu nachází se v rozvojových státech, což je dobré, protože se v nich očekává značný růst spotřeby energie. Největší projekty jsou plánovány nebo se na nich už začalo pracovat v Číně, Indii, Malajsii, Vietnamu, Brazílii a Peru.

## 5.2 Hlavní části a princip výroby energie

Vzdouvací zařízení slouží ke vzduť vodní hladiny v toku a usměrnění vody do přivaděče (přehradní hráze a jezy).

Hráze se vyznačují obvykle větší výškou vzduť, větším objemem zadržené vody a plochou zaplavovaného území. Jejich nová výstavba pouze za účelem provozování malých vodních elektráren je z ekologických a ekonomických hledisek většinou neúnosná, nicméně využití stávajících hrází může být ekonomicky velmi výhodné. Například u základových výpustí nádrží je nutno mařit energii protékající vody, např. instalací rozstřikovacích uzávěrů, bez jakéhokoli využití této energie. Přitom tuto funkci může částečně přebrat vodní turbína. Další možností je instalace vodní turbíny na přivaděčích pitné vody.

Jezy mají oproti hrázím nižší výšku vzduť a podstatně menší objem zadržené vody. Náklady na jejich výstavbu rostou s jejich šířkou. U toku větší šířky nutnost využití speciální mechanizace navyšuje investice. U nížinných toků je zachovalý jez většinou nutnou podmínkou výstavby MVE.

Přivaděče koncentrují spád do místa instalace vodní turbíny. Beztlakové přivaděče (náhony, kanály) se budují převážně výkopem v terénu. Náklady závisí na délce, příčné svažitosti terénu, typu zeminy a s tím souvisejícího druhu opevnění stěn koryta. Nejvýhodnější je oprava původního náhonu, případně volba stejné trasy z důvodu snadnějšího získání a zaměření pozemku. Tlakové přivaděče jsou nejčastěji zhotoveny z ocelových trub, případně z železobetonu. Měrné náklady na jejich výstavbu jsou vyšší než u přivaděčů beztlakových (náhonů), zejména u toků podhorských a horských. Ekonomicky mohou být výhodnější než beztlakové pouze při velkém podélném spádu toku, proto se realizují co nejkratší. Často se oba typy přivaděčů kombinují s cílem dosažení maximálního spádu a minimálních nákladů.

Česle, zhotovované převážně jako mříž z ocelové pásoviny, zabráňují vnikání vodou unášených nečistot do turbíny. Obvykle jsou před turbínou nejméně dvoje: hrubé a jemné, často s automatickým čištěním. Ve strojovně je umístěno strojní a elektrotechnické zařízení elektrárny. Stavební částí turbíny rozumíme takové části vodní elektrárny, které spolu se strojní částí tvoří elektrárnu jako celek (například základy nebo betonová spirála). Při volbě typu turbíny je nutné zohlednit i rozměry a konstrukci stavební části, nebo dražší strojní vybavení může svojí kompaktností celkové investiční náklady snížit.

Odpadní kanály vracejí vodu do původního koryta. Často jsou tak krátké, že náročnost jejich výstavby a náklady jsou vůči ostatním částem elektrárny bezvýznamné. Pro delší kanály se řídíme podobnými kritérii jako u beztlakových přivaděčů.

Voda přitékající přírodním kanálem roztáčí turbínu, která je na společné hřídeli s generátorem elektrické energie. Dohromady tvoří tzv. turbogenerátor. Mechanická energie proudící vody se tak mění na základě elektromagnetické indukce na elektrickou energii (v otáčející se smyčce elektrického vodiče v magnetickém poli se indukuje střídavé elektrické napětí). Tato energie se transformuje a odvádí do míst spotřeby.

Výběr turbíny závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla (elektrárny včetně vodní nádrže, řečiště či jiného zařízení usměrňujícího proud vody). Nejčastěji se osazují turbíny reakčního typu (Francisova nebo Kaplanova turbína), a to v bohaté paletě modifikací. V podmínkách našich řek se nejčastěji používají Kaplanovy turbíny s nastavitelnými lopatkami. Kaplanova turbína je v podstatě reakční přetlakový stroj, který dosahuje několikanásobně vyšší rychlosti než je rychlost proudění vody. Je vhodná pro velká množství vody a pro menší spády.

Pro vysoké spády (někdy až 500 m) se používá akční Peltonova turbína. Je to rovnotlaký stroj, jehož obvodová rychlost otáčení je nižší než rychlost proudění. Voda vstupuje do turbíny pouze v některých částech jejího obvodu a nezahltí celý obvod – vodu na lopatky tvaru misek přivádějí trysky. V přečerpávacích vodních elektrárnách se používá reverzní Francisova turbína s přestavitelnými lopatkami, která při zpětném chodu funguje jako čerpadlo. V malých vodních elektrárnách se převážně zabydlela malá horizontální turbína Bánkiho spolu s upravenou jednoduchou turbínou Francisovou.

Tyto druhy turbín jsou zobrazeny na obr. 5.1.

### **5.3 Typy vodních elektráren**

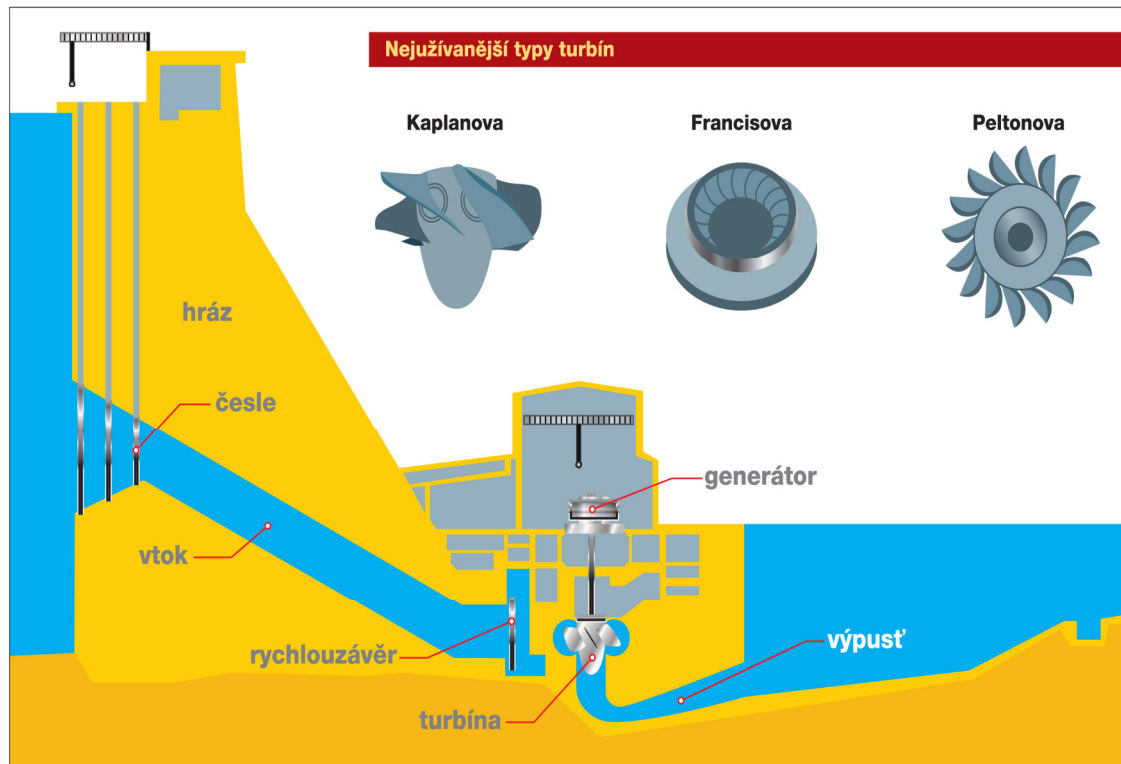
#### **Akumulační vodní elektrárny**

Charakterizovány hrází a jezerem, kde je shromážděna velká zásoba vody. Tato vodní díla v sobě spojují více úloh než pouhou výrobu energie. Pod hrází stabilizují průtoky vod říčním korytem, chrání před povodněmi a podporují plavební možnosti toku. Mnohdy jsou nádrže také zdrojem pitné, technologické, nebo závlahové vody.

Umístění vlastní elektrárny může být různé. Cílem je využít co nejlépe zadržené vody a její energie. Elektrárny jsou zabudované přímo do tělesa hráze, nebo hluboko v podzemí. Voda se k ní přivádí tlakovým potrubím. Záleží na tvaru terénu, výškových a spádových možnostech a na množství vody, které je k dispozici.

Hráze mohou být tzv. gravitační (z obrovského množství sypaného materiálu, který vzdoruje tlaku vody svou hmotností a objemností) nebo klenbové (tlaku vody čelí železobetonová, protiproudě vyklenutá skořepina). Hráz bývá protknuta kontrolními chodbami, v nichž se průběžně měří eventuální pohyby a průsaky. Proti přelití je hráze zajištěna spodními výpusťmi a horními přelivy. Pod hrází je tzv. vývařiště, do něhož odchází voda od turbín a ústí výpustě. Pod velkými vodními díly se většinou staví ještě tzv. vyrovnávací nádrž, jejímž úkolem je vyrovnávat hladinu vody mezi stavem kdy protéká voda turbínami a kdy ne a zajistit tak v korytě řeky stabilizovaný průtok. V jezeře nad hrází bývá vtokový objekt opatřený česlem, které zajišťují, aby se na turbínu nedostaly mechanické nečistoty.

Schéma akumulční vodní elektrárny je znázorněno na obr. 5.1 a výkony našich největších akumulčních elektráren v tab. 5.2.



Obr. 5.1 Schéma akumulční vodní elektrárny a typy nejpoužívanějších turbín [20]

Tabulka 5.2 Největší akumulční vodní elektrárny v ČR

| <b>Akumulační<br/>elektrárny</b> | <b>Instalovaný<br/>výkon<br/>[MW]</b> | <b>Rok uvedení do<br/>provozu</b> |
|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Lipno I</b>                   | 120                                   | 1959                              |
| <b>Orlík</b>                     | 364                                   | 1961 - 1962                       |
| <b>Slapy</b>                     | 144                                   | 1954 - 1955                       |

### Malé vodní elektrárny

Za malou vodní elektrárnu je považována každá s výkonem do 10 MW.

Zeměpisná poloha České republiky je taková, že velké řeky u nás většinou pouze pramení, a tak značná část vodní energie je rozptýlena v malých tocích. Zahrnuje zdroje elektrické energie od těch nejmenších kapacit o výkonech necelých 20 kW, až po říční elektrárny o výkonech 20 MW. Podle vodnatosti, spádu a trvání použitelných průtoků jsou pak osazovány vhodnými typy turbín.

Nároky na stavební úpravy malých vodních elektráren rostou s instalovaným výkonem. Pro malé Bánkiho turbíny stačí pouhý dřevěný domek, jednoduché přivaděči potrubí a dřevěný hradící jízek. Instalace náročnějších typů turbín s většími a velkými výkony vyžaduje i podstatně rozsáhlejší stavební úpravy. [20]

Většina malých vodních elektráren slouží jako sezónní zdroje. Průtoky toků, na kterých jsou zřizovány, jsou kolísavé a silně závislé na počasí a na ročním období.

Podrobněji se podle výkonu dělí:

- průmyslové (od 1 do 10 MW)
- závodní, nebo veřejné (od 100 do 1000 kW)
- drobné, nebo minielektrárny (od 35 do 100 kW)
- mikrozdroje, nebo také mobilní zdroje (pod 35 kW)

V ČR je v provozu asi 26 malých vodních elektráren, některé jsou uvedeny v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3 Malé vodní elektrárny v ČR

| Malé vodní elektrárny | Instalovaný výkon [MW] | Rok uvedení do provozu |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Hněvkovice            | 9,6                    | 1992                   |
| Práčov                | 9,75                   | 1953                   |
| Kořensko I            | 3,8                    | 1992                   |
| Přelouč               | 2,34                   | 1927                   |
| Vydra                 | 6,4                    | 1939                   |
| Hracholusky           | 2,55                   | 1964                   |
| Lipno II              | 1,5                    | 1957                   |

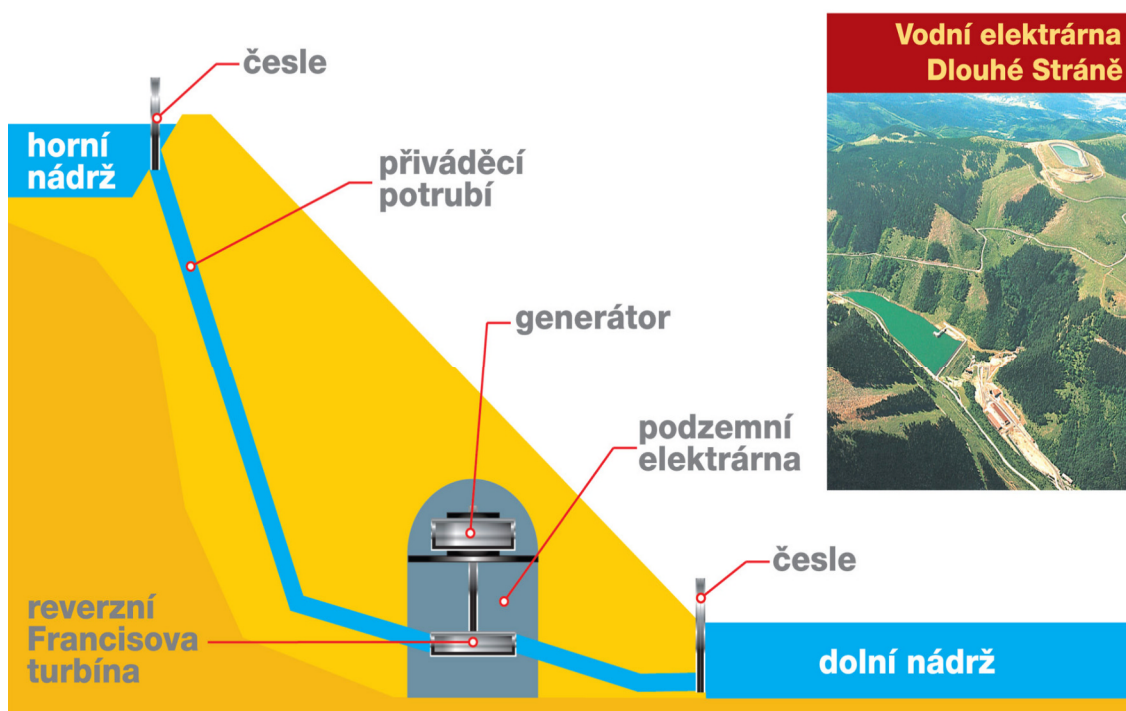
### Přečerpávací vodní elektrárny

Spotřeba elektřiny v průběhu dne kolísá. V noci jí není potřeba zdaleka tolik jako ve dne, kdy běží stroje v továrnách. V každém okamžiku se jí musí vyrobit právě tolik, kolik se jí spotřebuje.

Jedním z významných regulačních prvků v elektrizační soustavě jsou přečerpávací vodní elektrárny. V době, kdy je proudu nadbytek, čerpají vodu do výše položené nádrže a akumulují tak energii ve formě potenciální energie vody. V době tzv. energetické špičky, kdy je vyšší spotřeba proudu, voda z horní nádrže roztáčí turbínu a vyrábí elektřinu. Přečerpávací vodní elektrárny jsou tedy jednou z mála možností, jak skladovat energii (obr. 5.4).

Horní nádrž může být uměle vybudovaná na výše položeném místě (např. nádrž na vrchu Homole nad Štěchovicemi) nebo ji tvoří jezero nad hrází akumulární elektrárny (Dalešice). Tlakovým potrubím se voda přivádí na turbínu, mechanická energie turbíny se přemění v elektrickém generátoru umístěném na stejné hřídeli jako turbína na elektřinu. Do horní nádrže se voda vháňá čerpadly nebo je turbína zkonstruovaná tak, aby při zpětném chodu fungovala jako čerpadlo.

Velkou předností přečerpávacích vodních elektráren je schopnost přifázování do elektrifikační sítě s plným výkonem v několika minutách. Tato schopnost je ostatně vlastní všem vodním elektrárnám.



Obr. 5.4 Schéma přecherpávací vodní elektrárny [20]

Tabulka 5.5 Přecherpávací vodní elektrárny v ČR

| Přecherpávací<br>elektrárny | vodní | Instalovaný<br>[MW] | výkon | Rok uvedení<br>do provozu |
|-----------------------------|-------|---------------------|-------|---------------------------|
| Štěchovice II               |       | 45                  |       | 1948, 1996                |
| Dalešice                    |       | 450                 |       | 1978                      |
| Dlouhé Stráně               |       | 650                 |       | 1996                      |

#### 5.4 Výhody a nevýhody vodních elektráren

Vodní elektrárny neznečišťují ovzduší, nedevastují krajinu a povrchové či podzemní vody těžbou a dopravou paliv a surovin, jsou bezodpadové, nezávislé na dovozu surovin a vysoce bezpečné. Pružným pokrýváním spotřeby a schopností akumulace energie zvyšují efektivnost elektrizační soustavy. Vysokým stupněm automatizace přispívají k vyrovnávání změn na tocích a vytvářejí nové možnosti pro revitalizaci prostředí (prokysličování vodního toku).

Přehradní jezera mohou sloužit i pro jiné další účely, zejména pro rekreační účely nebo jako zdroje pitné či užitkové vody čili pro vodohospodářské účely.

Nevýhodou je značná cena a čas výstavby, někdy nutnost zatopení velkého území.  
Neopomenutelná je závislost na stabilním průtoku vody.

Přehradní hráze a jezy brání běžnému lodnímu provozu na řece, je nutno vybudovat systém plavebních komor resp. zdymadel.

## 6. Větrné elektrárny

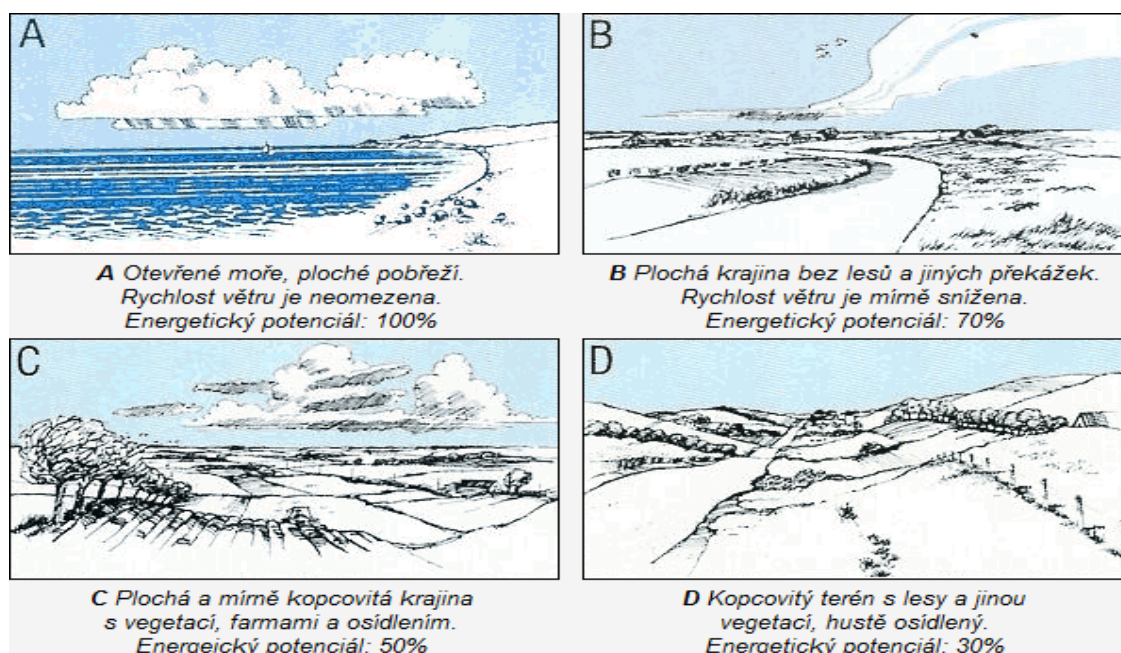
Zařízení na využití větrné energie k energetickým účelům urazila dlouhou cestu od chvíle, kdy se před dvaceti lety začaly objevovat první prototypy větrných elektráren. Větrné elektrárny dneška jsou moderní technologií se vším, co k tomu patří. Lze je snadno sestavit, nainstalovat a zapojit do provozu. [14]

### 6.1 Větrná energie

Zeměkoule je slunečním zářením ohřívána nerovnoměrně. Největší teplota je na rovníku a směrem k pólům klesá. Teplotní rozdíly a jim odpovídající rozdíly hustoty vzduchu narušují rovnováhu, hydrostatické tlaky se vyrovnávají prouděním a vzniká vítr. Při zemi proudí od pólů k rovníku, kde se otáčí vzhůru a v horních vrstvách proudí zpět k pólům. Díky zemské rotaci se v přízemní vrstvě stáčí, jak ukazuje, a proto na pevnině převládají západní větry. [14]

Nejvhodnější lokality pro umístění větrných elektráren se nacházejí vždy na západním pobřeží kontinentů. Proto jsou nejlepší podmínky pro využívání energie větru na západním pobřeží kontinentu, kde jsou větry stálé a silné. Dále do vnitrozemí síla větru slábne, jeho směr se mění podle terénu a jeho využitelný potenciál klesá. Dánské zkušenosti vedly k vytvoření čtyř kategorií krajiny s rozdílným energetickým potenciálem, jak ukazuje obr. 6.1.

Česká krajina patří převážně do kategorie D a možnosti využití energie větrné tedy nebudou příliš slibné. Samozřejmě existují vhodnější lokality, zejména na hřebenech Krušných hor.



Obr. 6.1 Energetický potenciál různých typů krajín [20]

## 6.2 Hlavní části a princip výroby energie

Působením aerodynamických sil na listy vrtule se převádí kinetická energie větru na rotační mechanickou energii rotoru. Ta je poté prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie (na podobném principu turbogenerátoru např. vodní elektrárny). Prouděním vznikají podél listů velké aerodynamické síly, a proto listy musejí mít speciálně tvarovaný profil, velmi podobný profilu křídel letadla (obr. 6.2).

Nejvyššího výkonu větrného kola (vrtule) se dosáhne při zpomalení větrného proudu na  $1/3$ , z toho plyne maximální teoreticky dosažitelná účinnost 59 %. Otáčky kola zpomaluje tření mechanických součástí a vzdušné víry za lopatkami. Konce lopatek se pohybují rychleji než středové části a výsledná účinnost tedy závisí na součiniteli rychloběžnosti, což je poměr rychlosti otáčení lopatek a rychlosti větru. Součinitel rychloběžnosti se zvýší snížením počtu lopatek. Současné větrné turbíny mívají 1 až 3 lopatky, nejlepší dosahovaná účinnost je 45 %.

Tubus elektrárny musí být dostatečně vysoký, aby vynesl větrnou turbínu nad přízemní pásmo větrných turbulencí, a dostatečně silný, aby unesl tíhu celého soustrojí. Gondola obsahuje převodovou skříň (rychlost otáček vrtule 30 až 50 ot/min. není dostatečná pro výrobu elektrického proudu, musí se proto pro pohon elektrického generátoru zpřevodovat na více než 1500 ot/min.), generátor, ložiska, systém natáčení.

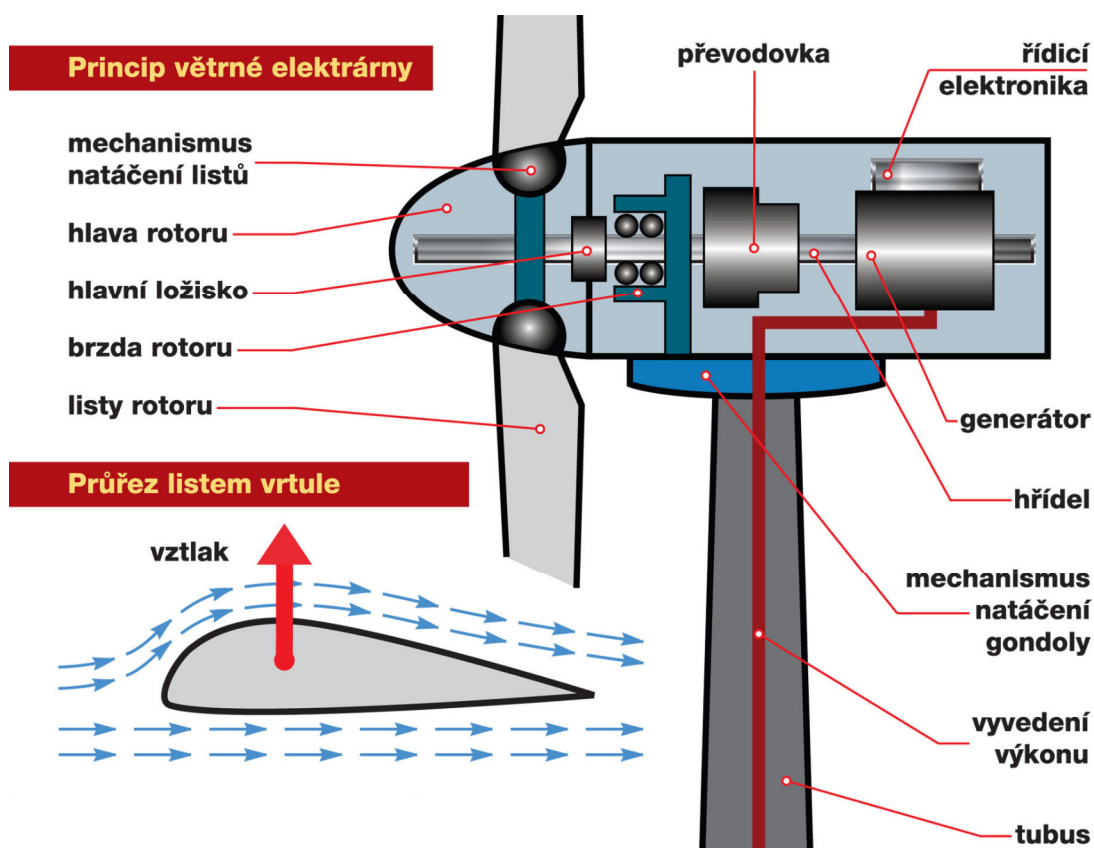
Mezi gondolou a tubusem je tlumení, které zabraňuje přenosu vibrací. Výkon z generátoru je vyveden kabelem k patě tubusu.

Využitelný je vítr o rychlosti 4 až 26 m/s (tj. 15 až 95 km/h), záleží na daném projektu. Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztahové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Odhad produkovaného výkonu tedy stanovit pomocí rovnice (1), kde  $P$  = výkon zařízení,  $v$  = rychlost větru,  $D$  = průměr vrtule.

$$P = 0.2 \times v^3 \times D^2 \quad (1)$$

V praxi však samozřejmě nemůže růst výkon do nekonečna. Existuje vždy konkrétní "výkonový strop", na kterém se již s rostoucí rychlostí proudění výkon neroste.

Při větším větru než 26 m/s se musí elektrárna zastavit, protože dochází k rozkmitání konstrukce. V takovém případě se rotor zabrzdí a lopatky se postaví vůči větru nejuzší profil. U velkých větrných turbín se konce lopatek pohybují rychlostmi většími než rychlost zvuku – vznikají při tom různé doprovodné zvukové efekty. U vrtule s rozpětím kolem 100 m také činí problémy rozdíl v rychlosti větru dole a nahoře, který může činit až 2,8 m/s. Na každý list vrtule pak působí jiné síly a hrozí rozkmitání a destrukce konstrukce. Možnost, jak tuto nevýhodu obejít, představuje jednolistá vrtule s protizávažím. [20]



Obr. 6.2 Schéma větrné elektrárny a průřez listem vrtule [20]

### 6.3 Typy větrných elektráren

#### Mikroelektrárny a malé větrné elektrárny

Tyto typy větrných elektráren jsou pro osobní použití nebo malé firmy velmi vhodné. Jsou takovou alternativou k slunečním článkům v místech, kde je dost větrno a naopak méně svítí slunce. Mikroelektrárny s malými výkony (cca 100 W) tak mohou například napájet osvětlení reklamních panelů podél dálnic, aktivní inteligentní dopravní značky, měřiče teploty a hodiny apod. Jejich skládací verze mohou sloužit v přírodě jako mobilní nabíječe akumulátoru, napájení světlení, vařiče, malého topení, vysílačky, počítače nebo televizoru.

Mikroelektrárny, které dosahují výkonů až několik jednotek kW, již mají pevnou instalaci a mohou v klidu napájet chaty. Elektrické energie větrné elektrárny se akumuluje do akumulátorů, které pokrývají spotřebu při špičkových zatíženích, nebo když nefouká. Navíc je možné ji doplnit o solární články (panely) a vhodným řídicím

systemem, který přerozdělování výroby elektrické energie automaticky inteligentně řídí. Tato kombinace je zdá se ideální, protože když nefouká, tak často svítí slunce a obráceně. Na překážku takovému řešení je pak opět hlavně cena, protože tato kombinace je již opravdu dost nákladná. To platí však v současné době, ale s větším rozšířením se dle zákonitostí ekonomiky cena bude automaticky snižovat. Až se ekologie stane módou a módním stylem hlavně u bohatých lidí, nebude k rozšíření kombinace sluneční a větrné elektrárny na úrovni jednotlivých domácností již nic stát v cestě.

Celosvětově lze již nalézt na poli mikroelektráren docela slušnou nabídku. Český trh však stále trochu pokulhává. Prostě jsme malá republika a síťové napájecí kabely 230 V jsou nataženy prakticky až na výjimky do všech koutů naší vlasti. Proto zde není ani motivace daná nutností, jako je tomu na zapadlých samotách, například amerického venkova. Generátor mikroelektrárny obvykle poskytuje výkon mezi 1 W až cca 1 kW a bateriová napětí 12, případně 24 V.

Malé větrné elektrárny již poskytují výkony i mnoho jednotek kW, což již na spotřebu velké chaty nebo běžného rodinného, dobře zatepleného domku stačí. Například výkon od 1 kW již plně postačuje na čerpání vody ze studně a její rozvod do kohoutků v objektu. Tyto elektrárny často vyrábí elektřinu pomocí synchronních generátorů buzených permanentními magnety s výstupním napětím 24 V nebo klasických 230 V, příp. 400V.

Pro správnou volbu je nutné správně spočítat spotřebu a zvolit výkon elektrárny, resp. jejího generátoru/turbíny. Takový typický domek má roční spotřebu cca 9400 kWh za rok, čemuž odpovídá cca 780 kW za měsíc. V závislosti na průměrné rychlosti větru je vhodné volit výkon elektrárny 5 až 10 kW. Výkon 1,5 kW v místě s průměrnou rychlostí větru cca 6 m/s pak za měsíc vygeneruje přibližně 300 kWh.

Z pohledu konstrukce mohou vypadat různě. Zatímco malé elektrárny s výkonem okolo 1 až 5 kW mohou ještě vypadat jako větší mikroelektrárny, konstrukce pro výkony na 10 kW již někdy vypadají jako zmenšeniny těch středních a velkých (mají již gondolu vybavenou převodovkou, brzdou a generátorem připojené přes hřídel na rotor vrtule s listy).

## **Střední a velké větrné elektrárny**

Elektrárny velkých výkonů (300 až 3000 kW) jsou určeny k dodávce energie do veřejné rozvodné sítě. Mají asynchronní nebo synchronní generátor, který dodává střídavý proud o napětí 660 V a vyšších, a tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Existují i elektrárny se speciálním mnohapólovým generátorem, který nevyžaduje převodovou skříň. Většina elektráren má konstantní otáčky regulované natáčením listů a proměnným převodovým poměrem převodovky. Některé typy mají i dvě rychlosti otáčení. Některé střední elektrárny mohou však mít i proměnné otáčky podle okamžité rychlosti větru. V praxi se používají většinou větrné elektrárny s horizontální osou rotace a u velké elektrárny mají průměr rotoru až 80 m a věž o výšce více než 80 metrů.

Trendem poslední doby je zvětšování výkonu větrných elektráren a zvyšování stožárů. Nejnovější zařízení instalovaná ve světě pracují s generátorem o výkonu až 3 MW, který je na tubusu dosahujícím výšky kolem 100 metrů. Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a optimální využití lokalit, kterých je omezený počet. K zefektivnění provozu a snížení nákladů na projektování a výstavbu se velké elektrárny sdružují do skupin (obvykle 5 až 30 elektráren) tzv. větrných farem.

V dnešních moderních velkých elektrárnách se využívá vyspělé automatické regulace, například sestávající se ze systému individuální regulace natáčení listů rotoru (Individual Pitch Control) v kombinaci s převodovkou s integrovaným systémem proměnlivého převodového poměru (Super Position Gear).

Toto řešení poskytuje úplnou kontrolu nad přenosem energie získávané z vysoce proměnného prostředí větru a umožňuje výrobu elektrické energie pomocí standardního synchronního generátoru s konstantními otáčkami. Individuální regulace natáčení listů rotoru zajišťuje dynamické nastavení optimálního úhlu jednotlivých listů pro maximální účinnost získávání větrné energie v samém počátku. Další fáze regulace je prováděna převodovkou s integrovaným systémem proměnlivého převodového poměru, která umožňuje plynulou změnou převodového poměru udržovat konstantní otáčky synchronního generátoru v celém rozsahu pracovních otáček rotoru větrné elektrárny. Regulace umožňuje provozovat větrnou elektrárnu při otáčkách rotoru určených rychlostí větru a zároveň udržovat konstantní výstupní otáčky pro pohon generátoru.

Funkce je zajištěna nastavitelným zdvihem hydraulické jednotky poháněné hřídelí generátoru. V případě, že poryvy větru způsobí nárůst přenášeného kroutícího momentu

ve vztahu k daným otáčkám, potom automaticky dojde ke snížení převodového poměru a tím je umožněno rychlejší otáčení rotoru elektrárny v závislosti na síle a rychlosti větru. Toto umožňuje pohlcovat náhlé výkyvy větrné energie akcelerací rotoru na vyšší otáčky a zároveň tak dochází k ochraně celého pohonného soustrojí před destruktivními výkyvy přenášeného kroutícího momentu.

#### **6.4 Budoucnost větrné energetiky v ČR**

Ve světě zažívá větrná energetika prudký rozmach. Na konci roku 2005 dosáhl instalovaný výkon větrných elektráren více než 59 tisíc MW. Takové množství postačuje na zásobení zhruba 29 milionů typických evropských domácností. V celé Evropě bylo ve stejné době instalováno 40 500 MW, podle údajů Evropské asociace pro větrnou energii by tato kapacita mohla do roku 2010 dosáhnout až 75 000 MW. Do roku 2006 vstupovalo Německo s 17 600 elektrárnami s celkovým instalovaným výkonem více než 18 400 MW. Větrné elektrárny se podílely 6,7 % na zajištění celkové spotřeby elektřiny v zemi a odvětví zaměstnávalo přes 61 tisíc pracovníků.

Česká republika v rozvoji čistých zdrojů energie zaostává. Zatím využíváme pouze zlomek svého potenciálu. V přístupové smlouvě k EU jsme se do roku 2010 zavázali dosáhnout 8% podílu obnovitelných zdrojů na hrubé domácí spotřebě elektřiny. Česká republika nemá takové přírodní podmínky, aby se mohla zaměřit pouze na jeden zdroj. Je třeba rozvíjet všechny čisté technologie. Největší nevyužitý potenciál přitom nabízí spalování biomasy a větrná energie. U ní se předpokládá, že v roce 2010 dodá do sítě 930 GWh elektřiny, tedy asi dvěstěpadesátkrát více než nyní.

Do roku 2020 plánuje energetická Skupina ČEZ investovat do rozvoje nových větrných elektráren zhruba 20 miliard korun. Důvodem je aktivní přístup k zachování životního prostředí i předpoklad rozvoje vhodných technologií v dané oblasti.

Přehled zatím těch největších větrných elektráren v ČR je uveden v tabulce 6.3.

V jižních Čechách nejsou vhodné podmínky pro stavbu velkých větrných elektráren, protože je to nejméně větrný kraj v ČR. [20]

Tabulka 6.3 Přehled větrných elektráren v ČR

| <b>Místo</b>                      | <b>Celkový výkon instalovaný</b> | <b>Provoz od roku</b> |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| <b>Kryštofovy Hamry</b>           | 42 MW                            | 2007                  |
| <b>Podmíleská výšina</b>          | 7,5 MW                           | 2006                  |
| <b>Vrch tří pánů (Nové Město)</b> | 6 MW                             | 2006                  |
| <b>Pavlov</b>                     | 5,7 MW                           | 2006                  |
| <b>Březany u Znojma</b>           | 4,25 MW                          | 2005                  |
| <b>Klíný</b>                      | 4 MW                             | 2007                  |
| <b>Veselí u Oder</b>              | 4 MW                             | 2006/2007             |
| <b>Ostružná</b>                   | 3 MW                             | 1994                  |
| <b>Lysý vrch u Albrechtic</b>     | 3 MW                             | 2004                  |
| <b>Protivanov II</b>              | 3 MW                             | 2005                  |
| <b>Nová ves v Horách II</b>       | 3MW                              | 2003                  |

## 6.5 Výhody a nevýhody větrných elektráren

Výhodou větrné energie je, že patří k obnovitelným a nevyčerpatelným zdrojům energie. Při vlastní spotřebě elektrické energie se vyhneme přenosovým ztrátám. Neprodukují se žádné škodlivé emise (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO...). Větrnými elektrárnami lze napájet i špatně dostupná místa. Přebytky vyrobené elektrické energie může výrobce prodávat do veřejné sítě na základě smluvního vztahu s distribuční společností a tím může výrazně ovlivnit návratnost vložených finančních prostředků.

Nevýhodou větrných elektráren je poměrně vysoká hlučnost, kvůli hygienickým předpisům je nutno snížit pod 45 dB. Lze použít jen v místech s optimálními větrnými podmínkami. Velké elektrárny vzhledem narušují krajinu. Při výstavbě elektrárny o vyšších výkonech je nutné vynaložit poměrně vysoké investiční náklady.

## 7. Sluneční elektrárny

Získávání elektrické energie přímo ze slunečního záření je z hlediska životního prostředí nejčistším a nejšetrnějším způsobem její výroby. Technická řešení pro využití sluneční energie k výrobě elektrické energie jsou již v uspokojivé podobě k dispozici. Účinnost přeměny slunečního záření na elektřinu umožňuje získat se současnými solárními systémy z jednoho metru aktivní plochy až 110 kWh elektrické energie za rok. [15]

### 7.1 Sluneční energie

Sluneční výkon, čili zářivost Slunce je  $3,8 \times 10^{23}$  kW, což je 40 bilion krát více, než spotřebovává celé lidstvo dohromady. Na Zemi (na povrchu atmosféry) se z toho zachytí pouze jedna dvoumiliardtina, asi 1,35 kW/m<sup>2</sup>. Atmosféra pohlcuje některé druhy slunečního záření, 1/3 záření se odrazí do vesmíru, 1/5 se pohltí v atmosféře a 1/2 se na povrchu země a moří přemění v teplo.

Energie slunečního záření je často označována jako zdroj tepla a elektrické energie pro decentralizované energetické systémy, protože je využitelná v podstatě na celém zemském povrchu a převládají stavby kolektorů a elektráren s malými výkony lokálního významu.

Solární energie se v současné době používá jako zdroje pro výrobu teplé užitkové vody nebo pro přímou výrobu elektrické energie polovodičovými fotovoltaickými články.

Použitím slunečních kolektorů můžeme získat s padesátiprocentní účinností nízko potenciální teplo použitelné k vytápění domů, ohřívání teplé užitkové vody, či k nízko teplotním technologickým procesům.

Pro svou ekonomickou nenáročnost je to asi nejužívanější způsob využití sluneční energie.

Na našem území dosahuje průměrná intenzita slunečního záření hodnoty kolem 620 W/m<sup>2</sup>, jen výjimečně a krátkodobě dosahuje 1000 W/m<sup>2</sup>. Snahou konstruktérů je vytvořit taková zařízení, která by zužitkovala aspoň část energie dopadajícího záření.

## 7.2 Solární kolektor

Zařízením k přímé přeměně sluneční energie na teplo se říká různě (fototermická, solární, sluneční). Jejich základem je solární (sluneční) kolektor, který záření shromažďuje, pohlcuje a mění je na teplo, odváděné pomocí kapaliny nebo vzduchu k místu využití nebo uložení. Čím větší bude plocha, ze které kolektor "sbírá" energii, tím víc jí budeme mít k dispozici.

Solární kolektory můžeme charakterizovat a rozdělit podle různých hledisek. Podle tvaru se dělí na ploché, trubicové a koncentrační. Podle způsobu přenosu tepla rozlišujeme kolektory kapalinové, teplovzdušné a kombinované. Nejběžnější typ je plochý kapalinový kolektor (obr. 7.1). Jeho základními stavebními prvky jsou absorbér, skříň, izolace a krycí sklo.

Absorbér je vyroben z měděného nebo hliníkového plechu, k jehož zadní straně jsou připájeny nebo nalisovány měděné trubice. Povrch absorbérovy je upraven tak, aby pohlcoval co nejvíce záření. Levné absorbéry, dostačující pro letní období, jsou natřeny matnou černou barvou. Kvalitnější typy mají na povrchu tzv. selektivní spektrální nátěr, který pohlcuje až 96 % záření a přitom teplo jen minimálně vyzařuje. Tyto nátěry umožňují využít nejen přímé, ale i rozptýlené sluneční světlo a jsou vhodné pro celoroční využití. Získané teplo se odvádí vodou nebo nemrznoucí kapalinou proudící v trubicích.

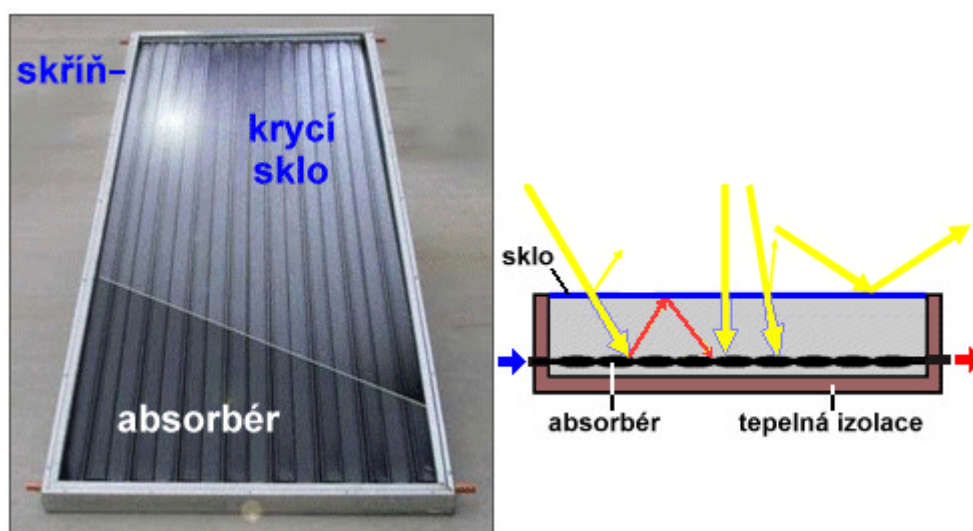
Skříň je kovová, plastová nebo dřevěná vana pro uložení absorbérovy a dalších prvků. Musí být dostatečně robustní, protože slouží ke spolehlivému uchycení kolektoru na střechu nebo stěnu budovy a chrání jeho prvky před nepříznivými povětrnostními vlivy.

Izolace omezuje tepelné ztráty a brání úniku tepla z absorbérovy stěnami skříně. Nejčastěji se používá tepelná izolace z minerální vlny nebo polyuretanu. Musí odolávat teplotám do 200 °C a nesmí přijímat z okolního prostředí vlhkost.

Krycí sklo - omezuje tepelné ztráty přední stěnou kolektoru. Viditelné světlo jím snadno prochází a v absorbérovy se mění na teplo. Dlouhovlnné tepelné záření však sklo nepropouští ven. Uvnitř kolektoru vzniká skleníkový jev, při kterém se zvyšuje teplota proudící kapaliny. Používá se speciální bezpečnostní solární sklo s velkou propustností a dlouhou životností.

Nejvhodnější orientace kolektoru je natočení směrem k jihu nebo jihozápadu, aby se využila největší intenzita slunečního záření kolem poledne.

Ideální by bylo, kdyby na plochu absorbérů dopadalo záření stále kolmo. Výška Slunce nad obzorem se však mění nejen během dne, ale i v průběhu roku. V létě je Slunce nad obzorem výš než v zimě. V létě by byl vhodný sklon kolektoru  $30^\circ$  od vodorovné roviny, v zimě kolem  $60^\circ$ . Obvykle se jako kompromis volí sklon v rozmezí  $35^\circ$  -  $45^\circ$ .



Obr. 7.1 Schéma plochého kapalinového kolektoru

### 7.3 Fotovoltaické články a panely

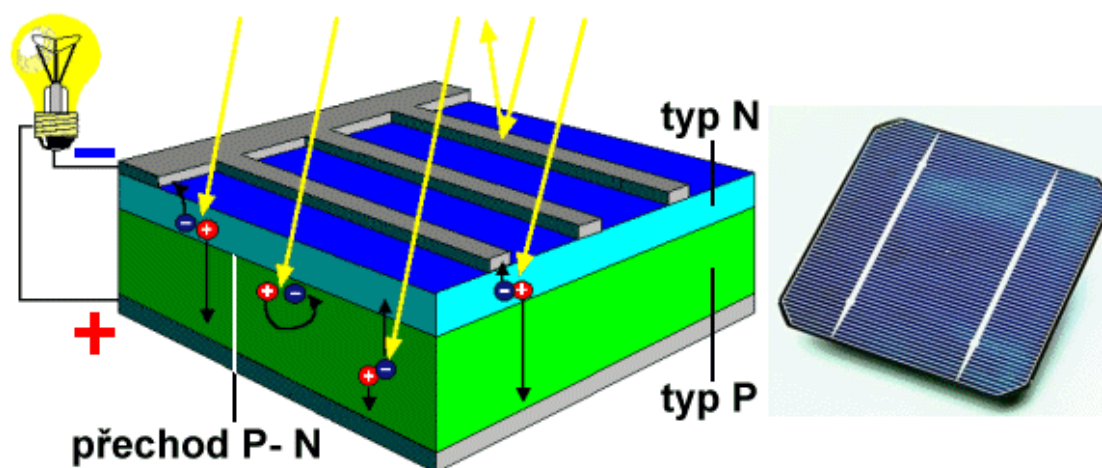
Sluneční článek je nejjednodušší možné zařízení k přímé přeměně slunečního záření na elektrickou energii.

Je založen na tzv. fotovoltaickém jevu, který byl pozorován už před stovacetin lety u selenových destiček. Jde o jev, při němž se v látce působením světla (proudu fotonů) uvolňují elektrony. Nastává v některých polovodičových materiálech (křemík, germanium...). Teprve objev polovodičů a jejich teorie dokázaly jev uspokojivě vysvětlit a využít. Ukázalo se, že na přechodu dvou polovodičů, z nichž jeden vykazuje elektronovou vodivost (typ P) a druhý (typ N) se vyznačuje vodivostí děrovou, se náboje rozdělí na protilehlé strany. Vrstva N se nabíjí záporně, vrstva P kladně. Propojením kovových kontaktů obou destiček přes zátěž se náboje vyrovnávají a obvodem protéká stejnosměrný proud, přímo úměrný osvětlené ploše článku a intenzitě dopadajícího světla.

Nejrozšířenější jsou tzv. křemíkové sluneční články (obr. 7.2). Tenká vrstva monokrystalů křemíku, dotovaná např. indiem, se chová jako polovodič N, napařením či vmísením arzenu nebo boru se vytvoří vrstva typu P a mezi nimi vznikne mikroskopicky tenký přechod. Připojením kovových kontaktů a pokrytím osvětlované vrstvy namodralou protiodrazovou vrstvičkou vzniká článek s napětím  $U = 0,5$  až  $0,8$  V, každý  $\text{cm}^2$  osvětlené ploch poskytuje výkon kolem 12 mW. Články se montují na ploché panely a spojují se buď do série (pro vysoké napětí), nebo paralelně, když potřebujeme větší proud.

Panel s plochou  $1 \text{ m}^2$  je schopen podávat při osvětlení sluncem výkon kolem 10 W, což odpovídá účinnosti přeměny 10 %.

Pro praktickou potřebu jsou monokrystalické články příliš drahé (vzhledem k technologii vyžadují mimořádnou čistotu materiálů), takže se jimi osazují zejména panely satelitů. Větší naději na uplatnění mají tzv. amorfní multikrystalické články, které jsou pětikrát levnější, ale jejich účinnost dosahuje prakticky jen 8 %. Od roku 1995 se nanášením supertenkých vrstviček vzácných kovů na skleněné desky nebo fólie vyrábějí tzv. pokročilé články vykazující účinnost až 14 %, v kosmických solárních komplexech dokonce až 30 %.



Obr. 7.2 Schéma křemíkového fotovoltaického článku [20]

### 7.3.1 Fotovoltaické systémy

Jediný fotovoltaický článek má jen velmi malé využití. Výstupní napětí i výkon je pro většinu aplikací příliš malý. Proto se články podle požadovaného napětí a odebíraného proudu spojují a vytvářejí fotovoltaický modul (panel). Spojením více

modulů vzniká rozměrné fotovoltaické pole, které se instaluje například na střechu nebo fasádu budovy. Pro dosažení vysoké životnosti se moduly ukládají do hermeticky uzavřených pouzder, která jsou opatřena vysoce průhledným tvrzeným sklem. Tato úprava chrání moduly před povětrnostními vlivy, udávaná životnost je 20 - 30 let.

Nejjednodušší systémy s přímým napájením dodávají elektrický výkon přímo ke spotřebičům, kterým nevadí, že mohou pracovat jen po dobu slunečního svitu. Malé články dobíjejí akumulátory mobilů, radiotelefonů a hlásičů, přenosných svítilen, kalkulaček či radiopřijímačů. Panely s výkony od 1 W do 10 W pak obvykle dobíjejí akumulátory autonomních systémů v místech, kde napojení na rozvodnou síť je neúměrně drahé nebo nemožné. Takové na síti nezávislé systémy, označované jako grind-off, udržují spolu s větším akumulátorem v chodu automatické bóje, retranslátory v horách a na pouštích. K jejich propagaci a k propagaci alternativní energie přispívají solární závodní tříkolky, čluny, s nimiž byl překonán i Tichý oceán, nebo solární letouny, které přelétly kanál La Manche a vystoupaly do výšky 20,5 km.

Systémy s akumulátory napojenými na síť jsou nejčastější zdroje elektrické energie pro chaty a rodinné domy. Aby majitelé mohli užívat běžné elektrospotřebiče na střídavý proud, musejí si pořídit kromě akumulátorů ještě střídač, který mění 12 V nebo 24 V na 230 V/50 Hz.

Solární panel v našich zeměpisných podmínkách je schopen během roku dodat 70 kWh až 100 kWh elektrické energie. Pokud by uživatel požadoval vyšší výkon (vytápění), musí být napojen na rozvodnou síť, instalovaný benzinový agregát nebo použít pomocného zdroje tepla.

Vzhledem k vysokým cenám zařízení je zatím výjimkou případ, kdy uživatel instaluje tak velký počet fotovoltaických panelů, aby mohl přebytek proudu ve dne dodávat do rozvodné sítě, k níž se napojí fázovacím měničem (grind-on).

### **7.3.2 Fotovoltaický článek z ekonomického hlediska**

Instalace fotovoltaických systémů je dnes vzhledem k vysoké ceně solárních modulů relativně značně nákladná. Vzhledem k předpokládané životnosti nemohou tyto systémy cenově konkurovat elektřině z rozvodné sítě.

Velké autonomní systémy jsou výhodné tam, kde by bylo vybudování přípojky rozvodné sítě příliš vysoké. Malé autonomní systémy (odběr do 0,15 kWh za den) jsou efektivní při libovolné vzdálenosti od sítě.

Fotovoltaika je už dnes výhodná v odlehlých místech, při malé spotřebě energie a při požadavku bezobslužného a bezporuchového provozu. Porovnání efektivity autonomního systému s jinými lokálními zdroji elektřiny (např. elektrocentrálami s dieselaagregátem) závisí na potřebě energie v průběhu roku. Fotovoltaika na rozdíl od elektrocentrál nezatěžuje životní prostředí zplodinami a hlukem.

Cena fotovoltaických článků se neustále snižuje, takže klesají pořizovací náklady a tím i návratnost investice. [1]

#### **7.4 Typy slunečních elektráren**

Elektřinu můžeme ze slunečního záření získat buď přímo (fotovoltaické články), nebo přes tepelnou energii. Princip u slunečních elektráren je v podstatě stejný jako u tepelných či jaderných elektráren.

##### **Věžové sluneční elektrárny**

Téměř všechny z dvaceti současných solárních elektráren průmyslového typu pracují v Kalifornii v místech s více než 320 slunečnými dny v roce. Počítačem řízené systémy otáčivých a naklápěcích zrcadel (heliostatů) soustřeďují paprsky na trubicový sběrač kotle, umístěného na vysoké věži (obr. 7.3).

U první z nich (Solar One) spuštěné roku 1985, se voda v trubkovnici zahřívá na 560 °C a pára pohání turbogenerátor o výkonu 12 MW. Celkovou účinnost přeměny energie, která se pohybovala kolem 6 %, se podařilo u dalších větších elektráren věžového typu SEGS s výkony po 30 MW zlepšit na 17 %.

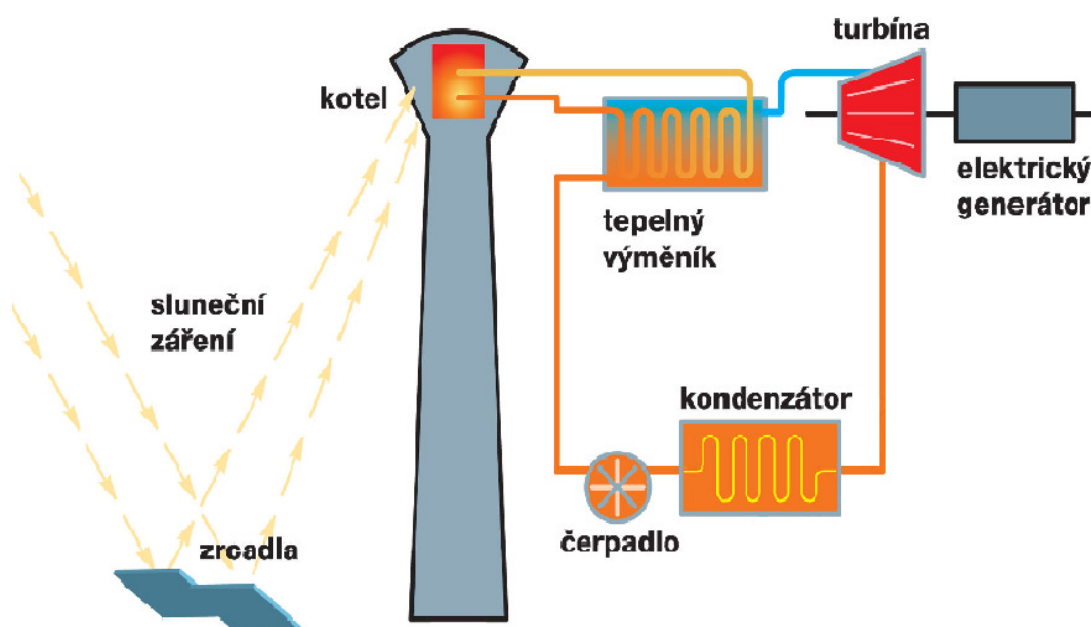
Zrcadla s plochou 20 m<sup>2</sup> až 40 m<sup>2</sup> ze speciálního skla trpí prachem, musí se týdně omývat speciálními kropíci automobily a každá vichřice způsobuje pohromy.

Weizmannův ústav v Izraeli se pokouší zvýšit účinnost solárních tepelných elektráren nikoliv ohřevem vody nýbrž vzduchu v tzv. kombinovaném cyklu s plynovou turbínou. Heliostaty přes matici koncentrátorových zrcadel na věži soustřeďují sluneční záření na ohříváč vyplněný keramickými jehlami, o které se ohřívá vzduch pro spalovací turbínu.

## Kolektorové sluneční elektrárny

Sluneční paprsky zkoncentrované čočkami nebo dutými zrcadly v naklápěcích trubkových kolektorech ohřívají v ohnisku olej nebo freon na několik stovek °C (obr. 7.4). Horkým médiem v okruhu se teplo přenáší výměníkem na vodu a páru k pohonu turboalternátoru. Účinnost je nižší než u věžových elektráren, odpadá však potřeba tisíců choulolistivých heliostatů.

Podobně jako věžové elektrárny se větší jednotky kombinují s olejovým nebo šterkovým akumulátorem tepla, aby po západu slunce mohl turboalternátor ze zásoby tepla pracovat se sníženým výkonem ještě několik hodin a pomohl překonat večerní špičku v odběru.



Obr. 7.3 Schéma věžové sluneční elektrárny [20]

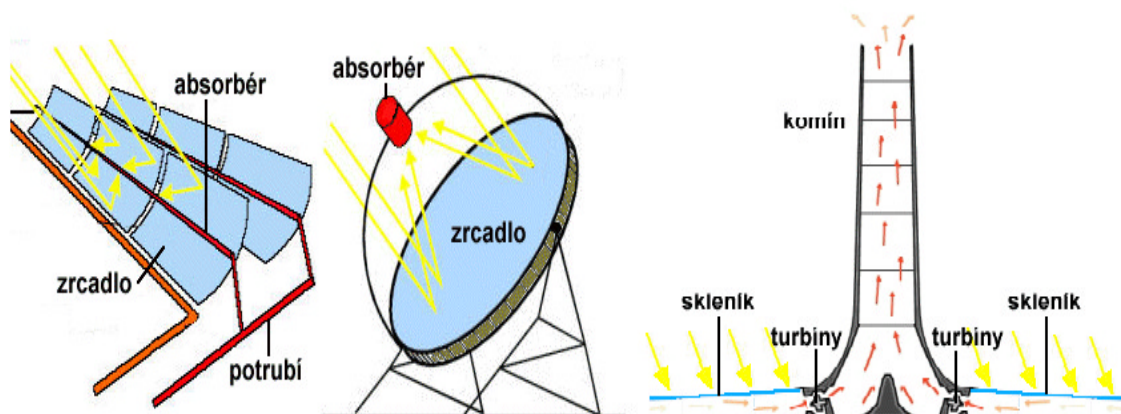
## Solární komínová elektrárna

O nekonvenční řešení tepelné solární elektrárny se v roce 1980 marně pokoušeli ve Španělsku na zmenšeném modelu. Projekt počítal s hliníkovým komínem velkého průměru, vysokým až 200 metrů. Pod průsvitnou fólií pokrývající velkou plochu u jeho paty slunce ohřívá vzduch o 10°C až 20°C. Lehčí ohřátý vzduch stoupá komínem vzhůru a v zúženém místě pohání větrnou turbínu s alternátorem (obr. 7.4).

V současné době se staví v Austrálii komínová elektrárna, která má po dokončení zásobovat elektřinou 200 000 domácností. [1]

### Parabolické solární elektrárny

V ohnisku parabolických koncentrátorů je možno dosáhnout i teplot vyšších než 1000 °C. Také jejich účinnost je v porovnání s jinými typy největší až 30 %. Jsou však náročné z konstrukčního hlediska a proto nedosahují rozměrů, potřebných pro velké výkony. Hlavní využití mají (kromě demonstračních účelů) jako malé zdroje elektrické energie a jako solární vařiče (obr. 7.4).



Obr. 7.4 Žlabový sběrač (1), diskový sběrač (2), princip komínové elektrárny (3) [20]

### 7.5 Výhody a nevýhody slunečních elektráren

Slunce je v lidském měřítku nevyčerpatelným zdrojem energie. Výhodou jsou nízké provozní náklady, neboť sluneční energie je zdarma, nenáročná obsluha. Sluneční energie je čistou energií, nepoškozuje životní prostředí, působí rovnoměrně po celé ploše.

Nevýhodou je, že ji nelze využít v noci a nelze ji dlouhodobě akumulovat. Účinnost přeměny solární energie na jiné formy energie je malá.

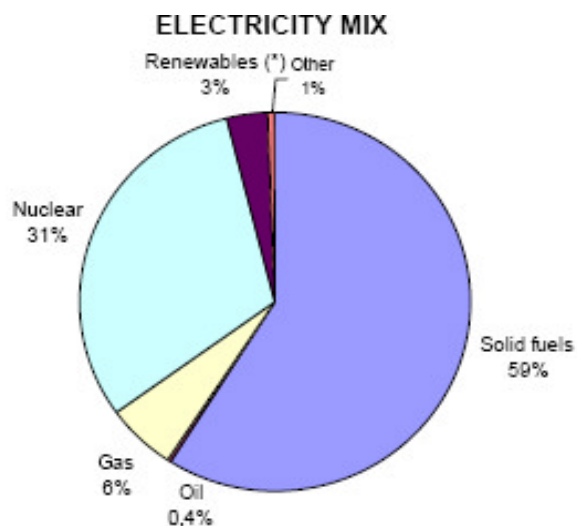
## 8. Srovnání elektráren a energetických zdrojů

V této kapitole jsou uvedeny tabulky a grafy, které porovnávají energetické zdroje na výrobu elektrické energie podle různých hledisek.

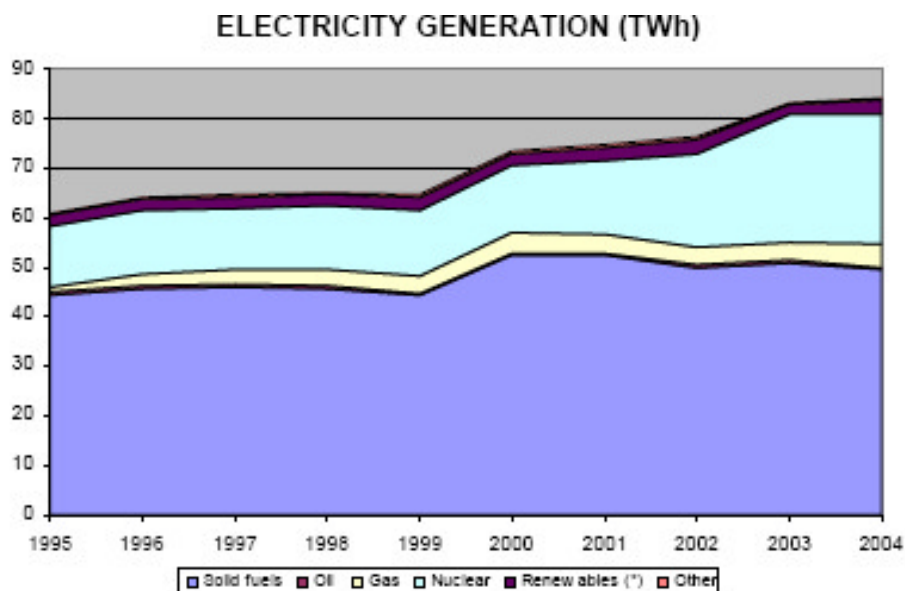
Z tabulky 8.1, která porovnává energetické zdroje v Evropské unii pro rok 2005, můžeme vyčíslit, že náklady na vyrobení 1 MWh pomocí obnovitelných zdrojů jsou stále ještě dost vysoké oproti těm neobnovitelným a výhledově do budoucna v roce 2030 se náklady u obnovitelných zdrojů jen nepatrně sníží. Oproti tomu co se účinnosti týče, vykazují obnovitelné zdroje vysoké hodnoty. V budoucnu (cca. 150 let) by mohly být obnovitelné zdroje jediné, ze kterých budeme moci vyrábět elektrickou energii.

Tabulka 8.1 Energetické zdroje na výrobu elektřiny v rámci EU-27 [20]

| Energy sources | Technology considered for the cost estimate         | 2005 Cost (€ / MWh) | Projected Cost 2030 (€ / MWh with €20-30/t/CO <sub>2</sub> ) | GHG emissions (Kg CO <sub>2</sub> eq/MWh) | EU-27 Import dependency     |      | Efficiency | Proven reserves / Annual production |
|----------------|-----------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|------|------------|-------------------------------------|
|                |                                                     | Source IEA          |                                                              |                                           | 2005                        | 2030 |            |                                     |
| Natural gas    | Open cycle gas turbine                              | 45 – 70             | 55 - 85                                                      | 440                                       | 57%                         | 84%  | 40%        | 64 years                            |
|                | CCGT (Combined Cycle Gas Turbine)                   | 35 - 45             | 40 - 55                                                      | 400                                       |                             |      | 50%        |                                     |
| Oil            | Diesel engine                                       | 70 - 80             | 80 - 95                                                      | 550                                       | 82%                         | 93%  | 30%        | 42 years                            |
| Coal           | PF (Pulverised Fuel with flue gas desulphurisation) | 30 - 40             | 45 - 60                                                      | 800                                       | 39%                         | 59%  | 40-45%     | 155 years                           |
|                | CFBC (Circulating fluidized bed combustion)         | 35 - 45             | 50 - 65                                                      | 800                                       |                             |      | 40-45%     |                                     |
|                | IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)       | 40 - 50             | 55 - 70                                                      | 750                                       |                             |      | 48%        |                                     |
| Nuclear        | Light water reactor                                 | 40 - 45             | 40 - 45                                                      | 15                                        | Almost 100% for uranium ore |      | 33%        | Reasonable reserves: 85 years       |
| Biomass        | Biomass generation plant                            | 25 - 85             | 25 - 75                                                      | 30                                        | nil                         |      | 30 - 60%   | Reasonable reserves: 85 years       |
| Wind           | On shore                                            | 35 - 175            | 28 - 170                                                     | 30                                        |                             |      | 95-98%     |                                     |
|                |                                                     | 35 – 110            | 28 – 80                                                      |                                           |                             |      | 95-98%     |                                     |
|                | Off shore                                           | 50 - 170            | 50 - 150                                                     | 10                                        |                             |      | 95-98%     |                                     |
| Hydro          | Large                                               | 25 - 95             | 25 - 90                                                      | 20                                        |                             |      | 95-98%     |                                     |
|                | Small (<10MW)                                       | 45 - 90             | 40 - 80                                                      | 5                                         | 95-98%                      |      |            |                                     |
| Solar          | Photovoltaic                                        | 140 - 430           | 55 -260                                                      | 100                                       |                             |      | /          |                                     |



Obr. 8.2 Podíl využití energetických zdrojů v ČR [20]



Obr. 8.3 Vývoj produkce elektrické energie (TWh) v ČR [20]

V České republice se nejvíce elektrické energie vyrobí z pevných paliv (uhlí), téměř 60% z celkové produkce a jaderných paliv (30% z celkové produkce). Podíl elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů v ČR je zatím pouze asi 3% (obr. 8.2 a obr. 8.3).

Tabulka 8.4 Dopady na životní prostředí při výrobě a spotřebě elektrické energie [20]

|                                        | Emise<br>skleníkových<br>plynů                                           | Znečištění<br>ovzduší, vody,<br>půdy, odpady                               | Poškození<br>krajiny, zábor<br>půdy                                                 | Poškození<br>ekosystémů,<br>snížení<br>biodiverzity                         | Územní<br>rozsah<br>významných<br>dopadů         | Rizika<br>vážných<br>havárií                                                      | Vratnost<br>změn              | Likvidace<br>zařízení                      |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Fotovoltaika</b>                    | relativně nízké<br>až střední – dle<br>technologie,<br>provozní nulové   | relativně nízké<br>až střední – dle<br>technologie,<br>provozní nulové     | dle rozsahu a<br>umístění<br>elektrárny                                             | relativně nízké                                                             | lokální, max.<br>regionální                      | relativně<br>nízká                                                                | převážně<br>vratné            | relativně<br>nenáročná                     |
| <b>Solární –<br/>výroba tepla</b>      | relativně nízké,<br>provozní nulové                                      | relativně nízké,<br>provozní nulové                                        | nízké                                                                               | relativně nízké                                                             | lokální, max.<br>regionální                      | relativně<br>nízká                                                                | převážně<br>vratné            | relativně<br>nenáročná                     |
| <b>Větrná<br/>elektrárna</b>           | relativně nízké,<br>provozní nulové                                      | relativně nízké,<br>provozní<br>minimální                                  | dle rozsahu,<br>umožňuje<br>kombinaci s<br>jiným využitím<br>půdy                   | relativně nízké                                                             | lokální, max.<br>regionální                      | relativně<br>nízká                                                                | převážně<br>vratné            | relativně<br>nenáročná                     |
| <b>Malá vodní<br/>elektrárna</b>       | relativně nízké,<br>provozní nulové                                      | relativně nízké,<br>provozní nízké                                         | relativně nízké                                                                     | relativně nízké,<br>možná změna<br>vodních poměrů                           | lokální, max.<br>regionální                      | relativně<br>nízká                                                                | převážně<br>vratné            | rel.<br>nenáročná<br>až středně<br>náročná |
| <b>Velká vodní<br/>elektrárna</b>      | přímé emise<br>zejména v rané<br>fázi                                    | relativně nízké,<br>provozní nulové                                        | výrazný zásah<br>do krajiny,<br>zábor půdy                                          | možné poškození<br>ekosystémů i<br>biodiverzity,<br>změna vodních<br>poměrů | lokální,<br>regionální až<br>globální            | významné r.<br>havárie při<br>poškození<br>nádrže                                 | významné<br>nevratné<br>změny | náročná                                    |
| <b>Geotermální<br/>energie</b>         | možné emise u<br>některých<br>technologií                                | relativně nízké,<br>provozní nulové                                        | minimální                                                                           | nízké                                                                       | lokální, max.<br>regionální                      | relativně<br>nízká                                                                | převážně<br>vratné            | relativně<br>nenáročná                     |
| <b>Spalování<br/>uhlí</b>              | hlavní zdroj<br>emisí<br>(spalování,<br>těžba)                           | významný zdroj<br>znečištění<br>ovzduší, vody a<br>půdy, toxické<br>odpady | výrazné<br>poškození<br>krajiny těžbou,<br>velký zábor<br>půdy                      | výrazné<br>poškození<br>ekosystémů<br>těžbou i<br>provozem                  | lokální,<br>regionální a<br>významný<br>globální | významná r.<br>při těžbě,<br>transportu<br>paliv i<br>provozu                     | významné<br>nevratné<br>změny | poměrně<br>náročná<br>(elektrárna)         |
| <b>Spalování<br/>zemního<br/>plynu</b> | nižší emise CO <sub>2</sub><br>než uhlí (55 %),<br>úniky CH <sub>4</sub> | nižší emise než<br>u uhlí a ropných<br>paliv                               | rel. velký zábor<br>půdy pro<br>transport a<br>výrobu energie                       | výrazné<br>poškození<br>ekosystémů i<br>biodiverzity                        | lokální,<br>regionální a<br>významný<br>globální | významná r.<br>při těžbě,<br>transportu<br>paliv i<br>provozu                     | významné<br>nevratné<br>změny | poměrně<br>náročná<br>(elektrárna)         |
| <b>Ropná<br/>paliva</b>                | významný zdroj<br>emisí<br>(spalování,<br>těžba)                         | významný zdroj<br>znečištění<br>ovzduší, vody a<br>půdy                    | poškození<br>krajiny těžbou,<br>rel. velký zábor<br>půdy – těžba,<br>úprava paliva  | výrazné<br>poškození<br>ekosystémů i<br>biodiverzity                        | lokální,<br>regionální a<br>významný<br>globální | významná r.<br>při těžbě,<br>transportu<br>paliv i<br>provozu                     | významné<br>nevratné<br>změny | dle druhu<br>zařízení                      |
| <b>Jaderná<br/>elektrárna</b>          | relativně nízké,<br>vč. provozních                                       | radioaktivní<br>odpady                                                     | poškození<br>krajiny těžbou,<br>velký zábor<br>území pro<br>výrobu, sklad<br>odpadů | výrazné<br>poškození<br>ekosystémů i<br>biodiverzity                        | lokální,<br>regionální až<br>globální            | významné r.<br>při transportu<br>paliv i při<br>provozu s<br>katastrof.<br>dopady | významné<br>nevratné<br>změny | náročná,<br>velmi<br>nákladná              |

Ve většině případů jsou obnovitelné zdroje environmentálně šetrnější než zdroje neobnovitelné (jaderné, fosilní). Nižší je produkce odpadů a emisí škodlivých látek do ovzduší, vody a půdy během celého životního cyklu (tab. 8.4). Mají také nižší rizika závažných provozních havárií.

Tabulka 8.5 Dotace na výstavbu zdrojů elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie

| <b>Technologie OZE</b> | <b>Max. výše dotace v %<br/>(max. však do výše De minimis)</b> | <b>Max. výše dotace v %<br/>(max. však do výše 50 mil. Kč)</b> |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Malé vodní elektrárny  | 40                                                             | 20                                                             |
| Fotovoltaické systémy  | 30                                                             | 20                                                             |
| Geotermální elektřina  | 30                                                             | 20                                                             |
| Větrné elektrárny      | 30                                                             | 20                                                             |

## 9. Předvedení fotovoltaického článku

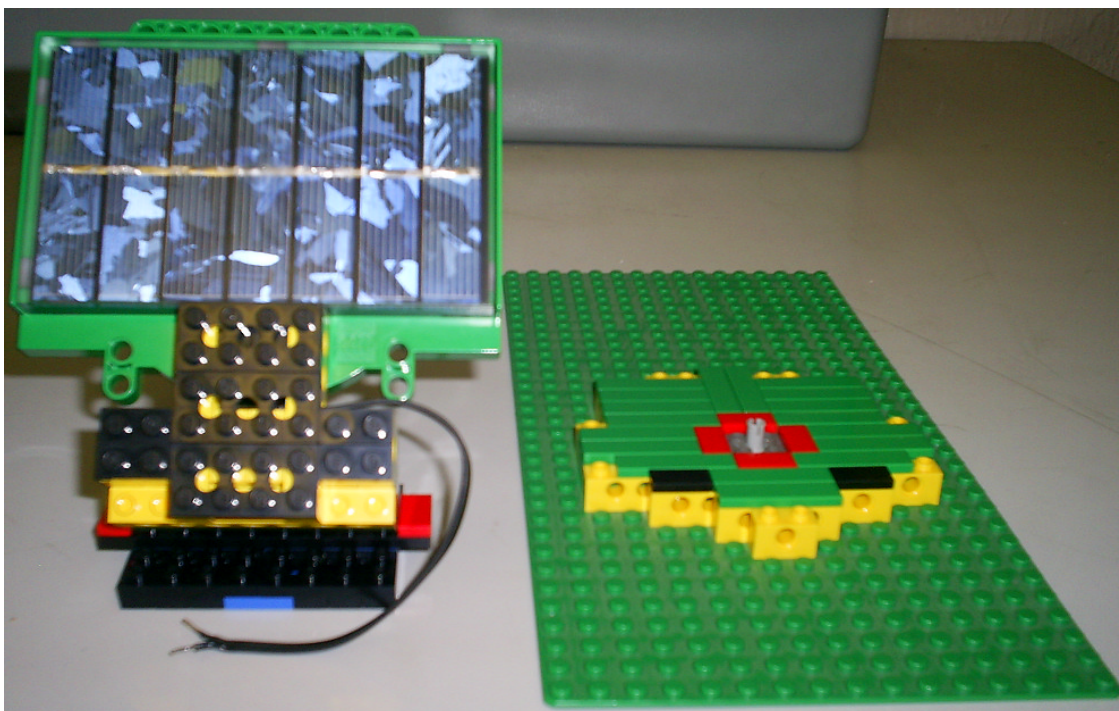
Výroba elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů začíná být čím dál tím více využívána. Princip výroby elektrické energie z fotovoltaického článku je popsán v kapitole 7.3, proto jsem se rozhodl, že prakticky předvedu, kolik takový malý fotovoltaický článek vyrobí napětí, budu-li na něj svítit umělým zdrojem světla (žárovkou).

### 9.1 Sestavení měřící aparatury

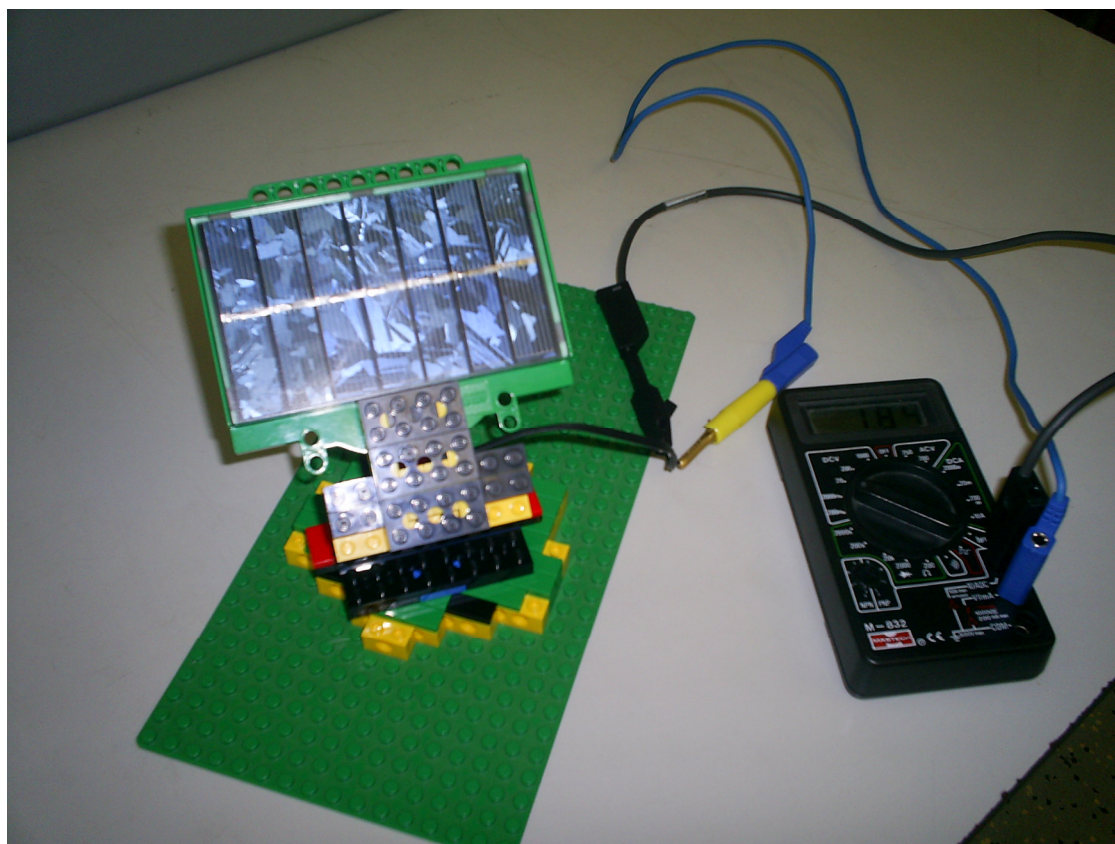
Konstrukci fotovoltaického článku jsem navrhnul tak, aby se s ním dalo natáčet ve dvou směrech. Panel se bude moci natáčet kolem své osy a vertikálně naklápět až na 90°.

Solární článek a díly pro sestavení pohyblivé konstrukce jsem použil ze stavebnice LEGO Dacta. Z této stavebnice jsem nejprve sestavil naklápěcí část, na kterou jsem upevnil článek. Otáčení článku kolem své osy jsem vyřešil přes podstavu, na níž se připojila naklápěcí část s článkem (obr. 9.1). Tímto jsem docílil, že se mohl článek natáčet do dvou směrů.

Před celý tento článek jsem umístil kruhový úhloměr, který mi usnadnil orientaci v naklopení panelu. Jednoduše jsem tak mohl naklápět článek do úhlu, který jsem potřeboval. Jako zdroj světla, abych simuloval sluneční světlo, jsem na stojan připevnil žárovku, kterou jsem umístil nad článek (obr. 9.2).



Obr. 9.1 Části článku – článěk (vlevo), podstava (vpravo)



Obr. 9.2 Zapojení článku s digitálním multimetrem



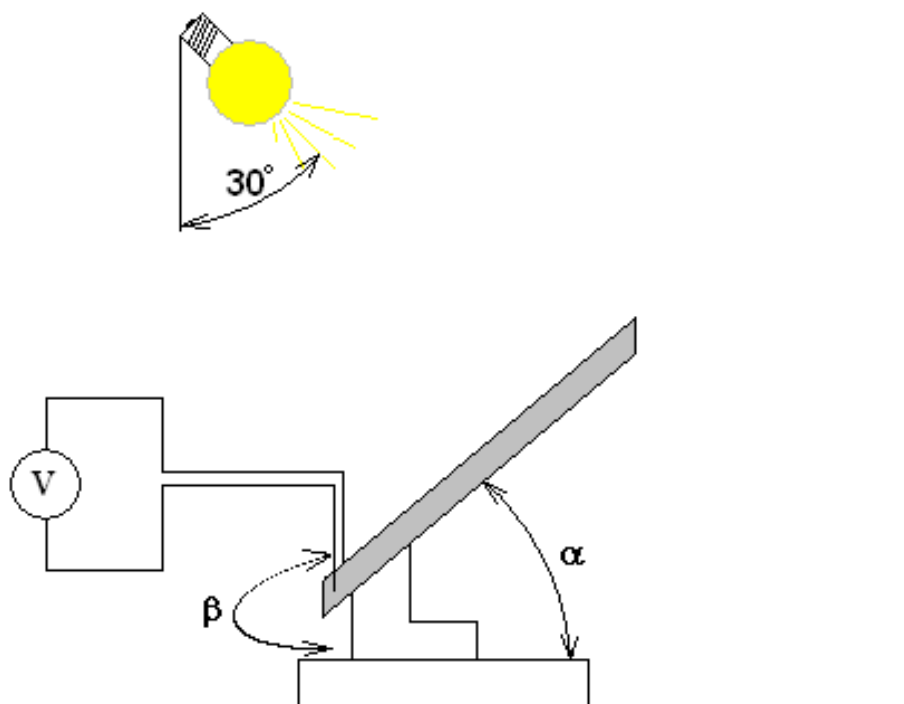
Obr. 9.3 Celá měřicí aparatura

## 9.2 Měření a naměřené hodnoty

Měření jsem provedl v zatemněné komoře, aby na fotovoltaický článek dopadalo pouze světlo od zdroje. Na vývody z článku jsem napojil digitální multimetr, na kterém jsem sledoval elektrické napětí. Pro porovnání jsem použil tři druhy světelných zdrojů, byla to 60 W žárovka, 40 W žárovka a 18 W tzv. úsporná zářivka.

V prvním měření jsem nechal dopadat světlo ze světelného zdroje na článek pod úhlem  $30^\circ$  ze vzdálenosti 54 cm. Poté jsem článkem naklápěl v rozsahu úhlů ( $\alpha$ )  $0^\circ$  až  $90^\circ$  a sledoval voltmetr, jak se mi bude měnit napětí v závislosti na naklopení článku. Tento postup jsem provedl u všech tří světelných zdrojů (tab. 9.5).

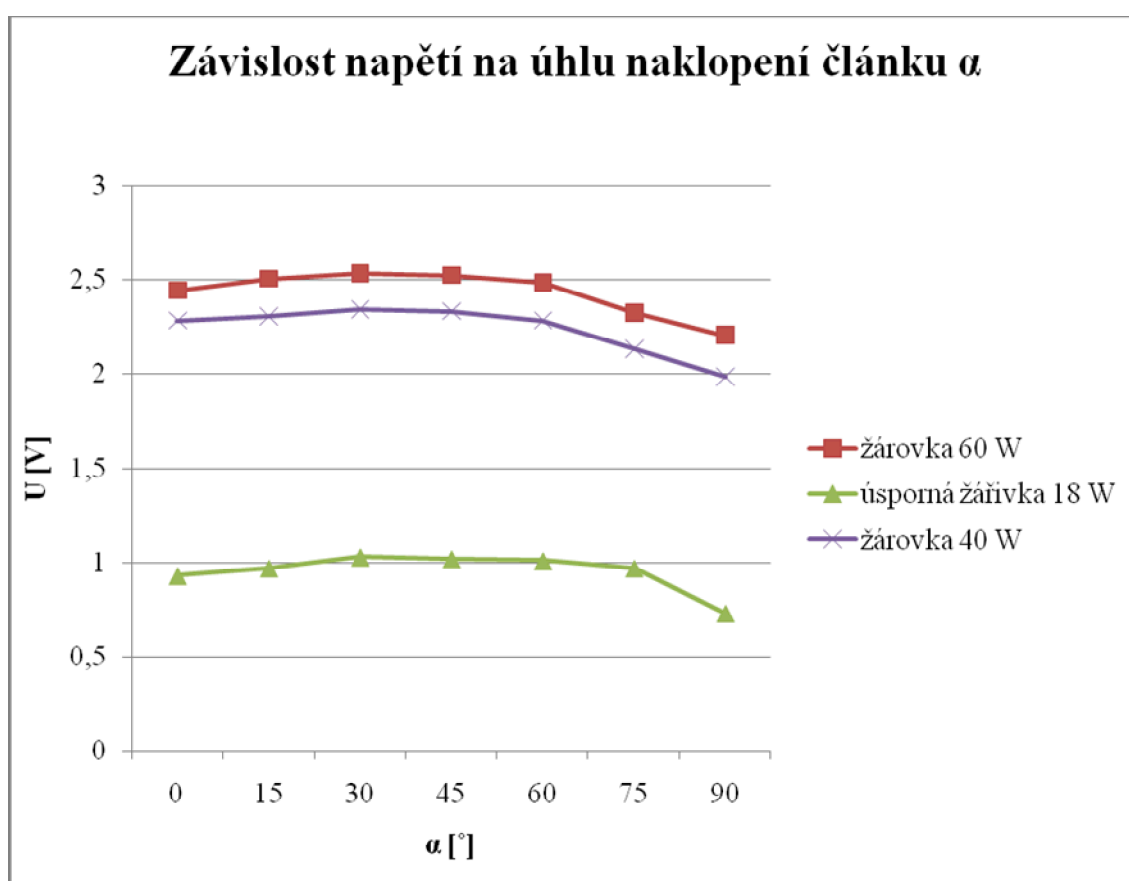
U druhého měření jsem opět nechal dopadat světlo ze světelného zdroje na článek pod úhlem  $30^\circ$ . Úhel naklopení jsem zvolil tak, aby byl kolmo ke zdroji světla, takže tento úhel ( $\alpha$ ) byl také  $30^\circ$ . Po nastavení těchto úhlů jsem měnil natočení článku ke zdroji světla v rozsahu ( $\beta$ )  $0^\circ$  až  $180^\circ$ . Na voltmetru jsem sledoval, jak se mění napětí na článku v závislosti na natočení. Tento postup jsem provedl se všemi zdroji světla (tab. 9.7).



Obr. 9.4 Schéma měřicí aparatury

Tabulka 9.5 Velikost napětí vyrobeného fotovoltaickým článkem při naklopení  $\alpha$

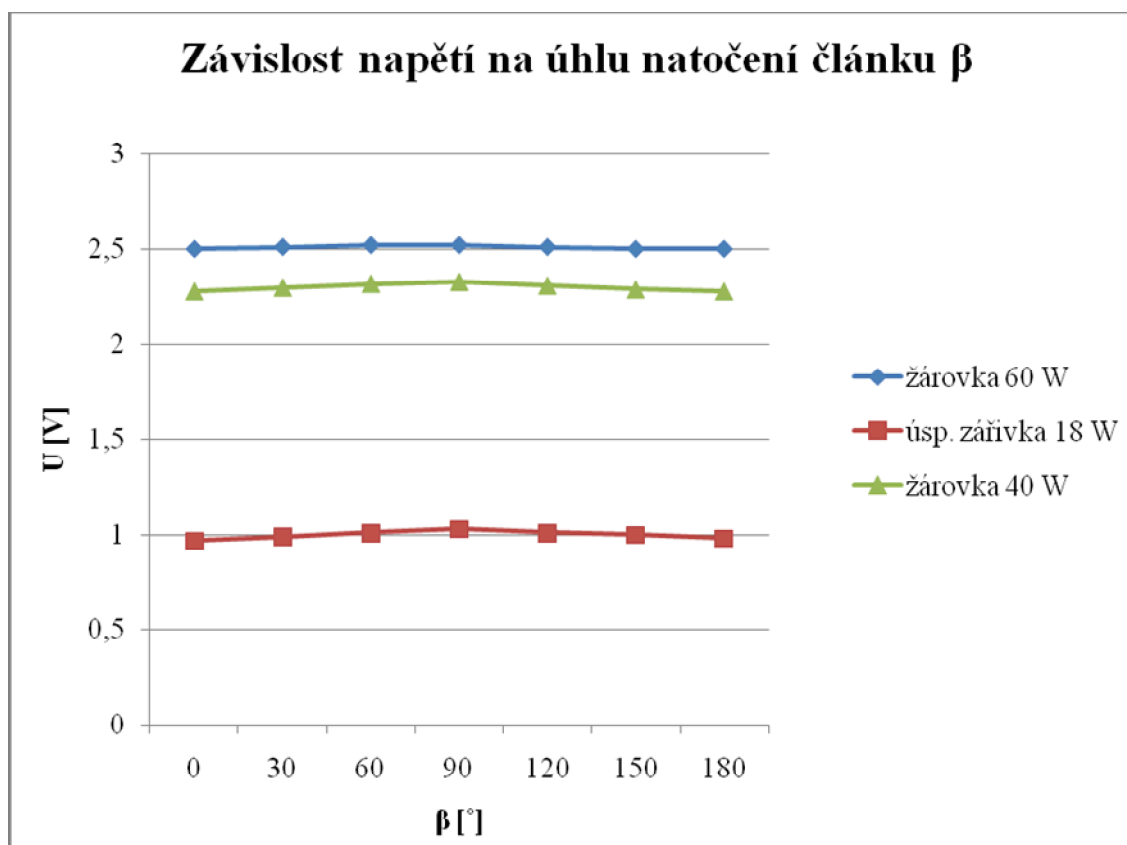
|              | Zdroj světla |                   |              |
|--------------|--------------|-------------------|--------------|
|              | žárovka 60 W | úsp. zářivka 18 W | žárovka 40 W |
| $\alpha$ [°] | U [V]        | U [V]             | U [V]        |
| 0            | 2,44         | 0,93              | 2,28         |
| 15           | 2,5          | 0,97              | 2,3          |
| 30           | 2,53         | 1,03              | 2,34         |
| 45           | 2,52         | 1,02              | 2,33         |
| 60           | 2,48         | 1,01              | 2,28         |
| 75           | 2,32         | 0,97              | 2,13         |
| 90           | 2,2          | 0,73              | 1,98         |



Obr. 9.6 Graf závislosti napětí na úhlu naklopení článku  $\alpha$

Tabulka 9.7 Velikost napětí vyrobeného fotovoltaickým článkem při natočení  $\beta$

|             | Zdroj světla |                   |              |
|-------------|--------------|-------------------|--------------|
|             | žárovka 60 W | úsp. zářivka 18 W | žárovka 40 W |
| $\beta$ [°] | U [V]        | U [V]             | U [V]        |
| 0           | 2,5          | 0,97              | 2,28         |
| 30          | 2,51         | 0,99              | 2,3          |
| 60          | 2,52         | 1,01              | 2,32         |
| 90          | 2,52         | 1,03              | 2,33         |
| 120         | 2,51         | 1,01              | 2,31         |
| 150         | 2,5          | 1                 | 2,29         |
| 180         | 2,5          | 0,98              | 2,28         |



Obr. 9.8 Graf závislosti napětí na úhlu natočení článku  $\beta$

### 9.3 Vyhodnocení měření

Měřením napětí vyrobeného fotovoltaickým článkem, na který jsem svítil třemi různými zdroji světla, jsem zjistil, jak závisí napětí na naklopení či natočení článku. Odečtené hodnoty jsem pro lepší znázornění vynesl do grafů (obr 9.6 a obr 9.8).

Největší napětí vyrobil fotovoltaický článek, když jsem na něj svítil 60 W žárovkou, nejnižší pak bylo při svícení 18 W žárovkou (úspornou).

Při naklápění článku bylo u všech třech světelných zdrojů nejvyšší napětí při úhlu naklopení  $30^\circ$ , tedy byl-li článek naklopen kolmo ke světelnému zdroji. Nejméně napětí článek dodával při  $90^\circ$ .

Při otáčení článku o  $0^\circ$  až  $180^\circ$  byly rozdíly ve vyrobeném napětí článkem jen velmi malé u všech zdrojů.

Měřením jsem zjistil, že velikost napětí závisela spíše na naklopení článku než na natočení vzhledem ke zdroji světla. V praxi je ovšem důležité, aby se fotovoltaický panel natáčel v obou směrech. Proto se vyrábějí panely, u kterých je za pomoci elektroniky sledován pohyb Slunce po obloze a panely se natáčejí tak, aby sluneční paprsky stále dopadaly kolmo na plochu panelů a tím se zvýšila jejich účinnost.

## 10. Závěr

Cílem této práce bylo blíže popsat principy výroby elektrické energie v tepelné, jaderné, vodní, větrné a sluneční elektrárně.

Na základě poznatků o jednotlivých zdrojích na výrobu elektrické energie a jejich srovnání, jsem došel k vyhodnocení závěru, zda jsou vhodnější pro výrobu elektřiny obnovitelné či neobnovitelné zdroje.

Jednotlivé typy elektráren mají své výhody i nevýhody a dosud ještě nebyla vyvinuta elektrárna, která by měla jen samá pozitiva.

V dnešní době, kdy se klade velký důraz na životní prostředí, je i u elektráren tento faktor velmi důležitý např. u tepelných elektráren byly přidány odlučovače popílku a provedlo odsíření, aby dopad na životní prostředí byl co nejmenší. Z tohoto hlediska jsou environmentálně nejšetrnější vodní, větrné a sluneční elektrárny, ale i ony mohou představovat nepatrný zásah do přírody (jejich samotná výroba).

Výkonově elektrárny vodní, větrné a sluneční nedosahují hodnot jako tepelné a jaderné, přestože cena vyrobené MWh je mnohem vyšší.

V České republice se především používají elektrárny tepelné a jaderné, pro stavbu velkých elektráren slunečních a větrných zde nejsou vhodné podmínky a vodní potenciál pro vybudování velkých vodních elektráren je téměř vyčerpaný.

Výhledově do budoucna kvůli postupnému ubývání fosilních a jaderných paliv (vyčerpání cca do 150 let), budeme postupně nuceni nahrazovat tyto zdroje zdroji obnovitelnými, jako jsou Slunce, voda, vítr, biomasa a geotermální energie.

Výsledkem této práce seznámení s možnostmi výroby elektrické energie a přiblížení problematiky energetických zdrojů. Pro předvedení funkce fotovoltaického článku jsem sestrojil model a provedl ukázkové měření.

## **Použitá literatura:**

- [1] Augusta P. a kol.: Velká kniha o energii, Praha 2001
- [2] Balák R., Prokeš K.: Nové zdroje energie, SNTL, Praha 1989
- [3] Balák R., Pauza J.: Elektroenergetika II, SNTL, Praha 1980
- [4] Kubín M.: Jihočeská energetika, JIH, České Budějovice 1995
- [5] Kuklík P.: Elektrický valčík, Praha 1994
- [6] Raček J.: Jaderné elektrárny, VUT, Brno 2002
- [7] Škorpil J., Kasávník M.: Vodní elektrárny, Praha 1996
- [8] Gabriel P., Čihák F., Kalandra P.: Malé vodní elektrárny, ČVUT, Praha 1998
- [9] Brož K., Šourek B.: Alternativní zdroje energie, ČVUT, Praha 2003
- [10] Motlík J.: Obnovitelné zdroje elektrické energie a možnost jejich uplatnění v ČR, Praha 2002
- [11] Murtinger K., Beranovský J., Tomeš M.: Fotovoltaika elektřina ze slunce, ERA, Brno 2007
- [12] kol. ČEZ: Radioaktivní odpady a skupina ČEZ, Praha 2004
- [13] kol. ČEZ: Pokročilé jaderné technologie a skupina ČEZ, Praha 2004
- [14] ECČB: Větrná energie, České Budějovice 2006
- [15] ECČB: Sluneční termické systémy, České Budějovice 2006
- [16] ECČB: Obnovitelné zdroje energie, České Budějovice 2006
- [17] ECČB: Malé vodní elektrárny, České Budějovice 2006
- [18] Časopis T+T technika a trh. Vydavatel: CCB s.r.o., Okružní 17, 63000 Brno
- [19] Časopis Automatizace. Vydavatel: Automatizace s.r.o., Mikulovská 7, 11061 Praha
- [20] Internet: [www.cez.cz](http://www.cez.cz)  
[www.eccb.cz](http://www.eccb.cz)  
[www.vodni-tepelne-elektrarny.cz](http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz)  
[www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)  
[www.energetika.cz](http://www.energetika.cz)  
[www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz)  
[www.alternativni-zdroje.cz](http://www.alternativni-zdroje.cz)  
[www.je-temelin-dukovany.cz](http://www.je-temelin-dukovany.cz)  
[www.eon.cz](http://www.eon.cz)  
[www.calla.cz](http://www.calla.cz)  
[www.solarniliga.cz](http://www.solarniliga.cz)