

Energetická agentura Zlínského kraje, o.p.s.

Obnovitelné zdroje energie

Ing. Jaroslav Chlubný
Ing. Jaroslav Lednický
Ing. Radek Sedlačík
Mgr. Lenka Slezáčková

V rámci projektu

„Energetická efektivita v souvislostech vzdělávání“

Publikace byla vytvořena jako učební text ke vzdělávacímu programu Obnovitelné zdroje energie, akreditovaného u MŠMT ČR pod č.j. 25089/2010-25-565. Projekt je financován v rámci Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

Obsah

| | |
|--|----|
| Obsah | 3 |
| 1 Úvod | 4 |
| 1.1 Energie – základní pojmy a veličiny | 4 |
| 1.2 Zdroje energie | 5 |
| 1.2.1 Neobnovitelné zdroje energie | 5 |
| 1.2.2 Obnovitelné zdroje energie | 7 |
| 2 Slunce | 8 |
| 2.1 Jakými způsoby mohou lidé využít energii Slunce? | 10 |
| 2.2 Slunce jako zdroj tepla | 11 |
| 2.2.1 Využití Slunce pro přípravu teplé vody a vytápění | 14 |
| 2.3 Slunce jako zdroj elektrické energie | 21 |
| 2.3.1 Fotovoltaické elektrárny | 21 |
| 2.3.2 Solární tepelné elektrárny | 26 |
| 3 Voda | 27 |
| 3.1 Energie oceánů | 28 |
| 3.2 Energie vodních toků | 29 |
| 3.2.1 Rozdělení vodních turbín | 30 |
| 3.2.2 Rozdělení vodních děl (elektráren) | 32 |
| 4 Větr | 35 |
| 4.1 Rozdělení a vlastnosti větrných elektráren | 37 |
| 5 Biomasa | 38 |
| 5.1 Historie využívání biomasy | 38 |
| 5.2 Spalování biomasy | 39 |
| 5.2.1 Spalování dřeva a bylin | 39 |
| 5.2.2 Spalování slámy | 40 |
| 5.3 Technologie pro přeměnu biomasy do jiného skupenství | 41 |
| 5.3.1 Karbonizace | 41 |
| 5.3.2 Pyrolýza | 42 |
| 5.3.3 Zplyňování | 43 |
| 5.4 Bioplyn | 43 |
| 6 Geotermální energie | 48 |
| 6.1 Energie prostředí | 49 |
| 7 Obnovitelné zdroje energie ve Zlínském kraji | 51 |
| 7.1 Solární systém v Rusavě | 52 |
| 7.2 FVE Suchý Důl | 52 |
| 7.3 MVE Spytihněv | 53 |
| 7.4 Větrná elektrárna Svatý Hostýn | 54 |
| 7.5 Kotelna na biomasu Brumov-Bylnice | 54 |
| 7.6 Zemědělské bioplynové stanice | 55 |
| 7.7 Koupaliště Valašské Meziříčí (solární systém + TČ vzduch-voda) | 55 |
| 8 Minulost, současnost a budoucnost OZE | 56 |
| 8.1 Politika a legislativa v oblasti obnovitelných zdrojů energie | 56 |
| 8.2 Budoucnost obnovitelných zdrojů energie | 57 |
| 8.3 Akumulace energie | 59 |
| 8.4 Chytré sítě | 60 |
| 9 OZE v příkladech a úlohách | 61 |

1 Úvod

Termín obnovitelné zdroje energie (OZE) je v dnešní době hojně využíván v nejrůznějších oblastech. Můžeme se s ním potkat v souvislosti s hrozbou vyčerpání fosilních zdrojů, znečištěním životního prostředí i politikou Evropské unie (EU) zaměřenou na prevenci klimatických změn spojených s emisemi skleníkových plynů. V této publikaci, určené pro pedagogické pracovníky základních a středních škol, jsou popsány základní pojmy týkající se výroby energie, jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů energie, příklady těchto zdrojů ve Zlínském kraji, úlohy a cvičení využitelné při výuce i nástin budoucího vývoje v této oblasti.

Tato publikace vznikla v rámci projektu Energetická efektivita v souvislostech vzdělávání spolu s publikacemi zaměřenými na *Šetrnou jízdu* a *Energetickou efektivitu*. Všechny tyto publikace spolu s doplňujícím studijním materiálem a aktuálními informacemi z daných oblastí jsou k dispozici na internetových stránkách projektu.

1.1 Energie – základní pojmy a veličiny

Energie, schopnost konat práci, je nejdůležitější vlastnost hmoty a zařízení. Je obsažena v každém kousku hmoty, paprsku světla a provází nás na každém kroku. Vztah mezi hmotností a energií definuje známý Einsteinův vztah:

$$E = mc^2$$

,kde **E** je veškerá energie obsažená ve hmotě; **m** je hmotnost objektu; **c** je rychlost světla ve vakuu.

Rozlišujeme několik základních druhů energie:

- **mechanická energie** - dána hmotností a polohou tělesa v gravitačním poli (potencionální) nebo hmotností a rychlostí pohybu tělesa (kinetická)
- **tepelná** - vnitřní energie pohybujících se částic hmoty (atomů a molekul)
- **světelná** - elektromagnetické záření nejrůznějších vlnových délek od rentgenového záření, přes ultrafialové, viditelné a infračervené až po rádiové vlny
- **elektrická** - energie elektrostatického a magnetického pole, které vzniká v okolí ohybujících se částic
- **chemická** - uvolňuje nebo absorbuje se při chemických reakcích
- **jaderná** - uvolňuje se při štěpení jádra atomu

Energii lze snadno transformovat z jednoho druhu na jiný. Např. elektrickou energii přeměníme v elektromotoru na mechanickou, chemická energie v našich svalech se mění na pohybovou apod. Při každé přeměně je ovšem nutné počítat s určitými ztrátami nejčastěji ve formě odpadního tepla. V literatuře i běžném životě se setkáváme s vyjádřením množství energie v několika různých jednotkách (kalorie, jouly, kWh,...). V této publikaci se pro větší názornost budou využívat pouze jouly a watthodiny v odpovídajících násobcích.

U zdrojů energie se kromě množství vyrobené energie udává také jejich výkon, což je množství práce za jednotku času. Jednotkou výkonu je watt ($1\text{W} = \text{J} / \text{s}$) - neplést s jednotkou energie Ws (Wh , kWh , MWh ,...)! Energie je výkon za určitý čas (sekundu, hodinu). Pro představu, pokud má zdroj konstantní výkon 1 kW , pak za hodinu nepřetržitého provozu vyrobí 1 kWh energie.

Výkon je množství práce, které ze zdroje/spotřebiče vychází. Pro výpočet účinnosti zdroje/spotřebiče se používá veličina příkon, což je množství práce vstupující do zdroje/spotřebiče. Příkon má stejné jednotky jako výkon. Účinnost zdroje/spotřebiče získáme, když hodnotu příkonu podělíme hodnotou výkonu. Spojitost mezi příkonem a spotřebou energie udává následující tabulka.

Úvod

Tab. 1 Výkon a spotřeba energie vybraných spotřebičů

| Spotřebič | Příkon [W] | Spotřeba za 1 h provozu [kWh] | Za jak dlouho se spotřebuje 1 kWh [h] |
|---------------------|---------------|----------------------------------|--|
| LED „žárovka“ | 5 | 0,005 | 200 |
| Kompaktní zářivka | 9 | 0,009 | 111 |
| žárovka | 40 | 0,040 | 25 |
| notebook | 50 | 0,050 | 20 |
| PC (kompletní) | 225 | 0,225 | 4,4 |
| Rychlovarná konvice | 1 400 | 1,4 | 0,7 |
| Žehlička | 1 700 | 1,7 | 0,59 |
| Pračka | 2 000 | 2,0 | 0,5 |

Pozn. Zdroje osvětlení odpovídají svým světelným výkonem přibližně 40 W žárovce.

1.2 Zdroje energie

Přibližně před 500 tisíci lety s ovládnutím ohně člověk poprvé uvolnil část energie vázané ve hmotě a pozvedl roční spotřebu energie asi na dvojnásobek – okolo 6 GJ na člověka za rok. Vznik zemědělské společnosti a využívání síly tažných zvířat před 10 000 lety zvýšil spotřebu energie zejména ve stavební a dopravní činnosti na 20 až 30 GJ. V antice a středověku využívali lidé navíc energii vodních toků a větru. Konečně na přelomu 18. a 19. století s vynálezem parního stroje dochází k průmyslové revoluci a roční spotřeba energie roste na 100 GJ na člověka za rok. V současnosti se roční spotřeba energie na jednoho člověka pohybuje mezi 20 GJ v Africe a 350 GJ v USA.

Z hlediska dlouhodobé udržitelnosti se zdroje energie rozdělují na neobnovitelné a obnovitelné. Energetika současné technické civilizace na naší planetě se opírá především o využívání neobnovitelných zdrojů (uhlí, ropa, zemní plyn a jaderná energie). Protože však fosilní energetické suroviny nebudou lidstvu k dispozici navždy, dostávají se do popředí úsporné technologie a alternativní zdroje energie.

1.2.1 Neobnovitelné zdroje energie

Mezi neobnovitelné zdroje energie řadíme ložiska fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn), jejichž zásoby jsou omezené a vznikaly po miliony let. Z toho hlediska se dá mezi neobnovitelné zdroje zařadit i jaderná energetika, neboť zdroje jaderného paliva jsou také omezené. S rozvojem technologií se však objevila možnost znovu využívat použité jaderné palivo, proto je jaderná energie některými prameny řazena mezi zdroje obnovitelné. K jaderným technologiím patří i jaderná syntéza (fúze), která je zdrojem energie našeho Slunce. Pokud by se podařilo efektivně zvládnout jadernou fúzi, energetické potřeby lidstva by byly, vzhledem k obrovským zásobám surovin ve světových oceánech, pokryty na miliony let dopředu.

Fosilní paliva vznikla v dávných dobách díky slunečnímu svitu, jehož energie byla uložena do tkání tehdejších rostlin. Při horninotvorných procesech byly rozsáhle pravěké porosty rostlin překryty vrstvami hornin a za nepřístupu vzduchu postupně zuhelnatěly. Podobnými procesy z řas a dalších vodních rostlin vznikly ropné látky a zemní plyn. Nyní, po mnoha milionech let, se fosilní paliva těží a využívají v obrovském množství jako hlavní energetický zdroj naší civilizace. V průmyslově vyspělých zemích pokrývají téměř 90 % energetických potřeb.

Podstatnou výhodou fosilních paliv je vysoká koncentrace energie v jednotce objemu. To usnadňuje přepravu na velké vzdálenosti i jejich skladování. Další výhodou jsou ověřené fungující technologie přeměny na ušlechtlejší formy energie. Moderní technologie spolu s vysokou koncentrací skladované energie nám umožňují vyrábět energii, **kdy** ji potřebujeme, **v místě** spotřeby a v odpovídajícím **množství**. Tento fakt, který poskytuje fosilním zdrojům oproti většině OZE neopomenutelnou výhodu, je však vyvažován významnými nevýhodami.

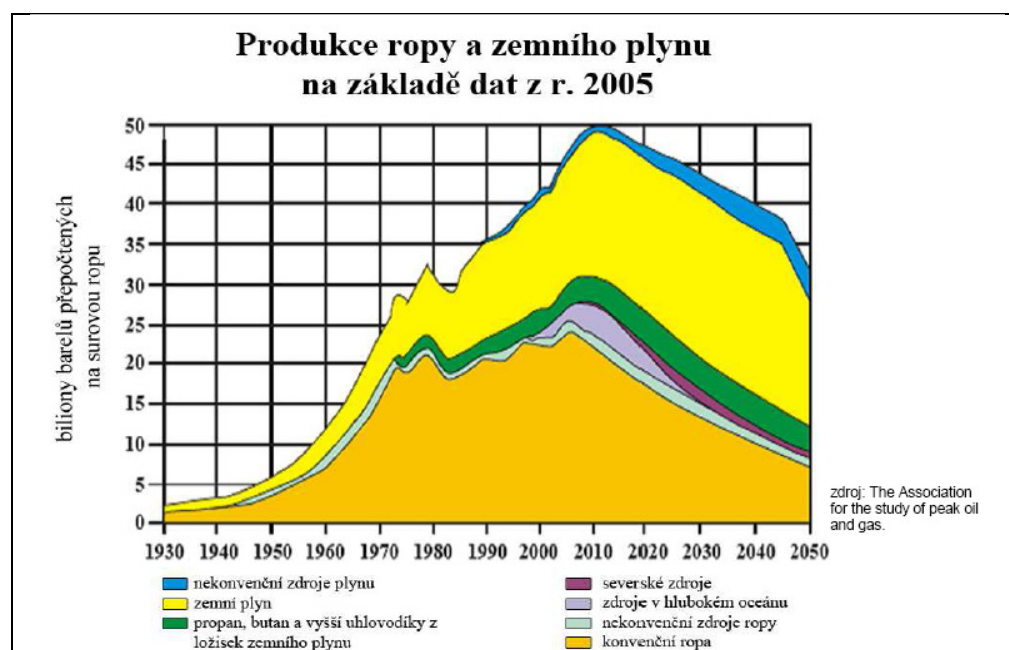
Hlavní nevýhodou fosilních zdrojů je nevratné vyčerpávání jejich ložisek často spojené s devastací okolní krajiny. Spalování fosilních paliv uvolňuje do ovzduší škodlivé látky, které ohrožují životní prostředí a také zvyšuje koncentraci oxidu uhličitého (CO₂) v atmosféře.

Oxid uhličitý spolu s dalšími skleníkovými plyny (metan, freony, vodní pára,...) vytváří v atmosféře vrstvu, kterou sluneční paprsky snadno pronikají k povrchu země. Povrch se zahřeje a vyzáří získanou energii zpět ve formě tepelného (infračerveného) záření. Vrstva skleníkových plynů však větší část tohoto záření vrací zpět k zemskému povrchu. Tím se povrch země ohřívá stále víc a vzrůstá nebezpečí pro život na Zemi.



Obr. 1 Negativní dopady spalování fosilních paliv

Odhadovat zásoby fosilních paliv je velmi problematické. Díky strategickému významu těchto surovin mnohé státy tají skutečné ověřené zásoby. Jistou představu o dostupných zásobách ropy určitého státu je dosažení vrcholu produkce těžby ropy (oil peak), po kterém se již objem vytěžené ropy nezvyšuje, ale začíná naopak klesat. Vrcholu těžby dosáhly USA na konci šedesátých let minulého a od té doby jsou, i přes nalezení nových ložisek v Mexickém zálivu a na Aljašce, čistým dovozcem surové ropy. V roce 2010 nedosáhla svého oil peaku z velkých světových producentů ropy pouze Saudská Arábie ovšem za cenu obrovských investic do maximálního využití svých ložisek! Celosvětové zásoby zemního plynu by podle současných odhadů měly vydržet o několik desetiletí déle, než zásoby ropy. Pouze zásoby uhlí by nám měly vydržet déle než sto let. Všechny odhady světové produkce jsou však zatíženy jistou chybou. Nevíme přesně, kolik a jak vydatných ložisek se na naší planetě vlastně nachází. Mnohá jsou ukryta v hlubinách oceánů, další pod ledovci v polárních oblastech a pak jsou tu netradiční zdroje (hořlavé písky, břidlice), jejichž využití je příliš nákladné (při současné technologii těžby a ceně ropy) a spojené s rozsáhlou devastací krajiny.



Obr. 2 Prognóza čerpání ropy a zemního plynu

1.2.2 Obnovitelné zdroje energie

Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona o životním prostředí¹ je: „**Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.**“

Z definice tedy vyplývá, že při rozumném využívání nehrozí u obnovitelných zdrojů energie jejich vyčerpání. Hustota energie je u těchto zdrojů sice nižší než u zdrojů fosilních (OZE potřebují pro obdobný výkon zpravidla větší plochu než zdroje využívající fosilní paliva), ale na druhou stranu jsou neustále zadarmo doplňovány pomocí přírodních procesů a odpadají problémy s těžbou a dodávkou paliva. Dalším společným znakem většiny obnovitelných zdrojů je jejich závislost na povětrnostních vlivech, množství energie ukryté ve slunečním záření, větru i vodě pak kolísá v průběhu roku i jednoho dne. Z tohoto pohledu se od ostatních OZE liší biomasa a geotermální energie. Oba tyto zdroje se obnovují relativně pomaleji a při neadekvátním využívání se mohou dočasně vyčerpat. Oproti ostatním OZE je však jejich závislost na povětrnostních vlivech minimální a proto je množství jimi produkované energie snadno předvídatelné.



Obr. 3 Příklady obnovitelných zdrojů energie

Z hlediska původu energie můžeme OZE rozdělit na dvě skupiny:

- 1) Primárním zdrojem energie je Slunce – do této skupiny patří energie vlastního slunečního záření, větru, vody a energie ukrytá v biomase.
- 2) Primárním zdrojem energie není Slunce – sem patří geotermální energie (zbytkové teplo Zemského nitra ze vzniku planety + teplo z jaderných rozpadů prvků uvnitř pláště) a energie přílivu a odlivu způsobená převážně gravitačním působením Měsíce

Využívání obnovitelných zdrojů energie přináší mnoho výhod (omezení emisí skleníkových plynů, snížení závislosti na dovozu fosilních paliv, podporu místní ekonomiky,...), ale je také přirozeně spojeno, tak jako každá lidská činnost, i s jistými riziky. Každému obnovitelnému zdroji energie je v této publikaci věnována samostatná kapitola, ve které naleznete úvod k danému zdroji, historii jeho využití, technologie a nutné přírodní podmínky.

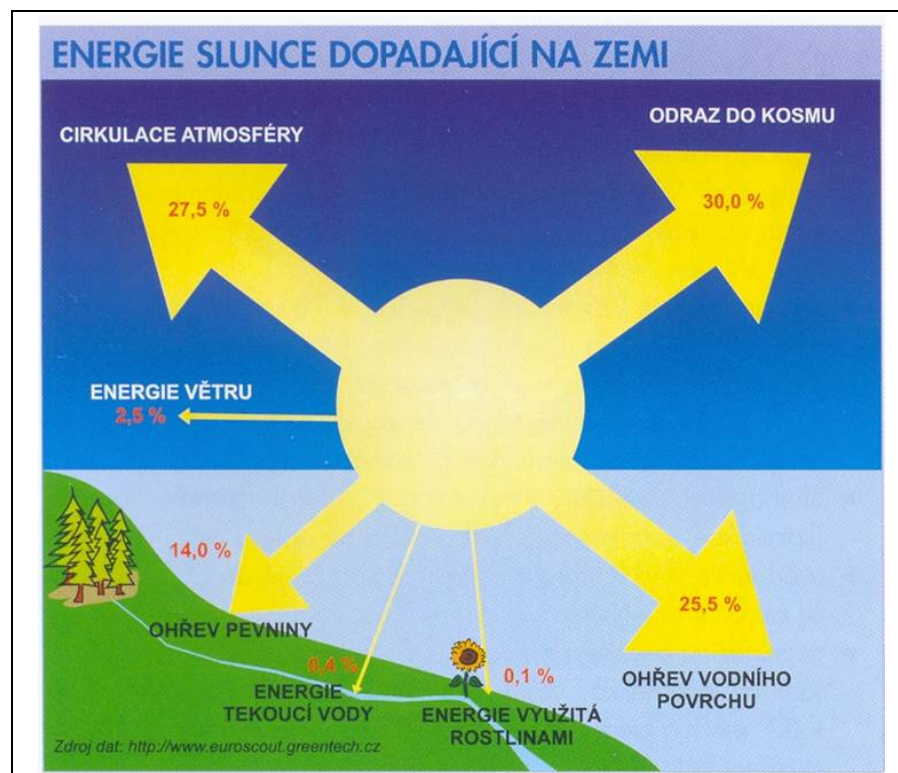
¹ Zákon o životním prostředí 17/1992 Sb.

2 Slunce

Slunce je obrovská koule žhavých plynů (plazmatu) více než milionkrát větší než naše planeta Země. Je složeno především z nejjednodušších plynů tj. z vodíku a hélia, ale jsou v něm v nepatrném množství zastoupeny i ostatní prvky (uhlík, dusík, kyslík a další). Energie slunečního záření pohání téměř všechny procesy, které na Zemi probíhají. Je na ní závislé podnebí, změny počasí i teploty a má také určitý vliv na výšku přílivu a odlivu. Pomáhá udržet na zemském povrchu vodu v kapalném skupenství, je klíčovým faktorem pro fotosyntézu rostlin a umožňuje živočichům vidět. Vzdálenost mezi Zemí a Sluncem se pohybuje v rozmezí 147 097 000 km (perihélium) až do 152 099 000 km (afélium). Světlo dosáhne povrchu Země přibližně za 8 minut a 19 sekund.

Ve středu Slunce je **jádro**, žhavý termonukleární reaktor (14 milionů °C), v němž se vodík mění na hélium. Uvolněná energie má v jádru formu tvrdého rentgenového záření. Záření vzniklé při termonukleární reakci postupně proniká sluneční hmotou, až se dostane na povrch ve formě tepelného (30 %), světelného (60 %), ultrafialového a rentgenového záření (dohromady 10 %). Rozložení energie odpovídá záření tělesa, rozžhaveného na teplotu zhruba 5 780 K. Takovou teplotu tedy má i sluneční povrch.

Slunce vysílá své záření stejně do všech směrů a na naši planetu jí dopadne jen nepatrný zlomek - pouze půl miliardy (cca 180 tisíc TW²). Na každý čtvereční metr na hranici zemské atmosféry připadá intenzita zářivé energie o průměrné hodnotě 1 367 W. Tato hodnota se nazývá **solární konstanta**. Průchodem atmosférou se část energie odráží zpět do vesmírného prostoru, část se pohltí a rozptýlí. Zbývající část dopadá na zemský povrch a je jím pohlcena nebo odrážena. Zemská atmosféra nás chrání před škodlivými účinky krátkovlnných záření. Pohlcuje prakticky veškeré záření ultrafialové, rentgenové i gama záření. Na zemský povrch se dostane jen viditelné světlo, část infračerveného záření a rádiové vlny. Ostatní druhy je možno registrovat a pozorovat teprve ve velkých výškách, například pomocí umělých družic a kosmických sond.

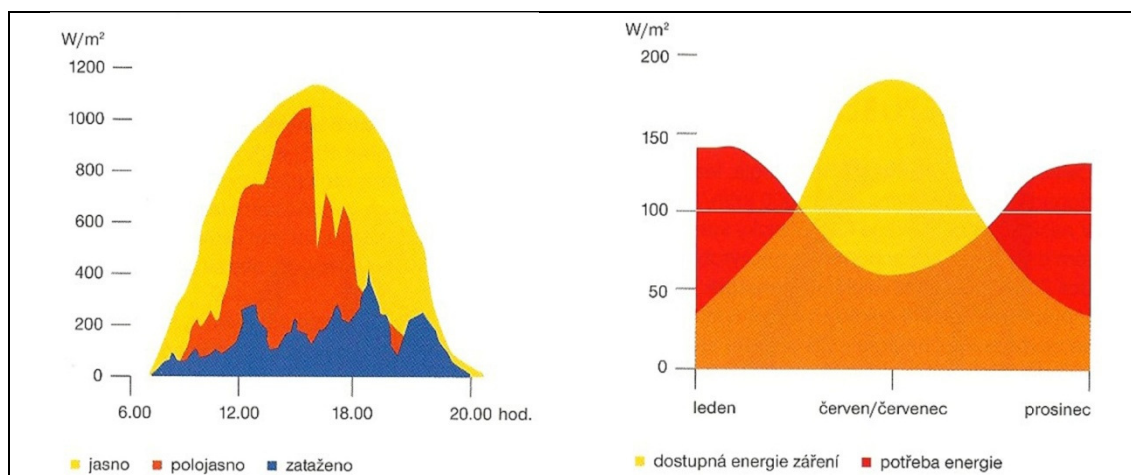


Obr. 4 Energie Slunce dopadající na Zemi

²TW - terawatt je bilion wattů, což je milion megawattů

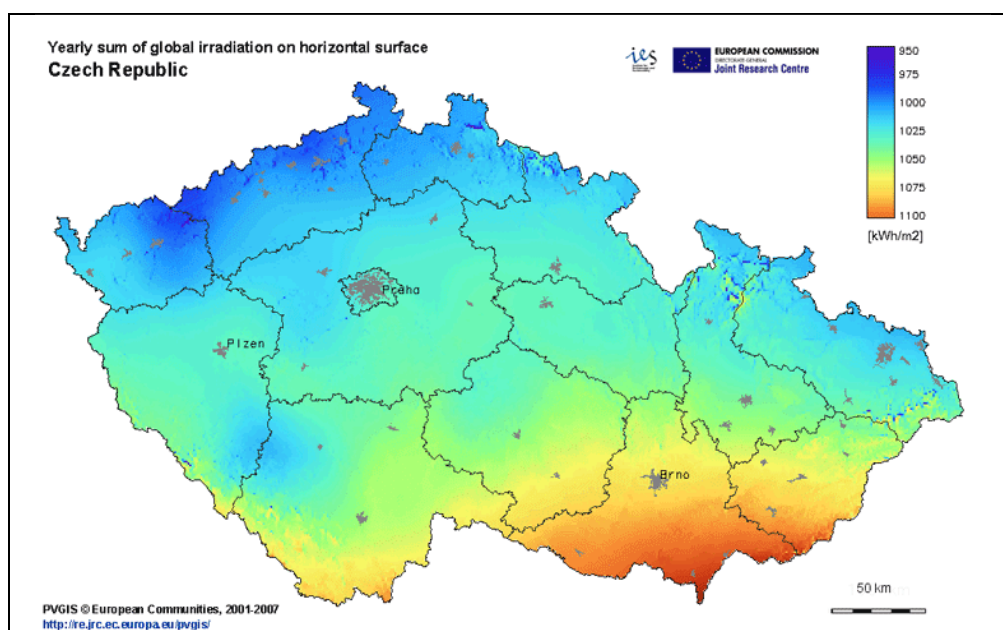
Slunce

Slunce každou sekundu dodává na Zemi $180\,000\text{ TW}^3$ čisté a nevyčerpatelné energie. Naše hvězda je tedy dominantním zdrojem energie na naší planetě a to jak v nepřímé formě (koloběh vody, vítr, energie v biomase), tak ve formě slunečního záření. Přímému využití slunečních paprsků je věnována celá úvodní kapitola této publikace.



Obr. 5 Denní průběh záření ve střední Evropě (duben) a rozložení sluneční energie během roku

Na našem území dosahuje průměrná intenzita slunečního záření hodnoty kolem 620 W/m^2 , jen výjimečně a krátkodobě dosahuje $1\,000\text{ W/m}^2$. Intenzita slunečního záření kolísá v průběhu dne podle toho, jaké zrovna panuje počasí. Ještě větší význam při plánování využití sluneční energie však hraje jeho rozložení mezi jednotlivá roční období. V zimě, kdy potřebujeme nejvíce tepla na vytápění je slunečních paprsků nejméně a naopak v létě, kdy bychom potřebovali spíše chladit, je slunečního svitu nadbytek. Existují několik řešení tohoto problému, prvním je krátkodobá (den/noc) či dlouhodobá (léto/zima) akumulace získané energie. Nicméně, čím déle chceme sluneční energii akumulovat, tím větší jsou ztráty a tím víc nás to bude stát. Druhou možností je navrhnout skromnější systém, který bude pokrývat pouze potřebu energie na přípravu teplé vody. Další alternativou je systém produkující o něco více energie, která se využije k vytápění hlavně v přechodném období (jaro, podzim). Pokud je to možné, máří tento systém velké solární zisky během léta na ohřev bazénu.



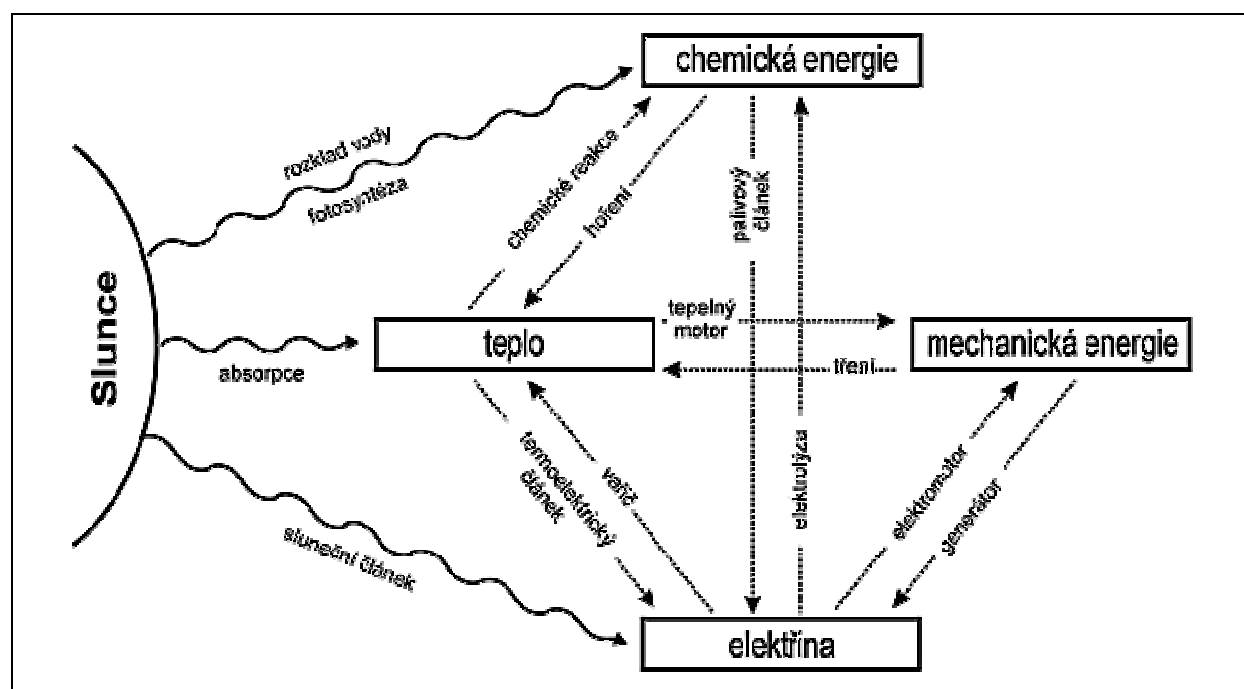
Obr. 6 Roční suma dopadajícího slunečního záření v ČR

³ Přibližně 14 000x více než je spotřeba celého lidstva

Česká republika je sice poměrně malá, přesto zde určité rozdíly v klimatických podmínkách existují. Jsou způsobeny hlavně rozdílnou nadmořskou výškou, charakterem proudění vzduchu a rozdíly ve slunečním svitu. Nejpriznivější podmínky pro využití sluneční energie jsou ve Zlínském kraji v okolí Uherského Hradiště a naopak nejhorší v hornatých oblastech na severu Valašska.

2.1 Jakými způsoby mohou lidé využít energii Slunce?

Lidé využívají energii slunce již celá tisíciletí k pasivnímu ohřevu svých obydlí a k sušení potravin. Časem se člověk naučil soustředit energii slunečních paprsků do jednoho bodu. Archimédes (212 př. n. l.) tímto způsobem zapálil z pevniny římské lodi, které obléhaly Syrakusy. V 16. století bylo v Německu objeveno, že sluneční paprsky ve styku s chloridem stříbrným vyvolávají chemickou reakci. Od 18. století se využívají sluneční pece schopné tavit i platinu a o století později je energie koncentrovaných slunečních paprsků využita k pohonu parních strojů. Ve 20. století bylo objeveno a rozšířeno bezpočet dalších způsobů využití energie slunečních paprsků. Na mnoha místech ve světě existují zařízení na přeměnu dopadajícího slunečního záření v teplo (např. ohřev vody nebo sluneční domy), v chemickou energii (např. rozklad vody na vodík a kyslík), v elektřinu (sluneční články) nebo mechanickou energii či práci (např. sluneční pumpy, sluneční automobily, sluneční letadla). Ze slunečního záření lze tedy získat všechny potřebné druhy energie.

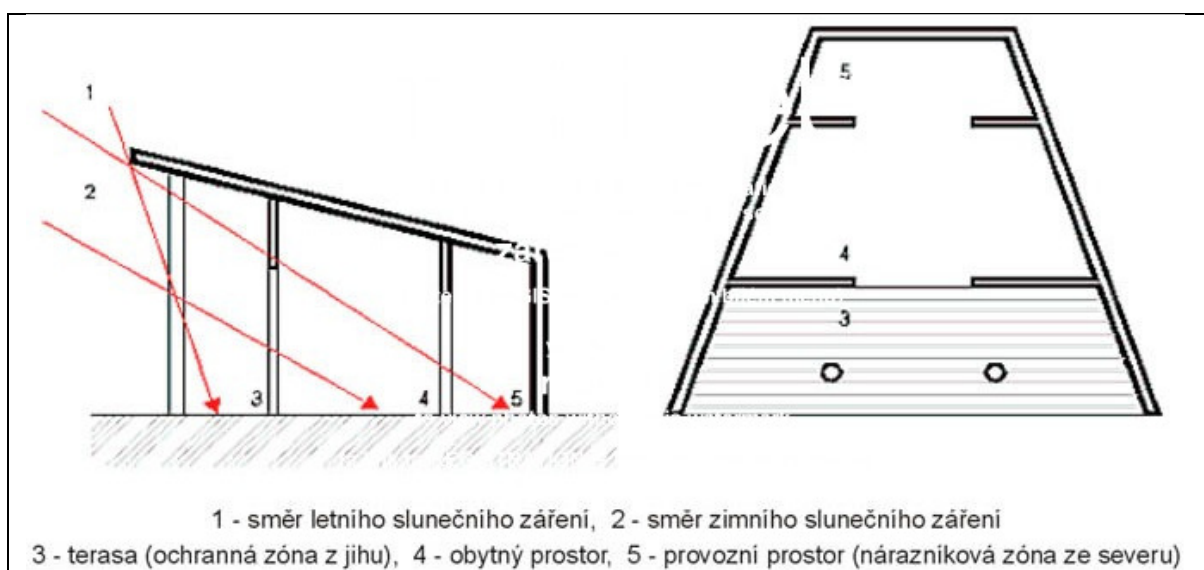


Obr. 7 Schéma přeměn sluneční energie - sluneční záření lze měnit v potřebnou formu energie buď přímo (vlnovka) nebo nepřímo (slabé šipky)

Nejjednodušší je využít slunce k produkci tepla a to jak pasivně (převážně v architektuře) tak i aktivně pro vytápění (přítápění) a přípravu teplé vody. Získat elektrickou energii ze slunce lze několika způsoby, avšak v podmínkách střední Evropy je nejvýhodnější využít fotovoltaiického jevu. Elektrárny využívající koncentrace slunečních paprsků k získání velmi vysokých teplot jsou vhodné spíše pro jižněji položené oblasti s dostatkem slunečního svitu.

2.2 Slunce jako zdroj tepla

Záměr využít sluneční energii alespoň částečně jako náhradu za nedostatkové dřevo vyústil ve starém Řecku (kolem 4. stol. př. n. l.) u domů tzv. vyššího standardu v realizaci sloupových představeb s typickým trojúhelníkovým štítovým prvkem, zvaným tympanon. Hloubka sloupové haly byla navržena tak, aby v létě zastíňovala okna v jižním průčelí a naopak v zimě umožňovala pasivní využití slunečního záření. Římská architektura vycházela z řecké a dále rozvinula zásady využití solární energie. Důraz byl kladen na správnou orientaci vnitřních prostor a začalo se používat sklo. Většina budov měla zasklena jižní okna a prosklených ploch se také využívalo například k vyhřívání oblíbených lázní. Z antiky pochází také koncept tzv. „Sokratova domu“, který svým dispozičním a konstrukčním řešením respektuje základní filozofii **pasivního využití solární energie**.



Obr. 8 Princip Sokratova domu

Výhodou **pasivních systémů** je to, že k provozu nepotřebují žádné další zařízení. Využívá se sluneční záření, které dopadne do interiéru okny nebo jiným prosklením. Systém je ale potřeba navrhnout tak, aby byly zisky co nejlépe využity (např. cirkulací teplého vzduchu z osluněných místností do ostatních částí domu). Výhodnější jsou pro využití pasivních solárních zisků tzv. těžké budovy, které umožňují krátkodobou akumulaci přebytků do vlastní konstrukce. Důležitá je i volba typu vytápěcího systému a jeho dobrá regulace, aby se dům nepřehříval. Velmi důležité je vyřešení rizika **tepelné zátěže** během léta (řádné odvětrání, akumulace do stavebních konstrukcí, atd.). V případě orientace prosklených ploch na jih nebo západ se totiž výrazně zvyšuje riziko přehřívání interiéru v letních měsících. Abychom ale byli schopni dopadající energii využívat, musíme tomuto požadavku přizpůsobit tvar budovy a jeho dispoziční řešení. Pro pasivní využití solární energie se uplatňují následující konstrukční a energetické principy:

- **přímý zisk okny a prosklenými stěnami**
- **zimní zahrady a skleníky**
- **transparentní (průhledné) tepelné izolace**
- **dvouplášťové (energetické) fasády**
- **akumulační stěny**
- **vzduchové a okenní kolektory**

Velikost a provedení prosklených ploch se volí v závislosti na orientaci ke světovým stranám. Jejich plocha se řeší jednak z hlediska požadavku na minimální tepelné ztráty a maximální žádoucí tepelné zisky a jednak z hlediska zajištění potřebného denního osvětlení. Největší podíl prosklených ploch mívá zpravidla jižní fasáda, na severní stranu, kde jsou

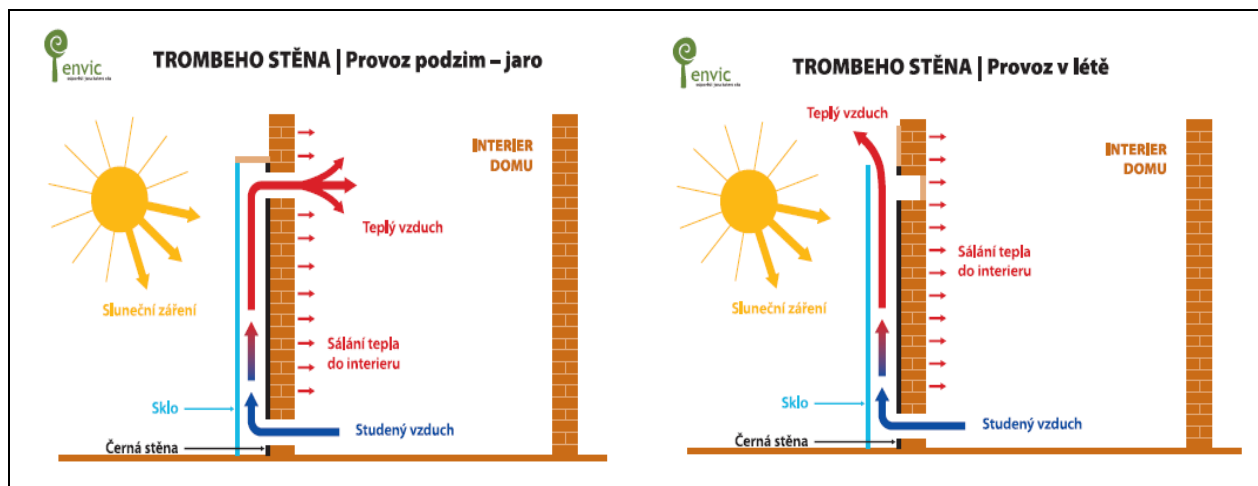
orientovány vedlejší prostory, se naopak umísťuje co nejmenší počet oken s minimální prosklenou plochou. Celková plocha prosklených částí fasády by neměla přesáhnout 25 % celkové plochy vnějších obvodových konstrukcí. Prostory za okny na osluněných stranách jsou náchylné k přehřívání a vhodným stíněním je tedy potřebné zajistit, aby teplota v interiéru nepřekročila hranici tepelné pohody. Nežádoucí letní tepelné zisky na osluněných stranách budovy lze kromě **přírozených clonících prvků** (stromy apod.) eliminovat předsazenými stíníci konstrukcemi (slunolamy), okenicemi, venkovními roletami, žaluziemi či markýzami.



Obr. 9 Ukázky pasivního využití slunce v architektuře

Cílem **akumulace tepla do stěn budovy** je uchování energetického přebytku na období, kdy je potřeba teplo do domu dodávat. Akumulaci tepla lze využít i k chlazení staveb, v tomto případě se používá termín **akumulace chladu**. V zásadě se využívají dva způsoby akumulace tepla - akumulace tepla do stavebních konstrukcí a akumulace tepla do samostatných akumulčních zásobníků. Do stavebních konstrukcí se teplo dostává přímým ozářením nebo konvektivním přenosem tepla (prouděním). Konvektivní přenos je podstatně méně účinný než přímé ozáření, ale působí na větší povrch. Největším problémem tohoto způsobu akumulace je časté přehřívání vnitřního vzduchu a tím vytváření tepelné nepohody. Důležitá je správná volba velikosti a také umístění akumulčních ploch vzhledem k proskleným plochám.

Kromě popsaných pasivních prvků se využívá i aktivních systémů (solární termické kolektory a fotovoltaické články) a hybridních systémů, které využívají současně jak aktivních, tak i pasivních principů, jež se vzájemně kombinují a doplňují. Jednou z možností využití slunečního záření (tzv. solárních zisků) k přitápění budov je tzv. **Trombeho stěna**.



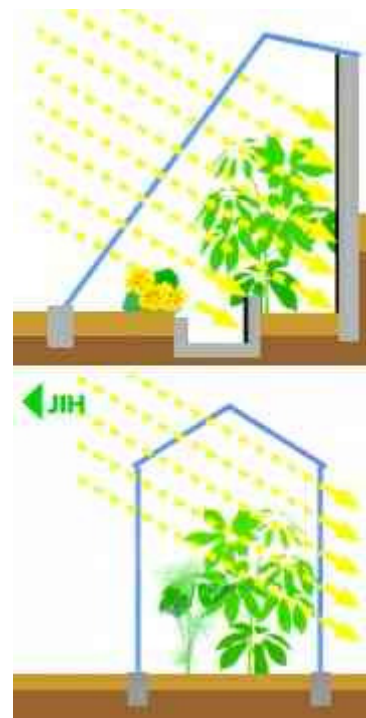
Obr. 10 Princip funkce Trombeho stěny

Slunce

Základní princip funkce je velmi jednoduchý: Obvykle jižní (případně jihozápadní či jihovýchodní) stěna budovy je postavena z masivního materiálu dobře akumulujícího teplo – například z plných cihel, betonu, kamene apod. Vnější povrch této stěny je opatřen černou barvou, dobře pohlcující sluneční záření. Před tuto stěnu je v určité vzdálenosti předsazena průsvitná obvykle skleněná deska (např. zasklení z výloh nebo větších oken). Vzdálenost skla od stěny se obvykle pohybuje od několika centimetrů (nejčastěji 10 cm) do několika desítek centimetrů. Mezi stěnou a sklem tak vzniká vzduchová mezera. Ve vlastní stěně jsou obvykle dva otvory – spodní, kterým může vzduch z interiéru domu proudit do vzduchové mezery a horní, kterým vzduch proudí ze vzduchové mezery zpět do interiéru domu. Otvory jsou uzavíratelné například pomocí klapek. Vzduchová mezera je v horní části opatřena též klapkou – ta po otevření umožňuje proudění vzduchu ze vzduchové mezery ven do exteriéru.



Obr. 11 Dům s Trombeho stěnou



Obr. 12 Varianty výstavby skleníku

Začátkem 19. stol. se v evropských zemích začaly k pěstování květin a zeleniny používat **skleníky**. Jsou to nejjednodušší zařízení, ve kterých se mění sluneční záření v teplo. Skleník má dvě důležité vlastnosti:

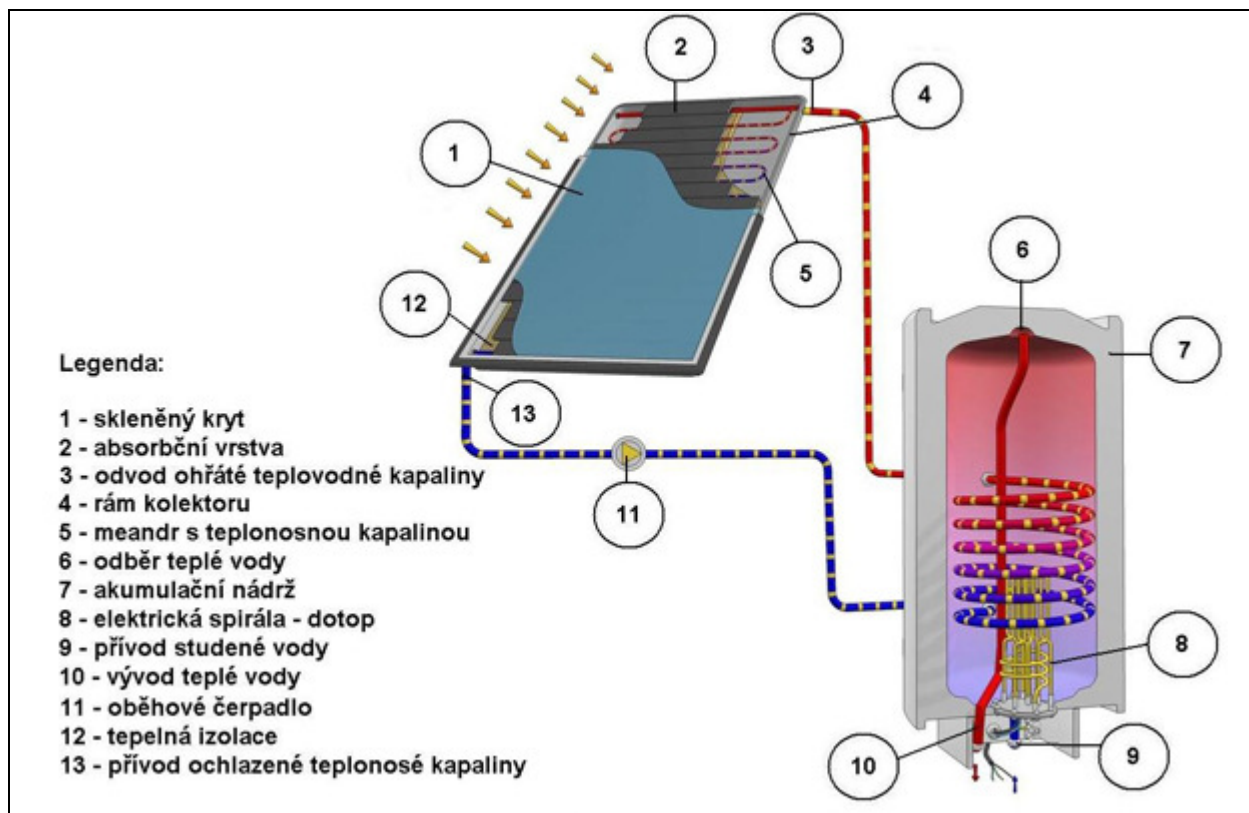
- ohřátý vzduch z něho nemůže uniknout
- sklo nepropouští tepelné záření (tj. infračervené záření) ze skleníku ven

Takto získané teplo se využívá nejen v zahradnictví, ale i na mnoha jiných místech, kde je třeba teplý vzduch, olej, voda či jiná tekutina. Používá se k sušení ovoce, obilí, burských oříšků, dřeva apod. Pomocí skleníkového jevu se slunečním zářením ohřívá voda pro domácnost, vytápějí se byty a domy, atd.

Na horním obrázku (Obr. 12) je skleník účelně využívající "šikmého" jarního a podzimního sluníčka. Stěny jsou tepelně izolovány, vnitřní plochy severních stěn jsou černé. Skleník je zapuštěn do svahu, aby ztráty ochlazováním byly co nejmenší. Konstrukci je vhodné vybavit sklápěcí zateplovací deskou. Sklon jižního skla je přibližně 56°. Na spodním obrázku je ukázka nevhodně postaveného skleníku. V předjaří a na podzim, když je slunce nízko nad obzorem, většina paprsků dopadajících na skleník prochází bez "tepelného efektu" severní stěnou.

2.2.1 Využití Slunce pro přípravu teplé vody a přitápění

Základem zařízením k přímé přeměně sluneční energie na teplo je **solární (sluneční) kolektor**, který záření shromažďuje, pohlcuje a mění je na teplo, odváděné pomocí kapaliny nebo vzduchu k místu využití nebo uložení, např. do solárního zásobníku (tepelného výměníku), kde se akumuluje. Tepelný výměník předává teplo užitkové vodě, která je pak pomocí oběhových čerpadel rozváděna po objektu.



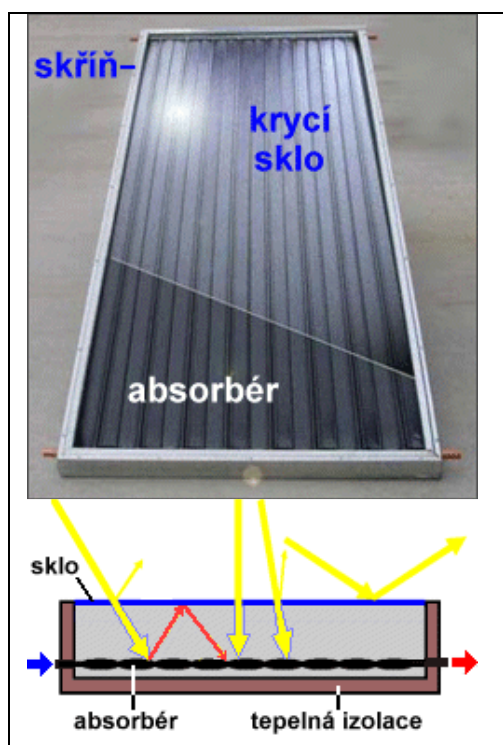
Obr. 13 Schéma fototermického solárního systému

Hlavní části slunečního kolektoru

Základními stavebními prvky plochého kapalinového kolektoru 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 absorbérů 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 - kovová, plastová nebo dřevěná vana pro uložení absorbérů 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.



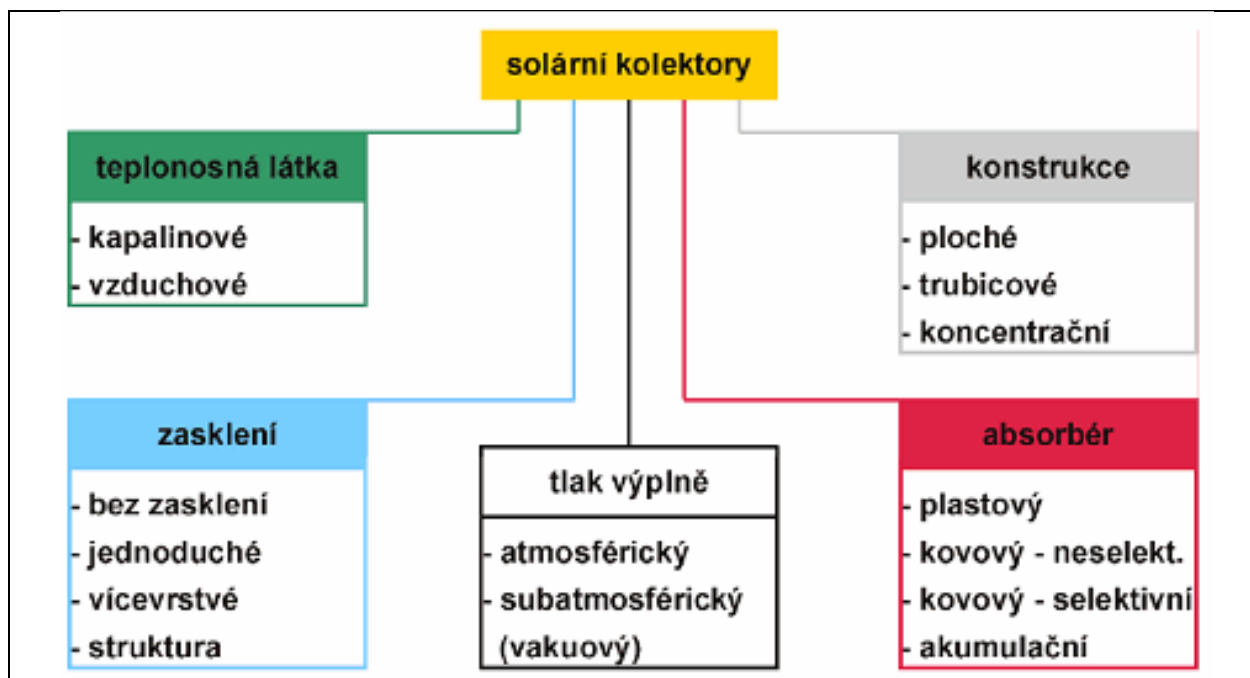
Obr. 14 Struktura solárního kolektoru

Slunce

Izolace - omezuje tepelné ztráty a brání úniku tepla z absorberu 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 absorberu 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.

V současnosti se u nás i ve světě vyrábí několik typů kapalinových solárních kolektorů. Během jejich vývoje došlo k celkovému sjednocení koncepce a jednotlivé typy se dnes liší jen v konstrukčních detailech a použitých materiálech.



Obr. 15 Základní rozdělení kolektorů slunečního záření

Solární systémy můžeme kategorizovat podle velkého množství kritérií. Jedním z těchto kritérií je doba provozu systému, kdy rozlišujeme systémy sezónní (ohřev venkovních bazénů, teplé vody na chatách) a systémy s celoročním provozem (ohřev vody v obytných objektech, vytápění, technologický ohřev v průmyslu a zemědělství). Podle principu funkce pak rozlišujeme samotížné systémy a systémy s nuceným oběhem teplonosného média.

Princip samotížného systému: kapalina v kolektoru se vlivem dopadajících slunečních paprsků ohřívá a roztahuje. Samovolně stoupá v trubkách vzhůru k zásobníku s vodou a zde dochází k předání tepelné energie z transportní kapaliny do vody a tím tedy ohřívání TUV (teplá užitková voda). Ochlazená kapalina zase klesá zpět dolů do kolektoru. Tento systém pracuje na základě tzv. termosifonového efektu. Ke své funkčnosti nepotřebuje elektronickou regulaci ani solární hnací jednotku. Podstatné je, že zásobník s vodou musí být umístěn výše než kolektor (na půdě, v podkroví atd.). Tyto systémy jsou vhodné pro středomoří, v podmínkách střední Evropy však hrozí jejich poškození zamrznutím kapaliny během zimních měsíců.

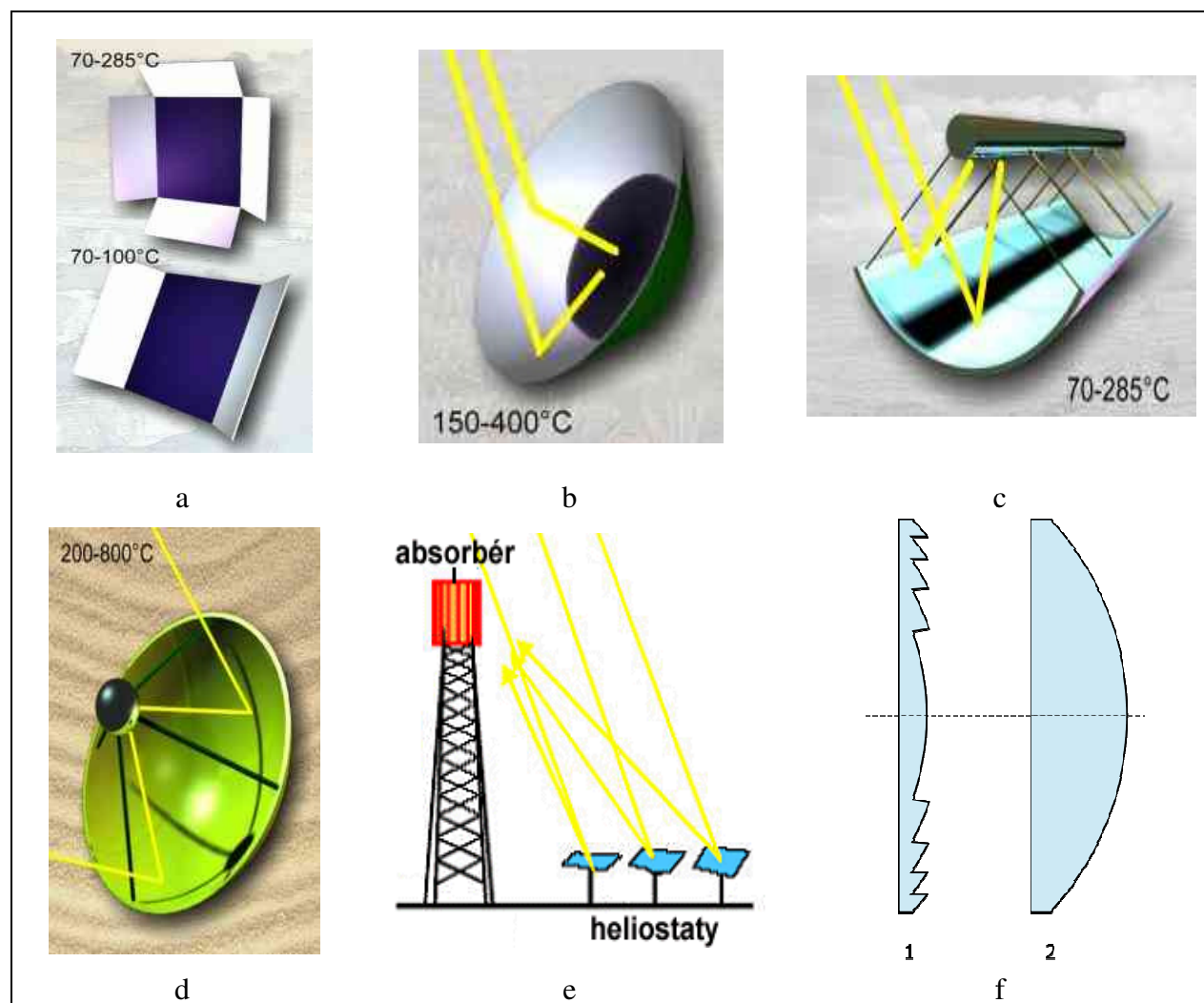
Princip hnaného systému: v kolektorové ploše je ohřívána nemrznoucí kapalina vlivem dopadajících slunečních paprsků. V případě, že je elektronickou regulací vyhodnoceno dosažení nastaveného minimálního teplotního rozdílu mezi kolektorovou plochou a zásobníkem tzn., že je nastavena na určitou diferenci, je uvedena do chodu solární hnací jednotka. Ta zajistí cirkulaci ohřáté teplonosné kapaliny k zásobníku. Zde je získaná energie předána vodě v zásobníku prostřednictvím tepelného výměníku a ochlazená směs putuje zpět do kolektorové plochy.

Kromě běžně uváděných případů využití nacházejí solární systémy své místo i **v netradičním použití**. V lokalitách, kde intenzita slunečního záření dosahuje kolem $2\,000\text{ kWh/m}^2$, slouží jednoduché solární zařízení například jako solární vařič. V místech s nedostatkem pitné vody slouží solární systém k destilaci – odsolování mořské vody a přípravě pitné vody.

U koncentračních (fokusačních) kolektorů se sluneční záření dopadající na sběrnou plochu odrážejícího zrcadla koncentruje na malou plochu absorbéru. Používají se např.:

- a) rovinné sběrače s přidavnými rovinnými zrcadly,
- b) sběrače s kuželovým zrcadlem,
- c) sběrače se zrcadlem ve tvaru parabolického válce,
- d) sběrače se zrcadlem ve tvaru rotačního paraboloidu,
- e) sběrače se systémem otočných rovinných zrcadel (heliostatů),
- f) lineární a kruhové Fresnelovy čočky, Fresnelova zrcadla.

Dosáhne se tak vyšších teplot (u slunečních vařičů několik stovek stupňů, u slunečních pecí $3\,000$ až $4\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) a vyšší účinnosti. Poloha slunce, a tím i ohnisko, se během dne mění, proto je potřeba polohovací zařízení, které natáčí (nebo u lineárních kolektorů posunuje) kolektor nebo jeho absorbér za sluncem. Některé typy se žlabovými zrcadly fungují i bez natáčení, ale ne tak efektivně.



Obr. 16 Fokusační sběrače: a) s přidavnými rovinnými zrcadly; b) s kuželovým zrcadlem; c) se zrcadlem ve tvaru parabolického válce; d) se zrcadlem ve tvaru rotačního paraboloidu; e) heliostaty; f) Fresnelova čočka (1), klasická čočka (2)

V České republice převládají na trhu kapalinové kolektory, proto uvádíme nejběžnější typy:

1. Vakuové trubicové kolektory

Jsou kolektory s vysokou účinností zejména v zimním období. To je dáno podtlakem (vakuum) uvnitř trubice. Tím jsou téměř eliminovány tepelné ztráty konvekcí. Výhodou přímo protékajících trubicových kolektorů (U-trubice) je variabilita jejich umístění, nevýhodou je však špatné vyprazdňování při případné stagnaci. Mohou být umístěny i ve vodorovné poloze, přičemž u jednostěnných s plochým absorberem se natočením trubic s absorberem docílí optimální orientace vůči dopadajícím paprskům slunečního záření. Vakuové trubicové kolektory s tepelnými trubicemi musí být instalovány se sklonem alespoň 25°, tak aby byla zajištěna jejich funkčnost. Vakuové trubicové kolektory jsou vhodné pouze pro vysokoteplotní využití (nad 80 °C) nebo do extrémních klimatických podmínek například na horských chatách.

2. Trubicové vakuové – kondenzační

Celý kolektor na první pohled připomíná běžný vakuový trubicový kolektor. Princip je však založen na kondenzačním teple, které vzniká při přechodu plynné látky do kapalného stavu. Působením slunečního záření na měděnou trubičku se začne těkat kapalina na dně trubičky zahřívat a postupně přechází vlivem vysoké teploty do plynného stavu. V horní části kolektoru (na konci trubičky) se zchladí o vodorovně vedenou sběrnou trubku celého kolektoru, zkondenzuje a zteče zpět na dno trubičky. Při kondenzaci (změně skupenství z plynného na kapalně) se uvolní kondenzační teplo, které přes sběrnou – průtočnou trubku přejde do kapaliny celého solárního systému. Celý průběh se neustále opakuje v celé řadě trubic kolektoru najednou.

Výhodou těchto kolektorů je vysoká účinnost i při zatažené obloze a skutečnost, že i při náhodném poškození jedné trubice funguje zbytek trubic kolektoru bez problémů dále (díky paralelnímu řazení trubic).



Obr. 17 Vakuové trubicové kolektory a rozdíl mezi kondenzačním (vlevo) a průtočným (vpravo) typem

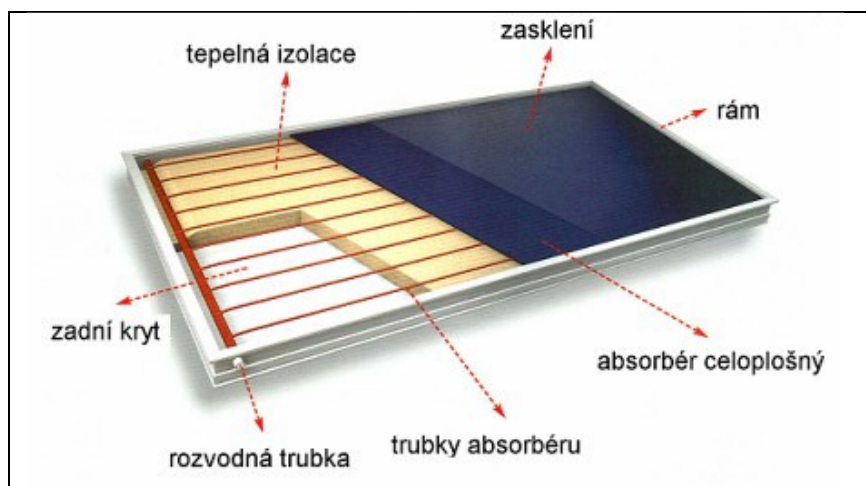
3. Ploché vakuové (podtlakové) kolektory

Jsou jedním z nejmodernějších výrobků v oblasti solární techniky. Spojují v sobě výhody trubkových vakuových kolektorů (nízké tepelné ztráty konvekcí do okolí) a plochých zasklených kolektorů se selektivní vrstvou (nižší pořizovací náklady při zachování vysoké účinnosti, vyšší optická účinnost). Jedná se o technický i cenový kompromis mezi vakuovými a plochými kolektory. Jejich nespornou výhodou je možnost kdykoliv obnovit vakuum uvnitř kolektorů připojením na vývěvu přes přírubovou spojku uprostřed kolektoru. Použití těchto kolektorů je obdobné jako u předcházejícího typu.

4. Ploché kapalinové kolektory pro celoroční použití

Tyto kolektory v současnosti představují nejrozšířenější typ instalovaných kolektorů. Jejich pořizovací náklady jsou oproti vakuovým kolektorům zhruba poloviční až třetinové. Nevýhodou oproti vakuovým kolektorům jsou větší tepelné ztráty konvekcí a nebezpečí kondenzace vodní

páry uvnitř kolektoru, která v konečném důsledku snižuje účinnost celého systému. V dnešní době je většina profesionálně vyráběných kolektorů opatřena spektrálně selektivní absorpční vrstvou. Selektivní vrstva podstatně snižuje tepelné ztráty sáláním z povrchu absorbérů (o 75-90 %). Její princip spočívá ve velké pohltivosti a (0,86-0,92) pro krátkovlnné sluneční záření při malé zářivosti e (0,08-0,12) pro dlouhovlnné tepelné záření. Kritériem pro posouzení selektivních vrstev je potom tzv. "selektivní poměr" a/e . Tento typ kolektoru je nejběžněji používán na ohřev teplé vody, celoroční ohřev bazénové vody nebo na přitápění (u nízkoteplotních otopných soustav).



Obr. 18 Konstrukce plochého kapalinového kolektoru

5. Plochý kolektor bez transparentního krytu (převážně plastový absorbér).

Je určen do nízkoteplotních soustav na sezónní využití sluneční energie, kdy není příliš velký rozdíl mezi teplotou ohřívání látky a okolním vzduchem. Jedná se především o systémy jednookruhové, kdy kolektorem protéká přímo ohřívána voda. Výhodou je především jednoduchost a nižší pořizovací náklady. Využití je nejčastější při ohřevu bazénové vody v otevřených bazénech a při maloobjemovém ohřevu teplé vody např. v zahrádkářských koloniích.



Obr. 19 Plastový plochý kolektor

Instalace solárních kolektorů

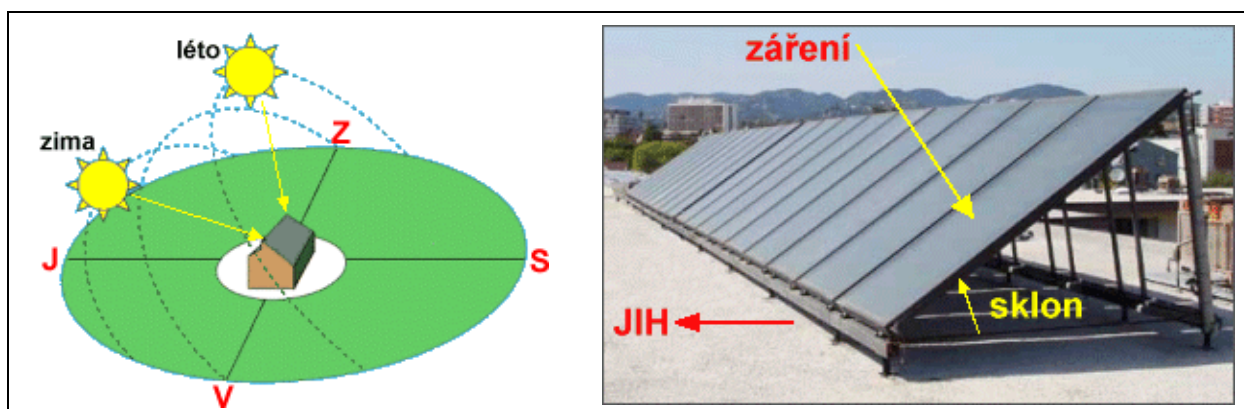
Při instalaci kolektoru na střeše, stěně budovy nebo na volném terénu je třeba splnit několik podmínek. Konstrukce je obvykle nepohyblivá, takže je třeba při umístění kolektoru volit kompromisní řešení.

Konstrukce - musí být dostatečně pevná, aby dobře odolávala různým přírodním vlivům (vítr, sníh). Kolektor by měl být co nejblíže místu spotřeby ohřáté vody, aby se co nejvíce omezily tepelné ztráty v rozvodném potrubí. Přívodní trubice musí být opatřeny dobrou tepelnou izolací.

Orientace kolektoru - nejvhodnější je natočení směrem k jihu nebo jihozápadu, aby se využila největší intenzita slunečního záření kolem poledne.

Slunce

Sklon kolektoru - ideální by bylo, kdyby na plochu absorbéru 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° od vodorovné roviny, v zimě kolem 60° . Obvykle se jako kompromis volí sklon v rozmezí $35-45^\circ$.



Obr. 20 Orientace a sklon solárního kolektoru

Tab. 2 Možnosti instalace kolektorů slunečního záření

| instalace | výhody | nevýhody |
|-------------------------------|---|--|
| střecha šikmá | kolektory se pokládají se stejným sklonem jako má střecha - jednoduchá montáž | orientace kolektorového pole je závislá na orientaci budovy |
| | kolektory si navzájem nestíní | |
| | nižší náklady na nosnou konstrukci | |
| | možnost integrace kolektorů přímo do střešního pláště (náhrada střešní krytiny) | |
| střecha plochá | možnost libovolné orientace vzhledem ke světovým stranám | nosná konstrukce nákladnější |
| | | u větších kolektorových polí je třeba speciální roznášecí konstrukce |
| fasáda, bez integrace | kolektory se pokládají se stejným sklonem jako má fasáda nebo mohou být mírně přizvednuté (vytvoří stříšku) | orientace kolektorového pole je závislá na orientaci budovy |
| | omezení letních přebytků, zvláště u solárních soustav pro vytápění | |
| fasáda, integrované kolektory | omezení letních přebytků, zvláště u solárních soustav pro vytápění | orientace kolektorového pole je závislá na orientaci budovy |
| | integrací převážně do zateplovacího systému se zlepší vlastnosti kolektoru (sníží se jeho tepelná ztráta) | |

Několik užitečných faktů o solárních kolektorech

- běžná domácnost spotřebuje ročně na ohřev užitkové vody asi **2 600 kWh** energie, solární kolektory mohou uspořit až 70 % této energie
- průměrná roční hodnota skutečného energetického zisku standardního kolektoru je 300 kWh/m^2 absorbní plochy
- maximum výkonu dodává kolektor za slunného dne kolem **14:00 hod**

- pro celoroční přípravu dostatečného množství teplé vody je nutné instalovat ještě základní zdroj ohřevu užitkové vody (např. el. bojler)
- solární kolektory se vyplatí hlavně u objektů s vyšší spotřebou teplé užitkové vody, při průmyslovém využití a při ohřevu vody v bazénu
- sluneční kolektory se instalují nejčastěji na šikmou střechu se sklonem 45° s jižní až jihozápadní orientací
- životnost slunečních kolektorů se pohybuje kolem 30 let

Solární systém pro přípravu teplé vody

K vytápění nebo k ohřevu vody sluneční energií nestačí samotný solární kolektor. Připojují se k němu další prvky topné soustavy, které dohromady vytvoří ucelený **solární systém**. Hlavními prvky solárního systému jsou: kolektor, nosná konstrukce, potrubí a izolace, zásobník (akumulační nádoba), tepelný výměník, oběhové čerpadlo, expanzní nádoba, regulační prvky a ostatní součásti (armatury).

V **solárním zásobníku** můžeme teplou vodu ohřívat jednak solární energií, ale někdy také elektricky, tepelnou energií z ústředního vytápění nebo tepelného čerpadla. Potom musí být vybaven nejméně dvěma výměníky tepla - jeden je napojen na okruh ústředního vytápění, druhý na solární okruh. Pro klasický ohřev elektřinou se používá běžné elektrické topné těleso. Plocha solárního výměníku musí být dostatečně velká pro co nejlepší přestup tepla z teplotnosné kapaliny do vody v zásobníku. Ten má mít takový objem, aby i v parném létě stačil akumulovat zachycenou energii a nedošlo k poškození systému.

Výměník tepla se u solárního okruhu umísťuje v zásobníku co nejnižší. Nad ním je výměník okruhu ústředního vytápění a nejvýše se umístí elektrické topné těleso. Plochy výměníků je třeba navrhnout s ohledem na materiál, z něhož jsou vyrobeny, na teplotu kapaliny v solárním okruhu a dále na průtok a objem zásobníku.

Elektrické topné těleso slouží pro ohřev užitkové vody, když nesvítí Slunce a netopíme. Jeho výkon musí odpovídat objemu vody v zásobníku.

Potrubí je nutno navrhnout tak, aby odpovídalo požadovaným průtokům a teplotám teplotnosné kapaliny v solárním okruhu. Průřezy potrubí se musí volit s ohledem na požadované průtoky a hydraulické ztráty. Vše je nutno dobře zaizolovat, aby tepelné ztráty byly minimální. V nejvyšším bodě okruhu musí být **samoodvzdušňovací ventil**. Správnou cirkulaci teplotnosné kapaliny zajišťuje **oběhové čerpadlo**. Další armatury slouží k plnění teplotnosnou kapalinou a zabezpečují správnou funkci včetně kontroly (manometr, teploměr, zpětný ventil).

K vyrovnání tlaku vlivem značného kolísání teploty je nutné do okruhu připojit **expanzní nádobu**, jejíž konstrukce a umístění musí odpovídat předpokládané maximální teplotě, objemu a tepelné roztažnosti teplotnosné kapaliny. Pro případy extrémního zvýšení tlaku a následného poškození systému musíme instalovat **pojistný ventil**.

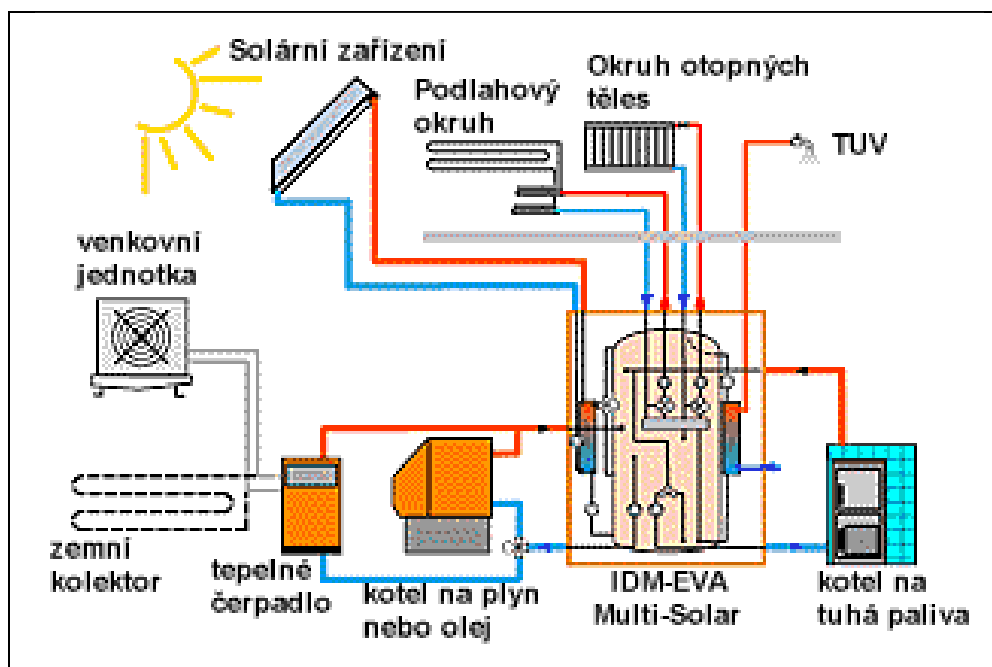
Regulační zařízení zabezpečuje optimální výkon systému, chrání ho před poškozením a umožňuje potřebnou regulaci tepla mezi spotřebiči.

Pro sezónní ohřev užitkové vody se jako **teplotnosná kapalina** používá voda. Pro celoroční provoz musíme použít nemrznoucí směs, která má mít podobné fyzikální vlastnosti jako voda (kromě bodu tuhnutí). Tomu nejlépe vyhovují kapaliny na bázi glykolů, respektive jejich vodné roztoky.

Solární systémy se zpravidla kombinují se stávajícími zdroji energie, proto lze říci, že solární systém funguje jako přehřev. V období vyšší sluneční aktivity je solární systém schopen ohřát veškerou spotřebu TUV a musí se řešit otázka tepelných přebytků. V zimních měsících a v obdobích, kdy je sluneční aktivita velmi nízká jsou solární kolektory schopny ohřát vodu jen do určité teploty a dohřátí na požadovaných 55 °C či výše musí provést jiný zdroj, zpravidla stávající (plynový kotel, elektrokotel, tepelné čerpadlo apod.). Solární zásobník se proto instaluje sériově před stávající zásobník TUV. Ne vždy je však možno toto zapojení instalovat, většinou z důvodu prostorového omezení. V těchto případech, kde není místo na dva

Slunce

zásobníky, je možno použít jeden bivalentní nebo trivalentní zásobník, tzn., že zásobník se ohřívá z 2 nebo 3 zdrojů.



Obr. 21 Příklad získávání tepla pro vytápění a ohřev vody z více zdrojů

2.3 Slunce jako zdroj elektrické energie

Energii slunce ve formě potravy a tepla využívá lidstvo již od pradávna. Ve dvacátém století se však prosadila ušlechtilá forma energie – elektřina, která se dá snadno přeměnit zpět na prakticky jakoukoliv formu (tepelnou, pohybovou, světelné záření,...). V praxi se využívají dvě základní možnosti, jak vyrobit elektřinu ze slunečního záření – fotovoltaika a upravené *parní* elektrárny.

2.3.1 Fotovoltaické elektrárny

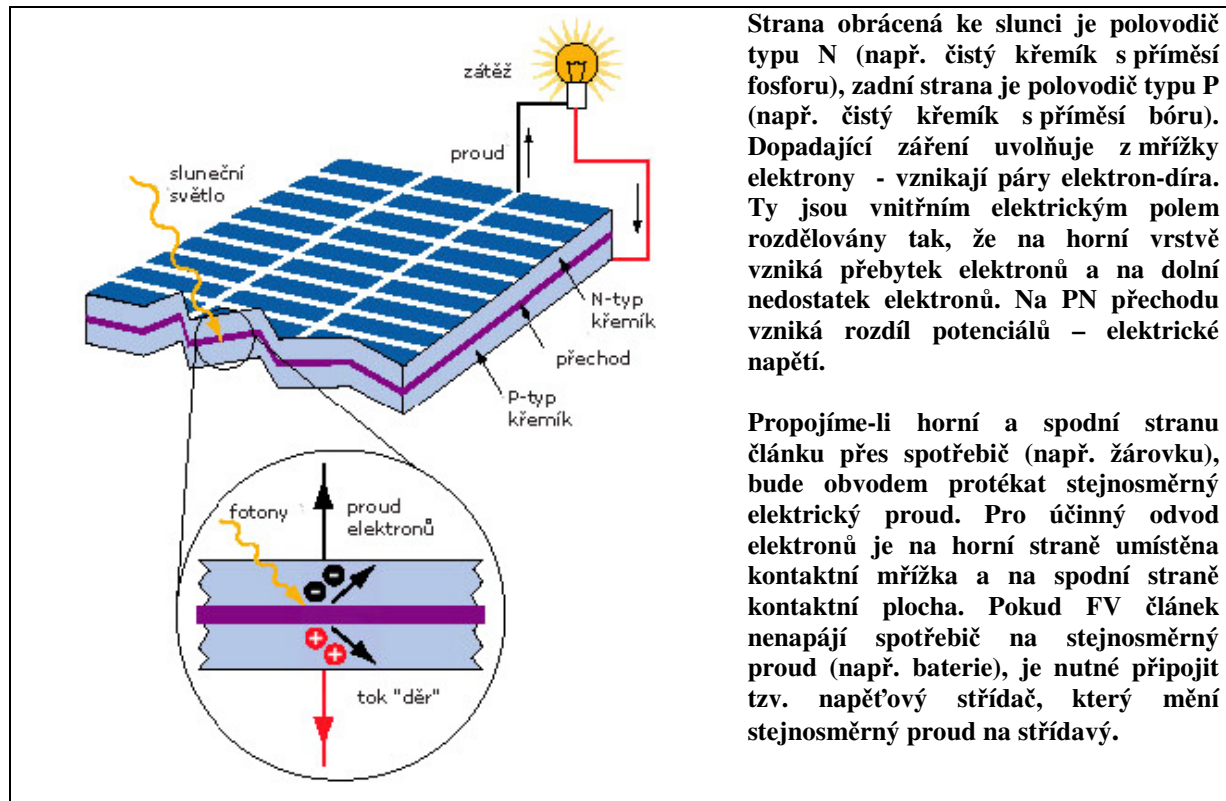
Význam fotovoltaiky (FV) se projevil zvláště v kosmonautice, kde fotovoltaika tvoří prakticky jediný zdroj elektrické energie pro umělé družice Země. Na začátku sedmdesátých let dvacátého století se FV články dostaly z laboratoří a z kosmického prostoru i na zem, z velké části díky ropným společnostem těžícím v Mexickém zálivu, kde slouží k napájení výstražných majáků a bójí. Díky klesající ceně, zvyšující se účinnosti a velikosti FV systémů se od osmdesátých let minulého století využívá fotovoltaika i pro zásobování jednotlivých budov elektřinou, nebo k dodávání elektřiny pomocí napěťových střídačů přímo do elektrické rozvodné sítě.

Základním prvkem fotovoltaických elektráren je solární (fotovoltaický) článek, což je elektronická součástka založená na funkci přechodu PN, která při dopadu světla přeměňuje energii slunečního záření na energii elektrickou (Obr. 22). Jedná se o tzv. fotovoltaický jev, který objevil v roce 1839 francouzský fyzik Alexandre Edmond Becquerel. Za vědecké vysvětlení fotovoltaického jevu získal Albert Einstein roku 1905 Nobelovu cenu.

Fotovoltaické články lze dělit podle použité technologie:

- **Technologie tlustých vrstev** – článek je tvořen velkoplošnou polovodičovou diodou z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. Touto technologií se v současnosti vyrábí většina fotovoltaických článků na trhu (asi 85 %).

- **Technologie tenkých vrstev** – na nosnou plochu článku (např. sklo) jsou napařeny velmi tenké vrstvy amorfního nebo mikrokrystallického křemíku. Vzhledem k menšímu množství potřebného materiálu jsou tyto články lacinější, ale mají nižší účinnost a životnost.
- **Nekřemíkové technologie** – nepoužívají PN přechod, ale pracují s organickými sloučeninami či polymery. Tyto technologie jsou ve stadiu vývoje.



Strana obrácená ke slunci je polovodič typu N (např. čistý křemík s příměsí fosforu), zadní strana je polovodič typu P (např. čistý křemík s příměsí bóru). Dopadající záření uvolňuje z mřížky elektrony - vznikají páry elektron-díra. Ty jsou vnitřním elektrickým polem rozdělovány tak, že na horní vrstvě vzniká přebytek elektronů a na dolní nedostatek elektronů. Na PN přechodu vzniká rozdíl potenciálů – elektrické napětí.

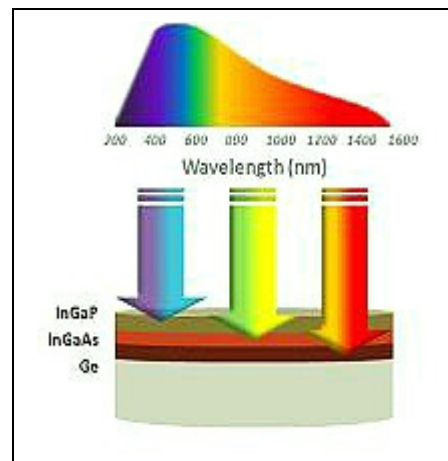
Propojíme-li horní a spodní stranu článku přes spotřebič (např. žárovku), bude obvodem protékat stejnosměrný elektrický proud. Pro účinný odvod elektronů je na horní straně umístěna kontaktní mřížka a na spodní straně kontaktní plocha. Pokud FV článek nenapájí spotřebič na stejnosměrný proud (např. baterie), je nutné připojit tzv. napěťový střídač, který mění stejnosměrný proud na střídavý.

Obr. 22 Princip fotovoltaického článku

Některé zdroje zmiňují rovněž dělení FV článků podle generací:

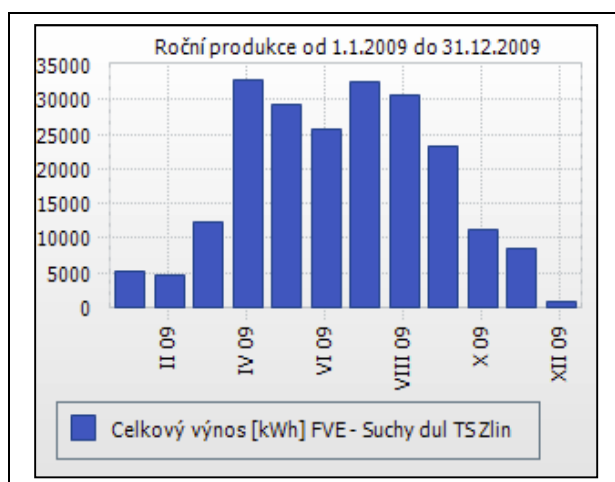
- **První generace** - FV články využívající jako základ křemíkové desky. Jsou dnes nejrozšířenější technologií na trhu a dosahují poměrně vysoké účinnosti přeměny (v sériové výrobě 16 až 19 %, speciální struktury až 24 %). Komerčně se začaly prodávat v sedmdesátých letech. Přestože je jejich výroba relativně drahá (a to zejména z důvodu drahého vstupního materiálu – krystalického křemíku), budou ještě v několika dalších letech na trhu dominovat.
- **Druhá generace** - impulsem pro rozvoj článků druhé generace byla především snaha o snížení výrobních nákladů úsporou drahého základního materiálu – křemíku. Články druhé generace se vyznačují 100krát až 1 000krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou (thin-film) a jejími představiteli jsou např. články z amorfního a mikrokrystallického křemíku, případně silikon-germania, či silikon-karbidu, ale také tzv. směsné polovodiče z materiálů jako jsou slitiny Měď-Indium-Selen (CuInSe) označované obecně jako CIS struktury. S úsporou materiálu došlo v porovnání s články první generace k poklesu výrobních nákladů (a tedy za předpokladu velkosériové výroby i k poklesu ceny), nicméně dosahovaná účinnost je obvykle nižší (v sériové výrobě obecně pod 10 %). Nespornou výhodou tenkovrstvých článků je možnost volby podkladu, na nějž se tenkovrstvé struktury nanášejí a v případě použití flexibilních materiálů (organické, kovové či textilní folie) i značně širší aplikační sféra. Komerčně se začaly články druhé generace prodávat v polovině osmdesátých let.

- **Třetí generace** – tyto články představují pokus o „fotovoltaickou revoluci“. Hlavním cílem je zde nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra („proudový“ zisk), ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů („napěťový“ zisk FV článků). Existuje řada směrů, kterým je ve výzkumu věnována pozornost. Příkladem jsou vícevrstvé struktury článků (Obr. 23), u kterých každá vrstva absorbuje určitou část spektra a maximalizuje se tak energetická využitelnost fotonů. U těchto článků lze v součinnosti s koncentrátorem dosáhnout účinnosti přes 40 %, ale za cenu velkých nákladů.

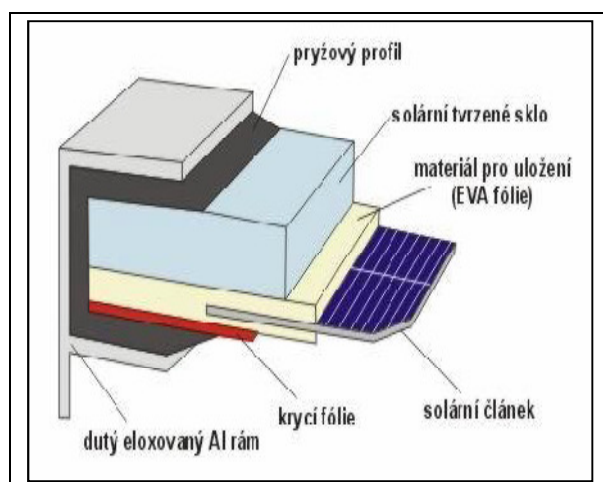


Obr. 23 Vícevrstvý FV článek

Vícevrstvé FV články řeší problém klasických FV článků, které jsou schopné využít jenom určitou část spektra slunečního záření podle druhu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Výkon FV článků je dále ovlivněn intenzitou a úhlem osvětlení. S rostoucí teplotou článku (zahřívání slunečními paprsky) klesá výkon FV článků, proto například v roce 2009 vyrobily fotovoltaické elektrárny ve Zlínském kraji více elektřiny v dubnu (chladné, ale slunečné počasí) než v letních měsících (Obr. 24).



Obr. 24 Produkce elektřiny FVE Suchý důl v roce 2009



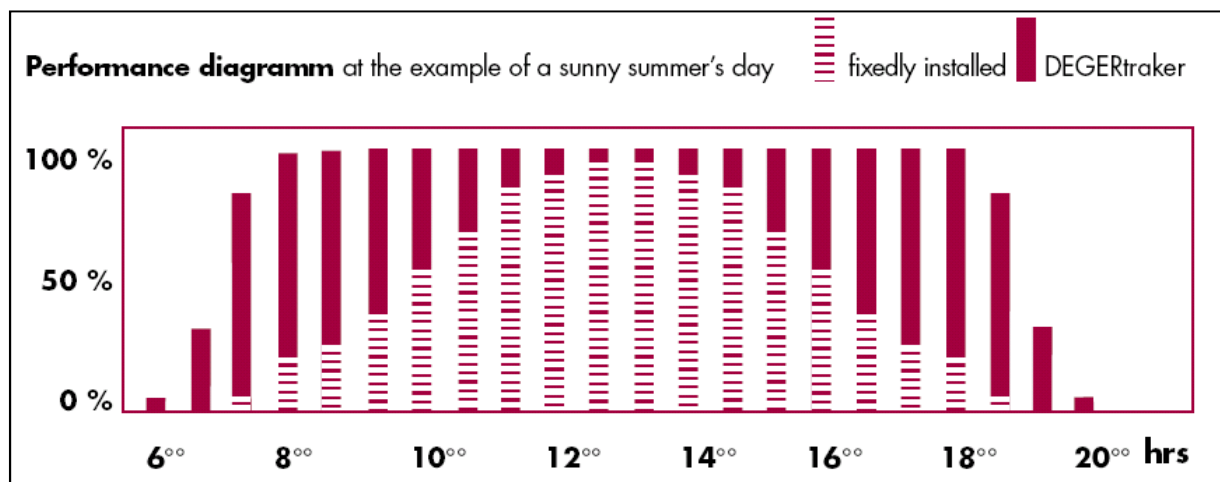
Obr. 25 Struktura fotovoltaického panelu

Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po zapouzdření solární modul (fotovoltaický panel). Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost (vítr, krupobití, mráz). Solární panely mají různou konstrukci a vhodným začleněním do pláště budovy lze dosáhnout jejího atraktivního vzhledu.

Fotovoltaické panely mohou být zapojeny do série pro zvýšení napětí, paralelně pro zvýšení odebíraného proudu nebo mohou využívat kombinovaného zapojení. Pro zvýšení výkonu FV panelů lze vedle volby použitých FV článků (viz. 3. generace) několik různých opatření:

- **Oboustranné moduly** - při instalaci článku na průhlednou podložku na něj dopadá světlo z obou stran. I když na spodní stranu dopadá jen odražené a difúzní záření, uvádí se zvýšení produkce až o 30 % (Sanyo's HIT Double PV modules).
- **Tracker** (sledovač, naváděcí zařízení) - umožňuje průběžné nastavování solárních panelů tak, aby na ně sluneční záření dopadalo kolmo. Např. systém DEGERconecter je navržen tak, aby optimalizoval solární zisk. Na rozdíl od jiných pouze nenatáčí kolektorové pole

směrem ke slunci, ale aktivně hledá na obloze nejjasnější bod a zvyšuje tím celoroční výkon instalovaných panelů až o 45 %! Spotřeba celého zařízení je podle výrobce zanedbatelně nízká – za celý rok i ten největší systém spotřebuje maximálně 3,5 kWh elektrické energie.



Obr. 26 Srovnání pevně instalovaného (fixedly installed) a polohovatelného systému

- **Koncentrátory** - pro koncentraci záření lze použít čočky nebo různá korýtková zrcadla; nejlevnější jsou zrcadla plochá. Díky nim se sluneční záření „sbírá“ z větší plochy a koncentruje na článek. Koncentrátory obvykle vyžadují alespoň jednoosý polohovací systém, který udrží článek v ohnisku. Další možností zvýšení zisku slunečního záření je válcový tvar článků, který v kombinaci s reflexním zrcadlem absorbuje přímé, difúzní i odražené světlo. Kvůli koncentraci záření je však nutné použít články, které snesou vyšší teploty. Zvýšení výnosu závisí na velikosti koncentrátoru – běžně je to několik desítek procent.



Obr. 27 Parabolický koncentrátor (vlevo), ploché zrcadlo (uprostřed), válcový FV článek s reflexním zrcadlem (vpravo)

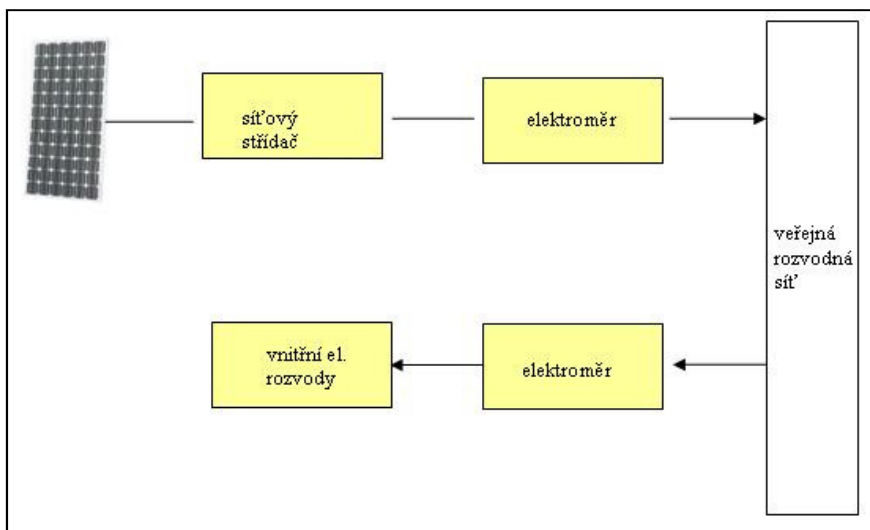
Pro využití elektrické energie ze solárních panelů je potřeba připojit k panelu kromě elektrických spotřebičů další technické prvky – např. akumulátorovou baterii, regulátor dobíjení, napěťový střídač, indikační a měřicí přístroje, případně systém automatického natáčení za Sluncem. Sestava fotovoltaických panelů, podpůrných zařízení, spotřebiče a případně dalších prvků se nazývá fotovoltaický systém. Množství a skladba prvků fotovoltaického systému závisí na druhu aplikace.

Pro fotovoltaické systémy můžeme použít následující dělení:

- **Drobné aplikace** - Tvoří nejmenší, avšak nezanedbatelný podíl na FV trhu. Každý jistě zná FV články v kalkulačkách nebo také solární nabíječky akumulátorů. Trh drobných aplikací nabývá na významu, protože se množí poptávka po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů (mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, MP3 přehrávače apod.) na dovolených, v kempech popř. ve volné přírodě.

Slunce

- **Off-grid systémy** (nezávislé, autonomní, ostrovní) - Používají se všude tam, kde není k dispozici rozvodná síť a kde je potřeba střídavého napětí 230 V. Obvykle jsou ostrovní systémy instalovány na místech, kde není účelné anebo není možné vybudovat elektrickou přípojku. Důvody jsou zejména ekonomické, tzn. náklady na vybudování přípojky jsou srovnatelné (nebo vyšší) s náklady na fotovoltaický systém (vzdálenost k rozvodné síti je více než 500–1 000 m). Jedná se zejména o odlehlé objekty, jakými jsou např. chaty, karavany, jachty, napájení dopravní signalizace a telekomunikačních zařízení, zahradní svítidla, světelné reklamy apod.
- **Síťové systémy (On-grid)** - jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeni vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Do této kategorie patří jak FV systémy instalované na střeách rodinných domů, škol, úřadů, továrních hal, tak i fotovoltaické elektrárny instalované v průmyslových zónách nebo rekultivovaných skládkách. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí jednotek kilowatt až desítek megawatt.



Obr. 28 Schéma on-grid fotovoltaického systému

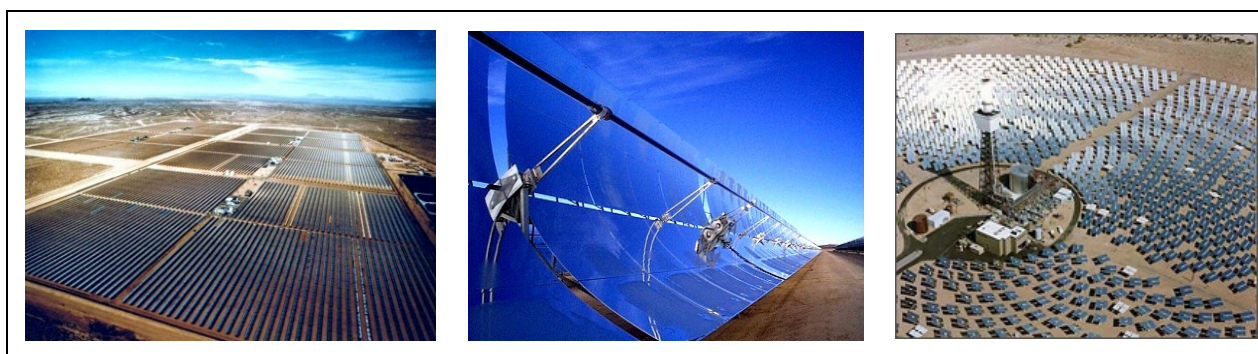
- **Fotovoltaika integrovaná do budov** - Aplikace fotovoltaiky v obvodových pláštích budov (střechy, fasády) představuje významný fenomén, který přispívá k její atraktivitě a má příznivý dopad na snížení nákladů na instalaci FV systémů. Využívání sluneční energie pomocí zařízení umístěných na střeách a fasádách budov představuje významný přínos v úspoře primárních energií.



Obr. 29 Příklady integrace fotovoltaiky do budov

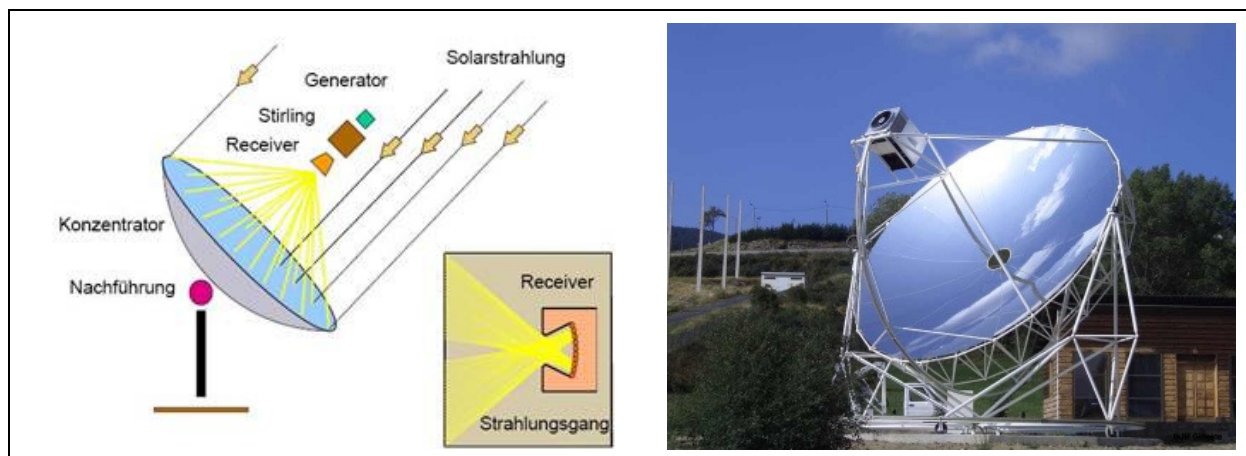
2.3.2 Solární tepelné elektrárny

Využití fotovoltického jevu není jedinou možností, jak získat ze sluneční energie energii elektrickou. Pomocí koncentrace slunečních paprsků lze dosáhnout velmi vysoké teploty teplotnosného média (nejčastěji minerální oleje). Žhavé médium se pak pumpuje ke kotlům, ve kterých se přemění voda na páru. Pára pak roztáčí turbíny spojené s generátorem obdobně jako v klasických tepelných elektrárnách. Výhodou těchto elektráren je možnost krátkodobě akumulovat energii ve formě tepla a tím docílit relativně stabilního výkonu nezávislého na měnící se oblačnosti. Při dostatečně velkém zásobníku teplotnosného média je možné prodloužit provoz takového zařízení i několik hodin po západu slunce. Bohužel optimální podmínky pro provoz popsaných zařízení mají odlehle pouštní oblasti. Přenos elektřiny do vzdálených míst spotřeby je pak spojen s vysokými ztrátami. V současnosti se tento typ elektráren nejvíce využívá na jihozápadě USA, kde jsou velká města (Las Vegas, Phoenix,...) umístěná na okraji pouště.



Obr. 30 Solární tepelné elektrárny

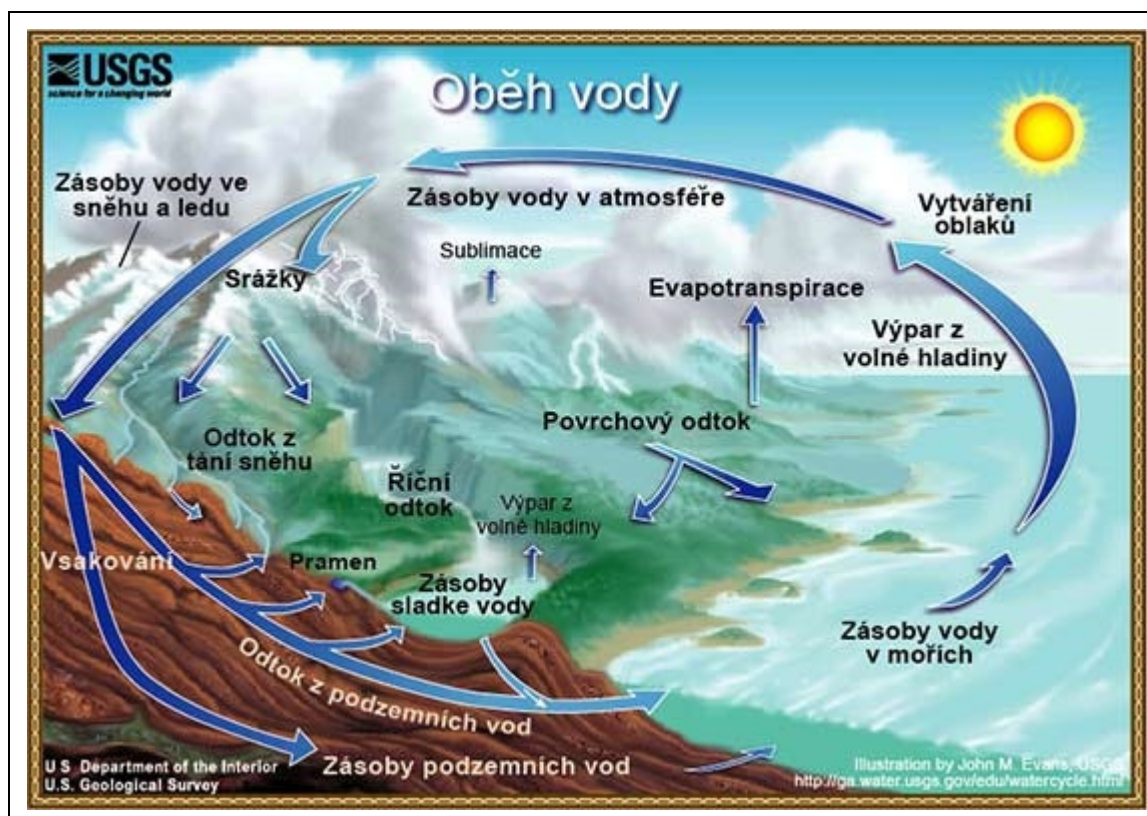
Vysoké teploty získané koncentrací slunečních paprsků lze využít i k pohonu speciálního zařízení - **Stirlingova teplovzdušného motoru**. Tento typ motoru využívá k pohonu rozdíl teplot na koncích pracovního válce (rozpínání a smršťování plynové náplně). Čím je rozdíl teplot vyšší, tím větší výkon motor poskytuje. Koncentrací slunečních paprsků na jednom konci Stirlingova motoru lze dosáhnout velmi vysokých teplot a tím i vysokého teplotního spádu a výsledného výkonu. V pouštních oblastech Nového Mexika v USA bylo s pomocí těchto motorů dosaženo vysoké účinnosti (> 40 %) přeměny sluneční energie a energii elektrickou. Stirlingův motor může být využit i v kogeneračních jednotkách spalujících biomasu, protože vlastní spalování probíhá vně motoru, a proto nehrozí zanesení citlivých částí zplodinami. Nevýhodou těchto motorů je vyšší náročnost jejich výroby a tím pádem i vyšší cena.



Obr. 31 Stirlingův motor využívající sluneční záření

3 Voda

Ze všech obnovitelných zdrojů je v České republice nejvíce využívána právě vodní energie. Z celkového potenciálu vodní energie ČR je využito asi 45 %. V roce 2005 se vodní energie podílela na výrobě elektřiny 8,6 %, poté nastal mírný pokles, což bylo způsobeno špatnými hydrometeorologickými podmínkami. Podle studie odborné komise pro posouzení energetických potřeb ČR v dlouhodobém časovém horizontu, bude její podíl opět růst, výhledově až na 9,2 % v roce 2050. Technicky využitelný potenciál vodních toků v České republice činí 3 380 GWh/rok.



Obr. 32 Koloběh vody

Síla tekoucí vody byla jedním z prvních zdrojů energie, který sloužil pro usnadnění práce lidí i zvířat. Zavlažovací systémy existovaly nejméně před 5 000 lety na území středního východu. Nejstarší vodní mlýny byly pravděpodobně mlýny na obilí s vertikální hřídelí, známé jako norské (severské) či řecké mlýny. Starověcí Římané již stavěli mlýny s horizontální hřídelí a vodní sílu využívali nejenom při mletí obilí, ale i při těžbě surovin, zpracování dřeva a kovů (hamry). Ve středověku se pak vodní mlýny (hamry) dále vyvíjely.

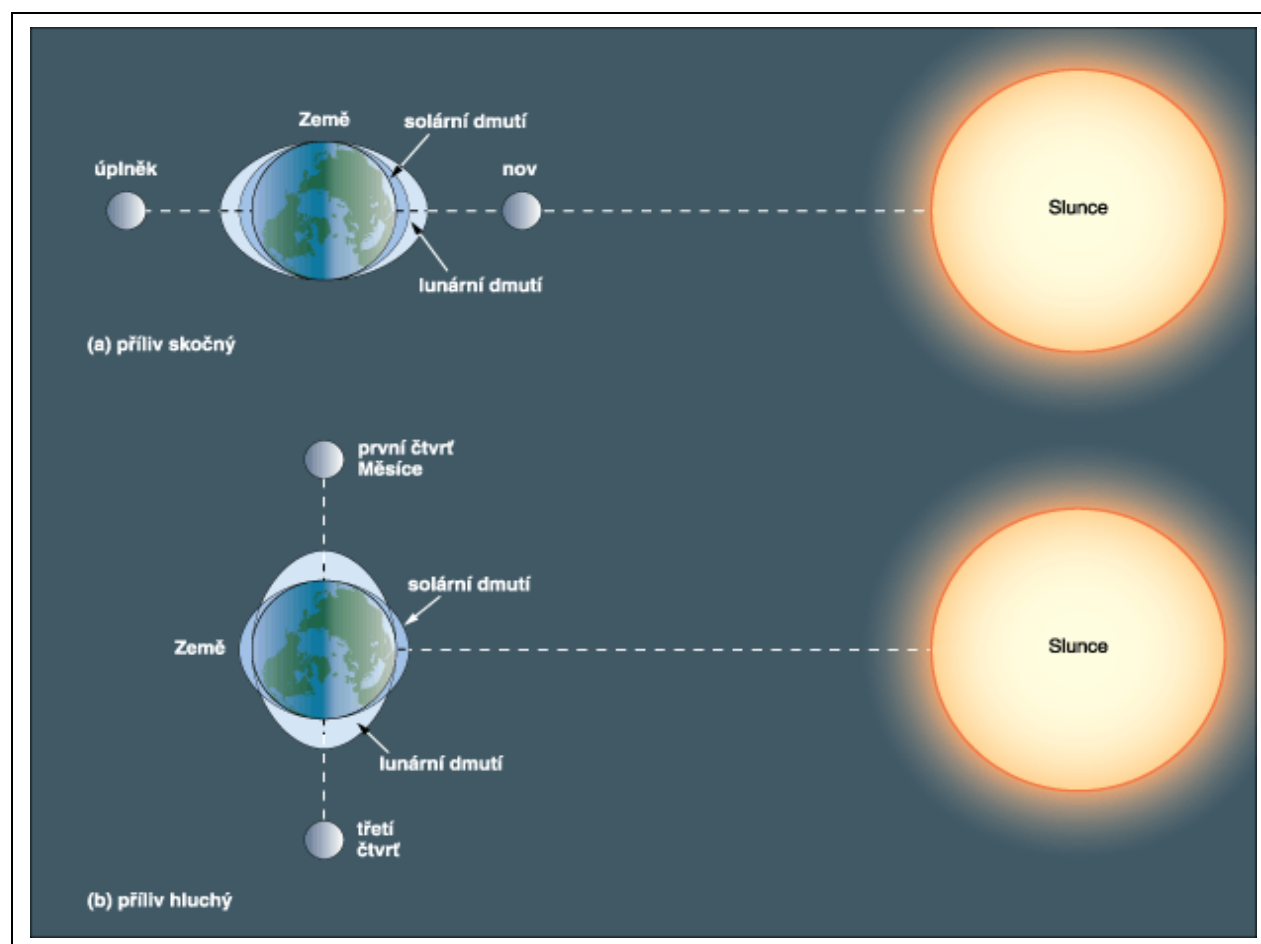
První malé vodní elektrárny využívané k osvětlovacím účelům byly realizovány v druhé polovině 19. století v USA a Anglii,⁴ jejich výkon byl však nepatrný. Teprve po vyřešení problémů dálkového přenosu elektrické energie a zejména po prosazení dálkového rozvodu vícefázových střídavých proudů se začala šířit výstavba vodních elektráren ve stále větší míře.

Kromě využití energie vodních toků se s vývojem nových technologií a materiálů začíná rozvíjet i využívání energie oceánů.

⁴ Jednu z prvních vodních elektráren postavil T. A. Edison roku 1882 v Appletonu a krátce nato pod Niagarskými vodopády. V českých zemích se vodní energetika podílela na historicky prvních krocích elektrizace u nás. Nejstarším zařízením v Čechách byla vodní elektrárna v podskalském mlýně u Písku, vybudovaná v roce 1888, kde vodní kolo pohánělo tři dynama.

3.1 Energie oceánů

Moře a oceány představují obrovské množství energie, která se zatím využívá minimálně, ale do budoucna se počítá s jejím nárůstem. Existuje mnoho způsobů, jak získat energii ukrytou v mořských proudech, vlnách, rozdílech teplot na hladině a v hlubinách. V současnosti je však nejvíce propracované a v praxi nejčastější využívání energie přílivu a odlivu, která vzniká z gravitačních sil Slunce a Měsíce, jejichž přitažlivost způsobuje zvedání a klesání mořské vody – příliv a odliv. Rozdíl hladin je na různých místech odlišný, někde dosahuje až 19 m, jinde pouze 0,5 m. Pro získávání energie je potřebný minimální rozdíl 6 metrů.



Obr. 33 Souvislost uspořádání těles v soustavě Země – Slunce – Měsíc a slapových jevů. Nahoře: Když je Měsíc v novu nebo úplňku, jsou dmutí způsobená Sluncem a Měsícem spojená, výška přílivu je maximální, dochází ke skočnému přílivu. Dole: Pokud je Měsíc v první nebo třetí čtvrti, polohy dmutí způsobených Sluncem a Měsícem spolu svírají 90° , výška přílivu je minimální, nastává příliv hluchý

Přílivové (slapové) elektrárny se staví v zálivech, kde se postaví hráz, ve které jsou turbíny s generátory pro výrobu elektrické energie. Když nastane příliv, hráz se otevře a voda vtéká dovnitř do zátoky. Až dosáhne hladina své nejvyšší úrovně, hráz se uzavře. Při odlivu hladina vody zase klesá, za hrází však zůstává vysoká. Při určitém rozdílu hladin mezi zátokou a mořem se spouští turbíny a voda se vrací zpět do moře. Její spád pohání turbíny a ty vyrábí elektrickou energii. Nejznámější přílivová elektrárna je u ústí řeky Rance ve Francii a byla postavena v roce 1966 (výkon 240 MW). Další zařízení se nacházejí také v USA, Kanadě a Spojeném království.

Slapové elektrárny se v současnosti ukazují jako problematické, protože často ničí unikátní části pobřeží s mnoha vzácnými druhy živočichů. Samotná stavba přílivových elektráren zatěžovala pobřežní oblasti, uzavření zálivů přehradami přerušilo trasy tahu ryb a vedlo k hromadění odpadků ve vzniklé nádrži. Proto se odborníci snaží rozvinout nové technologie využívající slapových jevů, které nevyžadují vybudování nákladných hrází.

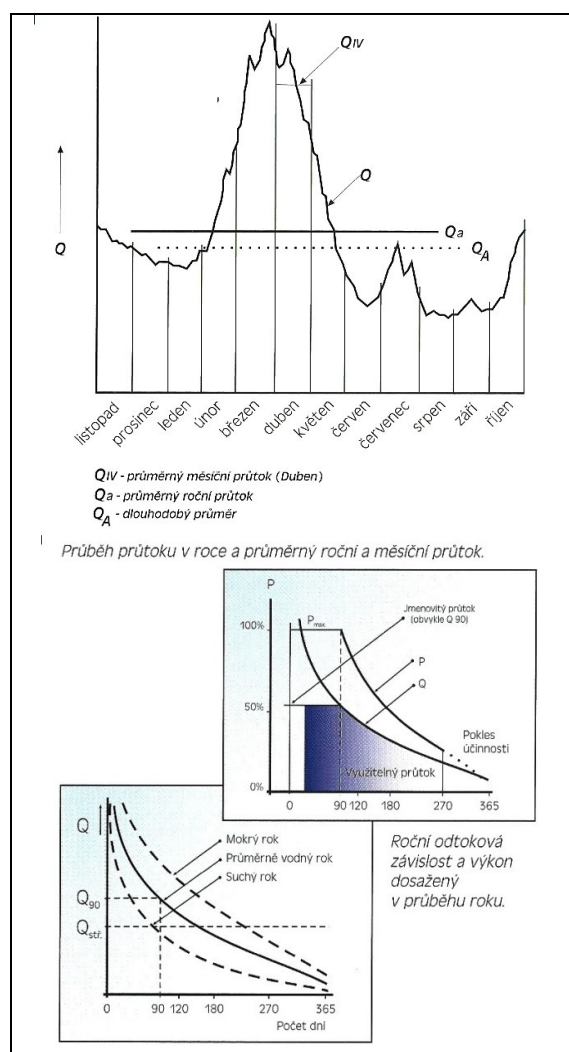
3.2 Energie vodních toků

V rámci přirozeného koloběhu vody poháněného tepelnou energií slunečního záření se neustále přesouvají obrovské masy vody ve formě vodních par z nižších poloh (moře, jezera) do vyšších nadmořských výšek (hory, náhorní plošiny). Voda tím získává vyšší potenciální energii, která se ve vodních tocích přirozeně mění na energii kinetickou (vodní proud). Vodní elektrárny představují díky jejich „napojení“ na přirozený koloběh vody prakticky nevyčerpatelný, neustále se obnovující zdroj čisté energie.

Přehrazením vodního toku dochází k místnímu zvýšení vodní hladiny. Vodní elektrárny vybudované na hrázích se nazývají **akumulační**, protože se ve vzniklých nádržích akumuluje energie v podobě velkého objemu vody (potenciální energie), která se může podle potřeby uvolnit kdykoliv je potřeba. Toho se využívá zejména při krytí energetických špiček, kdy je potřeba uspokojit zvýšenou poptávku po elektrické energii. Rychlý náběh na maximální výkon, plná ovladatelnost, možnost automatizace, vysoká účinnost až 95 % a dokonalá předvídatelnost činí z akumulacních vodních elektráren dokonalý zdroj elektrické energie. Díky uvedeným vlastnostem je cena elektrické energie z vodních elektráren v průměru 3 až 4 krát nižší než u tepelných elektráren. Oproti tepelným (jaderným) elektrárnám nepotřebují vodní elektrárny dodávky paliva (uhlí, uran) a navíc neprodukují žádné škodliviny ani skleníkové plyny. Akumulační nádrže vodních elektráren slouží jako zdroj pro odběr průmyslové vody (např. pro jaderné elektrárny) a vody určené pro závlahy a pro úpravu na pitnou vodu. Tyto nádrže dále snižují nebezpečí a následky povodní, zvyšují minimální průtoky a zlepšují plavební podmínky. Značná část těchto nádrží má nezanedbatelnou funkci rekreační.

Dalším typem vodních elektráren jsou **elektrárny průtokové**, které se budují na tocích s menším spádem, ale stabilním zpravidla větším průtokem. Výkon elektráren vybudovaných na malých tocích silně závisí na kolísání průtoků, naopak elektrárny na velkých tocích jsou stabilními zdroji energie využitelnými nejenom pro krytí energetických špiček. Posledním typem jsou **elektrárny přečerpávací (PVE)**, které mají dvě nádrže v různých výškách. Tyto elektrárny vyrábějí elektřinu v době její největší spotřeby (voda proudí z vyšší nádrže do nižší) a tím přispívají ke stabilitě přenosové soustavy. Naopak v době nízkého poptávky využívají tato zařízení levnou elektřinu produkovanou uhelnými a jadernými elektrárnami s nepřetržitým provozem k čerpání vody z nižší do vyšší nádrže. S výhodou se přitom využívá vlastností turbín, které mohou sloužit jak k výrobě elektřiny, tak také jako výkonná vodní čerpadla.

Nevýhodou velkého vodního díla je cenová náročnost jeho výstavby a výrazný vliv na životní prostředí (přehradní hráze, zatopené oblasti, změna vodního režimu). Dalším omezujícím faktorem při plánování vodní elektrárny jsou nároky na výběr vhodné lokality. Rozhodujícím ukazatelem k hodnocení konkrétní lokality pro výstavbu vodního díla, resp. malé vodní elektrárny (MVE) je využitelný spád (výškový rozdíl vodních hladin), a průtok (průtočné množství vody v daném profilu, který chceme využít).



Obr. 34 Průběh průtoků v roce, průměrný měsíční a roční průtok

3.2.1 Rozdělení vodních turbín

Energii z vody je možno získat:

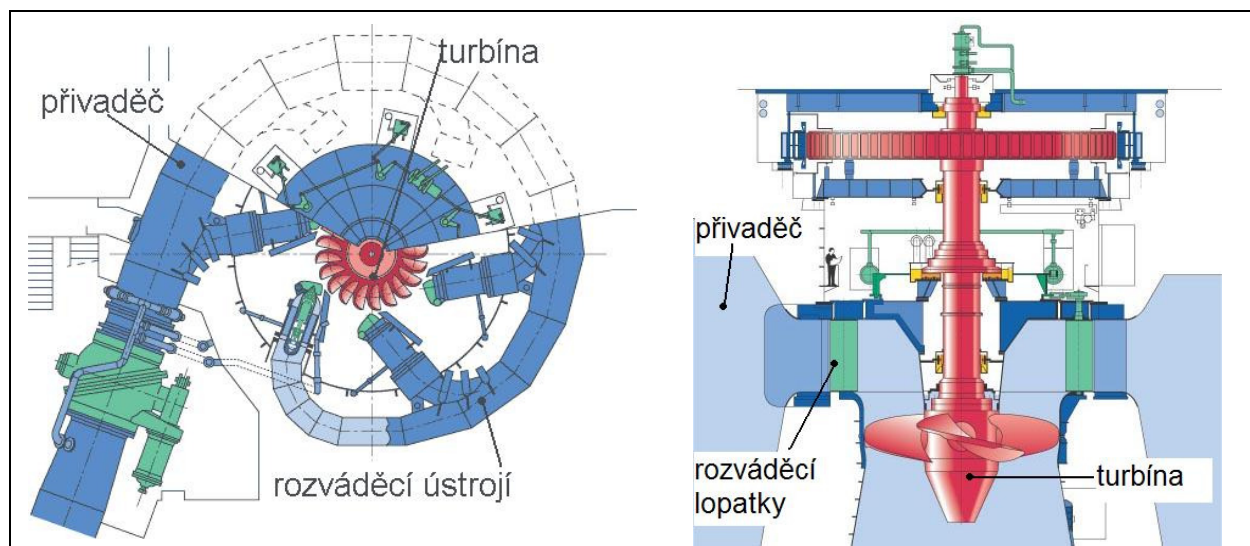
- využitím jejího proudění - energie pohybová, kinetická
- využitím jejího tlaku - energie potenciální, tlaková
- využitím obou energií současně

Podle způsobu využívání různých forem energie vody rozlišujeme i používané typy vodních strojů (motorů).

Kinetická energie je ve vodních tocích dána rychlostí proudění vody, která je závislá na spádu a příčném profilu toku. Dříve se tato forma energie využívala pouze vodními koly, dnes akčními (rovnotlakými) turbínami, např. typu Bánki, Pelton. Optimální využití vyžaduje, aby obvodová rychlost stroje byla nižší, než je rychlost proudění, jinak lopatky pouze ustupují proudu vody bez možnosti převzetí energie a jakéhokoli zatížení. Otáčky rovnotlakých strojů jsou pomalé (tlak na lopatky, způsobený poloviční obvodovou rychlostí oproti rychlosti proudění, je po celé cestě předávání energie stejný) a voda vstupuje do turbíny pouze v některých částech jejího obvodu a nezahltí celý obvod plynule (parciální ostřik).

Energie potenciální (přetlaková) vzniká v důsledku gravitace a závisí na výškovém rozdílu hladin. Voda proudí z hladiny o větší výšce vhodným přivaděčem do míst s nižší hladinou. Rozdíl těchto dvou výškových potenciálů vytváří tlak, který se využívá v reakčních (přetlakových) turbínách, např. typu Francis, Kaplan, Dériaz. Otáčky oběžného kola přetlakové turbíny jsou několikanásobně vyšší než absolutní rychlost proudění vody.

Voda přitékající přívodním kanálem prochází rozváděcím mechanismem (ústrojem) a roztáčí oběžné kolo turbíny, které je zpravidla na společném hřídeli s generátorem elektrické energie. Dohromady tvoří tzv. turbogenerátor. Mechanická energie rotujícího oběžného kola se tak mění na základě elektromagnetické indukce v generátoru na energii elektrickou. (V otáčející se smyčce elektrického vodiče v magnetickém poli se indukuje střídavé elektrické napětí).



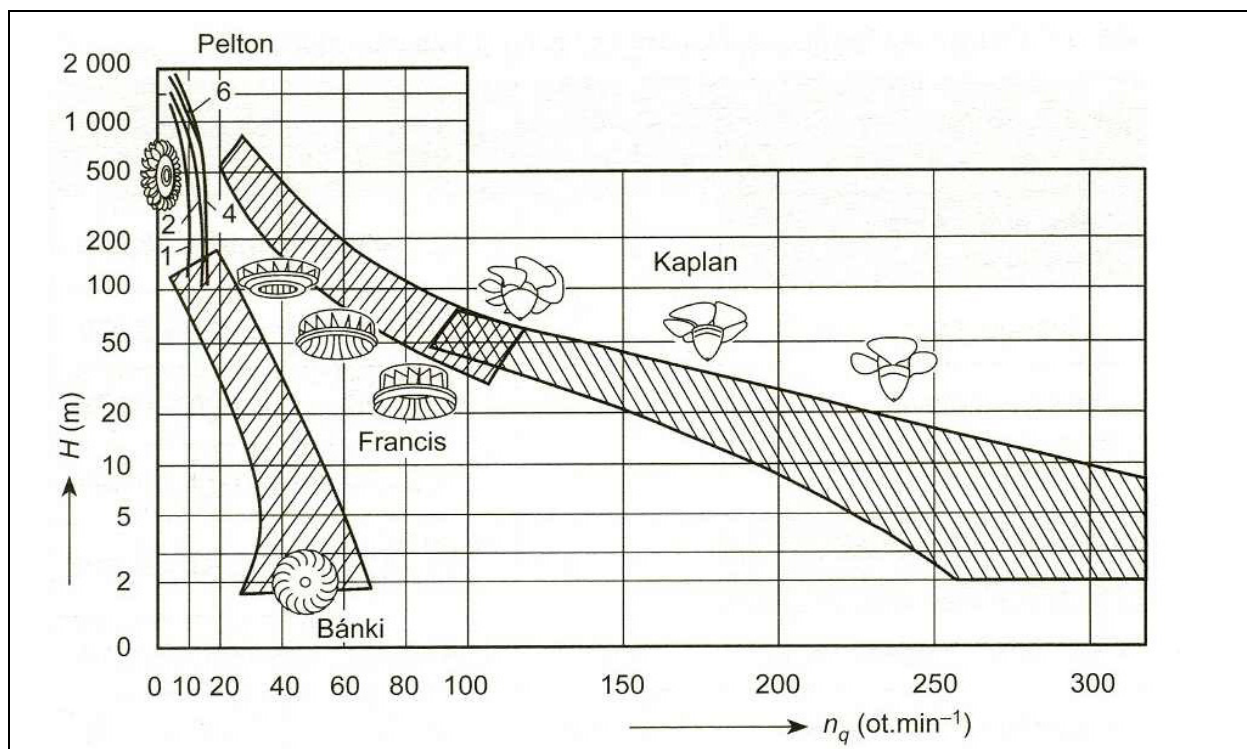
Obr. 35 Hlavní části rovnotlaké (vlevo) a přetlakové (vpravo) vodní turbíny

Účinnost turbín není konstantní. Mění se s jejími rozměry, se spádem a i zatížením (průtokem). Účinnost je poměr skutečného výkonu na hřídeli k výkonu, který má množství vody s čistým užitečným spádem protékající za sekundu turbínou. Optimální účinnost je u zmíněných druhů turbín kolem 90 % u velkých jednotek, ovšem účinnost značně souvisí s průtokem. Pro daný spád H metrů a průtok vody Q (m^3/s) lze sestavit turbíny s různým počtem otáček, které se od sebe budou lišit tvarem oběžného kola a lopatek. Ale i stejné kolo má při různém spádu různý počet otáček. Nemůžeme tedy o tvaru oběžného kola rozhodnout jen podle jeho skutečných otáček. U každého tvaru kola je třeba zachovat takový vzájemný poměr jednotlivých rozměrů, který dává podle zkušeností největší účinnost.

Voda

Turbíny s nízkými měrnými otáčkami n_q se používají při velkých spádech a turbíny s vysokými měrnými otáčkami jsou vhodné pro malé spády. Peltonova turbína má $n_q = 3$ až 20 ot./min. a pracuje při spádu 400 až 1 700 m. Francisova turbína má $n_q = 30$ až 120 ot./min. a pracuje při spádech 40 až 500 m. Kaplanova turbína má $n_q = 100$ až 450 ot./min. a pracuje při spádu 2 až 60 m.

Peltonova turbína je vhodná pro malé průtoky, protože její rozváděcí zařízení tvoří jedna až čtyři trysky, z níž vytéká voda přímo na lopatky. Francisova i Kaplanova turbína mají vtok po celém obvodu rozváděcího kola, proto mohou zpracovávat větší množství vody než turbína Peltonova a mohou při malém spádu dosáhnout velkého výkonu.

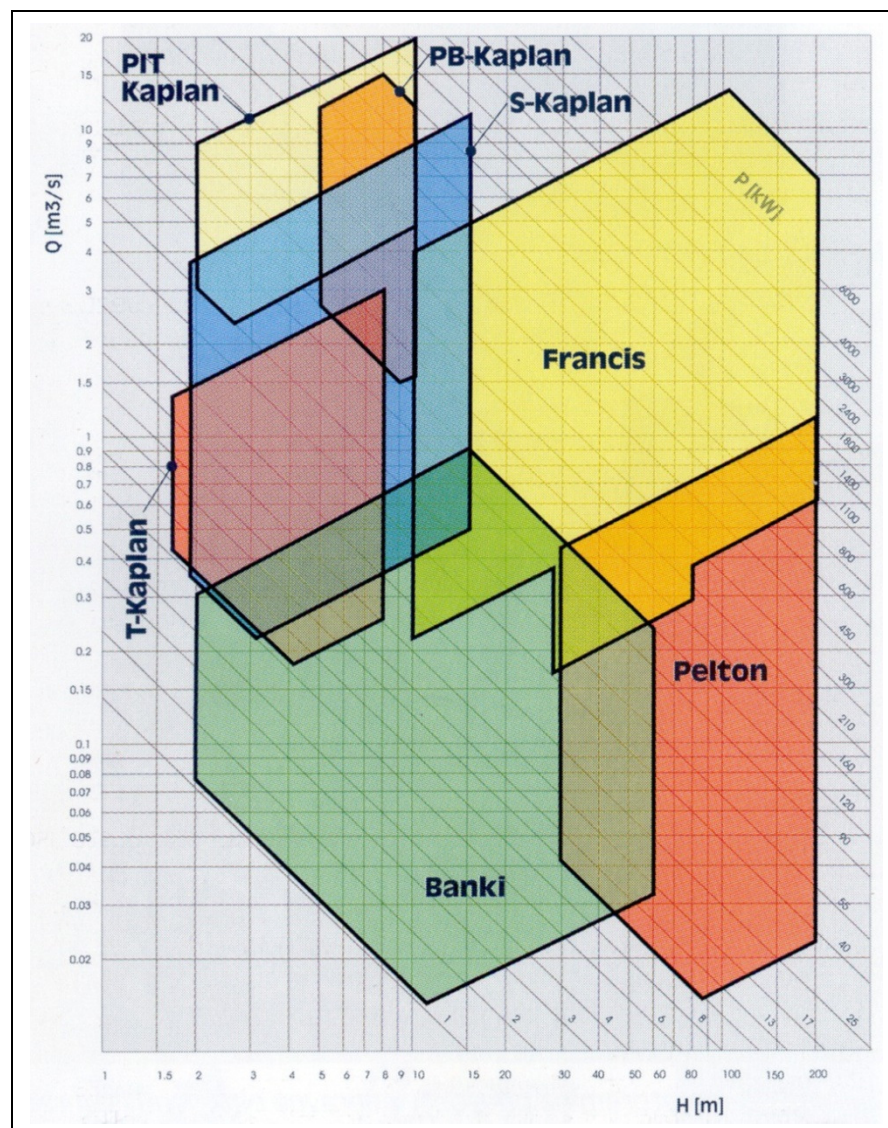


Obr. 36 Pracovní oblast jednotlivých typů vodních turbín

Výběr turbíny závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla. Nejčastěji se osazují turbíny reakčního typu (Francisova nebo Kaplanova turbína), a to v řadě modifikací. Pro vysoké spády (až 500 m a více) se používá akční Peltonova turbína. V přečerpávacích vodních elektrárnách se používají turbíny s reverzním chodem a s přestavitelnými lopatkami. V malých vodních elektrárnách našla své uplatnění malá horizontální turbína Bánkiho spolu s upravenou jednoduchou turbínou Francisovou. Vůbec nejvyšší účinnost pro velké spády vykazuje Dériazova turbína (z roku 1951). Jde o diagonální verzi Kaplanovy turbíny.

Moderní turbíny se dělí, jak již bylo uvedeno, podle způsobu práce a přeměny energií na rovnotlaké a přetlakové. V rovnotlakých turbínách zůstává tlak vody stále stejný, to znamená, že voda vychází z turbíny pod stejným tlakem, pod jakým do ní vstupuje. U přetlakových turbín vstupuje voda do oběžného kola s určitým přetlakem, který při průtoku klesá. Při výstupu z turbíny má tedy voda nižší tlak než při vstupu do ní. Tak pracují např. Francisovy turbíny, vhodné pro střední spády. Pro malé výkony na malých spádech jsou vhodné horizontální turbíny, pro malé spády a velké výkony se stavějí turbíny vertikální. Vývoj Francisových turbín ještě není ukončen. Dosahují výkonů až 250 MW, jsou však schopny i výkonů 1000 MW a vyšších.

Vodní turbíny jsou technicky nejdokonalejší mechanické motory vůbec - dosahují 95% účinnosti. Umístění vlastní elektrárny může být různé podle tvaru terénu, výškových a spádových možností a na množství vody. Existují elektrárny zabudované přímo do tělesa hráze, jinde je elektrárna vystavěna hluboko v podzemí. Voda se k ní přivádí tlakovým potrubím a odvádí se podzemním kanálem.



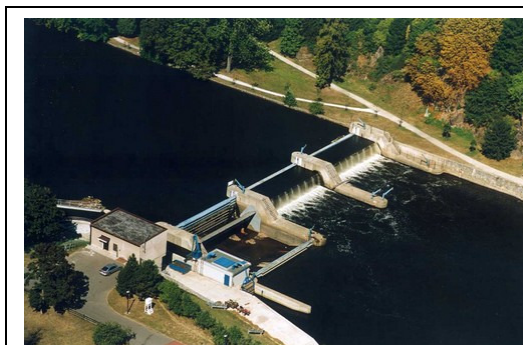
Obr. 37 Základní charakteristika turbín podle průtoku a spádu

3.2.2 Rozdělení vodních děl (elektráren)

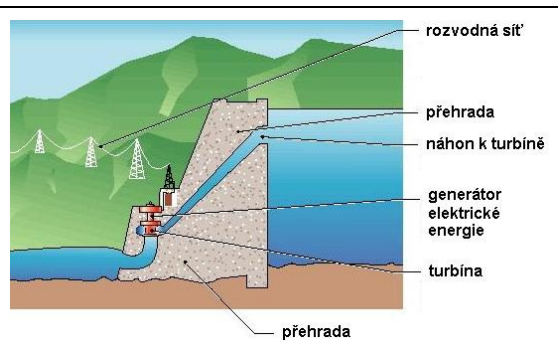
Vodním dílem zpravidla rozumíme veškerá stavební i strojní zařízení, která jsou nutná pro využití energie vody v určitém úseku vodního toku a její přeměnu na mechanickou práci. Vodní dílo by mělo energii přírodního toku zužítovat v maximální možné míře. Tato přeměna se však děje pouze ve vodním motoru - v turbíně. Úkolem ostatních částí vodního díla je především dopravit k turbíně bez zbytečného odporu potřebné množství neznečištěné vody a přitom pokud možno neztratit nic ze získaného spádu. Paleta vodních děl, resp. vodních elektráren, je velmi široká. Ve všech případech však využívají základní princip – polohový potenciál vody. Při navrhování energetického využití vodního toku nebo jeho úseku je nutné zvažovat různá schémata celkového koncepčního řešení, která je možno po technické stránce rozdělit do čtyř základních skupin:

1. Vzdouvací schémata, která se dále dělí na:

- jezová – jezové vodní elektrárny (Obr. 38) se umísťují většinou v těsné blízkosti vzdouvacího zařízení. Spodní stavba strojovny musí odolávat plnému hydrostatickému tlaku horní vody.
- přehradní – přehradní vodní elektrárny se vyznačují tím, že tlak horní vody přejímá většinou těleso přehrady, takže stavba strojovny není vystavena jeho působení (Obr. 39).

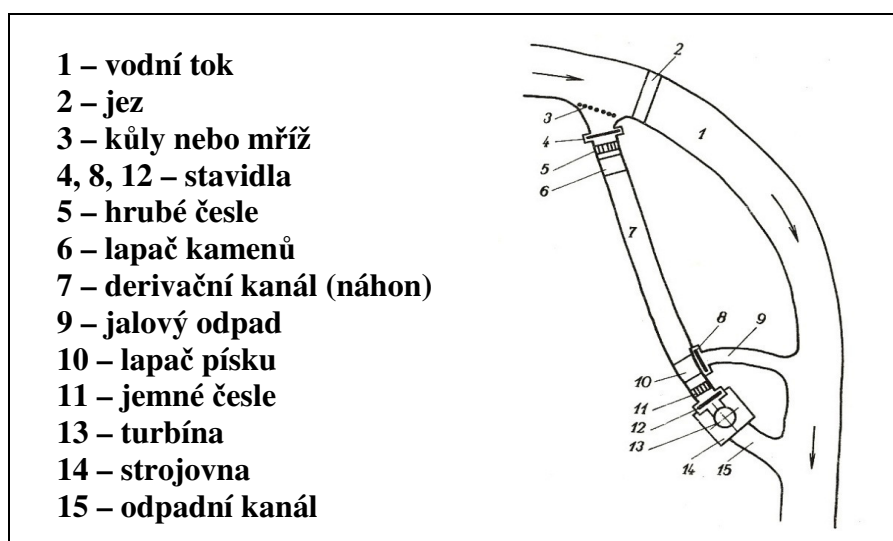


Obr. 38 Jezová MVE Klášterec nad Ohří



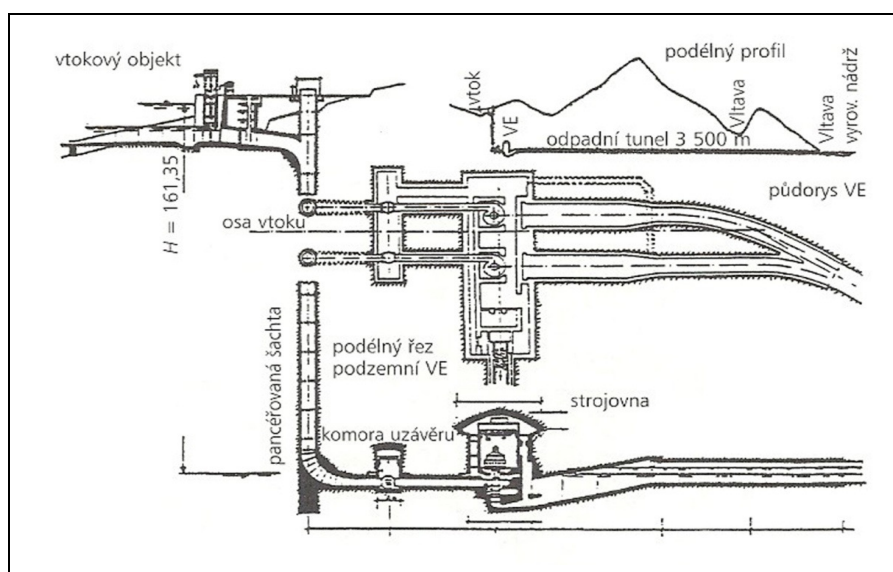
Obr. 39 Hráz vodní elektrárny

2. Derivační schémata, která využívají umělého vedení vody z toku k vodní elektrárně (přivaděč) a od ní zpět do toku (odpad). Jako vzdouvací zařízení zpravidla používá jez, který však nemá za úkol vytvářet spád, ale přivádět vodu do derivace.



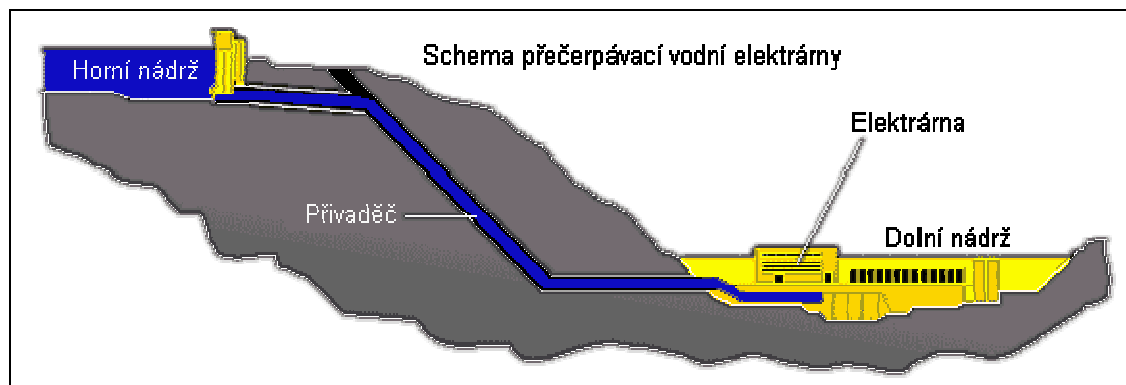
Obr. 40 Schéma derivačního vodního díla

3. Přehradně-derivační schémata, která se používají nejčastěji v horských oblastech. Vzdouvacím zařízením je přehrada, jejímž účelem je soustředit spád i průtok a svádět vodu do přivaděče, který je vždy tlakový a je řešen jako uzavřené potrubí nebo (Obr. 41).



Obr. 41 Přehradně-derivační podzemní vodní elektrárna Lipno I na horní Vltavě

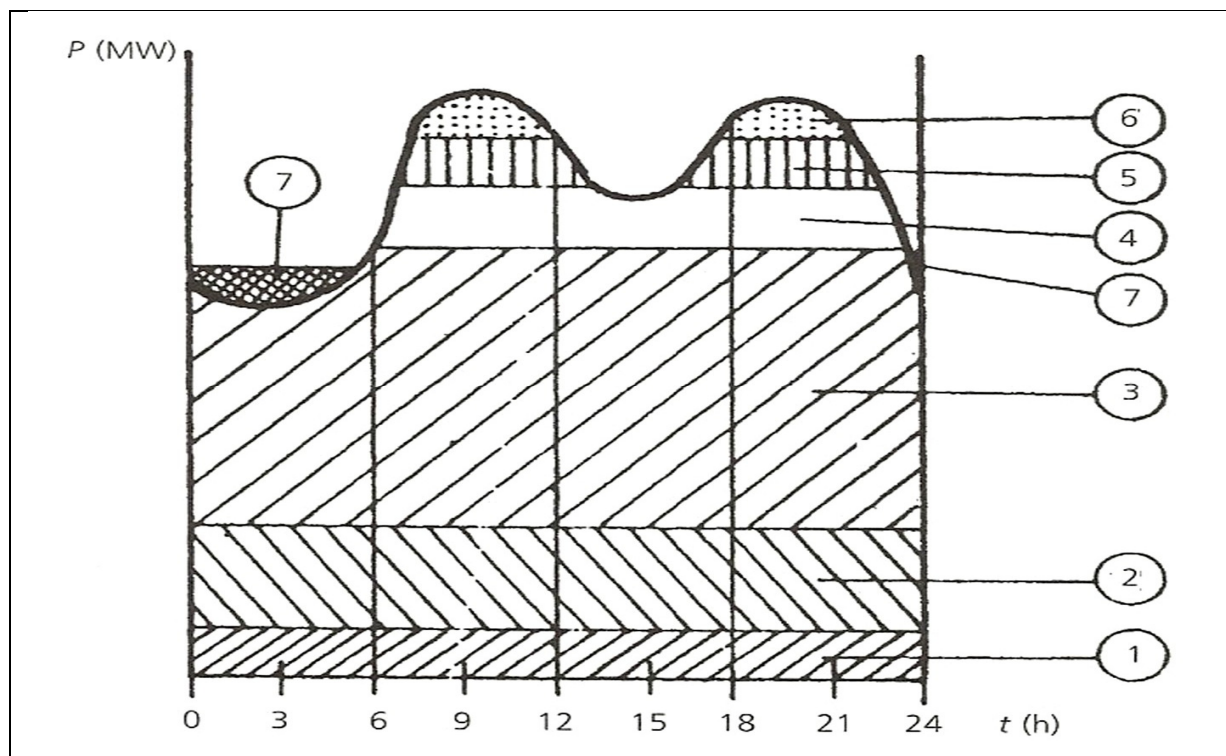
4. Přecherpcovací schémata, u nichž soustředění spádu a velikost využívaného průtoku nezávisí na vodnatosti toku. Potenciál vody využívají pro výrobu špičkové elektrické energie ke krytí špičkového zatížení v elektrizační soustavě (Obr. 43).



Obr. 42 Schéma přecherpcovací vodní elektrárny

Podle účasti na pokrývání zatížení elektrizační soustavy se vodní elektrárny dělí na:

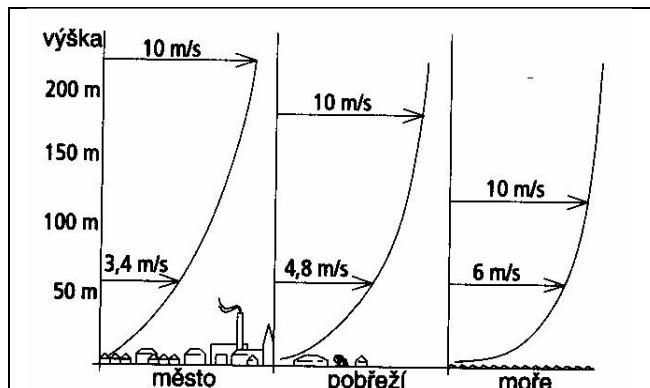
- základní, které pracují převážně v pásnu základního zatížení denního diagramu zatížení elektrizační soustavy (např. průtočné VE, které dodávají elektrickou energii nepřetržitě)
- pološpičkové, které pracují s denním řízením odtoku převážně v pásnu pološpičkového zatížení denního diagramu zatížení elektrizační soustavy
- špičkové, které pracují převážně v pásnu špičkového zatížení denního diagramu zatížení elektrizační soustavy (jsou to např. akumulární VE s krátkodobou regulací nebo přecherpcovací VE, které dodávají elektrickou energii krátkodobě několik hodin denně)
- samostatné, které nespolupracují s elektrizační soustavou



Obr. 43 Teoretické krytí diagramu denního zatížení elektrizační soustavy: 1 – průtoční vodní elektrárny (včetně MVE); 2 – jaderné elektrárny; 3 – tepelné elektrárny; 4 – špičkové vodní elektrárny s dlouhodobou regulací; 5 – špičkové vodní elektrárny s krátkodobou regulací; 6 – přecherpcovací vodní elektrárny; 7 – nadbytečná energie vhodná k využití v přecherpcovacích vodních elektrárnách (sekundární, resp. umělá akumulace)

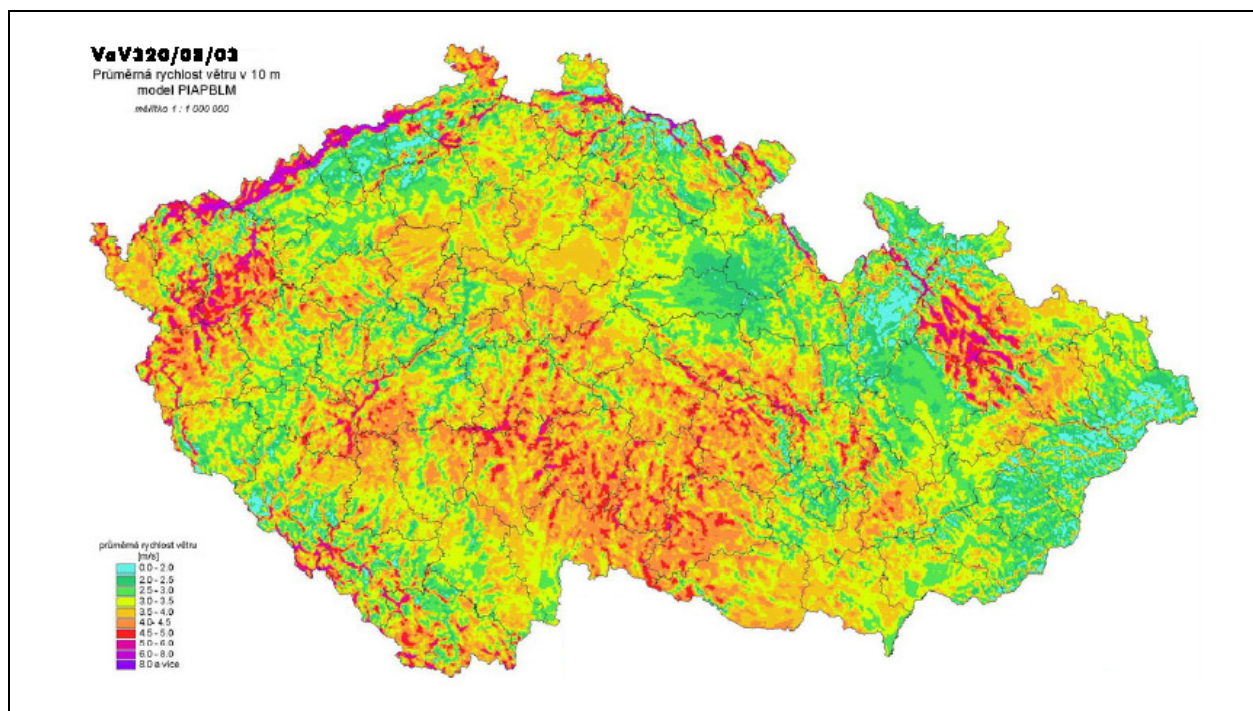
4 Vítr

Vítr je proudící vzduch, jehož směr a rychlost se obvykle neustále mění. Zdrojem energie větru je rotace Země a sluneční energie. Například nad zemským povrchem ohřátým sluncem vzrůstá teplota vzduchu a tím se vzduch roztahuje. Nad sousedícím mořem zůstává vzduch chladnější. Kolísání hustoty vzduchu, které tak vzniká, má za následek rozdíly tlaku vzduchu, které zase způsobují jeho proudění. Nad povrchem země tak začíná vát vítr z moře na pevninu. V noci se směr větru mění na opačný, protože voda je teplejší než pevnina, která se ochlazuje rychleji. Vzduch neustále proudí z míst s vysokým tlakem do míst s nízkým tlakem vzduchu. Dalším působícím faktorem je struktura zemského povrchu. Rychlost větru závisí na charakteru krajiny a zástavbě. S rostoucím počtem a výškou překážek stoupají čáry stejné rychlosti (isoventy) do větších výšek.



Obr. 44 Rychlost větru v dané výšce v závislosti na druhu terénu

Z výše popsaných důvodů jsou pro stavbu větrných elektráren nejvhodnější přímořské oblasti. Druhou, již ne tak výhodnou, lokalitou vhodnou pro výstavbu větrných turbín jsou horské hřebeny. Průměrné roční rychlosti větru na našem území udává tzv. větrná mapa. Z ní lze vyčíst, že pouze 1,6 % území je vhodné pro stavbu větrných elektráren. Většinou se jedná o výše položené oblasti, které často patří mezi chráněné krajinné oblasti, což může komplikovat povolení ke stavbě. Z těchto důvodů není Česká republika obecně vhodným územím pro výstavby větrných elektráren.



Obr. 45 Větrná mapa ČR

Pro využívání větrné energie je kromě roční průměrné hodnoty rychlosti větru důležité i to, jak kolísá energetický obsah větru v průběhu ročních období. Při nízkých rychlostech se rotor turbíny vůbec neroztočí a při vysokých zase hrozí poškození stroje. Za prakticky využitelné se považují rychlosti větru v rozmezí 3–26 m/s. V zimě bývá energetický obsah větru až několikrát

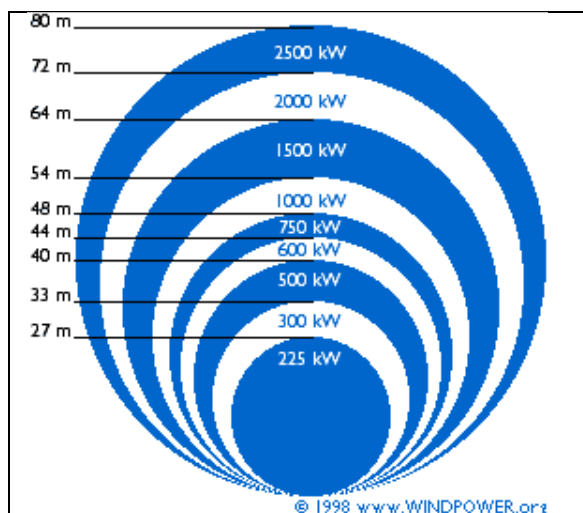
vyšší než v létě. Energie větru tak lépe odpovídá potřebám energie podle ročních období než sluneční energie. Kromě kolísání rychlosti větru v závislosti na ročních obdobích, měsíčním nebo denním kolísání rychlosti se mohou projevovat i místní zvláštnosti. Větry typické pro daný region mívají svá jména: monsun (Indie), mistral (jižní Francie), bora (Jaderské moře).

Díky relativně nízké hustotě energie obsažené ve větru je potřeba pro získání většího výkonu v dané lokalitě instalovat větrné turbíny o větším průměru. Větrné mlýny bývaly budovány, s ohledem na použité materiály, s rotory průměru do 30 metrů. První větrné elektrárny na konci 19. století byly v podstatě větrné mlýny osazené generátorem a připojené do místní rozvodné sítě. S rozvojem letectví byly vyvíjeny nové materiály, které spolu s novými poznatky v aerodynamice umožňovaly stavět efektivnější větrné turbíny.

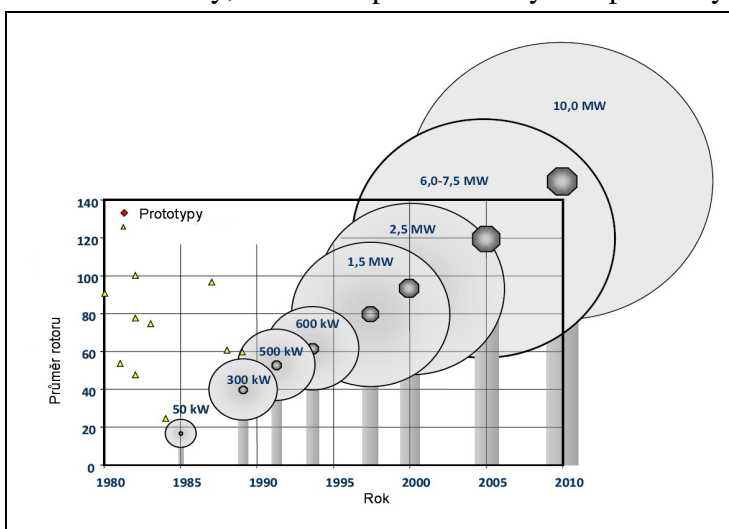
Počet listů větrných turbín se ustálil na třech, díky vysokému výkonu a relativně nízkému hluku. Z kategorie středních elektráren (průměr rotoru 16-45 m) se vývojem oddělili malé větrné elektrárny, které svým výkonem do 10 kW postačují k zásobování odlehklých chat a obydlení elektrickou energií. V této skupině jsou také mikrozdroje vhodné k integraci do nových budov podobně jako fotovoltaické panely, které vhodně doplňují.

Hlavní vývoj se však vydal opačným směrem a výkon i rozměry větrných turbín každým rokem narůstají. Nejmodernější větrné elektrárny dosahují výkonu v řádech MW s rotory o průměru větším než 100 m. Vliv takových zařízení na vzhled krajiny je obrovský, a proto se budují převážně v mělkých mořích blízko pevniny, kde mohou navíc využívat silného a stabilního mořského větru.

Pro maximální využití větrného potenciálu dané lokality se na zvoleném místě vybuduje obvykle několik větrných turbín, které vytvoří tzv. větrnou farmu. Největší tuzemská farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry v Krušných horách na Chomutovsku má celkem 21 větrných elektráren vysokých 78 metrů s celkovým instalovaným výkonem 42 MW. Elektrárna dokáže pokrýt roční spotřebu domácností s 30 000 lidmi. Investice si vyžádala 1,46 miliardy korun, návratnost odhadují provozovatelé elektrárny na deset až 12 let.



Obr. 46 Závislost výkonu větrné elektrárny na průměrné velikosti rotoru



Obr. 47 Vývoj růstu průměru rotoru instalovaných větrných elektráren



Obr. 48 Větrná farma Kryštofovy Hamry v Krušných horách

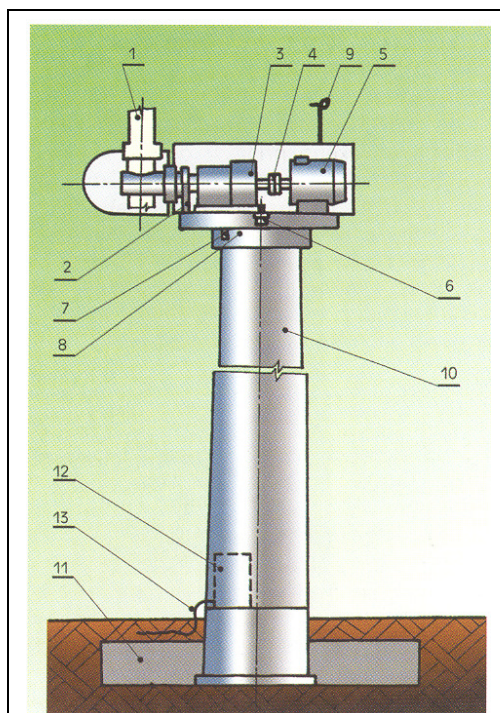
4.1 Rozdělení a vlastnosti větrných elektráren

Větrné turbíny lze dělit podle několika hledisek. Rozlišujeme elektrárny pracující v ostrovním režimu mimo rozvodnou síť (off-grid) a elektrárny dodávající energii do veřejné rozvodné sítě (on-grid). Podle způsobu regulace výkonu v závislosti na rychlosti větru se rozlišují turbíny s pasivní regulací (Stall – jednoduchá konstrukce, vyšší výroba při vyšších rychlostech větru, spolehlivost) a turbíny s aktivní regulací (Pitch - natáčení celého listu rotoru podle okamžité rychlosti větru; jednoduchý start, nižší hmotnost listů; vyšší výroba elektrické energie při nižších rychlostech větru; aktivní kontrola výkonu v celém pracovním rozsahu rychlostí větru).

Kromě tradičních systémů s převodovkou, která zajišťuje převod nízké rychlosti rotoru na mnohem vyšší rotační rychlost klasických generátorů, se vyrábějí i větrné elektrárny bezpřevodkovkové. Systém bez převodovky je založen na využití nízkorychlostních vícepólových generátorů, které však mají velké rozměry, což může způsobit problémy při transportu. Na druhé straně se výrazně sníží počet strojních částí. Není potřeba rozměrově velká převodová skříň, odpadají spojovací prvky, zmenší se počet pohyblivých částí, zjednoduší se gondola a rovněž údržba.

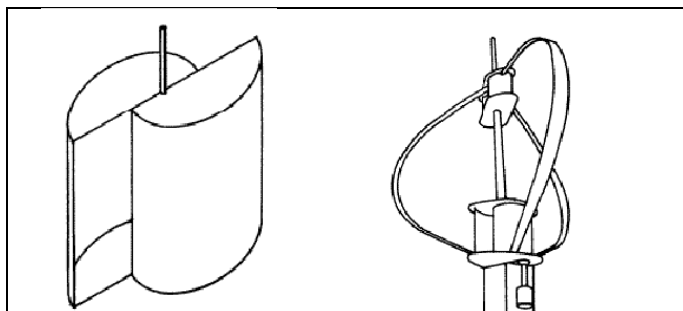
Podle aerodynamického principu dělíme větrné turbíny na vztlakové a odporové. Podle osy otáčení existují turbíny s vodorovnou osou otáčení a turbíny se svislou osou otáčení. **Větrné turbíny s vodorovnou osou otáčení** jsou nejrozšířenější. Pracují na vztakovém principu, kdy vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly historické větrné mlýny nebo větrná kola vodních čerpadel. Při stejném průměru rotoru platí v zásadě nepřímá závislost počtu listů a frekvence otáčení. Moderní elektrárny mají obvykle tři listy; existují však i elektrárny se dvěma či jedním listem.

Větrné turbíny se svislou osou otáčení pracují na odporovém principu – Savoniova turbína, jejíž konstrukce připomíná misky anemometru nebo na vztakovém principu, jako je Darreiova turbína. Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na vztakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti, navíc je není třeba natáčet do směru převládajícího větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, protože u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem, tj. menší rychlost větru. V praxi se téměř nepoužívají.



- 1 – rotor s rotorovou hlavicí
- 2 – brzda rotoru
- 3 – převodovka
- 4 – spojka
- 5 – generátor
- 6 – servopohon natáčení strojovny
- 7 – brzda točny strojovny
- 8 – ložisko točny strojovny
- 9 – čidlo rychlosti a směru větru
- 10 – několikadílná věž (stožár, sloup)
- elektrárny
- 11 – betonový základ
- 12 – elektrorozvaděče silnoprůduého a řídícího obvodu
- 13 – elektrická přípojka

Obr. 49 Větrná elektrárna s vodorovnou osou otáčení



Obr. 50 Savoniova (vlevo) a Darreiova (vpravo) turbína

5 Biomasa

Vyhledáme-li si pojem *biomasa* v učebnicích ekologie, najdeme spoustu definic, které by se daly shrnout do jedné: Biomasa je celkový objem všech organismů vyskytujících se v určitém okamžiku na určitém místě. Jedná se o rostliny, živočichy, bakterie i houby.

Všechny tyto organismy v sobě mají energii, jež je navázaná v organických sloučeninách, které tvoří jejich tělo. Producentem této energie jsou rostliny, které tvoří základ potravní pyramidy. Rostliny využívají energii slunečního záření, vodu a oxid uhličitý, ze kterého fotosyntézou dokážou vyrobit organické látky, v nichž je uložena energie ze slunce. Tato energie putuje s rostoucími ztrátami v potravních vztazích dál ke konzumentům (býložravci, masožravci) až k degradátorům (mrchožrouti). V rostlinách je navázané velké množství energie, která by se dala využít nejen jako zdroj potravy, ale třeba jako zdroj tepla. A tady už hovoříme o *biomase* jako o jednom z obnovitelných zdrojů energie.

Z hlediska energetického využití biomasy jde v ČR především o:

- zbytky z lesnictví a dřevařského průmyslu (kůra, větve, odřezky, piliny, hobliny)
- zbytky ze zemědělské a potravinářské výroby (sláma, zvířecí exkrementy)
- záměrně pěstované plodiny (rychlerostoucí dřeviny, olejniny atd.)

Výhody využívání biomasy jsou patrné ze samé podstaty vzniku biomasy. energii je uskladněná všude kolem nás. Není snazší a k životnímu prostředí šetrnější využívat dřevo, biologické odpady, které by jinak byly naprosto bezcenné (slámu, piliny atd.), než čerpat ropu z hlubokých vrtů a těžit uhlí z ložisek? Samozřejmě že samotná biomasa nás nespasí. Nelze celou krajinu posázet pouze plodinami určenými k získávání energie. Půdu je potřeba ponechat pro plodiny pěstované k potravinářským či krmným účelům, k zajištění surovin pro průmyslové účely atd. K biomase je navíc nutné přistupovat jako k „omezeně“ obnovitelnému zdroji energie, neboť její potenciál je přirozeně omezený prostorem, produkční schopností organismů a využitím biomasy k jiným než energetickým účelům (přírodní nedotčené ekosystémy x produkce potravin surovin x energetické využití biomasy).

5.1 Historie využívání biomasy

S nadsázkou můžeme říct, že náš předek *homo erectus* byl průkopníkem využívání energie z biomasy. Naučil se totiž využívat oheň, i když tomu jistě neříkal energetické využití biomasy. S nástupem zemědělství se používání biomasy rozšířilo o využití síly zvířat. Později se začaly efektivněji zužitkovávat zemědělské odpady (krmivo pro zvířata, hnojivo, palivo do kamen) a tím dosáhlo zemědělství energetické soběstačnosti. Až do 50. let 20. století využívaly venkovská sídla energii z biomasy z vlastních zdrojů ve velké míře, avšak s příchodem industrializace a technickým rozvojem, který umožnil efektivnější využití zemědělské půdy k produkci potravin, došlo k poklesu energetického využití biomasy ve venkovských oblastech. Zemědělství sice zvýšilo produkci potravin, ale za cenu vysoké závislosti na fosilních zdrojích energie (fosilní paliva, umělá hnojiva). V dnešní době je u nás potravin dostatek, je tedy možný alespoň částečný návrat zpátky k využití zemědělské půdy ke krytí energetických potřeb.

Také využití biopaliv v dopravě má svou historii. Na území České republiky se v první i druhé světové válce využíval zemědělský líh jako palivo z nedostatku jiných pohonných hmot. Po celou první polovinu minulého století byly státem podporovány lihovary, které zpracovávaly zemědělské produkty, nejvíce však brambory, ze kterých se u nás líh už prakticky nevyrábí.

5.2 Spalování biomasy

Spalování je nejstarším a nejrozšířenějším způsobem získávání energie z biomasy. Při spalování dochází k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny a při následné oxidaci (reakci s kyslíkem) se uvolňuje energie, oxid uhličitý a voda. Nespornou výhodou spalování biomasy je nulová produkce oxidu uhličitého (CO_2). Lépe řečeno množství CO_2 vyprodukovaného spalováním biomasy odpovídá množství tohoto plynu, které se navázalo v tělech rostlin během jejich růstu. Spalování biomasy tedy nepřispívá ke zvyšování koncentrace CO_2 v atmosféře a s tím souvisejícímu skleníkovému efektu.

Spalovací proces má čtyři fáze:

1. **fáze – sušení:** v materiálu se postupně snižuje obsah vody a začne se zahřívat
2. **fáze – pyrolýza:** po dosažení správné teploty (cca 200 °C) se materiál postupně rozkládá na hořlavé plyny
3. **fáze – spalování plynné složky:** hoření plyných složek prodlužuje plamen a zvyšuje teplotu plyných spalin
4. **fáze – spalování pevných látek:** dohořívají pevné látky, vzniká oxid uhelnatý (CO), který se oxiduje na oxid uhličitý (CO_2)

Předpokladem pro ekologicky přijatelné efektivní spalování biomasy je dostatečné množství kyslíku, vysoký obsah sušiny a provozní teplota nad hranicí zápalné směsi materiálu.

5.2.1 Spalování dřeva a bylin

Dřevo je nejstarším energetickým zdrojem, který lze spalovat v různých podobách. Jedná se o kusové dřevo, štěpku, brikety, peletky, případně odpadový materiál jako je kůra, větve atd. Všechny formy palivového dříví ale musí splňovat zásadní podmínku, kterou je nízká vlhkost. Čím vyšší vlhkost, tím nižší výhřevnost, protože k odpaření vlhkosti potřebujeme energii. Např. pokud máme k dispozici dřevo, které má vlhkost asi 50 % spotřebujeme polovinu jeho energetického obsahu k odpaření této vody a tohoto vlhkého dřeva tedy potřebujeme dvakrát více než dřeva suchého. Kusové dřevo (polena) se obvykle přirozeně vysuší na vlhkost okolo 20 %, dále zpracovávané dřevo (např. brikety) mají vlhkost ještě nižší, protože při jejich výrobě je v rámci technologie zařazeno i sušení. Výhřevnost různých druhů dřevin je uvedena v tabulce (Tab. 3). Pro srovnání udáváme i tabulku porovnání výhřevnosti dřeva a fosilních paliv (Tab. 4).

Dříve se dřevo v domácnostech spalovalo v kotlích, které byly konstruované pro uhlí, v nich je ale spalování dřeva málo efektivní. Moderní kotle určené na kusové dřevo se vyrábí jako zplyňovací. To znamená, že ze dřeva se při ohřátí na více než 200 °C uvolní dřevoplyn, který se pak spaluje. Účinnost spalování je tak vysoká a emise nízké. Nespornou výhodou moderních kotlů určených pro spalování dřeva v rámci domácností je akumulární nádrž, ve které se akumuluje teplo pro pozdější spotřebu. Majiteli tedy odpadá přikládání na noc, ranní roztápění atd.

Dřevní štěpka se vyrábí především z odpadu při těžbě dřeva, ze zbytků větví, kůry apod. Zdrojem štěpky mohou být i tzv. energetické plantáže, což jsou porosty rychle rostoucích dřevin. Dřevní štěpka má vyšší obsah vlhkosti a snadno podléhá nákaze plísní či hnilobě, její doporučená životnost je proto 15 dnů od počátku skladování, přičemž je nutné pravidelné provzdušňování. Sušení by se ekonomicky nevyplatilo a je výhodnější zpracovávat vlhkou štěpku s nižším ziskem tepla, protože její cena je poměrně nízká (nižší než cena pelet).

Kromě dřeva můžeme spalovat i jiné rostliny, jsou-li suché. V České republice se experimentuje s pěstováním šťovíku, čiroku, konopí a jiných rostlin. Výhodou těchto energetických bylin je rychlost jejich růstu a možnost pěstování na zemědělsky nevyužívané půdě. Pěstování energetických plodin představuje pro zemědělce stabilní zdroj příjmu a nižší závislost na výkupních cenách potravinářských plodin. Nevýhody spočívají v odlišném pěstování a sklizni některých energetických plodin (dřevin i bylin). U některých rostlin je pak náročnější uvést půdu zpět do stavu vhodného k pěstování potravinářských plodin.



Obr. 51 Byliny pěstované pro energetické využití (vlevo šťovík; nahoře širok; dole konopí)

Tab. 3 Výhřevnost různých druhů dřeva

| Výhřevnost a hmotnost při vlhkosti 20% | Výhřevnost [MJ/kg] | Výhřevnost [kWh/kg] | Měrná hmotnost [kg/m ³] |
|--|--------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Borovice | 18,4 | 5,1 | 610 |
| Vrba | 16,9 | 4,7 | 620 |
| Olše | 16,7 | 4,6 | 590 |
| Habr | 16,7 | 4,6 | 900 |
| Dub | 15,9 | 4,4 | 820 |
| Jedle | 15,9 | 4,4 | 490 |
| Buk | 15,5 | 4,3 | 820 |
| Smrk | 15,3 | 4,3 | 520 |
| Bříza | 15 | 4,2 | 770 |

Tab. 4 Porovnání výhřevnosti dřeva a fosilních paliv

| Palivo | Výhřevnost [MJ/kg] |
|------------|--------------------|
| Koks | 28,5 |
| Černé uhlí | 28 |
| Hnědé uhlí | 17 |
| Dřevo | 18 |
| Sláma | 16 |

5.2.2 Spalování slámy

Sláma představuje bohatý snadno dostupný zdroj biomasy, protože je de facto odpadem při sklizni potravinářských plodin. Používá se sláma obilovin, kukuřice, řepky, píceň pěstovaných na semeno a nekvalitní suché seno. Sláma se v domácích kotlích spaluje buď

Biomasa

ve formě pelet, nebo briket. Pro větší kotle se využívá sláma lisovaná přímo na poli do balíků různé velikosti.

Výhřevnost slámy, tedy i briket z ní vyrobených, se pohybuje mezi 12-16 MJ/kg. Vlastnosti slámy jako paliva se však výrazně liší od dřeva nebo energetických bylin, proto je nutné použít kotlů upravených pro spalování slámy. Sláma má obvykle nižší vlhkost a nižší teplotu zplyňování, proto bude hořet rychleji než dřevo. Na druhou stranu vzniká větší množství jemného popela, který je unášen zplodinami do komína. Z tohoto důvodu je u větších kotlů vyžadováno zachytávání odletujícího popela v odlučovačích. Popel, který zůstává ve spalovací komoře, se navíc snadno spéká, proto mají kotle na slámu speciální rošty odlišné od roštů pro spalování dřeva.



Obr. 52 Slámové brikety (vlevo) a pelety (vpravo)

5.3 Technologie pro přeměnu biomasy do jiného skupenství

Aby mohla být biomasa energeticky využita, je třeba ji upravovat. Můžeme ji přeměnit mechanicky drcením, štípáním, lisováním - vznikají peletky a brikety, čili pevná paliva pro topení s nízkým obsahem vlhkosti a popelovin. Další přeměny jsou již na chemické bázi a biomasa se při nich převádí do jiného skupenství. Jedná se o **pyrolýzu** (produkce plynu či oleje), **zplyňování** (produkce plynu), **fermentaci** (kvašení - produkce etanolu), **anaerobní vyhnívání** (produkce bioplyn) a **karbonizaci** (dřevěné uhlí).

5.3.1 Karbonizace

Karbonizace, čili výroba dřevěného uhlí jeho tepelným rozkladem bez přístupu vzduchu, je nejstarší přeměnou dřeva pro energetické využití. Dříve se tento proces prováděl v milířích, tento způsob však vymizel ještě před druhou světovou válkou. V dnešní době se využívají karbonizační pece, kde je dřevo zpracováváno suchou destilací.

Suchá destilace je proces, při němž probíhá za vnitřní prostorové teploty cca 250–320 °C „hoření“ dříví za omezeného přístupu vzduchu. V epicentru tvorby dřevního uhlí je teplota cca 700–900 °C. Celý proces trvá asi 56 hodin. Doba výpalu je 32 hodin a dalších 24 hodin vše chladne.

Během karbonizace vzniká poměrně vysoké množství nežádoucích vedlejších produktů, které by mohly znečišťovat ovzduší (dehet, oxid uhelnatý, metanol). Mnohé z nich jsou jedovaté (formaldehyd, acetaldehyd) či karcinogenní (fenoly, benzpyren). Proto je důležité, aby byly karbonizační pece konstruovány s kvalitním „zachytávačem“ těchto složek.

Např. jedna z moderních eko-pecí umožňuje výhřevnost až 100 kg uhlí z 1 m³ bukového dříví při ekologicky čistém provozu. Dehtové produkty jsou zachycovány pevným dnem pece, plynné látky zkondenzují a jsou sráženy v kondenzátoru a zbytek plynné frakce je dodatečně spalován plynovým hořákem s katalyzátorem, který neutralizuje jedovaté produkty a množství oxidu uhelnatého (CO) snižuje na méně než 20 % původního množství. Přesto nelze karbonizační pece umisťovat a provozovat kdekoliv, ale jen na základě souhlasu hygienické služby.

Dřevo vhodné pro pálení dřevěného uhlí musí splňovat několik kritérií: nesmí být napadeno hnilobou, mělo by mít co nejméně suků a být řádně proschlé.

Využití dřevěného uhlí:

- grilování
- obohacování ocelí uhlíkem
- filtrování kapalin a plynů (aktivní uhlí – váže na sebe nečistoty)
- výroba malířských uhlů a kříd (z uhlí vypáleného ze dřeva lípy a osiky)



Obr. 53 Historický postup výroby dřevěného uhlí

V roce 2010 se cena dřevěného uhlí pohybovala kolem 30 Kč za 1 kg.

5.3.2 Pyrolýza

Slovo *pyrolýza* pochází ze slov *pyros* = oheň, *lysys* = štěpení. Jedná se termický rozklad organických látek na jednodušší složky, který však na rozdíl od spalování nebo zplyňování probíhá bez přístupu kyslíku, tzn., že se nejedná o hoření. Produktem pyrolýzy je vždy tuhá (na bázi koksu), kapalná (pyrolýzní oleje) a plynná fáze (vodík, metan, etan, oxid uhličitý a uhelnatý). Plyn lze po vyčištění použít v kogenerační jednotce k výrobě elektrické nebo tepelné energie. Pro pyrolýzu se dá využít komunální odpad, odvodněné čistírenské kaly, kaly z praní a čištění, ze septiků a žump, odpady ze sklizně biomasy, odpadní plasty (PVC, polystyren), papír, pneumatiky aj.

Pyrolýzu můžeme rozdělit na tři kategorie podle provozních teplot: nízkoteplotní ($t < 500\text{ °C}$), středněteplotní ($t = 500\text{--}800\text{ °C}$) a vysokoteplotní ($t > 800\text{ °C}$).

Při pyrolýzním procesu dochází nejdříve k odpaření vody za teploty kolem 200 °C . V rozmezí teplot $200\text{--}500\text{ °C}$ se složité organické látky štěpí na jednodušší plynné nebo kapalné látky a tuhý uhlík. Při teplotách $500\text{--}1\,200\text{ °C}$ se tvoří další plyny a pokračuje rozklad látek, ze kterých vznikají stabilní jednoduché plyny.

Velkou výhodou pyrolýzy je, že probíhá bez přístupu kyslíku a nevznikají při ní dioxiny, což jsou nebezpečné látky, které vznikají při spalování odpadu obsahujícím chlor. Dioxiny způsobují hormonální poruchy, působí negativně na reprodukci a poškozují imunitní systém. Mezi příbuzné látky dioxinů patří i nechvalně známé DDT.

Pyrolýza se využívá k ekologicky šetrnému odstranění odpadů a jako přidanou hodnotu můžeme brát její možné a dále využitelné výstupy: pyrolýzní koks, čistý uhlík, saze, dřevěné uhlí, biooleje, pyrolýzní plyn aj. Pyrolýzu také využívají nejnovější kotle na spalování dřevní hmoty a pelet.

Biomasa

S pyrolýzou se můžeme setkat i v domácnosti u moderních typů pečících trub s automatickým čištěním, které se provádí právě pyrolýzou. Při čistícím procesu se ze zbytků potravin nejprve odpaří voda a poté zuhelnatí. Po jejím ukončení je můžete lehce otřít nebo oprášit z nepřilnavého povrchu trouby. Vnitřní teplota dosahuje až 500 °C.

5.3.3 Zplyňování

Zplyňování je dalším možným procesem přeměny biomasy na plynné palivo. Ke zplyňování je nejvhodnější palivové či odpadní dřevo nebo sláma. Vyrobený plyn je přímo spalován ve spalovacích motorech nebo turbínách s vysokou účinností přeměny na elektrickou energii. Alternativou je uskladnění vzniklého plynu a jeho následné využití k pohonu motorových vozidel.

První fází procesu zplyňování biomasy je přeměna pevné biomasy na spaliny a syntézní plyn, což probíhá při teplotách kolem 600 °C. Výhřevnost plynu se pohybuje mezi 4–6 MJ/m³. Dále je plyn ochlazen, filtrován a odvádí se do plynového motoru, ke kterému je připojen generátor, vyrábějící elektrickou energii. Také chlazení motoru a teplota spalin jsou zdrojem tepelné energie, která se dá využít k sušení biomasy nebo k vytápění a ohřevu vody.

Známé zařízení na zplyňování biomasy se nachází ve městě Güssing v rakouské spolkové zemi Burgenland. Zplyňuje se zde čistá dřevní štěpka z okolních lesů a vzniklý plyn se spaluje v motorech s vnitřním spalováním. Teplo se dodává do sítě dálkového vytápění a využívá se pro vysoušecí pece. Elektrina je dodávána do distribuční sítě.



Obr. 54 Zařízení na zplyňování biomasy v Güssingu

5.4 Bioplyn

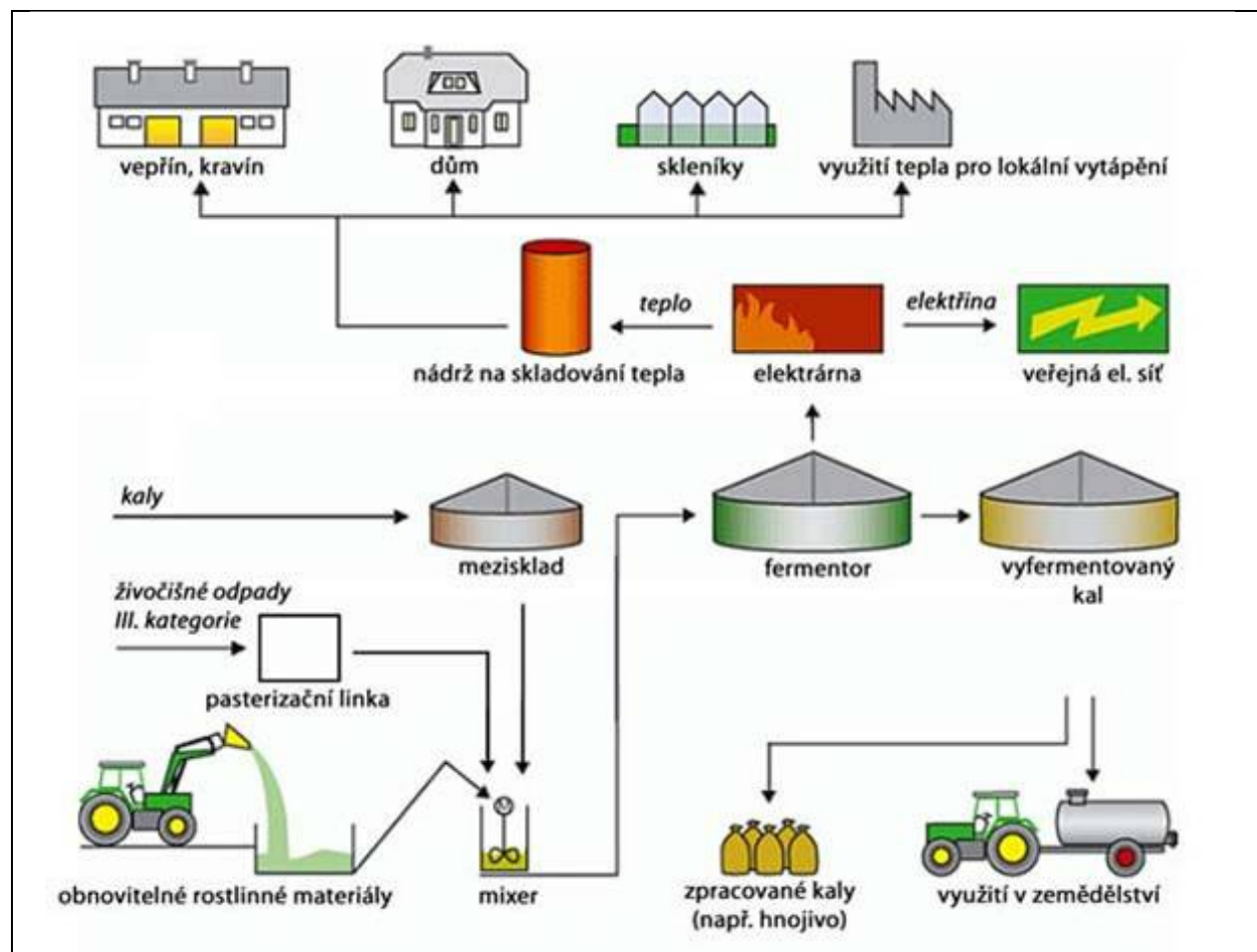
Bioplyn vzniká složitým rozkladem organických látek za anaerobních podmínek, tj. bez přístupu vzduchu. Je složen z více plynů, z nichž majoritní zastoupení mají metan (50–75 %) a oxid uhličitý (25–45 %). V malém množství je obsažen např. vodík, dusík a sulfan. Hodnota výhřevnosti bioplynu je určena obsahem metanu a vodíku. Bioplyn vzniká přirozeně v mokřadech, sedimentech, trávicím ústrojí přežvýkavců, v rýžových polích, na skládkách odpadů. Za účelem výroby tepla či elektrické energie se získává v bioplynových stanicích (BPS). V BPS se produkuje bioplyn za kontrolovaných podmínek, čímž se maximalizuje výnos bioplynu a snižují emise metanu, který 20x účinnější skleníkový plyn než oxid uhličitý. Počet těchto stanic v České republice je na konci roku 2009 odhadován na 304 instalací.

Tab. 5 Dostupný potenciál zemědělských a odpadových BPS v ČR

| Položka | jednotka | ČOV komunální | ČOV průmyslové | BPS zemědělské | BPS odpady | Skládky | Celkem |
|-----------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------|--------|
| Dostupný potenciál | | | | | | | |
| Produkce bioplynu | mil. m ³ | 69 | 7 | 485 | 140 | 69 | 780 |
| Produkce el. energie | GWh | 89 | 7 | 753 | 218 | 100 | 1167 |
| Produkce tepla | TJ | 870 | 110 | 2900 | 847 | 94 | 4821 |
| Počet zařízení | ks | 110 | 27 | 365 | 125 | 60 | 687 |
| Rok 2007 – skutečnost | | | | | | | |
| Produkce bioplynu | mil. m ³ | 54,4 | 3,2 | 19,9 | 6,6 | 65,1 | 150,5 |
| Produkce el. energie | GWh | 70,9 | 3,3 | 30,9 | 10,3 | 97,8 | 215,2 |
| Produkce tepla | TJ | 695,6 | 53,5 | 119,8 | 39,9 | 92,0 | 1009,2 |
| Počet zařízení | ks | 96 | 13 | 15 | 6 | 57 | 187 |
| Rok 2009 (odhad) | | | | | | | |
| Produkce bioplynu | mil. m ³ | 55,0 | 3,9 | 79,6 | 7,7 | 67,4 | 213,6 |
| Produkce el. energie | GWh | 71,6 | 4,1 | 124,1 | 12,0 | 101,2 | 313,0 |
| Produkce tepla | TJ | 702,7 | 65,8 | 454,0 | 46,5 | 95,2 | 1364,2 |
| Počet zařízení | ks | 97 | 16 | 125 | 7 | 59 | 304 |

Anaerobní fermentace v bioplynových stanicích probíhá ve čtyřech fázích:

1. **hydrolýza** – rozklad polymerů (polysacharidy, bílkoviny, tuky) na jednodušší organické látky
2. **acidogeneze** – vzniká oxid uhličitý, vodík a kyselina octová, které umožňují bakteriím tvorbu metanu, dále vznikají alkoholy, organické kyseliny
3. **acetogeneze** – hlavním produktem je kyselina octová, která vzniká z vyšších mastných kyselin vznikajících v předchozí fázi
4. **metanogeneze** – rozklad kyseliny octové na metan a oxid uhličitý působením metanogenních bakterií



Obr. 55 Schéma bioplynové stanice

Biomasa

Kromě bioplynu je produktem anaerobní fermentace také **digestát**, což je zbytek po vyhnutí se sníženým obsahem biologicky rozložitelných látek, který lze využít jako hnojivo (bez zápachu) či přídavek do kompostu. Posledním produktem anaerobních procesů je **fugát** – silně zakalená voda, která obsahuje produkty rozkladu. Tato voda se zpravidla využívá na zředění vstupní suroviny na požadovaný obsah sušiny, čímž se snižuje spotřeba vody v BPS a omezuje vznik odpadních vod, které by se musely odvádět do čistírny odpadních vod.

Bioplynové stanice se stavějí v nejrůznějších velikostech. Pro jejich vzájemné porovnání se většinou používá velikost instalovaného elektrického výkonu. Malé BPS mají instalovaný výkon do 200 kWe. Střední, v ČR nejběžnější BPS, mají instalovaný výkon v řádu stovek kWe. Výkon největších bioplynových stanic dosahuje řádu jednotek MWe. Dalším kritériem, podle kterého je možné dělit bioplynové stanice je převládající vstupní surovina a to na zemědělské, BPS u čistíren odpadních vod a na BPS na likvidaci biologicky rozložitelného odpadu.

Zemědělské bioplynové stanice

V zemědělské bioplynové stanici, nejlépe umístěné přímo v areálu farmy, lze zpracovávat hnůj, kejdu a odpady z rostlinné výroby. Využitím odpadních materiálů se odstraní zápach na farmě a sníží se emise metanu do ovzduší. Další výhodou je, že vznikající digestát lze využít jako kvalitní nezapáchající hnojivo přímo na farmě. Bioplynové stanice zpracovávají buď převážně hnůj/kejdu nebo rostlinou siláž (kukuřičnou, travní). Pokud se během provozování použije jiná surovina, než pro kterou byla stanice postavena, nastávají technologické potíže provázené zvýšením zápachu a v horším případě zhroucení biochemického procesu uvnitř BPS. Opětovné uvedení do standardního provozu může v závislosti na závažnosti porušení provozního řádu trvat týdny i měsíce!

Bioplynový potenciál v hnoji závisí na obsahu sušiny a na složení a strávení potravy. Např. jedna kráva vyprodukuje na den asi 1,2 m³ bioplynu. Z něho lze v kogenerační jednotce získat asi 1,7 kWh elektřiny a asi 4,4 kWh tepla. Ke hnoji lze přidat i zbytky z kuchyně, použitý rostlinný olej, listí apod. Při využívání rostlinné siláže se čas od času vpravuje do fermentoru malé množství hovězího hnoje pro obnovení bakteriální kultury. Pro zvýšení produkce se může přidat malé množství snadno rozložitelného (použitého) rostlinného oleje (předávkování může způsobit kolaps biochemického systému ve fermentoru!).

Bioplynové stanice představují pro zemědělce stabilní zdroj příjmu z prodeje elektrické energie do rozvodné sítě. Zároveň BPS likvidují zemědělský odpad a přeměňují jej na hnojivo – digestát.



Obr. 56 Dávkování siláže (BPS Vösshöhlen, Německo, zdroj EAZK)

Bioplynové stanice u čistíren odpadních vod

Technologie čistíren odpadních vod (ČOV) je různorodá, v základních bodech se však neliší. První fází při čištění odpadních vod je mechanické čištění. Odpadní vody přitékají do objektu hrubého předčištění, kde se zbavují písku a na jemných strojních česlích i ostatních hrubých nečistot. Síta s velikostmi ok do 5 mm, rotující jako disky nebo pásy, slouží k odstraňování středně jemných látek. Poté nastávají čistící procesy, které spočívají v biologickém odstranění dusíku, organického znečištění a částečném odstranění fosforu. Při těchto procesech je do nádrží vháněn vzduch a dochází k růstu mikroorganismů, které se živí organickým znečištěním. Zbylé znečišťující látky se vážou na těla mikroorganismů za vzniku tzv. aktivovaného kalu, který se od čištěné vody odděluje v usazovacích nádržích. Usazený kal se poté čerpá do vyhnívacích věží, kde dochází k výrobě bioplynu.

Kromě čistírenských kalů lze v těchto věžích v menší míře likvidovat zbytky biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) a kaly vytěžené ze septiků a žump. Tepelná energie vyrobená spalováním získaného bioplynu v kogenerační jednotce se využívá k vyhřívání technologických provozů ČOV. Stejně tak vyrobená elektřina slouží převážně k vlastnímu provozu ČOV – v případě dostatečného množství kvalitního bioplynu je takto získaná elektřina dodávána do rozvodné sítě, což přispívá k lepší ekonomice ČOV. Přírodním vedlejším produktem je digestát, který se dá využít jako hnojivo, pokud obsah těžkých kovů nepřesáhne hodnoty dané normou. Další používanou možností likvidace digestátu je vedle uložení na skládku jeho řízené spalování.

Technologie anaerobního zpracování čistírenských kalů má dlouhou tradici a dnes je již nedílnou součástí každé větší ČOV. U těchto zařízení odpadají problémy s dopravou vstupní suroviny (čistírenské kaly) a díky jejich umístění v areálu ČOV nedochází k problémům s případným zápachem.

Bioplynové stanice na likvidaci biologicky rozložitelného odpadu

Bioplynové stanice zaměřené na likvidaci biologicky rozložitelných odpadů se od předešlých dvou kategorií výrazně odlišují. Zpravidla není možné postavit tato zařízení u zdroje vstupní suroviny, protože její spektrum zahrnuje odpady z potravinářského průmyslu, jídelen, prošlé potraviny ze supermarketů, BRKO, jateční odpad, zbytky z údržby městské zeleně apod. Z důvodu mnoha menších rozptýlených zdrojů vstupní suroviny je nutné při plánování výstavby těchto BPS počítat se zvýšeným dopravním zatížením nejbližšího okolí při svozu vstupní suroviny do BPS.

Příjem vstupní suroviny (biologicky rozložitelných odpadů) by měl probíhat v hermeticky uzavřené hale, z které je vysávaný odpadní vzduch veden do biologických filtrů, kde je zbavován zápachu. Je také nutné provádět pečlivou kontrolu přijímaného materiálu, neboť nevhodným smícháním některých druhů odpadů může dojít k produkci jedovatých plynů případně i k explozi! Kromě bezpečnostního hlediska je nutné kontrolovat přijímané odpady i z hlediska provozu složitého biochemického procesu uvnitř BPS. Odpady zpracováváné v těchto zařízeních často obsahují látky jedovaté pro mikroorganismy využívané ve fermentoru, a proto se musí odpovídajícím způsobem zředit (v krajních případech je bezpečnější určitou várku odpadu odmítnout).

Vstupní suroviny obsahují větší množství organicky vázaného dusíku a síry, proto dochází při jejich zpracování anaerobními organismy ke zvýšené produkci zápachajícího amoniaku a sulfanu. Tyto látky ve vyšší koncentraci poškozují rovnováhu biochemického procesu a navíc se musí ze vznikajícího bioplynu odstranit, aby se zabránilo zvýšené korozi uvnitř kogeneračních jednotek.

Výstavba bioplynové stanice často vyvolává u obyvatel žijících v okolí velkou dávku nevole z důvodu očekávaného zápachu. Pokud je ovšem technologie dobře realizovaná a dodržován provozní řád, pak je riziko šíření zápachu do obydlených oblastí minimální. Někteří provozovatelé ale nedodržují provozní řád, využívají rizikové odpady, aby maximalizovali výrobu bioplynu a zvýšili tak své příjmy. Celkem jsou v současnosti (rok 2010) veřejně známy

Biomasa

tři špatné příklady provozování bioplynových stanic (všech kategorií BPS), které však způsobují negativní postoj veřejnosti vůči většině nových projektů. Tyto předsudky spolu s vysokou pořizovací cenou v rozsahu několika desítek milionů korun jsou hlavní faktory brzdící rozvoj bioplynových stanic v ČR.

Využití bioplynu

Bioplyn má čtyři základní možnosti využití:

- přímé spalování (produkce tepla)
- výroba elektrické energie a kogenerace
- pohon spalovacích motorů
- vtláčení upraveného bioplynu do rozvodů zemního plynu

Přímé spalování bioplynu se využívá k vyhřívání fermentoru, objektů farmy, skleníku, technologických provozů ČOV a v některých případech k dodávkám tepla do systémů CZT. V tomto případě není zpravidla nutné čistit získaný bioplyn na takovou úroveň jako pro další způsoby využití. V dnešní době je optimální využitím bioplynu jeho spalování v kogeneračních jednotkách. Bioplyn je sice nutné zbavit nečistot (sulfan) a vlhkosti, ale státem garantované výkupní ceny elektřiny zvyšují atraktivnost tohoto řešení. Pro dosažení ekonomické návratnosti je však nutné mít odbyt pro velké množství získaného tepla (zpravidla stejné využití jako při přímém spalování bioplynu).

Pro využití bioplynu v dopravě a jeho vhánění do sítě plynárenské sítě je potřeba zbavit plyn prakticky všech nečistot. Kromě vlhkosti, sulfanu a čpavku se bioplyn zbavuje speciálními metodami (vysokotlaká adsorpce, chemická absorpce, vymrazování) i oxidu uhličitého a podíl metanu stoupá přes 95 %. Tímto krokem se z bioplynu stává biometan, který je po přidavku normou předepsaných aditiv plně zaměnitelný za zemní plyn. Biometan lze použít k pohonu vozidel stejně jako stlačený zemní plyn (CNG) nebo ho vtláčet do běžné plynovodní sítě.

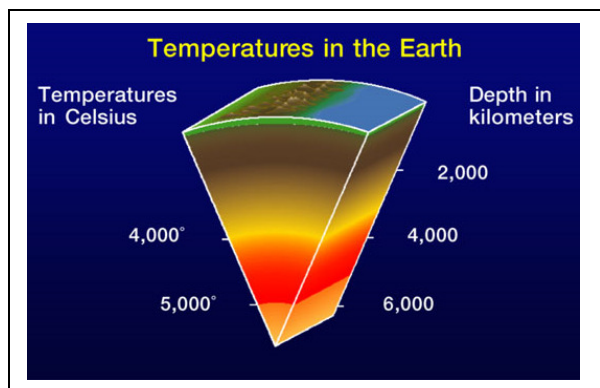


Obr. 57 Jednotka pro čištění bioplynu na biometan (BPS Werlte, Německo, zdroj EAZK)

Z hlediska energetiky představují BPS využívající kogenerační jednotky spolehlivý plně ovladatelný zdroj čisté energie nezávislý na povětrnostních vlivech, který vhodně doplňuje ostatní OZE. Biometan jako obnovitelný zdroj může být vhodným doplňkem zemního plynu a v budoucnosti může nahradit část spotřeby toho fosilního paliva.

6 Geotermální energie

Slovo geotermální má původ ve dvou řeckých slovech: **geo** (země) a **therme** (teplo), což znamená teplota země. Geotermální energie pochází z tepelné energie zemského jádra. Teplo uvnitř Země pochází z doby jejího vzniku před čtyřmi miliardami let, ale také z radioaktivního rozpadu těžkých prvků v zemském pláští.



Obr. 58 Závislost teploty na hloubce



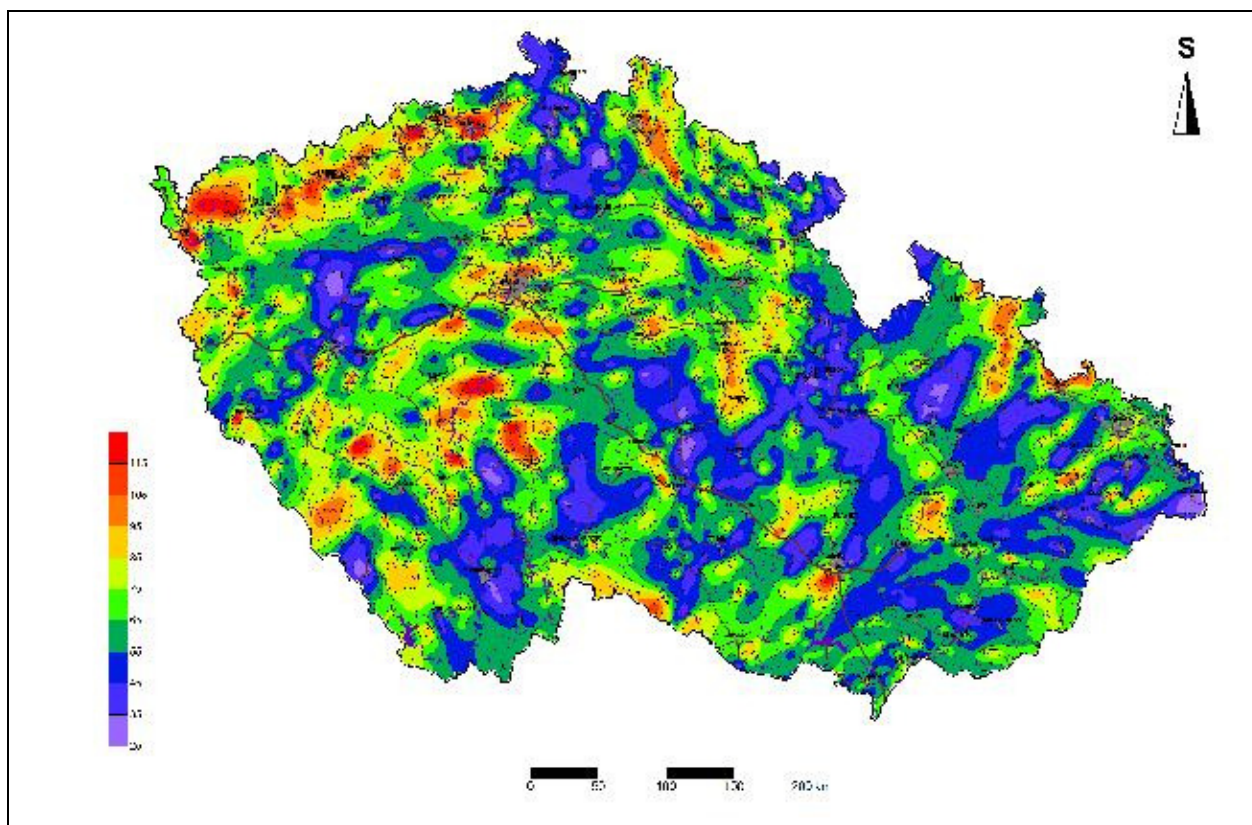
Obr. 59 Projevy geotermální energie

Základní medium, které přenáší teplo z nitra země na povrch je voda nebo pára. Ta vzniká tak, že podzemní voda proniká hluboko skrz rozpukliny. V těchto rozpuklinách se zahřívá a cirkuluje zpět k povrchu, kde se objevuje ve formě gejzíru a vroucích pramenů. Pokud je stoupající voda nebo pára uvězněna v porézních vrstvách pod neprostupnou skálou, vzniká geotermální rezervoár. Teploty zde dosahují až 370 °C - jedná se tedy o mohutný zdroj energie. Množství tepla obsaženého v pouhé 10 km mocné horní vrstvě zemské kůry je podle odhadu geologů 7×10^4 větší než energie, kterou by vydaly veškeré zásoby vytěžitelného uhlí. Bohužel 99 % této energie se přímo k zemskému povrchu dostává vedením při mimořádně nízké tepelné hustotě (průměrně 0,05 W/m²), což vylučuje jakoukoliv možnost jejího přímého využití. Z tohoto důvodu využíváme přírodní zemské teplo jako zdroj vytápění sídlišť a k výrobě elektrické energie jen na několika místech nazývaných geotermální anomálie, kde geologickými formacemi prostupuje z hlubin k povrchu s mnohem větší hustotou.

Geotermální energii můžeme rozdělit do tří skupin:

- **nízkoteplotní zdroje** jsou k dispozici jen pár metrů pod povrchem země (několik desítek až stovek metrů) a teploty nedosahují více než 150 °C a využívají se pro vytápění domácností nebo komerčních objektů (vhodné také pro uplatnění tepelných čerpadel)
- **středně teplé zdroje** dosahují teploty 150-200 °C a využívají se jak pro vytápění budov, tak k výrobě elektřiny
- **vysokoteplotní zdroje**, které jsou ukryty několik kilometrů pod povrchem, mají teplotu nad 200 °C a jsou určeny pro přímou výrobu elektrické energie

Z mapy tepelného toku České republiky je patrné, že náš stát neoplývá množstvím přirozených geotermálních zdrojů vyšší teploty. Výjimkou jsou tradiční lázeňská centra, kde však využití těchto zdrojů k produkci elektřiny nepřipadá z pochopitelných důvodů v úvahu. Přesto však již odborníci vytipovali na území České republiky nejméně šedesát lokalit vhodných pro výrobu elektřiny s celkovým výkonem 250 MW a v případě tepla na vytápění s výkonem okolo 2 000 MW. Pro tyto potenciální zdroje je však nutné využít nejmodernější technologie (např. Hot-Dry-Rock), které jsou však mimořádně nákladné. Experti předpokládají, že do budoucna by se v České republice mohly postavit geotermální elektrárny o celkovém výkonu až 3 200 MW.



Obr. 60 Mapa tepelného toku v České republice

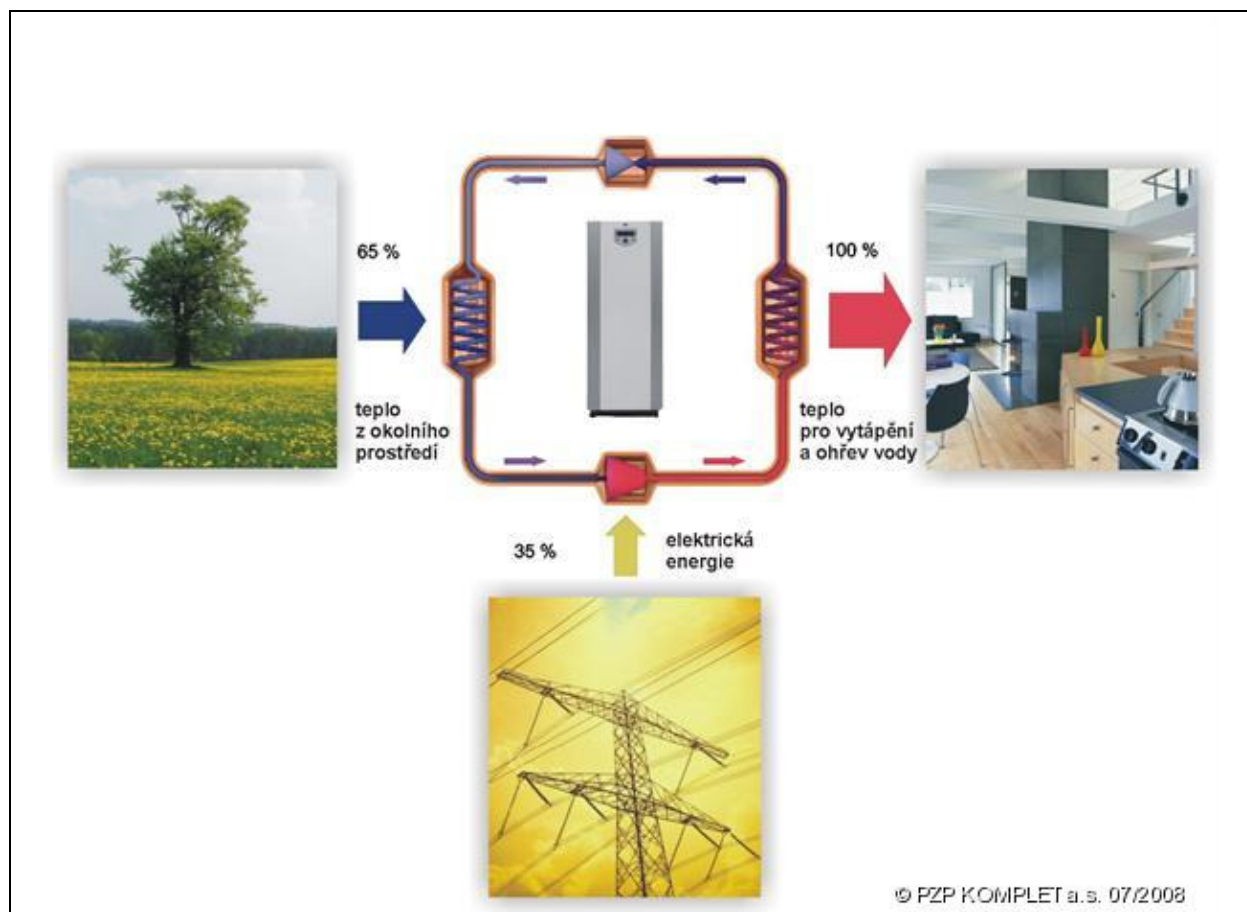
6.1 Energie prostředí

Tepelná čerpadla (TČ) se řadí mezi **alternativní zdroje energie**. Odnímají teplo z okolního prostředí (vody, vzduchu nebo země), převádějí ho na vyšší teplotní hladinu a následně umožňují teplo účelně využít pro vytápění nebo ohřev teplé vody.

Princip tepelného čerpadla byl popsán již v 19. století anglickým fyzikem - lordem Kelvinem. Přestože se ve své podstatě jedná o chladicí zařízení (stejně jako známá chladnička), využíváme jej jako zdroj tepla. V zemi, ve vodě i ve vzduchu je obsaženo nesmírné množství tepla, avšak jeho nízká teplotní hladina neumožňuje přímé využití pro vytápění nebo ohřev vody. Pokud chceme využít teplo látek o nízké teplotě (nízkopotenciální teplo), musíme je převést na teplotu vyšší. Podobně jako vodní čerpadlo přečerpává vodu z nižší hladiny na vyšší, tepelné čerpadlo dělá totéž s teplem. Prakticky dochází k tomu, že látku (zemi, vodu nebo vzduch) ochladíme o několik málo stupňů, čímž odebereme teplo, a tuto energii využijeme při ohřevu jiné látky jako je voda v bazénu, teplá užitková voda, či voda v topné soustavě, kterou ohřejeme také o několik málo °C, ale na úrovni pro nás přijatelné. Ochladíme tedy např. půdu na naší zahradě z 10 °C na 5 °C a tepelné čerpadlo zajistí ohřátí topné vody ze 40 °C na 45 °C. Slunce společně s energií akumulovanou v okolní půdě potom zajistí dohřátí půdy na naší zahradě zpět na 10 °C.

Pro přečerpání tepla na vyšší teplotní hladinu, tedy i pro provoz tepelného čerpadla, je třeba dodat určité množství energie. Prakticky to znamená, že tepelné čerpadlo spotřebovává pro pohon kompresoru **elektrickou energii**. Protože její množství není zanedbatelné, lze tepelné čerpadlo považovat za alternativní zdroj tepla pouze částečně. Samozřejmě záleží na tom z čeho je elektrická energie vyráběna, ale v našich podmínkách se jedná většinou o spalování uhlí nebo energii z jaderných elektráren.

Zjednodušeně lze říci, že tepelné čerpadlo spotřebovává přibližně jednu třetinu svého výkonu ve formě elektrické energie. Zbývající dvě třetiny tvoří teplo, které je odnímáno z ochlazené látky (vzduchu, země, vody).



Obr. 61 Využití energie u tepelného čerpadla

Technický princip tepelného čerpadla

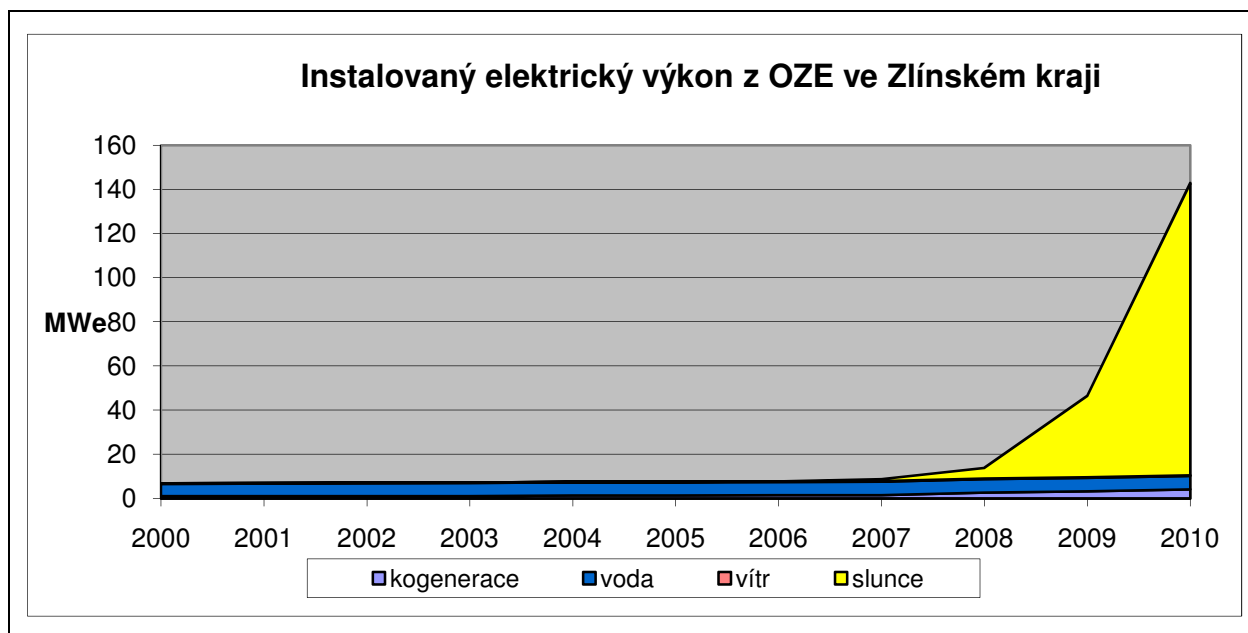
Tepelné čerpadlo obsahuje čtyři základní části chladicího okruhu: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Teplo odebrané venkovnímu prostředí se ve výparníku předává pracovní látce (kapalnému chladivu) při relativně nízké teplotě. Zahřátím chladiva dojde k jeho odpaření a páry jsou následně stlačeny v kompresoru na vysoký tlak. Stlačené chladivo je přiváděno do kondenzátoru, kde při kondenzaci předává teplo do topné vody za vyšší teploty, než bylo teplo ve výparníku odebráno. V expanzním ventilu se cyklus uzavírá a dochází ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu ve výparníku.

Tepelná čerpadla se vyrábějí od topných výkonů cca 4 kW pro byty, přes cca 12 kW pro rodinné domy až po stovky kW pro velké objekty. Pro provoz tepelného čerpadla je nejvhodnější tzv. **nízkoteplotní topná soustava**. Komplikací je fakt, že tepelné čerpadlo je schopno ohřívat topnou vodu většinou maximálně na 50-55 °C (to je dáno vlastnostmi chladiva a omezeným tlakem kompresoru). S rostoucí teplotou topné vody však klesá topný faktor⁵ a tedy rostou náklady na provoz. Běžně projektovaný tepelný spád pro **soustavu s otopnými tělesy** (radiátory) je v současné době 75/65 °C (75 °C je teplota ohřáté vody z kotle, 65 °C je teplota ochlazené vody - zpátečky od otopných těles). Pokud tedy chceme tepelné čerpadlo použít pro soustavu s otopnými tělesy, je třeba již při zhotovení projektu požadovat návrh těles s ohledem na nízkoteplotní soustavu s tepelným čerpadlem (např. pro teplotní spád 55/45 °C). Při snížení teploty topné vody musíme použít větší otopná tělesa, čímž však rostou investiční náklady do topného systému. Vhodnější než otopná tělesa je pro tepelné čerpadlo použití **podlahového nebo stěnového vytápění**, kde se standardně používají podstatně nižší teploty topné vody (většinou 35-45 °C). Čím nižší je teplota topné vody, tím vyšší je topný faktor a tedy úspornější provoz.

⁵ Poměr tepla získaného TČ k elektrické energii potřebné na provoz. Většinou se hodnota topného faktoru pohybuje v rozsahu 2,5 až 4 a čím je toto číslo větší, tím je provoz tepelného čerpadla efektivnější.

7 Obnovitelné zdroje energie ve Zlínském kraji

Vývoj využití obnovitelných zdrojů energie ve Zlínském kraji je do jisté míry obdobný vývoji v celé ČR. S nástupem industrializace a využívání fosilních paliv klesl podíl OZE na celkové spotřebě energie. Na konci minulého století však došlo k rozvoji OZE, rekonstruovaly se staré vodní elektrárny, instalovaly větrné turbíny a solární panely pro ohřev vody. Mohutným impulsem pro další rozvoj OZE nejenom ve Zlínském kraji bylo přijetí zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů v roce 2005. Od roku 2006 lze pak sledovat nárůst instalovaného výkonu především u fotovoltaických elektráren (FVE), který byl podpořen poklesem cen fotovoltaických panelů.



Obr. 62 Instalovaný elektrický výkon z OZE ve Zlínském kraji (zdroj EAZK; 31.12.2010)

Využití energie slunce k ohřevu vody popř. k přitápění se v jednotlivých případech objevovalo i před rokem 1990. V té době se však jednalo o projekty nadšenců a domácích kutilů (s výjimkou koupaliště Rusava). Na přelomu století proběhlo několik projektů (Slunce do škol, Slunce pro Bílé Karpaty), které se instalací solárních systémů snažily propagovat využití slunce k ohřevu vody. Přibližně v této době se také instalují solární kolektory podpořené nejrůznějšími dotacemi (pro obce, podnikatele i jednotlivé občany).

Využití vodní energie má ve Zlínském kraji dlouhou tradici, o čemž se lze přesvědčit návštěvou skanzenu v Rožnově pod Radhoštěm. V první polovině minulého století nastal rozvoj malých vodních elektráren⁶ zásobujících elektřinou své nejbližší okolí. S rozvojem velkých, převážně uhelných, elektráren a v důsledku změn ve vodním režimu krajiny došlo k úpadku MVE. V současnosti je v celém Zlínském kraji v provozu přibližně 25 malých vodních elektráren. Celkový instalovaný výkon činí 6,085 MW, přičemž dva největší zdroje na řece Moravě mají společný výkon 5,4 MW!

Zlínský kraj má v rámci České republiky jedny z nejhorších přírodních podmínek pro výstavbu větrných elektráren, neboť vhodné lokality se nacházejí uprostřed chráněných krajinných oblastí. Významnější rozvoj větrné energetiky nastal až na konci minulého století, kdy byla instalována např. větrná elektrárna na Svatém Hostýnu a jako zajímavost malá větrná turbínka napájející reklamní poutač u obce Střílky (rok 1996, instalovaný výkon 0,5 kW). Bohužel, většina z těchto turbín již není v provozu (zničeny silnými poryvy větru nebo útoky vandalů).

⁶ Ještě v polovině století bylo jen na území okresu Uherské Hradiště na 60 MVE.

Biomasa patří mezi OZE, jejichž využívání má ve Zlínském kraji dlouhou tradici. Bohužel i význam energetického využití biomasy poklesl v důsledku masivního využívání fosilních paliv a budování velkých energetických zdrojů. Přesto však zůstal podíl biomasy na vytápění domácností v porovnání se zbytkem republiky relativně vysoký, protože v místních podmínkách bylo dřevo snadno dostupným a levným, i když pracným, zdrojem energie. Další možností vytápění bylo použití tuhých fosilních paliv (levné hnědé uhlí), které je však spojeno se zhoršenou kvalitou ovzduší obzvláště v obcích situovaných do uzavřených údolí. Neúnosná imisní situace během topné sezóny vedla představitele mnoha obcí k hledání alternativy. Vznikly obecní výtopny na biomasu a jeden projekt se dokonce zaměřil na instalaci nových kotlů na dřevo a zajištění dodávky paliva přímo v jednotlivých rodinných domech. Kromě vytápění domácností se stala biomasa významným zdrojem energie i v místním průmyslu. Několik podniků ze dřevozpracujícího průmyslu se totiž rozhodlo využít dřevního odpadu a zbytků z výroby a instalovalo výkonné kotle pro vytápění svých areálů.

Pro efektivní využití geotermální energie nemá Zlínský kraj ideální podmínky. Jediný vhodný způsob, jak využít tepla z nitra Země je lázeňství, které se soustřeďuje kolem známých Luhačovic. S tepelnými čerpadly je možné využít energie (ve formě tepla) z nejrůznějších zdrojů od hlubokých vrtů, přes mělké podzemní kolektory, vodní toky a nádrže až po odpadní teplo nejrůznějších průmyslových procesů.

7.1 Solární systém v Rusavě

Původní fototermický systém u koupaliště v obci Rusava byl instalován již v roce 1985. V roce 2003 byla provedena rekonstrukce, při které bylo vyměněno kolektorové pole a instalováno tepelné čerpadlo o výkonu 30 kW. Aktuálně je ve dvou samostatných sekcích instalováno 360 ks plochých kolektorů o celkové ploše 540 m²! Díky této ploše je systém v obci Rusava největší svého druhu ve Zlínském kraji. Teplo slouží k ohřevu vody v hlavním plaveckém bazénu o obsahu 1 000 m³ a ve sprchách.

Cena instalace solárního systému (rok 2003) byla 8 mil. Kč, přičemž státní fond životního prostředí (SFŽP) poskytl dotaci 50 % a půjčku 30 %. Zbývající část hradila ze svých zdrojů obec. Záměrem obce je vybudovat zde zařízení umožňující prodloužené využití teplé vody v bazénu od brzkého jara do pozdního podzimu.



Obr. 63 Solární systém v Rusavě

7.2 FVE Suchý Důl

I krajské město Zlín se může pochlubit velkou solární elektrárnou. V červnu 2008 byl v rámci mezinárodního projektu *Energy in Minds!* vybudován první blok fotovoltaické elektrárny na rekultivované části skládky komunálního odpadu Suchý Důl. Využití ploch rekultivovaných skládek je obecně docela problematické, protože je nutné zabránit porušení izolačních vrstev a následnému úniku škodlivých látek z tělesa skládky. Z tohoto důvodu je na rekultivovaných skládkách znemožněna běžná výstavba a v mnoha případech i výsadba

Obnovitelné zdroje energie ve Zlínském kraji

větších stromů. Instalace fotovoltaické elektrárny je tedy logicky nejúčelnějším využitím rekultivovaných skládek. Skládka Suchý Důl je navíc natočena směrem k jihu, což zvyšuje produktivitu solární elektrárny.

Náklady na realizaci, jež dosáhly 26 750 000 Kč, byly uhrazeny z prostředků organizace Technické služby Zlín, přičemž dotace z projektu *Energy in Minds!* činila 20 %. Za první dva roky činnosti (červen 2008 – červen 2010) vyprodukovala FVE Suchý

Důl o instalovaném výkonu 200 kWp celkem 395 MWh což představuje úsporu 277 t CO₂. Fotovoltaická elektrárna se tedy v dané lokalitě osvědčila, a proto zde byl v roce 2009 uveden do provozu další blok o výkonu 0,55 MWp.



Obr. 64 FVE na rekultivované části skládky Suchý Důl u Zlína

7.3 MVE Spytihněv

Technická koncepce elektrárny na řece Moravě, uvedené do provozu v r. 1951 byla poplatná celkové atmosféře ve společnosti po roce 1948. Přestože propojování energetické soustavy republiky bylo na vzestupu, byla vodní elektrárna Spytihněv navržena, zřejmě pro případ možného dalšího válečného konfliktu v Evropě a ohrožení zásobování obyvatelstva v oblasti elektrinou z propojené energetické soustavy, pro start tzv. „ze tmy“.

Elektrárna je osazena dvěma vertikálními soustrojími s plně regulovatelnými Kaplanovými turbínami. Z neznámých důvodů byla postavena na návrhový spád pouze 3,8 m a instalovaný výkon 1 920 kW přesto, že výška jezu a tvar koryta řeky Moravy pod jezem umožňují dosažení spádu hladin přes 6 m a výkonu až 3 000 kW. Po zvýšení spádu v 70. letech na 5,8 m tak vznikl zásadní technický rozpor mezi příliš velkými turbínami a naopak malými generátory s nízkým štítkovým výkonem. V 90. letech minulého století byla proto provedena zkouška obou generátorů, která prokázala, že generátory je možné trvale zatěžovat na vyšší než štítkový výkon a elektrárna je provozována na maximální výkon 2 600 kW.

Tato elektrárna je po MVE Strž v Kroměříži (instalovaný výkon 2,8 MW) druhou největší v kraji. Oproti jiným vodním dílům má tu výhodu, že se nachází na Spytihněvském jezu přímo vedle plavební komory Baťova kanálu a proto je snadno dostupná. Zajímavostí je také nedaleký radiový vysílač v Topolné, který svým instalovaným výkonem 1,5 MW spotřebovával přes polovinu energie vyrobené v MVE Spytihněv.



Obr. 65 Malá vodní elektrárna a jez Spytihněv

7.4 Větrná elektrárna Svatý Hostýn

Pravděpodobně nejznámější větrná elektrárna ve Zlínském kraji je od roku 1994 v provozu na poutním místě Svatý Hostýn (735 m. n. m.). Stožár turbíny je vysoký 30 m a rotor se třemi listy délky 27 m má osu ve výšce 31,5 m nad terénem. Elektrárna typu VESTAS V27 je vybavena motorem Siemens 225 kW/400 A/50 Hz. Celková hmotnost zařízení je 22,8 tun. Jmenovitého výkonu 225 kW dosahuje elektrárna při rychlosti větru 14,4 m/s. Lokalita vykazuje průměrnou roční rychlost větru 5,9 m/s. Předpoklad roční výroby elektrické energie činí 465 MWh, skutečná produkce se pohybuje mezi 300–400 MWh za rok. Veškerá vyrobená energie je prodávána do rozvodné sítě. Majitelem a provozovatelem tohoto zařízení je Římskokatolická duchovní správa Svatý Hostýn.



Obr. 66 Větrná elektrárna Svatý Hostýn

7.5 Kotelna na biomasu Brumov-Bylnice

Původní centrální kotelna dodávající teplo do CZT v Brumově-Bylnici byla vybavena čtyřmi starými kotli na zemní plyn o celkovém výkonu 6,8 MW a jedním kotlem na dřevní štěpku o výkonu 1 MW, který ale byl v havarijním stavu. V rámci projektu „Rozvoj energetického využití biomasy a slunce v pohraniční oblasti“ byla tato kotelna kompletně rekonstruována během druhé poloviny roku 2009. Při této rekonstrukci byla nahrazena trojice stávajících plynových kotlů (3x 1,7 MW) a starší kotel na biomasu (1 MW) dvěma novými kotli na dřevní směs (1 MW a 2 MW). Zbývající kotel na zemní plyn byl modernizován (výkon klesl na 1,2 MW) a bude sloužit jako rezerva. Celkový instalovaný výkon sice poklesl na 4,2 MW, ale díky větší akumulaci nádrží a modernímu systému automatické regulace je dosaženo efektivního využití nových kotlů a dodávaného paliva.

Mezinárodní projekt „Rozvoj energetického využití biomasy a slunce v pohraniční oblasti“ byl financován jeho partnery (Služby města Brumov-Bylnice, slovenská obec Horné Srnie a město Brumov-Bylnice), ale také Operačním programem příhraniční spolupráce SR-ČR 2007-2013. Celkové náklady na část zabývající se rekonstrukcí centrální kotelny v Brumově-Bylnici dosáhly 26 mil. Kč, přičemž dotace z EU v rámci Operačního programu činila 15,3 mil. Kč. Tento projekt zvyšuje energetickou



Obr. 67 Dva nové kotle na biomasu v Brumově-Bylnici

soběstačností regionu, snižuje emise skleníkových plynů a pomáhá dlouhodobě stabilizovat cenu tepla pro obyvatele napojené na CZT v Brumově-Bylnici. Energetická soběstačnost regionu a posílení příhraniční spolupráce jsou založeny na faktu, že dodavateli biomasy (= paliva) jsou místní dřevozpracující podniky z obou stran společné hranice.

7.6 Zemědělské bioplynové stanice

V roce 2006 nebyla na území Zlínského kraje v provozu ani jedna zemědělská bioplynová stanice (BPS). Díky rozvoji technologie, poklesu její ceny a podpoře dané garantovanými výkupními cenami elektrické energie vyrobené v BPS nastal rozvoj těchto zařízení a během let 2008 a 2009 byly uvedeny do provozu hned tři zemědělské bioplynové stanice. Tyto stanice se nacházejí na katastrálních územích obcí Kunovice u Uherského Hradiště, Nivnice a Spytihněv. V době uvedení do provozu měly všechny tři BPS, vlastněné různými subjekty, přibližně stejnou velikost a všechny byly primárně určeny ke zpracování kejdy (hovězí nebo vepřové). Díky poloze nových stanic nejsou problémy s dopravou vstupní suroviny a navíc je dodržen dostatečný odstup od nejbližších obydlí.

Bioplynová stanice v obci Spytihněv se nachází v těsném sousedství areálu velkochovu vepřů. Stanice zpracovává převážně vepřovou kejdu a v menší míře i ostatní zemědělské odpady. Instalovaný elektrický výkon je 450 kWe a tepelný 621 kWt. Odhadovaná roční produkce elektrické energie činí 4 GWh. Část vyprodukovaného tepla se použije pro vlastní provoz fermentoru a zbytek poslouží k vytápění sousedního vepřína.

V mnoha ohledech je tedy tato stanice velmi podobná dvěma zmiňovaným stanicím, unikátní je však umístění vlastní stavby. Zatímco BPS v Kunovicích vznikla na kousku pole vedle vepřína a BPS v Nivnici na volné parcele uprostřed zemědělského areálu, BPS ve Spytihněvi vznikla na místě dosluhujícího kejdrového hospodářství (čerpací stanice a zásobníkové tanky na prasečí kejdu). Díky tomu nebyla zabrána další půda a bylo možné využít stávajícího podzemního potrubí pro přívod prasečí kejdy.



Obr. 68 Bioplynová stanice Spytihněv

7.7 Koupaliště Valašské Meziříčí (solární systém + TČ vzduch-voda)

Poslední z příkladů OZE ve Zlínském kraji je názornou ukázkou kombinace více obnovitelných zdrojů. V areálu venkovního koupaliště ve Valašském Meziříčí byly v roce 2006 v rámci projektu „Zelená pro Beskydy – využití obnovitelných zdrojů energie“ instalovány solární kolektory (80 ks o celkové ploše 160 m²) a trojice tepelných čerpadel (celkový tepelný výkon 140 kW) na ohřev bazénové a užitkové vody. Nově vybudovaná provozní budova byla propojena podzemní energetickou trasou s objektem šaten, na jejichž střeše byly umístěny solární kolektory. Ve stávající strojovně venkovního bazénu byly umístěny nádoby na ohřev užitkové vody a části technologického zařízení. Solární kolektory i tepelná čerpadla vzduch-voda mají největší výkon v letním období, tedy v době největšího využití venkovního koupaliště. I díky tomu je dosahováno vysoké efektivity při ohřevu bazénové vody a vody pro sprchy.



Obr. 69 Solární kolektory a tepelná čerpadla (v pozadí) na venkovním koupališti ve Valašském Meziříčí

8 Minulost, současnost a budoucnost OZE

Využívání (obnovitelných) zdrojů energie umožnilo člověku se do určité míry vymanit ze závislosti na vlivech prostředí a naopak začít ovládat a měnit životní prostředí ve svůj prospěch. Technologie pro práci se sluneční, vodní a větrnou energií se kontinuálně vyvíjely až do brzkých let devatenáctého století. Energie vody (vodní mlýny, hamry,...) a síla větru (plachetnice brázdící světové oceány) roztočily kola průmyslové revoluce. Byl objeven parní stroj poskytující velký výkon nezávislý na počasí. V té době začalo masové využívání černého uhlí, prvního a nejrozšířenějšího fosilního paliva. Na začátku 20. století se rozvinulo větší využití ropy a později i zemního plynu. Tyto vysoce koncentrované fosilní zdroje energie brzy nahradily dřevo, vítr i vodu v domácnostech, průmyslu a dopravě v průmyslově rozvinutých zemích. Dnes poskytuje fosilní trio (uhlí, ropa, zemní plyn) energii pro asi $\frac{3}{4}$ celosvětové spotřeby.

Přetrvávající obavy spojené s udržitelností jak fosilní, tak nukleární energie, byly hlavním katalyzátorem obnovení zájmu o obnovitelné zdroje energie, které jsou k životnímu prostředí šetrnější a také dlouhodobě stabilnější než zdroje fosilní. Z výše uvedených důvodů je možné předpokládat, že využití OZE bude mít rostoucí tendenci a z dříve pouze alternativních zdrojů se stanou jedním ze základů energetického mixu.

8.1 Politika a legislativa v oblasti obnovitelných zdrojů energie

V roce 2009 byla Evropskou unií přijata nová legislativní opatření v rámci klimaticko-energetického balíčku, mezi nimi i nová směrnice o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie. Obsahuje souhrn opatření, která mají přispět k dosažení cíle nejméně 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie Evropské unie v roce 2020. Pro Českou republiku platí závazný národní cíl 13 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie ČR v roce 2020. Současně směrnice požaduje, aby se k závaznému cíli postupovalo alespoň dle orientačního plánu:

Tab. 6 Orientační plán zvyšování podílu OZE v ČR.

| rok | Podíl energie z OZE na hrubé spotřebě energie v ČR | poznámky |
|-----------|--|--------------|
| 2005 | 6,10 % | výchozí stav |
| 2011-2012 | 7,48 % | |
| 2013-2014 | 8,17 % | |
| 2015-2016 | 9,21 % | |
| 2017-2018 | 10,59 % | |
| 2020 | 13,00 % | závazný cíl |

K naplňování stanovených cílů mají přispět **Národní akční plány pro energii z obnovitelných zdrojů**, které stanoví podíly energií z obnovitelných zdrojů pro jednotlivé oblasti (elektřina, doprava, vytápění a chlazení) a dlouhodobé strategie, jak těchto podílů dosáhnout. Oblasti obnovitelných zdrojů energie se v České republice dotýká několik zákonů a vyhlášek, přičemž těmi nejvýznamnějšími jsou zákon č. 180/2005 Sb., **o podpoře využívání obnovitelných zdrojů**; vyhláška ERÚ (energetický regulační úřad) č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů a aktuální **cenové rozhodnutí ERÚ**, kde jsou uvedeny výkupní ceny na daný rok. Dle platné legislativy se nabízejí čtyři způsoby podpory OZE a to osvobození od daně z příjmu, nižší DPH na výstavbu OZE, garantované výkupní ceny elektřiny z OZE a dotace na instalaci OZE.

Příjmy z obnovitelných zdrojů energie jsou podle **Zákona o dani z příjmu** osvobozeny od daně z příjmu. Osvobození platí v roce, kdy byla elektrárna poprvé uvedena do provozu a v bezprostředně následujících pěti letech (tedy 5 + 1). U malých vodních elektráren je omezení do výkonu 1 MW. Pokud je při jejich provozu překročena hranice 200 000 kWh elektřiny za rok, jsou příjmy z provozu nad 200 000 kWh již předmětem daně.

Pro výstavbu elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie platí § 48 zákona o dani z přidané hodnoty, kde se uplatňuje snížená sazba daně (10 % DPH), a to jak na montážní práce, tak na samotné technické prostředky. Brikety a pelety z biomasy mají také 10% DPH.

Výkupy elektřiny

Pokud elektřinu vyrobenou z OZE využíváte pro svou vlastní potřebu (např. v rodinném domě) a případné přebytky odevzdáváte do sítě, zvolíte pravděpodobně podporu ve formě **Zeleného bonusu**. Výkupní cena je sice nižší, ale energii, kterou vyrábíte a zároveň spotřebováváte, máte zcela zdarma. Přebytečnou energii ale není nikdo povinen vykupovat a záleží vždy na domluvě s distributorem, který buď je anebo není ochoten tuto elektřinu vykupovat (popř. vůbec strpět tuto elektřinu v síti). Základním principem zelených bonusů je možnost najít si obchodníka, který tuto elektřinu vykoupí.

Při formě podpory **státním výkupem** je dodavatel elektrické energie povinen odkoupit od vás všechnu vyrobenou elektřinu. Vy ale potom platíte za odebranou el. energii. Výkupní ceny se liší podle zdroje energie a podle doby uvedení do provozu příslušného zařízení vyrábějícího energii.

Výši výkupních cen a zelených bonusů stanovuje každoročně Energetický regulační úřad (ERU), který při tom vychází z výše uvedeného zákona č. 180/2005 Sb. Podle tohoto zákona nesměla hodnota výkupních cen meziročně klesnout o více než 5 %. V květnu roku 2010 však podepsal prezident Václav Klaus novelu zákona týkající se elektřiny ze slunce, která umožňuje ERÚ měnit ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů meziročně o více než 5 % v případech, pokud by návratnost investice do takového zdroje byla kratší než 11 let.

Tato novela byla reakcí na prudký pokles cen solárních panelů, který způsobil, že doba návratnosti investic u fotovoltiky je kratší než u ostatních obnovitelných zdrojů. V této době (rok 2010) se pohybuje kolem 8–10 let a stále klesá. Pokud by byla výkupní cena stále stejně vysoká a solární energie by se na základě výše uvedených faktů produkovalo stále více, vše by se pochopitelně promítlo do konečné ceny elektřiny, což by zatěžovalo konečné spotřebitele.

Dotace

Samotná výstavba obnovitelných zdrojů energie je podporována dotacemi z několika různých zdrojů. Hlavním zdrojem financí pro podporu výstavby OZE jsou v současnosti (rok 2010) peníze z rozpočtu EU distribuované pomocí odpovídajících operačních programů (Operační program životní prostředí a Operační program podnikání a inovace). Dále je možné využít regionálních operačních programů a programů přeshraniční spolupráce (opět financováno převážně z EU) nebo nejrůznějších lokálních programů financovaných místní samosprávou.

Výroba tepla z obnovitelných zdrojů energie je podporována také systémem dotací pod názvem **Zelená úsporám**. Jedná se o program Ministerstvem životního prostředí administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR zaměřený na úspory energie a obnovitelné zdroje v domácnosti v rodinných a bytových domech. V Programu je podporováno kvalitní zateplování rodinných a bytových domů, náhrada neekologického vytápění za nízkoemisní zdroje na biomasu a účinná tepelná čerpadla, instalace těchto zdrojů do nízkoenergetických novostaveb a také výstavba v pasivním energetickém standardu. Program trvá do 31. prosince 2012.

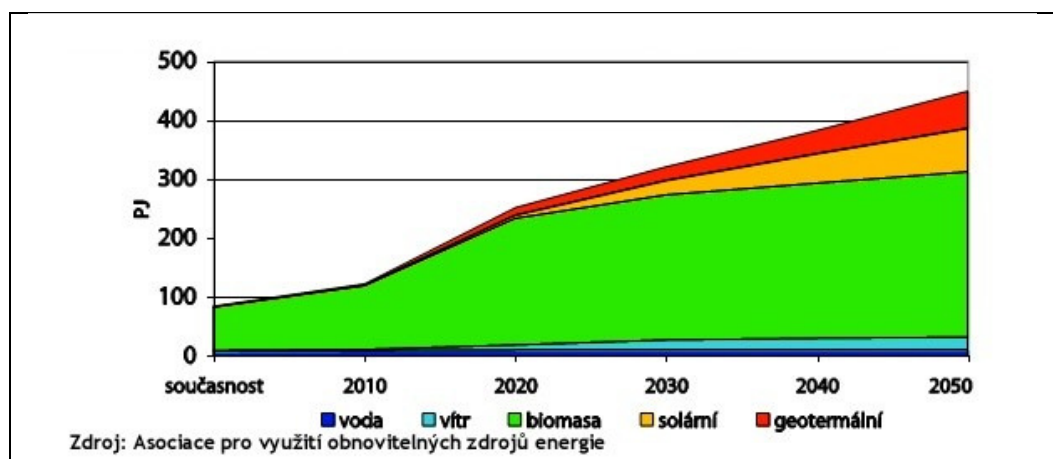
Podpora využití tepla z obnovitelných zdrojů

Zatímco zákon o podpoře výroby elektrické energie z OZE je už několik let sepsaný a schválený, zákon o podpoře úspor a tepla z obnovitelných zdrojů chybí a je pořád v přípravě. Současná verze (rok 2010) hovoří o podpoře výstavby výroby tepla z biomasy, z komunálního odpadu dále neupraveného, výstavby tepelných čerpadel a solárních systémů.

8.2 Budoucnost obnovitelných zdrojů energie

Celkový energetický potenciál OZE byl Pačesovou komisí pro ČR odhadnut asi na **25 %** současné spotřeby energie. Pokud by nehrály roli ekonomické a jiné vlivy, je tento potenciál dostatečný pro zajištění chodu společnosti bez výrazného omezení životního komfortu.

Do roku 2020 se předpokládá využití zhruba **50 %** teoretického potenciálu OZE, přičemž dominantním zdrojem bude i nadále biomasa. Pro výrobu elektřiny však bude využit jen malý podíl, většina biomasy totiž bude tak jako dosud využívána k výrobě tepla. Současná praxe spalování biomasy ve velkých elektrárnách je sporná, z hlediska využití primárního zdroje je totiž vhodnější kogenerační výroba elektřiny a tepla. Energetický potenciál vodních elektráren je již v podstatě vyčerpán. Elektrárny v nevyužívaných lokalitách mohou přidat nejvýš **10 %** k současné produkci. Další mírný nárůst mohou přinést rekonstrukce stávajících elektráren. U větrných elektráren se předpokládá, že do roku 2020 by produkce elektřiny mohla dosáhnout úrovně vodních elektráren a pak by dále rostla na více než dvojnásobek. Ještě rychlejší růst je očekáván u fotovoltaiky, přesto v roce 2020 bude její podíl na výrobě elektřiny asi poloviční ve srovnání s větrem.



Obr. 70 Primární energie z obnovitelných zdrojů – výhled do roku 2050

Obnovitelné zdroje, s výjimkou biomasy, mají ve srovnání s konvenčními zdroji nízké provozní náklady, protože "palivo" je zdarma. Rovněž emise při výrobě elektřiny jsou téměř nulové. Naopak investiční náročnost OZE a emise při jejich výrobě mohou být vyšší. Pro porovnání různých zdrojů energie je třeba vyhodnotit celý životní cyklus takové elektrárny, který zahrnuje těžbu a zpracování surovin, případně paliva, jejich dopravu, výrobu polotovarů a konečných výrobků, výrobu a distribuci energie a likvidaci nebo recyklaci na konci životnosti včetně nakládání s odpady. Ve všech uvedených fázích je možno kromě finančních nákladů sledovat spotřebu nebo produkci energie. Mimoto lze porovnávat dostupnost surovinových zdrojů, emise CO₂ a další dopady na životní prostředí.

Environmentální dopady jsou u všech OZE řádově nižší než při spalování fosilních paliv. Z konvenčních zdrojů jediné jaderná energie dosahuje v některých parametrech srovnatelných hodnot, má však vyšší nároky na nerostné zdroje a emise látek poškozujících ozonovou vrstvu jsou vyšší dokonce o dva řády.

Obnovitelné zdroje jsou již dnes z hlediska poměru vložené a získané energie srovnatelné s konvenčními zdroji, v řadě případů i lepší⁷. Do budoucna bude situace z pohledu OZE jen lepší. V dohledné době lze postupně očekávat i dosažení konkurenceschopnosti z finančního hlediska. U některých OZE (především fotovoltaika) však může být dostupnost surovin limitující v případě výraznějšího růstu objemu produkce. Jedná se zejména o materiály s obsahem vzácných kovů (indium, selen, telur), ale také například stříbra. Pro většinu materiálů však existují přijatelné náhrady.

Informace o tom, které zdroje pokryjí naši spotřebu energie v budoucnosti, je třeba brát s rezervou. Zejména v případě technologií, jejichž vývoj dosud nebyl dokončen. To se týká celé řady „levných“ fotovoltaických technologií, stejně jako jaderné fúze a rychlých množivých reaktorů. Nejdůležitější a zcela bezkonkurenčně nejlevnější zdroj je však stále opomíjen.

⁷ Například moderní fotovoltaické panely vyrobí v podmínkách ČR za 3 roky tolik energie, kolik bylo potřeba k jejich výrobě.

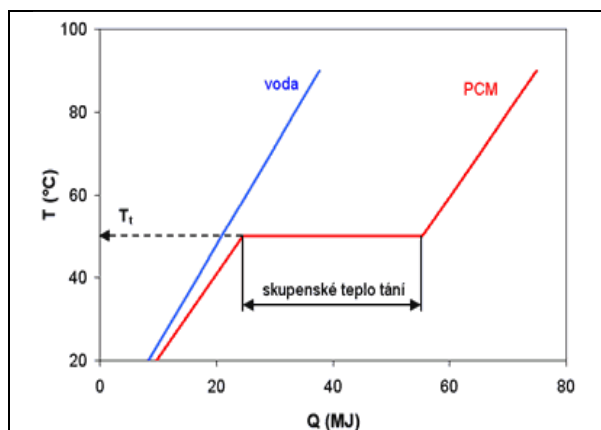
Jedná se o snižování spotřeby. **Nejlevnější je ta energie, která nemusela být vyrobena.** Pokud by se nám podařilo využít pětinu energie, kterou ztrácíme při průmyslové výrobě, dosáhli bychom stejného efektu, jako kdybychom zdvojnásobili celosvětovou produkci čisté energie z obnovitelných zdrojů.

8.3 Akumulace energie

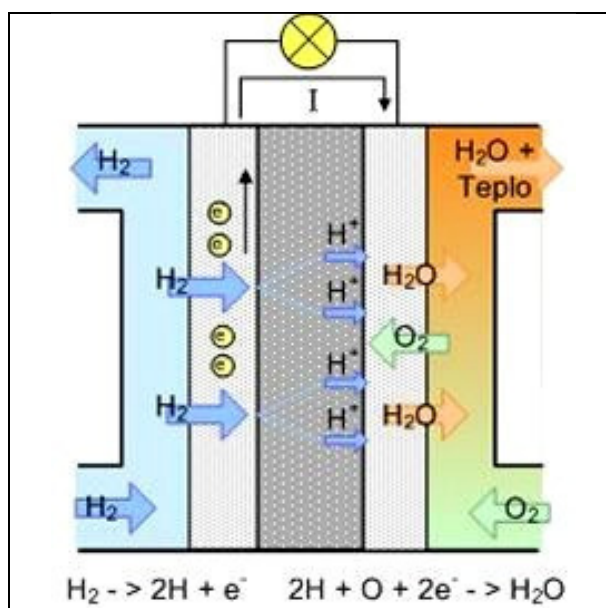
Současné dominantní zdroje energie mají buď rychlý náběh na plný výkon (spalovací motory), nebo pracují nepřetržitě pokud možno na optimální výkon (tepelné uhelné a jaderné elektrárny). Navíc představují fosilní paliva spolehlivý zdroj vysoce koncentrované energie. Díky tomu je v současnosti dostatek energie prakticky kdykoliv potřebujeme, proto je otázka efektivní akumulace energie spojována hlavně s využitím levného přebytkového nočního proudu. Obnovitelné zdroje energie (slunce, vítr, voda) představují naopak časově nestabilní zdroje. Pokud svítí slunce, fouká vítr a v řekách je dostatek vody, dodávají tyto zdroje plný výkon. Problém je, že intenzita dopadajícího slunečního záření se mění z minuty na minutu, stejně jako rychlost a směr větru. Pro zajištění stability rozvodné sítě je tedy nutné akumulovat přebytky energie a ty pak dodávat do sítě, když OZE nemají dostatečný výkon.

Energii lze akumulovat v různých formách. Tepelná energie se uchovává v nejrůznějších akumulacích zásobnicích (vodní, šterkové, využívajících skupenského tepla látek), elektrická energie se skladuje v bateriích, kondenzátorech, nebo se převádí na jinou formu energie. Může to být mechanická energie (stlačený vzduch, setrvačníky, přečerpávací nádrže,...) nebo chemická energie ukrytá v nejrůznějších sloučeninách. Jako velmi nadějně se jeví využití vodíku jako přenašeče energie. V době nadbytku elektrické energie z OZE by se vodík vyráběl elektrolýzou vody. Získaný plyn by se uskladnil v tlakových nádobách nebo hydridech kovů. Pokud by se vodík nevyužil přímo na místě, bylo by možné ho transportovat do jiných oblastí podobně, jako se dnes přepravuje ropa a zemní plyn. Zpětným slučováním vodíku a kyslíku v palivových článcích vzniká elektrický proud, voda a odpadní teplo.

Princip palivového článku lze nejspíše objasnit na palivovém článku s polymerní membránou. Tento článek se skládá ze dvou elektrod, na jejichž povrchu se nachází slabá vrstvička uhlíku (většinou ve formě grafitu) obsahující malé množství platiny, která zde slouží jako katalyzátor. Elektrody jsou od sebe odděleny tenkou polymerní membránou, která propouští kladně nabité ionty - protony (u katexové membrány). Vodík je přiváděn k anodě, kde na povrchu katalyzátoru dochází k jeho disociaci na protony a elektrony. Protony procházejí skrz polymerní vrstvu, elektrony jsou nuceny procházet externím okruhem, a mohou tedy konat užitečnou práci.



Obr. 71 Porovnání akumulací vodíku a zásobníku tepla se změnou skupenství s voskovou náplní (PCM)



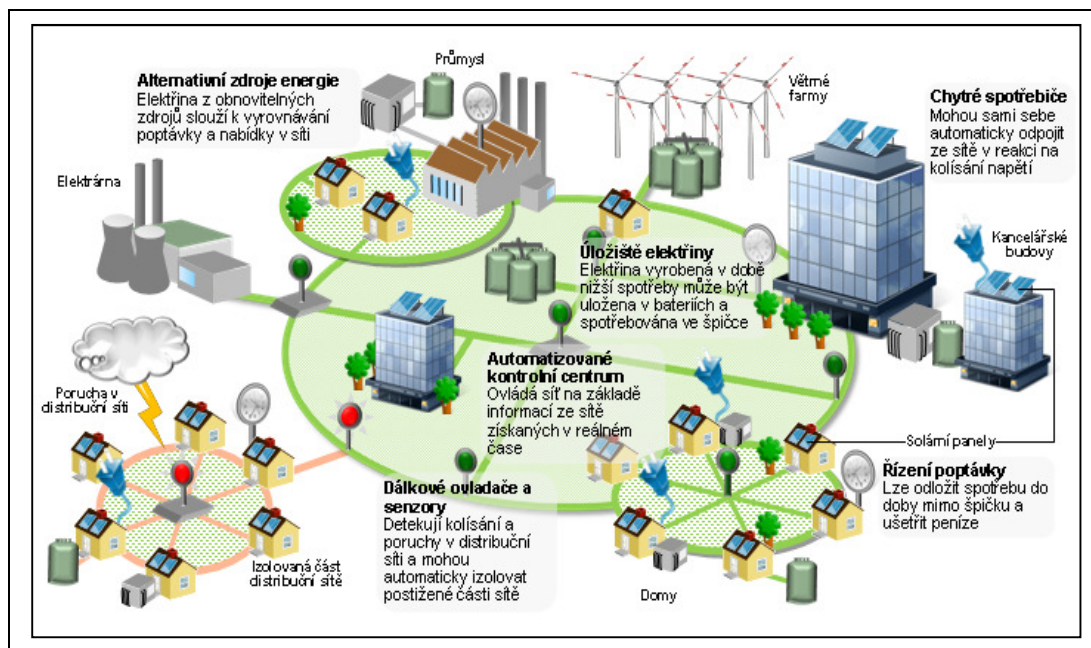
Obr. 72 Princip palivového článku

Na katodě pak sloučením dvou kladně nabitých vodíkových iontů (protonů), dvou elektronů a atomu kyslíku vzniká voda (vzhledem k provozní teplotě palivového článku obvykle v podobě páry). Na stranu katody je přiváděn čistý kyslík nebo častěji kyslík ze vzduchu. Teoretické napětí jednoho palivového článku závisí na složení paliva, teplotě, tlaku a dosahuje přibližně 1,2 V. Skutečné napětí se v důsledku ztrát běžně pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,9 V a s rostoucím zatížením má klesající charakter.

8.4 Chytré sítě

Obnovitelné zdroje jsou ve většině případů malé lokální zdroje závislé na svém prostředí. S takovou proměnlivostí dodávek energie a jejím propojením s proměnlivou spotřebou energie mají současně distribuční soustavy problémy, proto se objevila myšlenka tzv. „Chytrých sítí“ neboli Smart Grids. Nová „inteligentní“ síť rozpozná přetížení distribuční sítě a přesměrováním toku energie sníží přetížení v určitém místě. Především tak výpadku dodávek elektřiny v dané lokalitě. Zároveň monitoruje děje a technický stav distribuční sítě, řeší poruchy a výpadky a dává podněty k obnově distribuční sítě.

Kromě aktuálního stavu distribuční soustavy je v rámci chytrých sítí monitorována výroba energie (předpověď počasí a s tím související produkce v OZE) i její spotřeba, která je navíc ovlivňována různými tarify. Jiná je tedy v systému Smart Grids i úloha spotřebitele a jeho začlenění do celého systému. Vedle pasivního příjmu energie se spotřebitel stává i producentem díky fotovoltaickým systémům instalovaným na střeších budov, malým větrným elektrárnám, kogeneračním jednotkám, ale také například bateriím elektromobilů.



Obr. 73 Schéma Smart Grids

9 OZE v příkladech a úlohách

Příklad 1

Solární systém pro přípravu teplé vody (TV) bývá navržen tak, aby byl schopen plně pokrýt spotřebu energie pro přípravu TV v letním období (červen-srpen). Jeden člověk v průměru spotřebuje za den 46 až 75 l TV (počítáno s jedním sprchováním, koupel vyžaduje o 120-130 l více vody), což v závislosti na teplotě vody představuje 1,7 až 2,8 kWh (u koupele připočtete 4–4,3 kWh). Moderní bojlerů mohou využívat několik zdrojů tepla (solární systém, plynový kotel, elektrické topné těleso) a to samostatně nebo ve vzájemné kombinaci. Vypočítejte, kolik oxidu uhličitého (CO₂) ušetří čtyřčlenná rodina (cca 2 kWh/osobu) za jediný den v červenci zapojením odpovídajícího solárního systému, pokud její bojler využívá k ohřevu vody:

- a) elektřinu/solární systém
- b) plyn/solární systém

Uvažujte se 100% účinností přeměny elektrické energie na tepelnou a s 92% účinností zdroje na zemní plyn (1 m³ zemního plynu obsahuje 10,55 kWh energie). Počítejte se všeobecnými emisními faktory oxidu uhličitého:

Zemní plyn
Elektřina

0,20 t CO₂ / MWh výhřevnosti paliva
1,17 t CO₂ / MWh elektřiny

Řešení: a) 9,36 kg CO₂; b) 1,74 kg CO₂

Příklad 2

Výkon fotovoltaických panelů se udává v jednotkách kWp (kilowatt peak) a odpovídá maximálnímu výkonu panelu s ideálním natočením, optimálním sklonem, jasné obloze a v pravé poledne. Pro instalaci fotovoltaických panelů na střechy rodinných domů, škol nebo továrních hal lze orientačně počítat s 1 kWp na 10 m² střechy. Ve Zlínském kraji vyprodukuje fotovoltaický systém s instalovaným výkonem 1 kWp v průměru 0,965 MWh elektrické energie za jeden rok. V současnosti se na rodinné domy běžně instalují fotovoltaické systémy o výkonu 3,5 kWp. Vypočítejte, kolik energie vyrobí typický fotovoltaický systém instalovaný na rodinném domě při optimálně natočené střeše. Jakou plochu střechy takový systém zabere? Zkuste vypočítat, jak velký fotovoltaický systém by bylo možné instalovat na střechu vaší školy a kolik by přibližně vyrobil elektřiny za jeden rok. Pro odhad velikosti střechy můžete využít mapy dostupné na internetu.

Řešení: 3,378 MWh – 35 m²

Příklad 3

Solární vařič – využít energii slunce k vaření může za pěkného počasí každý, aniž by bylo nutné utratit mnoho peněz za speciální zařízení. Známým příkladem ultra-levného solárního vařiče je Kyoto box, který se skládá ze dvou kartonových krabic. Vnitřní krabice je natřená černě, usnadňuje vstřebávání tepla ze slunečního záření, a je zakrytá transparentním akrylovým víkem. Krabice je umístěna uvnitř druhé větší, která je lemovaná hliníkovou fólií. Fólie zaměřuje sluneční teplo na vnitřek boxu. Teploty uvnitř boxu mohou rychle dosáhnout 80 °C⁸ za slunečního dne. Podle internetové stránky *Kjótská energie*⁹, mohou teploty dosáhnout maximálně 165 °C. Jon Böhmer, vynálezce Kyoto boxu, tvrdí, že trouba je schopna varu 10 litrů vody za dvě až tři hodiny.¹⁰ Zkuste si takový vařič vyrobit a za slunného dne vyzkoušet, jestli funguje.

⁸ <http://www.greenpacks.org/2009/04/09/kyoto-box-solar-cardboard-cooker-wins-climate-prize/>

⁹ <http://www.kyoto-energy.com/kyoto-box.html>

¹⁰ <http://blogs.howstuffworks.com/2009/04/10/invention-the-kyoto-box-solar-oven/>



Obr. 74 Kyoto box

Další typy levných solárních vaříčů, které si můžete sami poskládat, najdete na stránce: <http://solarcooking.wikia.com/wiki/Cookit>.

Příklad 4

Vezměte do každé ruky jeden list papíru tak, aby volně visely k podlaze. Poté je k sobě rovnoběžně přiblížte na vzdálenost přibližně 2–3 cm. Pokud mezi tyto listy fouknete, listy se:

- a) budou třepetat směrem od sebe
- b) nepohnou
- c) k sobě přitisknou

Pozorovaný efekt má na svědomí stejný jev, který uvádí do pohybu listy moderních větrných elektráren. Můžete uvést další oblast, kde se tento jev využívá.

Řešení: listy se přitisknou v důsledku podtlaku (vztlaku) vyvolaného rychle proudícím vzduchem v omezeném prostoru. Vztlak vzniká kolem listů větrné turbíny stejně, jako kolem křídel letadel.