

# INFOLISTY O OBNOVITELNÝCH ZDROJÍCH ENERGIE

Produkt ČEA k podpoře poradenství, vzdělávání a propagace v roce 2007



**autoři:**

Ing. Karel Srdečný, Ing. Jan Truxa, Mgr. František Macholda, MBA,  
Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA, Ing. Lenka Hudcová

**září 2007**



**Anotace:**

Produkt obsahuje 6 informačních listů – letáků na téma využití obnovitelných zdrojů energie: sluneční teplo, fotovoltaika, voda, vítr, biomasa, tepelná čerpadla. Jsou zde základní informace o možnostech použití, přírodních a technických podmínkách instalace OZE, o vhodných způsobech aplikace. Dále je zde stručný technický popis jednotlivých aplikací a odkaz na doporučenou literaturu s dalšími informacemi. Text je ilustrován fotografiemi, mapkami a doplněn technickými schématy. Náklad je 6 x 10 tis. ks.

**Cílová skupina:**

Produkt je určen nejširší veřejnosti. Bude distribuován zejména prostřednictvím středisek EKIS ČEA, jako prvotní informace o OZE. Ve větší míře bude využit na výstavních akcích (Střechy Praha, Hobby České Budějovice, atd.) a na seminářích, kterých se EkoWATT účastní.

### Identifikační údaje

|                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Zadavatel:</b><br><i>ulice:</i><br><i>psč město:</i><br><i>tel.:</i><br><i>fax:</i><br><i>e-mail:</i><br><b>Zastupuje:</b>                                             | Česká energetická agentura<br>Vinohradská 8<br>120 00 Praha 2<br>257 099 011<br>257 530 478<br><a href="mailto:cea@ceacr.cz">cea@ceacr.cz</a><br>Ing. Josef Bubeník, ředitel                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Vypracoval:</b><br><i>ulice:</i><br><i>psč město:</i><br><i>tel.:</i><br><i>fax:</i><br><i>e-mail:</i><br><i>www:</i><br><b>Statutární zástupce:</b><br><b>Autoři:</b> | EkoWATT, Středisko pro obnovitelné zdroje a úspory energie<br>Bubenská 6<br>170 00 Praha 7<br>266 710 247<br>266 710 248<br><a href="mailto:ekowatt@ekowatt.cz">ekowatt@ekowatt.cz</a><br><a href="http://www.ekowatt.cz">www.ekowatt.cz</a><br>Ing. Jiří Beranovský. PhD., MBA<br>Ing. Karel Srdečný<br>Ing. Jan Truxa<br>Mgr. František Macholda, MBA<br>Ing. Jiří Beranovský. PhD., MBA<br>Ing. Lenka Hudcová |
| <b>Spolupráce:</b>                                                                                                                                                        | Mgr. Monika Kašparová                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Zpracováno:</b>                                                                                                                                                        | září 2007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Šíření:</b>                                                                                                                                                            | Dokument lze užívat pouze ve smyslu příslušné smlouvy o dílo.<br>Kopírování a rozšiřování pouze po předchozím souhlasu<br>EkoWATTu.                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## Obsah

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                                  | <b>2</b>  |
| <b>2. ENERGIE SLUNCE - SLUNEČNÍ TEPLA, OHŘEV VODY A VZDUCHU .....</b> | <b>3</b>  |
| <b>2.1. Možnosti využití</b>                                          | <b>3</b>  |
| 2.1.1. Pasivní systémy                                                | 3         |
| 2.1.2. Aktivní systémy                                                | 4         |
| <b>2.2. Přírodní podmínky</b>                                         | <b>4</b>  |
| <b>2.3. Technické podmínky</b>                                        | <b>5</b>  |
| <b>2.4. Základní části solárního systému</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>2.5. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování</b>           | <b>7</b>  |
| <b>2.6. Přehled zařízení</b>                                          | <b>9</b>  |
| <b>3. ENERGIE SLUNCE – VÝROBA ELEKTŘINY .....</b>                     | <b>12</b> |
| <b>3.1. Fotovoltaické panely</b>                                      | <b>12</b> |
| <b>3.2. Systémy připojené k síti (grid-on)</b>                        | <b>13</b> |
| 1.1. Samostatné (ostrovní) systémy – grid off                         | 13        |
| <b>3.3. Fotovoltaika v architektuře</b>                               | <b>14</b> |
| <b>3.4. Kapesní aplikace</b>                                          | <b>14</b> |
| <b>3.5. Dotace, výkupní ceny</b>                                      | <b>14</b> |
| <b>3.6. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování</b>           | <b>14</b> |
| <b>3.7. Přírodní podmínky</b>                                         | <b>3</b>  |
| <b>4. ENERGIE VODY .....</b>                                          | <b>17</b> |
| <b>4.1. Možnosti využití a přírodní podmínky</b>                      | <b>17</b> |
| <b>4.2. Základní části vodního díla a přehled zařízení</b>            | <b>17</b> |
| <b>4.3. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování</b>           | <b>19</b> |
| 4.3.1. Spád                                                           | 20        |
| 4.3.2. Průtok                                                         | 20        |
| 4.3.3. Hodnocení lokality                                             | 21        |
| <b>4.4. Mikroturbíny</b>                                              | <b>22</b> |
| <b>5. ENERGIE VĚTRU .....</b>                                         | <b>24</b> |
| <b>5.1. Přírodní podmínky</b>                                         | <b>24</b> |
| <b>5.2. Možnosti využití</b>                                          | <b>26</b> |
| 5.2.1. Autonomní systémy                                              | 26        |
| 5.2.2. Systémy připojené k síti                                       | 26        |
| <b>5.3. Technické řešení</b>                                          | <b>27</b> |
| <b>5.4. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování</b>           | <b>27</b> |
| <b>5.5. Větrné elektrárny a životní prostředí</b>                     | <b>28</b> |
| <b>6. ENERGIE BIOMASY .....</b>                                       | <b>31</b> |
| <b>6.1. Přírodní podmínky</b>                                         | <b>31</b> |
| Biomasa odpadní:                                                      | 31        |
| <b>6.2. Možnosti využití a přehled technologií</b>                    | <b>32</b> |
| 6.2.1. Přímé spalování a zplyňování                                   | 32        |
| 6.2.2. Vliv vlhkosti na výhřevnost biomasy                            | 33        |
| 6.2.3. Bio-chemická přeměna                                           | 35        |
| 6.2.4. Mechanicko-chemická přeměna                                    | 36        |
| <b>6.3. Pěstování biomasy pro energetické účely</b>                   | <b>36</b> |

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7. ENERGIE PROSTŘEDÍ, GEOTERMÁLNÍ ENERGIE, TEPELNÁ ČERPADLA...</b> | <b>38</b> |
| 7.1. Toky energií                                                     | 38        |
| 7.2. Topný faktor                                                     | 39        |
| 7.3. Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo                                | 39        |
| 7.4. Přehled systémů                                                  | 42        |
| 7.5. Funkce kompresorového tepelného čerpadla                         | 42        |
| 7.6. Bivalentní provoz tepelného čerpadla                             | 3         |
| 7.7. Monovalentní provoz tepelného čerpadla                           | 3         |
| 7.8. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování                  | 3         |
| <b>8. POUŽITÁ A DOPORUČENÁ LITERATURA .....</b>                       | <b>45</b> |
| <br>Seznam tabulek                                                    | <br>46    |
| Seznam obrázků                                                        | 46        |
| <br>Příloha : CD ROM s prací a softwarem                              |           |

## 1. Úvod

Produkt navazuje na úspěšnou sérii infolistů o úsporách a OZE podpořených několikrát ČEA v minulých letech a na zkušenosti z poradenské činnosti.

V roce 1996 poprvé EkoWATT vydal informační listy o obnovitelných zdrojích energie (OZE). O tyto listy projevil zájem odborná poradenská střediska EKIS, laická veřejnost i nevládní ekologické organizace, které je šíří dosud. Proto EkoWATT vydal v letech 1998, 2000, 2002 a naposledy 2005 vždy nová, přepracovaná, doplněná a rozšířená vydání. Během dvou let byl náklad většinou rozebrán.

V roce 2005 EkoWATT vydal zatím poslední edici infolistů s podporou ČEA, celkem dvě série po šesti informačních listech, 6 na téma využití obnovitelných zdrojů energie (sluneční teplo, fotovoltaika, voda, vítr, biomasa, tepelná čerpadla, kogenerace, ekonomika) a dalších 6 věnovaných efektivnímu využití energie zejména v bytové sféře (úsporná opatření v rodinných domech, úsporná opatření v bytových domech, a zásady výstavby nízkoenergetických domů, úsporné osvětlení, úsporné elektrospotřebiče a kogenerace).

Přestože na [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz) je obsah infolistů přístupný, pro nejširší veřejnost je stále nejlepším materiálem tištěný leták. Ten lze rozdávat na výstavách a jiných akcích, zasílat poštou atd. Poslední verze vydaná nákladem 10 tis. ks z roku 2007 je již rozebrána (stav září 2005). Střediska EKIS a další organizace pracující s veřejností se přitom na EkoWATT obrací se žádostmi o další letáky.

Proto vydal EkoWATT další sérii infolistů. Text je doplněn o nejnovější poznatky v oboru. Dále jsou zde zapracovány odpovědi na nejčastější otázky, se kterými se autoři setkávají ve střediscích EKIS v Praze, Č. Budějovicích a zejména na [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz).

Produkt je určen široké veřejnosti. Bude distribuován zejména prostřednictvím středisek EKIS ČEA a ekologických organizací (ekoporaden). Ve větší míře budou infolisty použity na výstavních akcích (Střechy Praha, Hobby, atd.), kterých se EkoWATT účastní.

## 2. Energie Slunce - sluneční teplo, ohřev vody a vzduchu

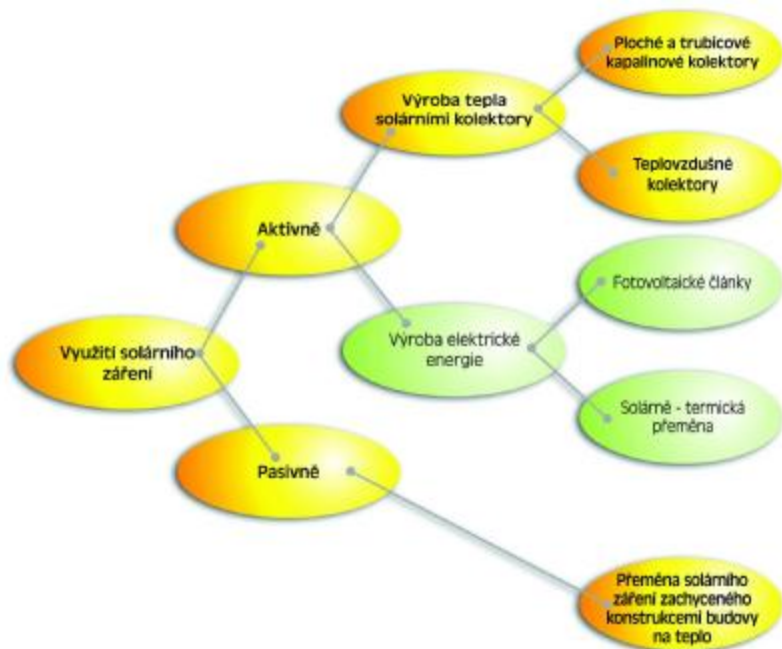
Veškerá spotřeba primárních zdrojů v ČR odpovídá sluneční energii, která za rok dopadne na pouhých 350 km<sup>2</sup> (asi 4% rozlohy ČR). To je asi desetina plochy, na které dnes pěstujeme řepku, nebo která byla v šedesátých letech osázená brambory. Je zřejmé, že sluneční energie je více než dost.

Při využívání sluneční energie narážíme na dva problémy: skladovatelnost a účinnost. Slunce lze výborně skladovat v biomase, ovšem zde je účinnost přeměny velmi malá – jedno procento i méně. Naopak vysoké účinnosti lze dosáhnout při výrobě tepla (termální kolektory) i elektřiny (fotovoltaika), ale zde je drahá akumulace získané energie.

### 2.1. Možnosti využití

Ze Slunce lze nejnázne získat teplo – to ví každá kočka, rozvalující se na zápraží. Teplo pro vytápění budov lze nejnázne získat tak, že jižními okny vpustíme slunce do interiéru. Aby zase rychle neuteklo, je nutné dobře izolující okno a ještě mnohem lépe izolující stěny, strop a podlaha. Na tomto principu fungují tzv. pasivní domy, které jsou z větší části vytápěny právě Sluncem. Tyto tzv. pasivní zisky se využívají i jinde v architektuře.

Pro teplo na ohřev vody (na mytí i do radiátorů) je nutno použít tzv. aktivní systémy. Primitivní, ale v létě dostatečně účinný je i sud natřený načerno, pro celoroční provoz nebo pro vyšší teploty je nutné složitější zařízení – solární systém. Podrobné rozdělení možností ukazuje následující obrázek:



#### 2.1.1. Pasivní systémy

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 třeba navrhnout tak, aby byly zisky co nejlépe využity (např. cirkulací vzduchu z osluněných místností do ostatních částí domu). Výhodnější jsou tzv. těžké budovy, které umožňují krátkodobou akumulaci přebytků. Zásadní je i typ a regulace vytápěcího systému.

Pasivní systém musí s budovou tvořit harmonický celek. Toho je jednodušší dosáhnout u novostaveb. Starší stavby lze vhodně rekonstruovat (vybudovat skleněné přístavky, prosklené verandy apod.).

Velmi důležité je vyřešení rizika **tepelné zátěže** během léta (řádné odvětrání, akumulace do stavebních konstrukcí,...). V případě orientace prosklených ploch na jih nebo západ se zvyšuje riziko přehřívání interiéru v letních měsících.

Konkrétní budovu je lépe řešit se specializovaným odborníkem (energetický auditor) než pouze s architektem či stavařem, ideální je najít tým, který zahrnuje všechny profese. Energetický přínos zásadně závisí i na způsobu užívání budovy - např. dodatečně zasklená lodžie přináší úsporu jen pokud není v zimě vytápěná. Roční energetický přínos závisí tedy i na chování obyvatel domu.

Při volbě zasklení je potřeba zvážit jeho technické vlastnosti, zejména schopnost propouštět sluneční tepelné záření a světlo (to není totéž) a izolační schopnost.

|                            | g            | U                   | tau  | únik energie            | přínos energie v otopném období kWh/rok |        |      |        |     |
|----------------------------|--------------|---------------------|------|-------------------------|-----------------------------------------|--------|------|--------|-----|
|                            | --           | W/m <sup>2</sup> .K | --   | kWh/m <sup>2</sup> .rok | kWh/m <sup>2</sup> .rok                 |        |      |        |     |
|                            |              |                     |      |                         | J                                       | JZ, JV | Z, V | SV, SZ | S   |
| jednoduché zasklení        | 0,86         | 5,8                 | 0,89 | 546                     | 344                                     | 310    | 181  | 138    | 129 |
| dvojsklo                   | 0,76         | 2,9                 | 0,8  | 273                     | 304                                     | 274    | 160  | 122    | 114 |
| dvojsklo s pokovením       | 0,67         | 1,5                 | 0,77 | 141                     | 268                                     | 241    | 141  | 107    | 101 |
| dvojsklo s pokovením a Ar  | 0,62         | 1,1                 | 0,77 | 103                     | 248                                     | 223    | 130  | 99     | 93  |
| dvojsklo s pokovením a Kr  | 0,62         | 0,9                 | 0,77 | 85                      | 248                                     | 223    | 130  | 99     | 93  |
| trojsklo                   | 0,7          | 1                   | 0,73 | 94                      | 280                                     | 252    | 147  | 112    | 105 |
| trojsklo s pokovením       | 0,48         | 0,7                 | 0,66 | 66                      | 192                                     | 173    | 101  | 77     | 72  |
| dvojsklo + Heat Mirror     | 0,45 až 0,33 | 1,1                 | 0,61 | 103                     | 160                                     | 144    | 84   | 64     | 60  |
| dvojsklo + Heat Mirror, Ar | 0,45 až 0,34 | 0,8                 | 0,61 | 75                      | 160                                     | 144    | 84   | 64     | 60  |
| dvojsklo + Heat Mirror, Kr | 0,45 až 0,35 | 0,6                 | 0,61 | 56                      | 160                                     | 144    | 84   | 64     | 60  |

*Tabulka 1: Parametry zasklení*

### 2.1.2. Aktivní systémy

**Aktivní systémy** je téměř vždy možné dodatečně instalovat na stávající budovu. Využívají se zejména k celoroční přípravě **teplé užitkové vody** (TUV), ohřevu bazénové vody a k přitápění budov pomocí teplovodního či teplovzdušného vytápění.

Sluneční energii je možné i **dlouhodobě akumulovat** v zásobnících (vodních, šterkových aj.). Čím je delší doba akumulace, tím je systém dražší a méně ekonomický. Proto se nejčastěji používá **krátkodobá akumulace** (několikadenní) spolu s pružnými otopnými systémy, které sníží výkon okamžitě, jsou-li v místnosti solární zisky prosklením. Pro krátkodobou akumulaci se využívá obvykle beztlaková vodní nádrž (tlakové nádoby jsou dražší).

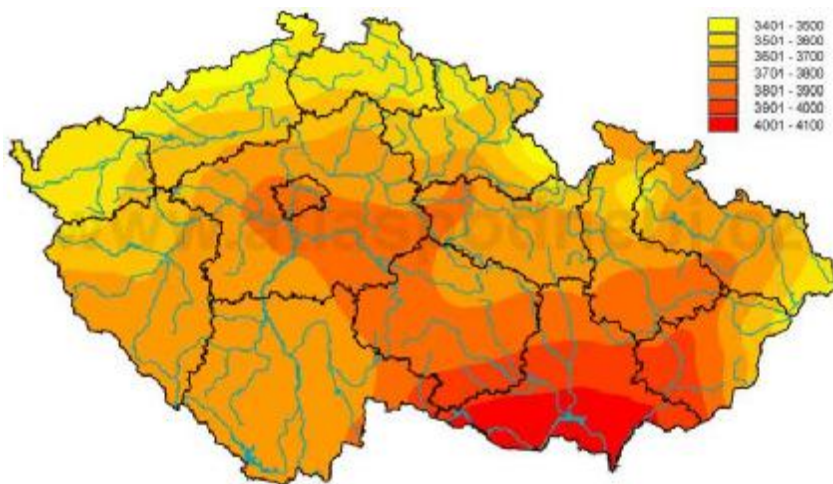
Solární systémy mohou být i teplovzdušné. Nehrozí zamrzání nebo vyvaření média, teplý vzduch z kolektorů lze přivádět přímo do místností. Systém pracuje s nižšími teplotami, čímž roste účinnost. Nevýhodou je potřeba větších potrubí a hluk ventilátorů, který se může šířit do místností. Akumulace je zde mnohem obtížnější než u kapalinových systémů.

## 2.2. Přírodní podmínky

Sluneční záření dopadající na zemský povrch se skládá z **přímého** a z **rozptýleného** záření. Přímé je **záření od slunečního disku**, které tvoří svazek prakticky rovnoběžných paprsků. Rozptýlené (difuzní) sluneční záření vzniká rozptylem přímých slunečních paprsků na

molekulách vzduchu, vodních kapkách a ledových krystalcích a na různých aerosolových částicích. Rozptýlené záření se jeví jako **světlo oblohy**; kdyby nebylo, jevila by se obloha i během dne černá s ostře zářícím slunečním kotoučem.

Průměrný počet hodin solárního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje kolem 1 460 h/rok (od 1400 do 1700 hodin za rok). Mapa ukazuje globální sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu o velikosti 1 m<sup>2</sup> za rok a dává tak představu o množství využitelné sluneční energie. V oblastech se silně znečištěnou atmosférou, je nutné počítat s poklesem globálního záření o 5 – 10 %, někdy až 15 – 20 %. Pro oblasti s nadmořskou výškou od 700 do 2 000 m.n.m. lze počítat naopak s 5% nárůstem globálního záření. U oken (obvykle svislých) je dopadající energie jiná.



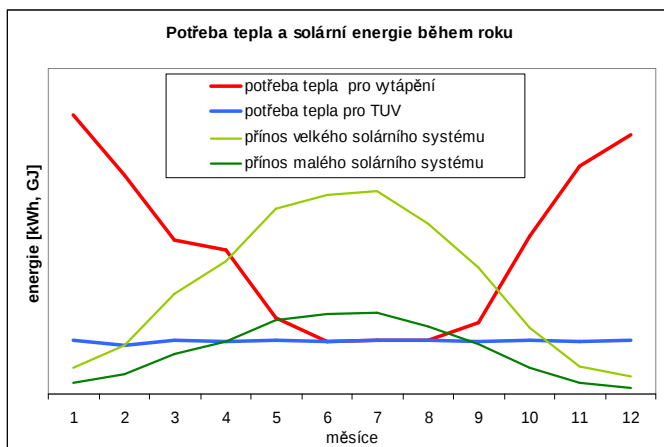
Obrázek 1: Průměrné roční sumy globálního záření v MJm<sup>-2</sup>. ZDROJ: ČHMÚ.

### 2.3. Technické podmínky

V ČR dopadá na povrch za rok průměrně 1100 kWh/m<sup>2</sup> energie. Pomocí kapalinových kolektorů můžeme získat 300 - 800 kWh m<sup>-2</sup> za rok. Zisk se však v jednotlivých měsících značně liší; pro letní přebytky často není využití. Pro reálné odhady hrubé výroby energie v průměrných solárních zařízeních lze v podmínkách ČR uvažovat průměrnou roční výrobu 380 - 420 kWh/m<sup>2</sup> kolektorové plochy za rok. Tuto hodnotu lze považovat podle dostupných naměřených údajů jako obvyklou.

Účinnost kolektorů závisí zejména na rozdílu teplot absorbéru (resp. teploty kapaliny) a okolního vzduchu. Čím vyšší teplotu požadujeme (např. 55°C pro přípravu TUV), tím horší bude účinnost. U vakuových kolektorů, kde je absorbér účinně izolován vakuem, se účinnost mění jen málo, takže uspokojivě pracují i v mrazivých dnech. Naopak u jednoduchých plochých kolektorů účinnost klesá s rozdílem teplot velmi prudce, takže je téměř nemožné ohřívat v nich vodu v zimě na více než 80°C.

Obecně platí, že v ČR je během zimy solární energie tak málo, že i s vysoce účinnými kolektory potřebujeme poměrně velké plochy pro pokrytí potřeb. Naopak během léta bývá solární energie značný přebytek, takže i málo účinné kolektory získají energie dost. To je třeba zohlednit při hodnocení ekonomické efektivity systémů.



Obrázek 2: Možnosti krytí potřeby tepla solárním systémem různé velikosti

## 2.4. Základní části solárního systému

Základním stavebním prvkem **slunečního kolektoru** (solární tepelný jímač) je **absorbér**, což je např. plochá deska s neodrazivým povrchem a trubicemi pro odvod teplotnosného média. Uložením absorbéru pod skleněnou desku vznikne sluneční kolektor, který využívá „skleníkového efektu“. Z hlediska teplotnosného média dělíme kolektory na **kapalinové** a **vzduchové** resp. **kombinované**.

**Sluneční absorbéry** přeměňují zachycené sluneční záření na tepelnou energii (dlouhovlnné záření). Ta je pomocí teplotnosného média (kapalina, vzduch) odváděna do místa okamžité spotřeby nebo akumulována v zásobníku.

Kolektory dělíme podle tvaru na **ploché** a **trubicové** (mají absorbér zataven ve vakuové trubici). Vakuum snižuje tepelné ztráty a zvyšuje účinnost při dosažení vyšších výstupních teplot, používá se také u plochých kolektorů (Heliostar H 400V). Výhodou vakuových kolektorů je jejich vyšší účinnost za nízkých teplot, proto se s nimi setkáme v horách. Nevýhodou je, že nemají „samorozmrazovací“ schopnost, takže navátý sníh musíme odstranit ručně.

Kvalitní kolektory mají absorbér opatřený **spektrálně selektivní vrstvou** (speciální černá barva nebo galvanické pokovení), mají vyšší účinnost a dokáží zpracovat i difúzní záření. Rovněž zasklení je ze speciálního skla, které má nízkou pohltivost slunečního záření a má zvýšenou mechanickou pevnost.

U **koncentračních kolektorů** se sluneční záření koncentruje na malou absorpční plochu. Používají se **lineární Fresnelovy čočky** nebo zrcadlové plochy (obvykle žlabová zrcadla). Dosáhne se tak vyšších teplot a vyšší účinnosti. Protože poloha Slunce a tím i ohnisko se během dne mění, je nutné polohovací zařízení, které natáčí (nebo u lineárních kolektorů posunuje) kolektor nebo jeho absorbér za Sluncem.

**Solární zásobník** slouží pro přípravu TUV, doplňkově se ohřívá tepelnou energií z ústředního vytápění či elektřinou (při nedostatku sluneční energie). Objem zásobníku většinou odpovídá ploše kolektorů, aby i v létě akumuloval zachycenou energii a nedošlo k poškození systému. Z hygienických důvodů je žádoucí alespoň jednou týdně ohřát obsah zásobníku na 72 °C, neboť při provozu za nízkých teplot a malém odběru vody se mohou rozmnožit nežádoucí mikroorganizmy.

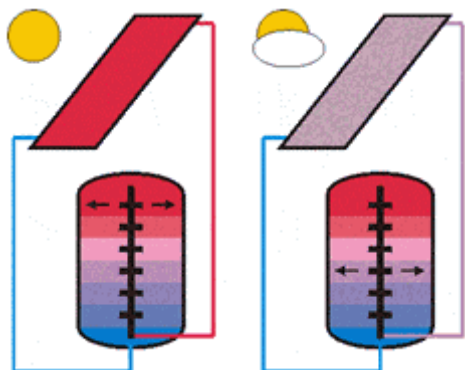
U **koncentračních kolektorů** čelní (**lineární Fresnelovy čočky**) nebo odrazová plocha (**duté zrcadlo**) koncentruje záření na menší absorpční plochu. Dosáhne se tak vyšších teplot a vyšší účinnosti. Obvykle je nutné polohovací zařízení, které natáčí kolektor nebo jeho absorbér za Sluncem.

**Solární zásobník** slouží pro přípravu TUV, doplňkově se ohřívá tepelnou energií z ústředního vytápění a elektřinou (při nedostatku sluneční energie). Objem zásobníku musí odpovídat ploše kolektorů, aby i v létě akumuloval zachycenou energii a nedošlo k poškození systému. Z hygienických důvodů je žádoucí alespoň jednou týdně ohřát obsah zásobníku na 72 °C, neboť při provozu za nízkých teplot a malém odběru vody se mohou rozmnožit nežádoucí mikroorganismy.

**Solární výměník tepla** v zásobníku je umístěn co nejnižší, nad ním je výměník okruhu ústředního vytápění a nejvýše je elektrické topné těleso. Plochy výměníků musí být navrženy s ohledem na materiál, z něhož jsou vyrobeny, na teplotu kapaliny v solárním okruhu a dále na průtok a objem zásobníku.

**Potrubí** by mělo být co nejkratší s kvalitní tepelnou izolací, navržené na odpovídající požadovaný průtok, teplotu a tlak teplotnosné kapaliny v solárním okruhu. Nejčastěji se používá měď, nedoporučují se plasty. **Oběhové čerpadlo** zajišťuje cirkulaci teplotnosné kapaliny. **Armatury** zabezpečují správnou funkci z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti včetně kontroly a regulace (manometr, teploměr, zpětný ventil). Vyrovnání tlaku vlivem značného kolísání teploty zajišťuje **expanzní nádoba**, jejíž konstrukce a umístění musí odpovídat předpokládané maximální teplotě, objemu a tepelné roztažnosti teplotnosné kapaliny. Jako ochrana proti extrémnímu zvýšení tlaku při výpadku elektřiny se instaluje pojistný ventil. **Automatická regulace** zabezpečuje řízení a optimální výkon systému, chrání ho před poškozením a umožňuje potřebnou regulaci tepla mezi spotřebiči.

Pro celoroční provoz je jako **teplotnosnou kapalinu** nutné použít nemrznoucí směs, která má mít podobné fyzikální vlastnosti jako voda (kromě bodu tuhnutí). Tomu vyhovují kapaliny na bázi roztoku vody a propylenglykolů s inhibitory koroze například Solaren (Kolekton apod).



Obrázek 3: Princip stratifikace teplot v solárním zásobníku

## 2.5. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

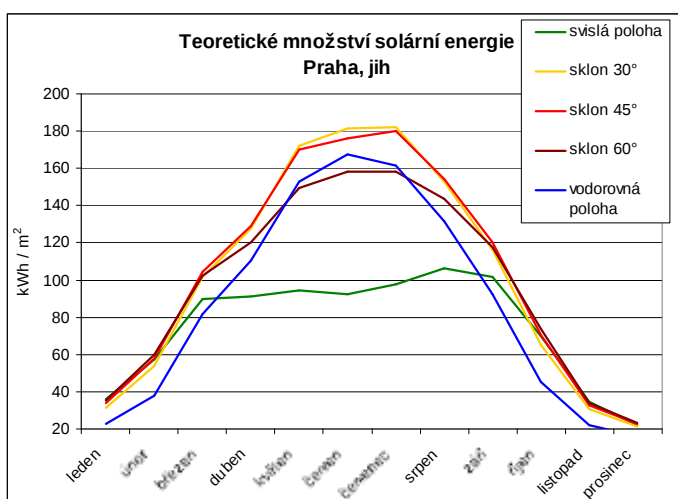
Sluneční systém pracuje nejlépe, pokud je navržen pro skutečné místní podmínky (dimenzování, umístění kolektorů a způsob využití).

Pro dimenzování je důležité znát spotřebu TUV, zda bude ohříván bazén, zda bude požadováno přitápění, způsob napojení na klasický zdroj energie, způsob regulace a další vstupní údaje:

- § počet hodin slunečního svitu a intenzita slunečního záření, která se mění podle znečištění atmosféry (město, venkov, hory),
- § chod ročních venkovních teplot, větru či jiných nepříznivých meteorologických jevů, zejména námrazy, ty určují tepelné ztráty kolektorů,

- § orientace, ideální je na jih (případně s mírným odklonem max.  $\pm 45^\circ$ ), jihozápadní směr je výhodnější, neboť maximum výkonu nastává obvykle kolem 14. hodiny, kdy jsou v důsledku nejvyšší denní teploty nejnižší tepelné ztráty, automatické natáčení kolektorů za Sluncem je neekonomické,
- § sklon slunečních kolektorů, pro celoroční provoz může být  $30^\circ$  až  $60^\circ$  vzhledem k vodorovné rovině, při preferenci výhradně letního provozu  $30^\circ$ , u zimního provozu je výhodnější sklon  $60^\circ$  –  $90^\circ$
- § množství stínících překážek, ideální je celodenní osvit Sluncem, krátkodobé zastínění je přípustné spíše v dopoledních hodinách,
- § délka potrubních rozvodů, má být co nejkratší s kvalitní izolací (minimalizace tepelné ztráty) a dostatečná izolace akumulční nádrže,
- § možnost umístění - únosnost střechy, pokud nedostačuje, nebo není správně orientovaná, lze využít i štitovou stěnu, střechu garáže, přístavku, pergoly,
- § rozložení spotřeby tepla, v ideálním případě kopíruje roční průběh slunečního záření, např. pro instalace jsou vhodnější bytové a rodinné domy, naproti tomu školy se jeví jako problematické, protože v době nejvyššího slunečního svitu bývají většinou nevyužívané (malý odběr teplé vody).

Z výše uvedených parametrů je možné stanovit: množství vyrobené energie z celého systému za rok. Pro podrobnější výpočty existují již počítačové programy, např. firemní programy výrobců slunečních kolektorů.



Obrázek 4: Solární energie – Praha.

Následující tabulka slouží pro orientační dimenzování solárního systému na ohřev TUV se standardními plochými solárními kolektory s konverzní selektivní vrstvou (např. Heliostar, Ekostart Therma apod.).

|                                    |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Počet osob                         | 1   | 2   | 3   | 4   | 6   | 8   | 10  |
| Spotřeba TUV (l/den)               | 82  | 164 | 246 | 328 | 492 | 656 | 820 |
| Zásobník TUV (l)                   | 80  | 160 | 240 | 300 | 500 | 700 | 800 |
| Plocha kolektorů (m <sup>2</sup> ) | 1,6 | 3,2 | 4,8 | 6   | 10  | 14  | 16  |

Tabulka 2: Tabulka pro dimenzování solárního systému.

## 2.6. Přehled zařízení

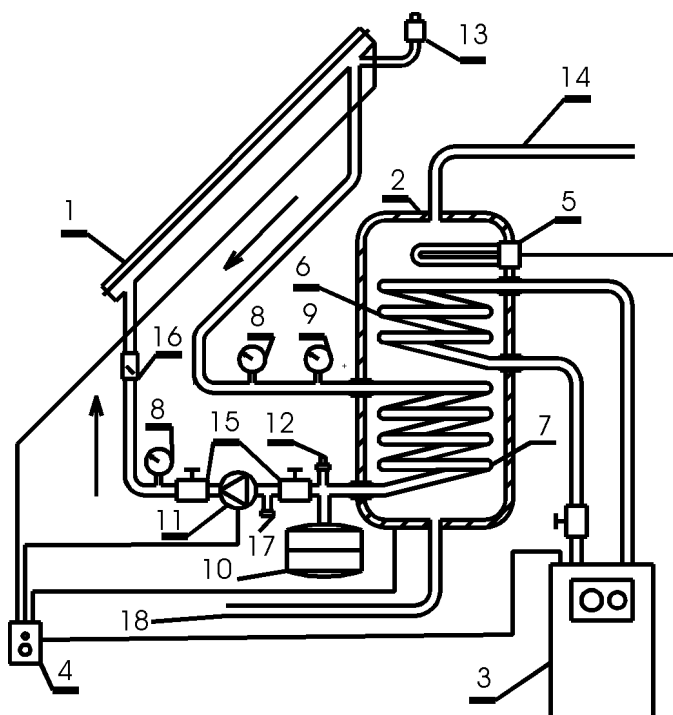
### Podle způsobu oběhu teplotnosné kapaliny:

- a) Solární systémy se samotížným oběhem využívají k oběhu teplotnosné kapaliny gravitace mezi kolektorem a zásobníkem. Kapalina v systému proudí díky rozdílu hustoty mezi ochlazenou a ohřátou teplotnosnou kapalinou. Solární zásobník je nutné umístit výše než kolektory. Nevýhodou je horší regulace průtoku teplotnosné kapaliny kolektorem (nižší účinnost zařízení). Většina moderních kolektorů je navržena na nucený oběh a pro svůj velký hydraulický odpor není k tomuto zapojení vhodná. Výhodou jsou nižší pořizovací náklady, maximální jednoduchost, nezávislost na vnějším zdroji energie, vyšší spolehlivost, nehrozí výpadek čerpadla. Systém samotížného oběhu se využívá u velmi jednoduchých malých solárních systémů určených převážně pro sezónní ohřev.
- b) Solární systémy s nuceným oběhem využívají k oběhu teplotnosné kapaliny oběhové čerpadlo. Výhodou je přesná regulace průtoku teplotnosné kapaliny kolektorem, která umožňuje vyšší účinnost přenosu tepla. Zmenšení průtoku vlivem hydraulických ztrát se nechá částečně kompenzovat změnou otáček čerpadla, snížení průtoku lze docílit škrcením. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, větší složitost, nižší spolehlivost (výpadek čerpadla) a závislost na vnějším zdroji energie.

### Podle počtu okruhů:

- a) Jednookruhové systémy přímo ohřívají vodu bez výměníku tepla. Výhodou je vysoká účinnost přenosu tepla, nižší pořizovací náklady, jednoduchost. Nevýhodou je možnost použití pouze pro sezónní provoz (bazény), nebezpečí tvorby bakterií a řas, při nízkých teplotách hrozí zamrznutí vody. Propojení okruhu spotřeby a výroby tepla komplikuje návrh zejména složitějších systémů. Vlivem používání neupravené vodovodní vody dochází k zanášení a korozi (oxidaci) kolektoru i systému. Používají se výhradně v nejjednodušších zařízeních pro sezónní ohřev vody.
- b) Dvouokruhové systémy pracují s výměníkem tepla a dvěma nezávislými okruhy. První okruh rozvádí ohřátou teplotnosnou kapalinu od kolektorů do výměníku tepla. Druhý přebírá teplo z výměníku a vede jej do místa spotřeby (solární zásobník). Primární okruh bývá napuštěn nemrznoucí směsí. Výhodou je celoroční provoz. Tlakové oddělení okruhů umožňuje velkou variabilitu zapojení s různými průtoky médií. Nevýhodou je horší účinnost v důsledku ztrát ve výměníku tepla, vyšší pořizovací náklady a složitost.

Pro letní ohřev vody (bazén, sprcha) stačí použít jednookruhový systém s jednoduchým absorberem (plastová deska s dutinami pro ohřívanou vodu). Pro celoroční provoz se používá nejčastěji dvouokruhový systém s kolektory, výměníkem a nemrznoucí teplotnosnou kapalinou.



Obrázek 5: Dvouokruhový solární systém s nuceným oběhem.

**Popis součástí:** 1-solární kolektor, 2-solární zásobník (trivalentní), 3-kotel ústředního vytápění, 4-elektronická regulace solárního systému, 5-elektrické topné těleso, 6-výměník tepla okruhu ústředního vytápění, 7-výměník tepla solárního okruhu, 8-teploměry, 9-manometr, 10-expanzní nádrž, 11-oběhové čerpadlo, 12-pojišťovací ventil, 13-odvzdušňovací ventil, 14-výstup teplé vody, 15-uzavírací ventily, 16-zpětná klapka, 17-plnicí kohout, 18-vstup studené vody z vodovodního řadu. Pozice č. 8, 9, 10, 11, 12, 16 spolu s průtokoměrem jsou na solární instalační jednotce.



Obrázek 6: Solární systém v zimě přitápí a v létě ohřívá bazén.



Obrázek 7: Kolektor z vakuových trubíc.



Obrázek 8: Kombinace střešních oken a solárních kolektorů



Obrázek 9: Kolektor integrovaný do střechy a uložený nad střešní krytinou



Obrázek 10: Solární systém na současném rodinném domě.



Obrázek 11: Solární systém jako standardní součást řadové výstavby



Obrázek 12: Jižní orientaci nelze vždy dodržet.



Obrázek 13: Kolektory nemusí být vždycky na střeše.

### 3. Energie Slunce – výroba elektřiny

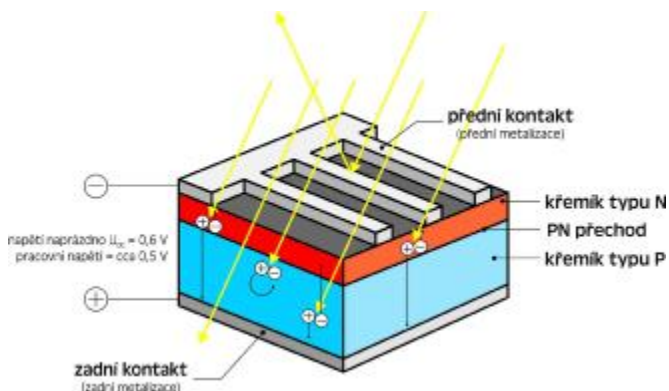
Téměř veškerá energie, kterou na Zemi máme, pochází ze Slunce. Na území ČR dopadne za rok asi milionkrát více energie, než je roční spotřeba elektřiny. Sluneční záření lze neefektivněji přeměňovat na teplo, přeměna na elektřinu je dražší. **Přímo** ji lze získávat pomocí fotovoltaických panelů, **nepřímo** pomocí větrných a vodních elektráren nebo tepelných elektráren spalujících biomasu či bioplyn. Existují i zařízení, kde je teplo spalovacího procesu nahrazeno teplem ze speciálních slunečních kolektorů.

#### 3.1. Fotovoltaické panely

Fotovoltaická zařízení představují jednoduchý a elegantní způsob, jak sluneční paprsky přeměnit na elektřinu. Pracují na principu fotoelektrického jevu: částice světla – fotony – dopadají na článek svou energií z něho „vyráží“ elektrony. Polovodičová struktura článku pak uspořádává pohyb elektronů na využitelný stejnosměrný elektrický proud. Se stejnými základními stavebními prvky - solárními články - je možné realizovat aplikace s nepatrným výkonem (napájení kalkulačky) až po velké elektrárny s výkony v MW.

**Solární článek** je polovodičový velkoplošný prvek s alespoň jedním PN přechodem (v podstatě jde o polovodičovou diodu). Na rozhraní materiálů P a N vzniká přechodová vrstva P-N, v níž existuje elektrické pole vysoké intenzity. Toto pole pak uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikající absorpcí světla. Vzniklý elektrický proud odvádějí z článku elektrody.

V ozářeném solárním článku jsou fotony generovány elektricky nabitě částice (pár elektron – díra). Některé elektrony a díry jsou poté separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi „předním“ (-) a „zadním“ (+) kontaktem solárního článku. Zátěží (elektrospotřebičem) připojenou mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jež je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího slunečního záření.



Obrázek 14: Princip činnosti solárního článku.

V současné době jsou nejrozšířenější solární články vyrobené z krystalického křemíku ve formě monokrystalu (účinnost 14 až 17 %) nebo polykrystalu s účinností do (účinnost 12 až 15 %) Levnější články na bázi amorfního křemíku (účinnost 5 až 9%) jsou na ústupu. V laboratořích byly již vyvinuty články s účinností až 28%, nejlepší komerční výrobky mají účinnost 20%.

Protože výkon článků závisí pochopitelně na okamžitém slunečním záření, udává se jejich výkon jako tzv. špičkový, tedy při dopadajícím záření s intenzitou 1000 W/m<sup>2</sup> při definovaném spektru. Článek s účinností 17% má při ploše 1 m<sup>2</sup> špičkový (peak) výkon 170 W<sub>p</sub>.

Energie vložená do výroby fotovoltaických panelů je těmito panely získána zpět v našich podmínkách během 2 - 4 let, přitom předpokládaná životnost je minimálně 20 let.

Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření **fotovoltaický panel**. Články jsou sério-paralelně elektricky spojeny tak, aby bylo dosaženo potřebného napětí a proudu. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost (např. vůči silnému větru, krupobití, mrazu apod.).

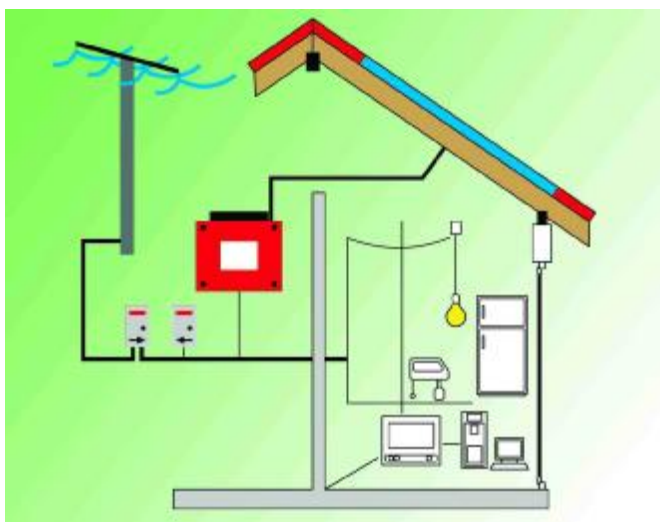
### 3.2. Systémy připojené k síti (grid-on)

Fotovoltaický zdroj elektřiny lze použít pro dodávku do distribuční sítě. U nás zatím pracuje jen několik takových experimentálních zařízení. Častěji se toto zapojení využívá v budovách, kdy fotovoltaika napájí přednostně spotřebiče v domě. Není-li v domě odběr, jsou přebytky prodávány do sítě. Tyto systémy se obejdou bez poměrně nákladných akumulátorů; jako nekonečně velký akumulátor jim slouží síť. Naopak vždy potřebují střídač, který přemění stejnosměrný proud z panelů na střídavý, na který jsou spotřebiče v domácnosti konstruovány. Takto zapojené systémy má u nás již téměř 1000 škol. Byly podpořeny dotací Státního fondu životního prostředí a slouží hlavně k výuce; jejich energetický přínos je mizivý, neboť instalovaná plocha je malá (nejčastěji do 2 m<sup>2</sup>, výkon cca 200 W<sub>p</sub>).



Obrázek 15: Fotovoltaické panely mohou tvořit i střešní krytinu.

Systémy grid-on fungují zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů; je nutné dodržet dané technické parametry. Investiční náklady jsou v rozmezí 23 - 35 000 Kč/m<sup>2</sup>, což zhruba představuje 200 - 350 Kč/W<sub>p</sub>.

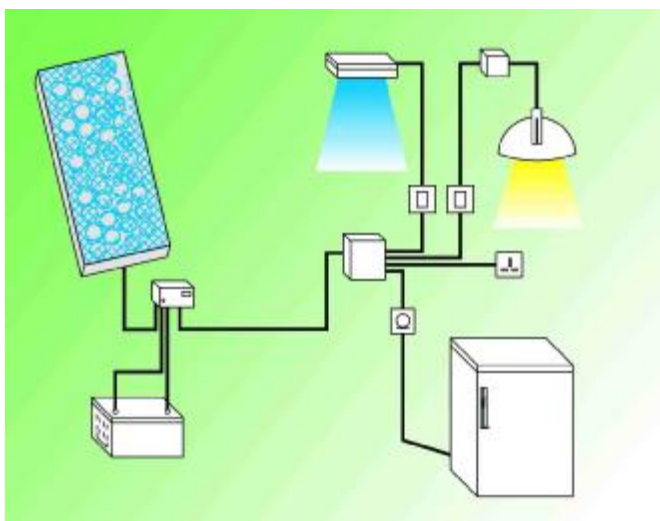


Obrázek 16: Schéma zapojení systému dodávajícímu energii do rozvodné sítě

### 1.1. Samostatné (ostrovní) systémy – grid off

Ve středoevropských podmínkách se častěji využívá fotovoltaika v místech, kde není k dispozici elektrina ze sítě. Tedy v případech, kdy jsou náklady na vybudování a provoz přípojky vyšší než náklady na fotovoltaický systém (cca od vzdálenosti k rozvodné síti více než 500 – 1000 m, vždy nutno potvrdit individuálně). Může to být chata, ale třeba i obytný automobilový přívěs, kde je díky slunečnímu záření komfort elektrického osvětlení, chladničky i dalších spotřebičů. Fotovoltaika také pohání nouzové telefonní budky u dálnic nebo výstražnou dopravní signalizaci. Můžeme narazit i na fotovoltaikou napájené parkovací automaty. Takové zařízení lze kdykoli snadno přemístit, bez nutnosti rozkopávat chodník pro napojení k síti.

U připojených spotřebičů se pak klade důraz na nízkou spotřebu energie – čím menší spotřeba, tím menší a levnější pak je i fotovoltaický systém. Trh nabízí nejrůznější spotřebiče konstruované na stejnosměrný proud, od zářivek, přes chladničky, televize až třeba po vodní čerpadla.



Obrázek 17: Schéma zapojení ostrovního systému

Výkony se pohybují v od 100 W<sub>p</sub> do 10 kW<sub>p</sub> špičkového výkonu. Investiční náklady na ostrovní systémy jsou v rozmezí **30 - 45 000 Kč/m<sup>2</sup>**, což zhruba představuje 270 - 400 Kč/W<sub>p</sub>.

**Systémy s přímým napájením** se používají tam, kde nevadí, že připojené elektrické zařízení je funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče. Například: čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, pohon protislunečních clon nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů – mobilní telefon, svítlna atd.

**Systémy s akumulací elektrické energie** se používají tam, kde potřeba elektřiny nastává i v době bez slunečního záření. Z tohoto důvodu mají tyto ostrovní systémy speciální akumulátorové baterie, konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení; automobilové akumulátory se zde příliš nehodí. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorů je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24V) a běžné síťové spotřebiče 230 V/50 Hz napájené přes napěťový střídač.

Příklad aplikace: zdroj elektrické energie pro chaty a další objekty, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, zahradní svítidla, světelné reklamy, camping a jachting.

**Hybridní ostrovní systémy** se používají tam, kde je nutný celoroční provoz a kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. V zimních měsících je možné získat z

fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné tyto systémy navrhovat i na zimní provoz, což má za následek zvýšení instalovaného výkonu systému a podstatné zvýšení pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativou proto je rozšíření systému **doplňkovým zdrojem elektřiny**, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovým zdrojem může být větrná elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka apod.

Příklad aplikace: rozsáhlejší systémy pro napájení budov s celoročním provozem.

### 3.3. Fotovoltaika v architektuře

Solární panely se nejčastěji umísťují tak, aby byly orientovány na jih, se sklonem 30 až 60°. Tak získávají nejvíce energie. Zařízení, která panely automaticky naklápí a natáčejí za Sluncem, se příliš nepoužívají, protože jsou nákladné. V posledních letech se začínají stále častěji uplatňovat díky novým technologiím.

U větších systémů jsou solární panely z estetických důvodů často integrovány do fasády domu, i když to z energetického hlediska není nejvýhodnější. Architekt může při návrhu využít i to, že křemíkové články lze různě zabarvit.

Při návrhu větších prosklených ploch lze využít fotovoltaické články integrované do skla, takže fungují jako žaluzie. Důvody pro jejich použití však mohou být pouze architektonické, z energetického hlediska jde o nesmysl.



Obrázek 18: Budova s fotovoltaickou fasádou (Wels, Rakousko)



Obrázek 20: Fotovoltaika na kostele (Německo).



Obrázek 19: Fotovoltaické panely v kombinaci s teplovodním systémem tvoří krytinu střechy



Obrázek 21: Fotovoltaické panely na zábradlí balkonu

### 3.4. Kapesní aplikace

Asi nejčastěji se s fotovoltaikou můžeme setkat v kalkulačkách, budících, rádiích a podobné elektronice, která nemá příliš vysokou spotřebu. Pro většinu mobilních telefonů lze pořídit fotovoltaickou dobíječku, která přijde vhod zejména na delších výpravách mimo civilizaci. Fotovoltaické články mohou být nanесeny i na pružné podložce. To využívá „elektrická“ bunda, která díky našité fotovoltaice na ramenou a zádech může napájet walkman nebo dobíjet mobil tomu, kdo ji má na sobě. I když se zdá, že jde jen o hračky, fotovoltaika zde zajímavým způsobem snižuje množství problematického odpadu, který jinak představují alkalické tužkové i jiné baterie.



Obrázek 22: Kapesní nabíječka tužkových akumulátorů

### 3.5. Dotace, výkupní ceny

Na instalaci fotovoltaického systému lze získat dotaci od Státního fondu životního prostředí ([www.sfzp.cz](http://www.sfzp.cz)). Podmínky jsou různé pro různé žadatele a mění se i v čase. Fyzické osoby mohly v roce 2007 získat až 50 % investičních nákladů, maximálně 200 tis. Kč.

Je-li systém připojen k elektrorozvodné síti a dodává do ní proud, lze elektřinu prodávat za státem regulovanou cenu. V roce 2007 to bylo 13,46 Kč/kWh. Ještě výhodnější může být elektřinu spotřebovávat v domě (cena ušetřené elektřiny závisí na tarifu, může být až 4,50 Kč/kWh) a dostávat platbu za tzv. zelené bonusy (v roce 2007 to bylo 12,75Kč/kWh).

### 3.6. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

Fotovoltaický systém pracuje nejlépe, pokud je navržen pro skutečné místní podmínky (dimenzování, umístění solárních článků a způsob využití).

Pro dimenzování je důležité znát účel, uvažovanou spotřebu (výrobu) elektřiny, typ a provozní hodiny připojených spotřebičů, zda bude systém připojen do sítě, či nikoliv, způsob napojení na doplňkový zdroj energie a další vstupní údaje:

- § počet hodin slunečního svitu a intenzita slunečního záření, která se mění podle znečištění atmosféry (město, venkov, hory),
- § orientace - ideální je na jih (případně s automatickým natáčením panelů za Sluncem),
- § sklon panelů - pro celoroční provoz je optimální 45° vzhledem k vodorovné rovině,
- § množství stínících překážek - je nutný celodenní osvit Sluncem.

Z výše uvedených parametrů je možné stanovit: množství vyrobené energie z celého systému za rok. Pro podrobnější výpočty existují již počítačové programy, např. firemní programy výrobců (SOLRTEC a.s).

### 3.7. Přírodní podmínky

Průměrný počet hodin solárního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje kolem 1 460 h/rok (od 1400 do 1700 hodin za rok). Nejmenší počet hodin má severo-západ území. Směrem na jiho-východ počet hodin narůstá. Lokality se od sebe běžně liší v průměru o +/- 10%. V některých ojedinělých případech je odchylka vyšší.

Technický potenciál výroby elektřiny je omezen na plochy, kde lze fotoelektrické systémy instalovat s ohledem na stav sítě, možnosti připojení, atd. Pro odhady se používá hodnota roční sumy globálního záření (průměr pro celou Českou republiku je kolem 1 081 kWh/m<sup>2</sup>).

Jeden m<sup>2</sup> fotovoltaického panelu s monokrystalickými články má špičkový výkon 110 - 120 W<sub>p</sub>. Během roku z něho lze získat 80 až 120 kWh elektrické energie.

| Měsíc            | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11 | 12 | Rok [Wh] |
|------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----------|
| Energie [Wh/den] | 80 | 138 | 213 | 302 | 383 | 390 | 408 | 360 | 265 | 179 | 83 | 60 | 87237    |

*Tabulka 3: Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den], kterou lze získat během jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 W<sub>p</sub> (cca 1 m<sup>2</sup>) dle měsíců.*

Fotovoltaický systém s instalovaným výkonem 1 kW<sub>p</sub> je schopen v podmínkách ČR dodat ročně 800 – 1000 kWh elektrické energie.



*Obrázek 23: Fotovoltaické panely na šikmé a na ploché střeše.*

## Vliv umístění panelů na produkci elektřiny

Skutečná produkce závisí na účinnosti použitých PV modulů a střídače.

### **Pevně umístěné panely**

roční produkce cca 110 kWh/m<sup>2</sup>  
(100%)



### **Panely s natáčením ve dvou osách**

roční produkce cca 150 kWh/m<sup>2</sup>  
(136%)



### **Panely s natáčením kolem jedné osy se zrcadlem**

roční produkce cca 170 kWh/m<sup>2</sup>  
(156%)

*pozn. produkce závisí na ploše  
zrcadla, je-li zrcadlo příliš velké, hrozí  
"spálení" článků*



### **Pevně umístěné panely na fasádě s jižní orientací**

roční produkce cca 75 kWh/m<sup>2</sup>  
(68 %)



## 4. Energie vody

Potenciál vodní energie je v ČR využíván už dávno. Před I. světovou válkou zde bylo několik tisíc elektráren, vesměs v původních pilách a hamrech. Na rozdíl od jiných obnovitelných zdrojů se dá vodní energie dobře a účinně přeměnit na žádanou elektřinu.

Z celkové produkce elektřiny v ČR se ve vodních elektrárnách vyrobí asi jen 2%. Vodní elektrárny představují asi 12 % instalovaného výkonu elektráren v ČR. Většina tohoto výkonu (cca 90 %) připadá na zařízení s výkonem vyšším než 5 MW. V ČR se za **malou vodní elektrárnu** (MVE) považují zařízení s výkonem pod 10 MW, v EU pod 5 MW.

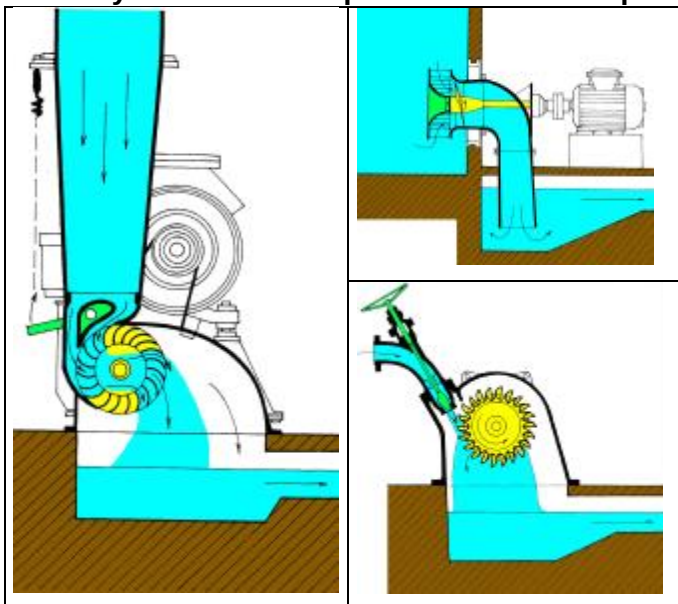
Z energetického hlediska je výhodné, že MVE jsou rozptýleny po celé republice, takže jejich dodávky není nutno přenášet daleko, za cenu ztrát v rozvodech. Případný výpadek některé z nich je z hlediska sítě nevýznamný, na rozdíl od výpadku velkého centrálního zdroje.

### 4.1. Možnosti využití a přírodní podmínky

Energii z vody je možno získat využitím jejího proudění (energie pohybová, kinetická) a jejího tlaku (energie potenciální, tlaková), nebo také obou těchto energií současně. Podle způsobu využívání potom rozlišujeme i používané typy vodních strojů.

**Kinetická energie** je ve vodních tocích dána **rychlostí** proudění; rychlost je závislá na **spádu toku**. Dříve se využívala **vodními koly**, dnes turbínami typu **Bánki a Pelton**.

**Energie potenciální** vzniká v důsledku gravitace, závisí na výškovém rozdílu hladin. Využívá se turbínami typu **Kaplan, Francis, Reiffenstein**, rovněž různé typy **turbín vrtulových** a vhodná **čerpadla v turbínovém provozu**.



Obrázek 24: Typy nejčastěji používaných turbín.

### 4.2. Základní části vodního díla a přehled zařízení

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

**Hráze** se vyznačují obvykle větší výškou vzduť, větším objemem zadržené vody a plochou zaplavovaného území. Jejich nová výstavba pouze za účelem provozování malých vodních elektráren je z ekologických a ekonomických hledisek většinou neúnosná, nicméně využití stávajících hrází může být ekonomicky velmi výhodné. Například u základových výpustí nádrží je nutno mařit energii protékající vody, např. instalací rozstřikovacích uzávěrů, bez

jakéhokoli využití této energie. Přitom tuto funkci může částečně přebrat vodní turbína. Další možností je instalace vodní turbíny na přivaděčích pitné vody.

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

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

**Česle**, zhotovované převážně jako mříž z ocelové pásoviny, zabraňují vnikání vodou unášených nečistot do turbíny. Obvykle jsou před turbínou nejméně dvoje: hrubé a jemné, často s automatickým čištěním.

Ve **strojovně** je umístěno strojní a elektrotechnické zařízení elektrárny. **Stavební částí turbíny** rozumíme takové části vodní elektrárny, které spolu se strojní částí tvoří elektrárnu jako celek (například základy, nebo betonová spirála). Při volbě typu turbíny je nutné zohlednit i rozměry a konstrukci stavební části, neboť dražší strojní vybavení může svojí kompaktností celkové investiční náklady snížit.

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

Typy nejčastěji používaných turbín v závislosti na spádu a průtoku: Kaplan, Francis, Bánki, Pelton, Reiffestein, čerpadlo upravené v turbínovém chodu.

**Vodní kolo** je dnes už historický vodní motor, který může najít uplatnění zejména pro spády do 1 m a průtoky až do několika  $\text{m}^3/\text{s}$ . Výroba je vždy individuální.

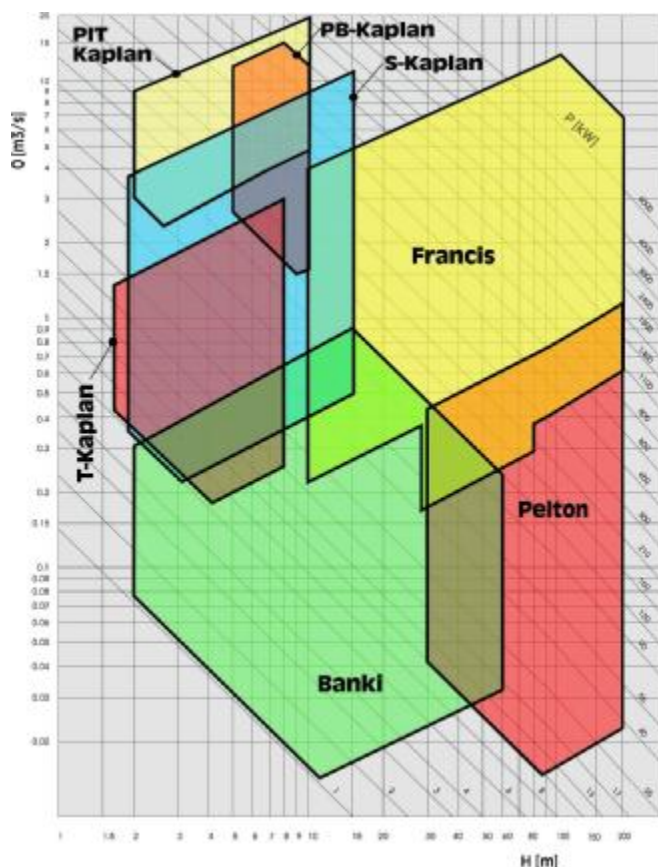
**Kaplanova turbína** je klasická přetlaková turbína v základním provedení výborně regulovatelná, ale výrobně náročná. Dnes ji vyrábí řada firem v České republice s různými úpravami regulace i dispozičním uspořádáním (kolenové či přímoproudé turbíny). Jsou použitelné pro spády od 1 do 20 m, průtoky 0,15 až několik  $\text{m}^3/\text{s}$ , individuálně až několik desítek  $\text{m}^3/\text{s}$ . Je vhodná zejména pro jezové a říční malé vodní elektrárny.

**Francisova turbína** je v minulosti nejpožívanější přetlaková turbína pro téměř celou oblast průtoků a spádů malých vodních elektráren. Při rekonstrukcích je možné vidět Francisovu turbínu již od spádu 0,8 m. Její oprava se vyplácí zejména do spádu 3 m. Instalace nových turbín v MVE se dnes omezuje na spády od 10 m a pro větší průtoky (vyšší výkony).

**Bánkiho turbína** je rovnotlaká turbína s dvojnásobným průtokem oběžného kola, výrobně nenáročná. Turbíny jsou podle velikosti použitelné pro spády 5 až 60 m a průtoky 0,01 až 0,9  $\text{m}^3/\text{s}$ .

**Peltonova turbína** je rovnotlaká turbína vhodná pro spády nad 30 m. Využitelné průtoky jsou od 0,01  $\text{m}^3/\text{s}$  (10 l/s). Levnější náhradou mohou být v některých případech sériově vyráběná odstředivá čerpadla v reverzním chodu.

**Turbína SETUR** pracuje na principu rotoru, který se odvaluje po vnitřním povrchu statoru. Lze ji využít pro spády od 3,5 do 20 m a průtoky od 0,004  $\text{m}^3/\text{s}$  (4 l/s) do 0,02  $\text{m}^3/\text{s}$ .



Obrázek 25: Základní charakteristika turbín podle průtoku a spádu.

### 4.3. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

Výstavba velkých vodních elektráren přináší výrazný zásah do životního prostředí (přehradní hráze, zatopené oblasti). Potenciál pro jejich stavbu už je u nás v zásadě vyčerpán. Naproti tomu MVE lze stále stavět, zejména v místech bývalých mlýnů, hamrů a pil. Zbytky bývalého vodního díla (odtokový kanál, jez apod.) mohou výrazně snížit náklady na výstavbu. Díky technologii tzv. mikroturbín lze využít i toky s velmi malým energetickým potenciálem, nebo i vodovodní zařízení. Další cestou je instalace moderních a účinnějších turbín a soustrojí ve stávajících MVE. Leckdy zde totiž fungují stroje staré 100 let. To sice svědčí o fortelnosti předků, ale moderní technologie by umožnily využít vodní potenciál efektivněji.

Rozhodujícími ukazateli k ohodnocení konkrétní lokality (pro využití hydro-energetického potenciálu) jsou dva základní parametry - **využitelný spád** a **průtočné množství vody** v daném profilu, který chceme využít. Kromě toho jsou důležité i následující údaje:

- § možnost umístění **vhodné technologie**,
- § vhodné **geologické podmínky** a **dostupnost** lokality pro těžké mechanismy, případně vhodnost pro vybudování potřebné zpevněné komunikace,
- § **vzdálenost od přípojky** Vn nebo VVn s dostatečnou kapacitou,
- § minimalizace možného rušení obyvatel hlukem, jinak je nutno provést **odhlučnění**,
- § míra **zásahu do okolní přírody** a **vhodné začlenění** do reliéfu lokality, předepsáno stavebním úřadem či urbanistou, zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním přípojky,
- § **dodržování odběru** sjednaného množství vody – využitím spolehlivých automatik v souvislosti s hladinovou regulací se vyloučí nevhodný vliv obsluhy MVE,

- § způsob odstraňování **naplavenin** vytažených z vody – je nutno zajistit odvoz a likvidaci z vody vytažených naplavenin, v žádném případě je nelze vracet do toku,
- § **majetkoprávní vztahy** ohledně pozemku, postoj místních úřadů, vlastnictví či dlouhodobý pronájem pozemků.

Při dodržení všech uvedených aspektů nemůže MVE svým provozem narušit životní prostředí v lokalitě, naopak přispívá k revitalizaci místního říčního systému a kladně ovlivňuje režim vodního toku (čistí a provzdušňuje tok). Případné nedodržování odběru, které se projevuje tím, že přes jez neprotéká dostatečné množství vody, by mělo být přísně postihováno.

#### 4.3.1. Spád

**Spád** je výškový rozdíl vodních hladin. V praxi se většinou rozlišují dva druhy spádů:

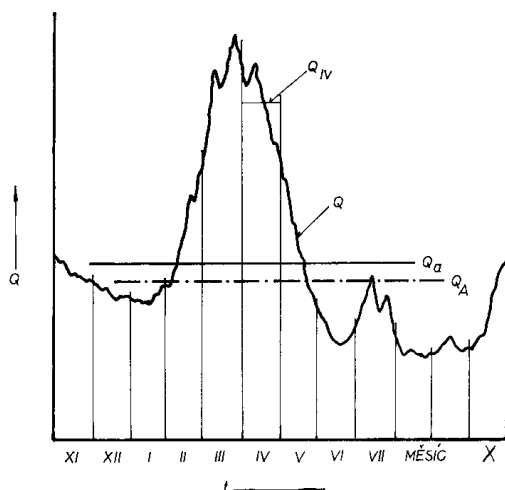
- **hrubý (celkový) spád  $H_b$**  (brutto) je celkový statický spád daný rozdílem hladin **při nulovém průtoku** vodní elektrárnou. Pro velmi hrubé odhady jej lze stanovit z mapy. Spád lze stanovit výškovou nivelací na úseku od vtokového objektu (nad jezem), po úroveň spodní hladiny na odpadu z turbíny. Pro relativně přesný odhad postačí lať s centimetrovým dělením. Přesné měření, zejména u delších přivaděčů, lze objednat u specialisty.
- **užitný (čistý) spád  $H$**  (netto), se liší od hrubého spádu odečtením hydraulických ztrát těsně před vodním motorem a za ním (v přivaděči a odpadu) vzhledem ke vzduťi spodní vody, poklesu hladiny horní vody při provozu, změnami směru a objemovými ztrátami (v česlích, v přivaděčím kanálu, v potrubí, atp.). Tím získáme spád pro turbínu užitečný.

#### 4.3.2. Průtok

**Průtok** je průtočné množství vody v daném využitelném profilu. Přesný průtok lze zjistit za úplatu u Českého hydrometeorologického ústavu nebo příslušné správy toku, jako tzv. **dlouhodobý průměrný průtok  $Q_a$ , N-leté průtoky** a **M-denní průtoky**. Pro využití energie vody jsou nejdůležitější M-denní průtoky (**křivka překročení průtoků v průměrně vodném roce** neboli **M-denní odtoková závislost**). Ty udávají průtok zaručený v daném profilu toku po určitý počet dní. Data se uvádějí číselně v obvyklém členění po 30 dnech v roce.

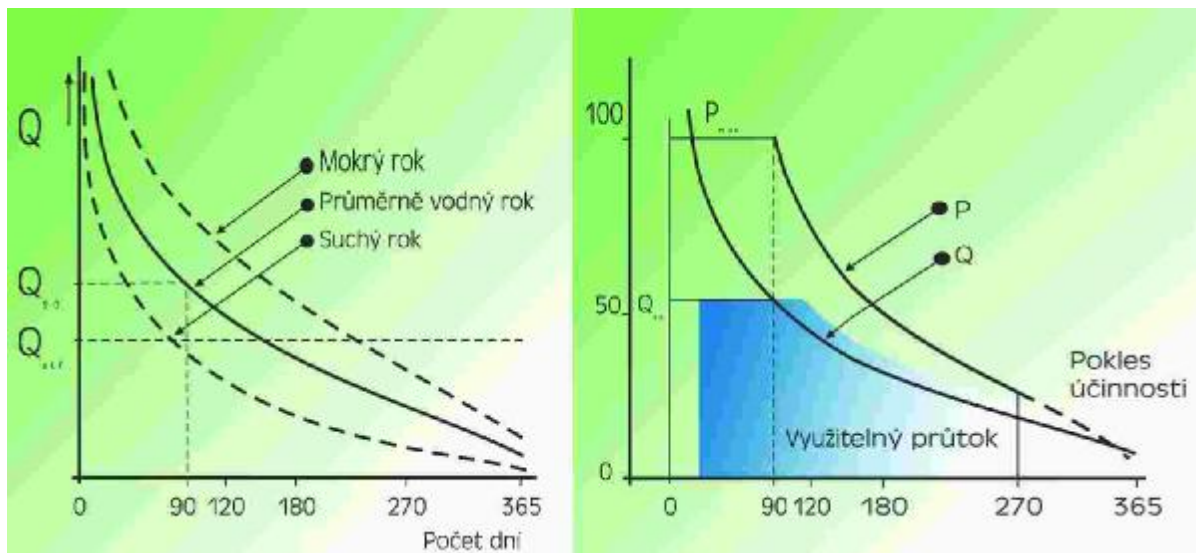
| M [dní]       | 30  | 60  | 90  | 120 | 150 | 180  | 210  | 240 | 270 | 300 | 330  | 355  | 364  |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Q [ $m^3/s$ ] | 2,7 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,85 | 0,75 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,34 | 0,25 | 0,18 |

Tabulka 4: Příklad M-denní průtokové závislosti.



Obrázek 26: Průběh průtoku v roce a průměrný roční a měsíční průtok.

MVE se obvykle dimenzují na 90-ti denní až 180-ti denní průměrný průtok, což ovlivňuje technická úroveň technologie, zejména schopnost turbíny přizpůsobit se regulací změnám průtoku. Pro výpočet využitelného průtoku v elektrárně je potřeba počítat s **minimálním hygienickým** (sanitárním, sanačním) **průtokem** původním korytem. Sanační množství bývá předepsáno při vodoprávním řízení a odpovídá obvykle 330, 355 nebo 364 dennímu průtoku vody, který je nutno ponechat v řečišti a nelze s ním kalkulovat pro využití.



Obrázek 27: Roční odtoková závislost a výkon dosažený v průběhu roku.

#### 4.3.3. Hodnocení lokality

Pro předběžný odhad dosažitelného výkonu MVE lze použít zjednodušený vztah, kde je výkon uveden již v kW, protože ve vztahu je již brán zřetel na měrnou hmotnost vody, která je 1000 kg/m<sup>3</sup>:

$$P = k \cdot Q \cdot H$$

kde:

$P$  je výkon [kW]

$Q$  je průtočné množství vody, průměrný průtok [m<sup>3</sup>/s]

$H$  je spád využitelný turbínou v [m]

$k$  je konstanta uváděná v rozsahu 5 - 7 pro malé vodní elektrárny, 8 - 8,5 pro střední a velké; její velikost ovlivňuje účinnost soustrojí a technická úroveň použité technologie

Výroba elektřiny ve vodní elektrárně potom bude:

$$E = P \cdot T$$

kde:

$E$  je množství vyrobené energie během roku [kWh]

$P$  je výkon [kW]

$T$  je počet provozních hodin během roku [h]

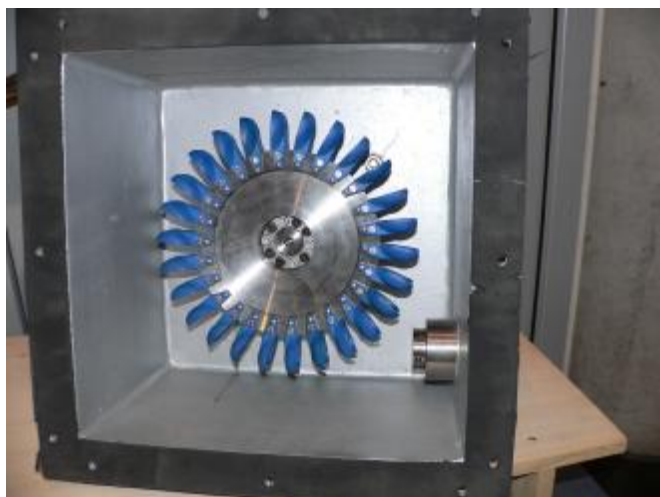
Počet provozních hodin během roku se stanoví podle počtu dní  $M$ , ve kterých může turbína se zvoleným regulačním rozsahem pracovat (alespoň 4000 h).

#### 4.4. Mikroturbíny

Vzhledem k tomu, že většina výhodných lokalit je již obsazena, soustřeďuje se pozornost na místa, kde instalace MVE dosud nebyla technicky možná nebo ekonomicky výhodná. Pro velmi nízké spády (do 2 m) s velkým průtokem je na VUT v Brně vyvíjena tzv. vírová turbína, což je modifikace Kaplanovy turbíny. Komerčně dostupná je řada mikroturbín Cink s výkony 5 až 20 kW, které jsou schopny zpracovat malé spády i průtoky a mohou fungovat i v tzv. ostrovním provozu. Nahrazují tak např. dieselagregáty na odlehlých místech. Vzhledem k používaným malým průtokům lze vodu k turbíně přivádět třeba požární hadicí. Podobně lze pro nepatrné průtoky (do 20 l/s) použít mikroturbínu Setur, s výkonem do 1 kW.



Obrázek 28: Malá vodní elektrárna.



Obrázek 29: Kolo Peltonovy turbíny pro MVE.



Obrázek 30: Tlakový přivaděč před rekonstrukcí.



*Obrázek 31: Turbína s generátorem na přivaděči v úpravně pitné vody nahradí škrticí armatury.*



*Obrázek 32: Mnoho MVE pracuje se starou technologií, což sřižuje účinnst.*

## 5. Energie větru

Větrná energie je jedna z forem, do níž se transformuje sluneční záření, neustále dopadající na naši planetu. **Vítr** je proudění vzduchu, které vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře. Pokud není uvedeno jinak rozumí se (i v odborné literatuře) pod pojmem vítr pouze horizontální složka proudění vzduchu.

Větrná energie je v centru pozornosti hlavně proto, že se dá snadno transformovat na cennou a žádanou elektřinu - na rozdíl třeba od energie biomasy. Využívání větru tak může napomoci splnění národního cíle – produkovat v roce 2010 z obnovitelných zdrojů 8 % spotřeby elektřiny.

| EU celkem 34 205 MW |       |                        |           |
|---------------------|-------|------------------------|-----------|
| Německo             | 16629 | Polsko                 | 63        |
| Španělsko           | 8263  | Lucembursko            | 35        |
| Dánsko              | 3117  | Lotyšsko               | 26        |
| Itálie              | 1125  | Turecko                | 20        |
| Nizozemsko          | 1078  | <b>Česká republika</b> | <b>17</b> |
| Velká Británie      | 888   | Švýcarsko              | 9         |
| Rakousko            | 606   | Litva                  | 7         |
| Portugalsko         | 522   | Estonsko               | 6         |
| Řecko               | 465   | Chorvatsko             | 6         |
| Švédsko             | 442   | Maďarsko               | 6         |
| Francie             | 386   | Slovensko              | 5         |
| Irsko               | 339   | Kypr                   | 2         |
| Norsko              | 160   | Bulharsko              | 1         |
| Belgie              | 95    | Rumunsko               | 1         |
| Finsko              | 82    |                        |           |

Tabulka 5: Instalovaný výkon větrných elektráren koncem roku 2007 v evropských zemích (zdroj: EWEA)

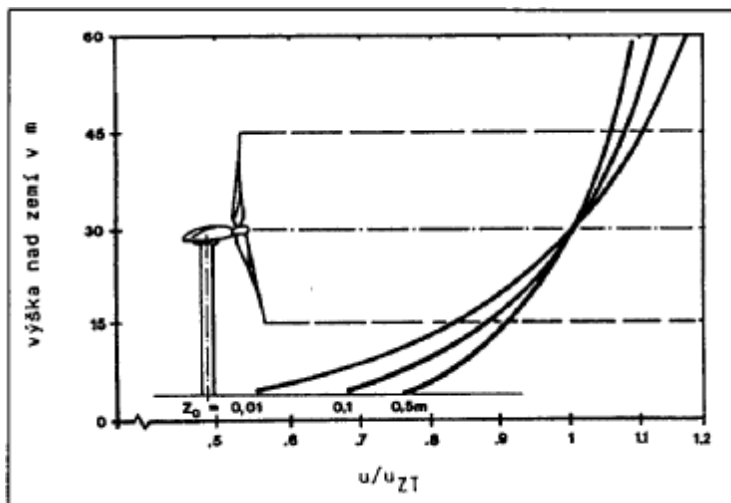
### 5.1. Přírodní podmínky

Česká republika je vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, který se projevuje významným sezónním kolísáním rychlostí větru. Příčinou je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu.

**Rychlost větru** je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru, udává se převážně v m/s. Poblíž zemského povrchu je proudění vzduchu ovlivňováno drsností povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Je tedy velký rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad terénem. Vítr je nad terénem různě zpomalován, zejména terénními překážkami - stavbami, kopci, dále také druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sněh...).

Proudění vzduchu je vždy **turbulentní**, což se projevuje kolísáním rychlosti a směru větru. Výsledky měření směru a rychlosti větru jsou proto průměrované za určitý časový interval, tzv. **vzorkovací dobu**. Měření rychlosti větru se provádí **anemometry** (mechanické, elektronické).

V nejjednodušším přiblížení je možno vertikální profil rychlosti větru přiblížit následujícím příkladem.



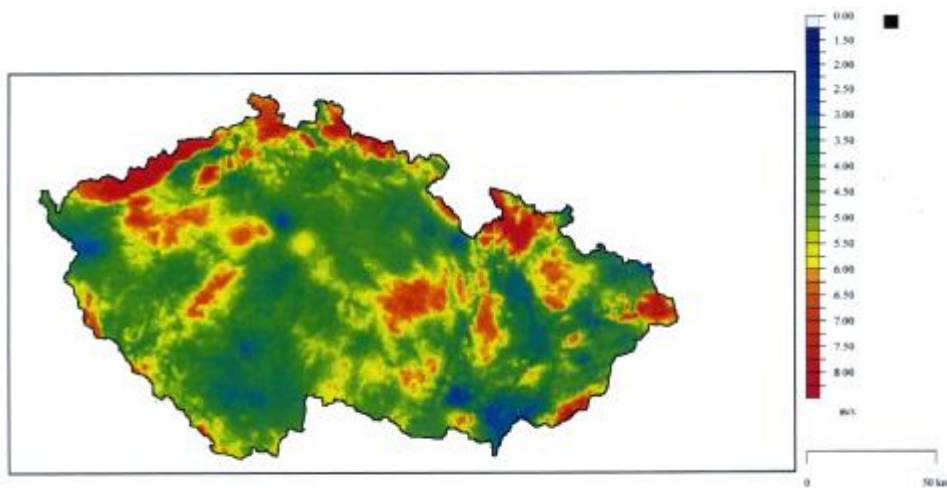
Obrázek 33: Schématické vertikální profily rychlosti větru v přízemní vrstvě při různých parametrech drsnosti. (Zdroj časopis Větrná energie).

Pro měření rychlosti větru existují mezinárodní standardy. Pro rychlost a směr větru je to výška 10 m nad zemským povrchem (pokud ji není možno dodržet, jsou údaje dohodnutým způsobem přepočítávány na tuto výšku).

Bohužel jednotlivé metody nejsou plně srovnatelné, na některých stanovištích jsou mezi naměřenými hodnotami kontinuálním měřením a vypočtenými průměrnými rychlostmi při měření v klimatických termínech rozdíly 10 - 20%.

Pro **velmi hrubou představu** jsou běžně dostupná měření na meteorologických stanicích. Měření rychlostí a směru větru se spolu s jinými klimatickými faktory provádí v ČR síť cca 200 meteorologických stanicích ČHMÚ, včetně stanic **synoptických a klimatologických**. Výsledky měření jsou odborně kontrolovány, archivovány a jsou k dispozici za úhradu buď ve formě nezpracovaných dat nebo ve formě výsledků analýzy těchto dat prováděných pro různé účely.

Pro základní výpočet průměrných ročních rychlostí větru vznikl v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR počítačový program VAS. Umožňuje výpočet rychlosti větru na libovolném místě v ČR, který je prováděn interpolací údajů meteorologických stanic a z numerického modelu proudění nad naším územím. Umožňuje teoretické rozlišení pro oblast velikosti 2 x 2 km. Údaje z tohoto programu mohou sloužit jako základní informace při rozhodování o umístění větrné elektrárny.



Obrázek 34: Větrný atlas České republiky, zdroj ÚFA AV ČR.

Jsou-li nepřímě získané údaje o rychlosti větru příznivé, je nutné provést měření rychlosti větru přímo v dané lokalitě. Měření by mělo trvat alespoň rok, měřící přístroj by měl být v ideálním případě umístěn ve výšce osy budoucího rotoru elektrárny (vrtule).

## 5.2. Možnosti využití

Dříve využívaná přímá přeměna energie větru na **mechanickou práci** (větrné mlýny), se dnes už téměř v Evropě nevyužívá. V rozvojových zemích a na pastvinách v USA se vítr používá pro čerpání vody.

Dnes se z větru získává zejména **elektrina**. Velká zařízení dodávají elektřinu do sítě, drobná zařízení slouží pro zásobování odlehklých objektů nepřípojených k síti, malé VE se používají na lodích pro dobíjení baterií apod.

### 5.2.1. Autonomní systémy

**Systémy nezávislé na rozvodné síti** (grid-off), **autonomní systémy** slouží objektům, které nemají možnost se připojit k rozvodné síti. Zde se obvykle používají **mikroelektrárny** s výkonem od 0,1 do 5 kW. Součástí autonomního systému jsou i akumulátory a řídicí elektronika. V objektu pak může být buď rozvod stejnosměrného proudu s nízkým napětím (12 nebo 24 V), nebo je v systému zapojen ještě střídač pro dodávku střídavého proudu 200 V. Podle toho je nutno objekt vybavit energeticky úspornými spotřebiči. Autonomní systémy bývají doplněny fotovoltaickými panely pro léto, kdy je méně větru ale více sluníčka.

Pro větší výkony se používají větrné elektrárny se synchronními generátory.

Náklady na větrnou elektrárnu a další prvky systému jsou poměrně vysoké, takže v místech, kde je dostupná relativně levná elektřina ze sítě, ztrácí jejich využití obvykle opodstatnění.

Některé vlastníky rodinných domů či rekreačních objektů, kteří uvažují o energetické soběstačnosti pro osvětlení, vaření i vytápění láká myšlenka vlastní elektrárny s výkonem do 50 kW. Ve skutečnosti je však využití těchto elektráren ekonomicky nevýhodné, neboť investiční náklady jsou poměrně vysoké. Obytné objekty obvykle stojí v místech, kde jsou velmi špatné větrné podmínky, a kvůli hluku zde nelze postavit VE.

### 5.2.2. Systémy připojené k síti

**Systémy dodávající energii do rozvodné sítě** (grid-on) jsou nejrozšířenější a používají se v oblastech s velkým větrným potenciálem, slouží téměř výhradně pro komerční výrobu elektřiny.

Trendem je výstavba stále větších strojů (průměr rotoru 40 až 80 m a věž o výšce více než 80 metrů). Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a maximální využití lokalit, kterých je omezený počet. Ve vnitrozemí se staví stroje s výkonem 100 až 2000 kW. Na moři (poblíž pobřeží) se však staví stroje s výkonem až 5 MW. Naopak starší vnitrozemské elektrárny s výkony do 200 kW se demontují a nahrazují silnějšími stroji, i když jsou ještě provozuschopné. Nabízí se pak k vývozu i do ČR.

Tyto velké elektrárny mají asynchronní generátor, který dodává střídavý proud většinou o napětí 660 V, a tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Existují i elektrárny se speciálním mnohapolovým generátorem, který nevyžaduje převodovou skříň. Většina elektráren má konstantní otáčky.

Moderní větrné elektrárny mají rozběhovou rychlost větru kolem 4 m/s. Pro zvýšení výroby jsou některé elektrárny vybaveny dvěma generátory (nebo jedním s dvojnásobným vinutím). Při nízké rychlosti větru běží menší generátor, při vyšší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Startovací rychlost pro snížený výkon je potom kolem 2,5 m/s.

K zefektivnění provozu a snížení nákladů na projektování a výstavbu se velké elektrárny sdružují do skupin (obvykle 5 až 30 elektráren) tzv. větrných farem.

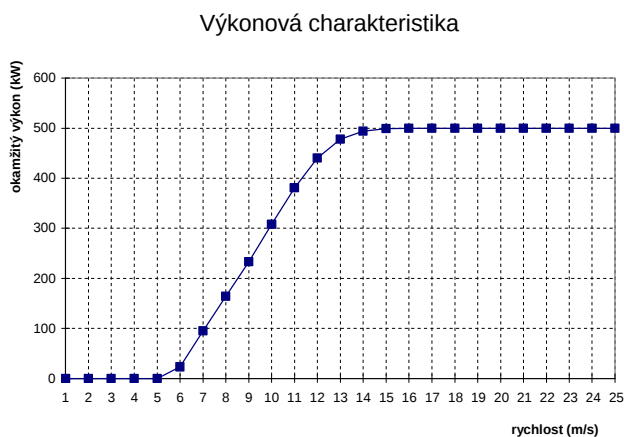
### 5.3. Technické řešení

Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na **vztlakové** a **odporové**. Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s **vodorovnou osou otáčení**, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel (tzv. **americký větrný motor**). Po experimentech s jedno-, dvou- i čtyřlístými rotory již všechny velké moderní elektrárny používají třílísté rotory.

Existují také elektrárny se **svislou osou otáčení**, některé pracující na **odporovém principu** (typ Savonius, jako misky anemometru) nebo na **vztlakovém principu** (typ Darrieus). Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na vztlakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti, není je třeba natáčet do směru převládajícího směru větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem, tj. i menší rychlost větru. V praxi se téměř nepoužívají.

### 5.4. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

V případě vnitrozemských oblastí, tedy v podmínkách ČR, jsou příhodné lokality převážně ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 500 m n. m. V nižších nadmořských výškách je roční průměrná rychlost větru nízká (kolem 2 až 4 m/s). **Rychlost větru** je naprosto zásadní parametr, neboť energie větru roste se třetí mocninou rychlosti. Při zdvojnásobení rychlosti větru (např. ze 4 m/s na 8 m/s) vzroste jeho energie osmkrát. Je zřejmé, že i malá odchylka v rychlosti větru se výrazně projeví na množství získané elektřiny.



Obrázek 35: Výkonová charakteristika větrné elektrárny s výkonem 500 kW.

K ohodnocení konkrétní lokality je nejvhodnější stanovení **distribuční charakteristiky**, což je rozdělení četnosti rychlostí větru zjištěné **kontinuálním měřením rychlosti** ve výšce osy rotoru. Ideální je alespoň roční měření porovnané s dlouhodobými údaji na blízkých meteorologických stanicích. Jednotlivé roky se od sebe mohou značně lišit. Před rozhodnutím o stavbě elektrárny je tedy třeba znát následující vstupní údaje:

- **měřené průměrné rychlosti větru včetně četnosti směru**, ideálně roční měření
- množství a parametry **překážek**, které způsobují turbulenci a brání laminárnímu proudění větru (porosty, stromy, stavby, budovy),
- chod ročních venkovních teplot či jiných nepříznivých **meteorologických jevů** (např. námrazy způsobují odstávky),

- **nadmořská výška** (hustota vzduchu),
- možnost **umístění** vhodné technologie:
  - únosnost podloží, kvalita podkladu a seismická situace, **geologické podmínky** pro základy elektrárny,
  - **dostupnost lokality** pro těžké mechanismy, možnosti pro vybudování potřebné zpevněné komunikace,
  - **vzdálenost od přípojky** VN nebo VVN s dostatečnou kapacitou,
  - **vzdálenost od obydlí**, která by měla být dostatečná kvůli minimalizaci možného rušení obyvatel hlukem (nejvyšší přípustná hladina hluku ve venkovním prostoru na obytném území je ve dne 50 dB a v noci 40 dB).
  - **míra zásahu do okolní přírody** - zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním elektrické přípojky, zásah do vzhledu krajiny (umístění lokality v CHKO velmi komplikuje povolovací řízení),
  - **majetkoprávní vztahy** k pozemku, postoj místních úřadů, občanů, vlastnictví či dlouhodobý pronájem pozemků.

Pro vlastní stavbu elektrárny je nutno získat v první řadě územní rozhodnutí a následně stavební povolení. Někdy je kvůli tomu nutno změnit územní plán příslušné obce či území. Stavební úřad bude v souladu se zákonem vyžadovat stanoviska různých dotčených orgánů státní správy, zejména státní ochrany přírody, ale třeba i Armády ČR. Mimoto je nutno vyřešit i jiné problémy:

- Pokud přípojka elektrárny k síti nepovede pouze po pozemcích investora, je třeba získat svolení pro instalaci a vedení po všech soukromých či veřejných pozemcích (ev. zřídit věčná břemena k těmto pozemkům)
- Zpracování studie vlivu na životní prostředí (EIA). Elektrárna nesmí mít negativní dopad na své okolí. Jako každé strojní zařízení vydává i větrná elektrárna mechanický (převodovka) a aerodynamický hluk způsobený obtékáním listů elektrárny. Přestože je snížení hluku věnována v konstrukci moderních elektráren velká pozornost, může nevhodně umístěná elektrárna působit nepříjemnosti.

Malé větrné elektrárny jsou rychloběžné (mají vysoké otáčky rotoru) a proto jsou poměrně hlučné. Umístění této elektrárny přímo na zahradě, může narušit dobré sousedské vztahy

Chceme-li dodávat elektřinu do sítě, je třeba mimo jiné:

- Získat licenci k výrobě elektřiny (případně k přenosu) podle energetického zákona 458/2000 Sb.
- Splnit technické podmínky pro připojení k síti a získat souhlas příslušného provozovatele distribuční soustavy (veřejné sítě).

Řešení většiny těchto problémů je časově a administrativně náročné.

## 5.5. Větrné elektrárny a životní prostředí

I když jsou větrné elektrárny často symbolem ekologické výroby elektřiny, jsou jim někdy vytýkána i negativa. Obvykle neprávem; současné elektrárny jsou mnohem modernější, než byly před deseti lety.

**Hluk** současných strojů je poměrně nízký, navíc jsou elektrárny stavěny v dostatečné vzdálenosti od obydlí. Hluková studie bývá součástí dokumentace nutné ke stavebnímu povolení. U existujících strojů lze provést měření a na jeho základě případně omezit jejich provoz.

**Stroboskopický efekt** (vrhání pohyblivých stínů, je-li Slunce nízko nad obzorem) není v praxi závažný, zejména právě kvůli vzdálenosti strojů od lidských obydlí. Podobně i **odraz slunce** na lopatkách je díky matným nátěrům již minulostí.

**Rušení zvířet** podle praktických zkušeností nenastává. Dokladem jsou ovce a krávy, ale i divoká zvířata pasoucí se v těsné blízkosti elektráren. Podle některých studií se v okolí elektráren zvýšil i počet hnízdicích ptáků. Vysvětluje se to jednak tím, že elektrárny jsou dobrým orientačním bodem v krajině a jednak tím, že rotory mohou rušit dravé ptáky. Podobně se nepotvrdilo ani to, že by rotující listy zabíjely proletující ptáky. Ke kolizím dochází, ale poměrně vzácně, zejména v noci a za mlhy. Výjimkou byly případy, kdy elektrárna stála např. v místě tahu migrujících ptáků.

**Rušení televizního signálu** může nastat. Závisí na pozici televizního vysílače, elektrárny a domů, které mají anténu. Týká se opět jen blízkého okolí elektrárny. Díky tomu, že v ČR je většina lokalit daleko od osídlení, jde o problém spíše teoretický.

**Narušení krajinného rázu** je nejspíše nejproblematictější. Někomu se elektrárny líbí, někomu ne. V české krajině, kde lze jen s obtížemi najít panorama nerušené stožáry elektrického vedení, představují větrné elektrárny další, nezvyklý prvek. Paradoxně se u nich někdy dostává do konfliktu požadavek státní ochrany přírody na „nenápadnost“ elektrárny s požadavkem bezpečnosti leteckého provozu na umístění zábleskového zařízení na vrchol stožáru kvůli viditelnosti. Trend stavět stále větší stroje vede k tomu, že elektráren může být méně, ale současně budou více vidět. Elektrárny však mohou také pomoci snížit počet různých stožárů v krajině. Na stožár jedné elektrárny lze umístit několik různých telekomunikačních zařízení (zejména vysílače mobilních telefonů), které bohužel často mají každý svůj vlastní stožár. Díky umístění ve větší výšce mohou pak vysílače pokrýt větší území.



Obrázek 36: Elektrárna 2 MW na Šumavě (Rakousko)



Obrázek 37: Montáž rotoru 600 kW v Jeseníkách



*Obrázek 38: Malá elektrárna pro osvětlení jako reklamní poutač (Olomouc)*



*Obrázek 39: Elektrárny zásobující českou polární stanici v Antarktidě (foto Kamil Láška)*



*Obrázek 40: Farma větrných elektráren (jižní Morava)*

## 6. Energie biomasy

Biomasa vzniká díky dopadající sluneční energii. Jde o hmotu **organického původu**. Pro energetické účely se využívá buď cíleně pěstovaných rostlin nebo odpadů ze zemědělské, potravinářské nebo lesní produkce.

Biomasu můžeme rozlišit podle obsahu vody:

**suchá** - zejména dřevo a dřevní odpady, ale také sláma a další odpady. Lze ji spalovat přímo, případně po mírném vysušení.

**mokrá** - zejména tekuté odpady – kejda a další odpady. Nelze ji spalovat přímo, využívá se zejména v bioplynových technologiích.

**speciální biomasa** – olejiny, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek – zejména bionaftu nebo lihu.

### 6.1. Přírodní podmínky

V přírodních podmínkách ČR lze využívat biomasu v následujících kategoriích:

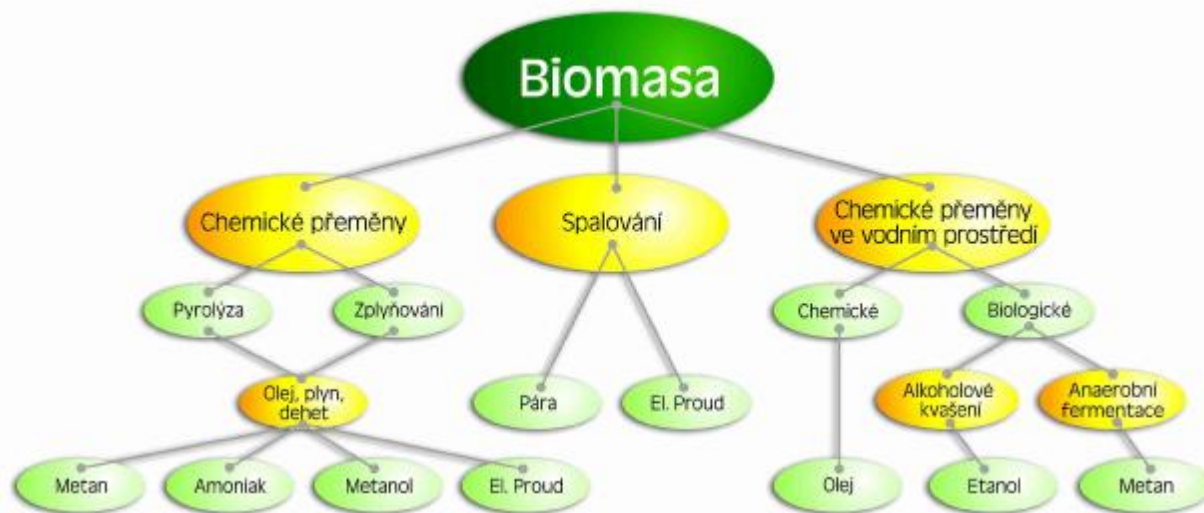
#### Biomasa odpadní:

- **Rostlinné odpady** ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny - řepková a kukuřičná sláma, obilná sláma, seno, zbytky po likvidaci křovin a náletových dřevin, odpady ze sadů a vinic, odpady z údržby zeleně a travnatých ploch.
- **Lesní odpady** (dendromasa) - po těžbě dříví zůstává v lese určitá část stromové hmoty nevyužita (pařezy, kořeny, kůra, vršky stromů, větve, šišky a dendromasa z prvních probírek a prořezávek).
- **Organické odpady z průmyslových výrob** - spalitelné odpady z dřevařských provozoven (odřezky, piliny, hobliny, kůra), odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce (cukrovary), odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren.
- Odpady ze **živočišné výroby** - hnůj, kejda, zbytky krmiv, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.
- **Komunální organické odpady** - kaly, organický tuhý komunální odpad (TKO).

| Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům, energetické plodiny: |                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Lignocelulóznové                                                        | Dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty)                                            |
|                                                                         | Obiloviny (celé rostliny)                                                      |
|                                                                         | Travní porosty (sloní tráva, chrastice, trvalé travní porosty)                 |
|                                                                         | Ostatní rostliny (konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka) |
| Olejnate                                                                | Řepka olejná, slunečnice, len, dýně na semeno                                  |
| Škrobo-cukernaté                                                        | Brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice     |

Tabulka 6: Energetické plodiny.

## 6.2. Možnosti využití a přehled technologií



Obrázek 41: Možnosti využití biomasy.

Z energetického hlediska lze energii z biomasy získávat téměř výhradně termochemickou přeměnou, tedy **spalováním**. Výhřevnost je dána množstvím tzv. **hořlaviny** (organická část bez vody a popelovin, směs hořlavých uhlovodíků - celulózy, hemicelulózy a ligninu). Biomasa je podle druhu spalována přímo, nebo jsou spalovány kapalné či plynné produkty jejího zpracování. Od toho se odvíjejí základní technologie zpracování a přípravy ke spalování:

|                             |                                                                      |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| termo-chemická přeměna      | pyrolýza (produkce plynu, oleje)                                     |
|                             | zplyňování (produkce plynu)                                          |
| bio-chemická přeměna        | fermentace, alkoholové kvašení (produkce etanolu)                    |
|                             | anaerobní vyhnívání, metanové kvašení (produkce bioplynu)            |
| mechanicko-chemická přeměna | lisování olejů (produkce kapalných paliv, oleje)                     |
|                             | esterifikace surových bio-olejů (výroba bionafty a přírodních maziv) |
|                             | štipání, drcení, lisování, peletace, mletí (výroba pevných paliv)    |

Tabulka 7: Přeměny biomasy.

### 6.2.1. Přímé spalování a zplyňování

**Spalování** - suchá biomasa je velmi složité palivo, protože podíl částí zplyňovaných při spalování je velmi vysoký. Vzniklé plyny mají různé spalovací teploty. Proto se také stává, že ve skutečnosti hoří jenom část paliva, zejména při pálení dřeva v kotlích na uhlí.

**Dřevoplyn** - ze suché biomasy se působením vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky, tzv. **dřevoplyn**. Jestliže je přítomen vzduch, dojde k hoření, tj. jde o **prosté spalování**. Pokud jde o zahřívání bez přístupu vzduchu, odvádí se vzniklý dřevoplyn do spalovacího prostoru, kde se spaluje obdobně jako jiná plynná paliva. Část vzniklého tepla je použita na zplyňování další biomasy. Výhodou je snadná regulace výkonu, nižší emise, vyšší účinnost.



Obrázek 42: Interiérová kamna na dřevo.



Obrázek 43: Zpracování odpadní biomasy štěpkováním.

### 6.2.2. Vliv vlhkosti na výhřevnost biomasy

**Výhřevnost dřeva** je srovnatelná s **hnědým uhlím**. U rostlinných paliv však kolísá podle druhu a vlhkosti, na kterou jsou tato paliva citlivá. Čerstvě vytěžené dřevo má relativní vlhkost až 60 %, dobře proschlé dřevo na vzduchu má relativní vlhkost cca 20 %; pod střechou sníží svůj obsah vody na 20 % za půl až jeden rok. Dřevěné brikety mohou mít relativní vlhkost od 3 do 10 %, podle kvality lisování.

Pro spalování štěpek je optimální vlhkost 30 - 35 %. Při vlhkosti nižší má hoření explozivní charakter a mnoho energie uniká s kouřovými plyny. Při vyšší vlhkosti se mnoho energie spotřebuje na její vypaření a spalování je nedokonalé. Pro spalování dřeva lze doporučit vlhkost cca 20 %.

|      | Název                                                               | Přepočet               | Význam                                                                                                                                                                        |
|------|---------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| plm  | plnometr = m <sup>3</sup>                                           |                        | krychle o hraně 1 m vyplněná dřevem bez mezer, 1 m <sup>3</sup> skutečné dřevní hmoty („bez děr“)                                                                             |
| prm  | prostorový metr = m <sup>3</sup> p. o. (tedy „prostorového objemu“) | 1 prm = 0,6 až 0,7 plm | krychle o hraně 1 m vyplněná částečně dřevem s mezerami, čili 1 m <sup>3</sup> složeného dřeva štípaného nebo neštípaného („s dírami“), např. dřevo v lese složené do „metrů“ |
| prms | prostorový metr sypaný                                              | 1 prms = cca 0,4 plm   | 1 m <sup>3</sup> volně loženého sypaného (nezhutřovaného) drobného nebo drceného dřeva                                                                                        |

Tabulka 8: Jednotky a termíny pro objemové značení dřevní hmoty. V praxi používaný výraz „kubík“ většinou znamená plm.



Obrázek 45: Automatický kotel na peletky.

Obrázek 44: Hořák kotle na peletky ( lze vmontovat i do starších kotlů na jiné palivo).

| Druh paliva      | Obsah vody<br>[%] | Výhřevnost<br>[MJ/kg] | Měrné hmotnosti  |          |           |
|------------------|-------------------|-----------------------|------------------|----------|-----------|
|                  |                   |                       | [kg/m³]=[kg/plm] | [kg/prm] | [kg/prms] |
| Listnaté dřevo   | 15                | 14,605                | 678              | 475      | 278       |
| Jehličnaté dřevo | 15                | 15,584                | 486              | 340      | 199       |
| borovice         | 20                | 18,4                  | 517              | 362      | 212       |
| vrba             | 20                | 16,9                  |                  |          |           |
| olše             | 20                | 16,7                  |                  |          |           |
| habr             | 20                | 16,7                  |                  |          |           |
| akát             | 20                | 16,3                  |                  |          |           |
| dub              | 20                | 15,9                  | 685              | 480      | 281       |
| jedle            | 20                | 15,9                  |                  |          |           |
| jasan            | 20                | 15,7                  |                  |          |           |
| buk              | 20                | 15,5                  | 670              | 469      | 275       |
| smrk             | 20                | 15,3                  | 455              | 319      | 187       |
| bříza            | 20                | 15,0                  |                  |          |           |
| modřín           | 20                | 15,0                  |                  |          |           |
| topol            | 20                | 12,9                  |                  |          |           |
| Dřevní štěpka    | 30                | 12,18                 |                  |          | 210       |
| Sláma obilovin   | 10                | 15,49                 |                  | 120      | (balíky)  |
| Sláma kukuřice   | 10                | 14,40                 |                  | 100      | (balíky)  |
| Lněné stonky     | 10                | 16,90                 |                  | 140      | (balíky)  |
| Sláma řepky      | 10                | 16,00                 |                  | 100      | (balíky)  |

Tabulka 9: Výhřevnost biomasy.

### 6.2.3. Bio-chemická přeměna

**Bioetanol** - Fermentací roztoků cukrů je možné vyprodukovat etanol (ethylalkohol). Vhodnými materiály jsou cukrová řepa, obilí, kukuřice, ovoce nebo brambory. Cukry mohou být vyrobeny i ze zeleniny nebo celulózy. Teoreticky lze z 1 kg cukru získat 0,65 l čistého etanolu. V praxi je však energetická výtěžnost 90 až 95 %. Fermentace cukrů může probíhat pouze v mokřém (na vodu bohatém) prostředí. Vzniklý alkohol je nakonec oddělen destilací a je vysoce hodnotným kapalným palivem pro spalovací motory. Jeho přednostmi jsou ekologická čistota a antidetonační vlastnosti. Nedostatkem etanolu jako paliva je schopnost vázat vodu a působit korozi motoru, což lze odstranit přidáním antikoročních přípravků.

V USA probíhají výzkumy výroby etanolu z celulózy pomocí speciálně vyšlechtěných mikroorganismů. Etanol lze pak získat i ze dřeva, slámy nebo sena. Výroba je však energeticky náročná.

V ČR existuje program, kdy se etanol z obilí a brambor bude přimíchávat do běžných automobilových benzínů. Tím se sníží závislost na fosilních palivech.

**Skládkové plyny** – na skládkách TKO dochází ke složitým biologickým pochodům, důsledkem je tvorba skládkového plynu. Složení plynu se mění v průběhu let. Průměrné množství TKO na jednoho obyvatele na rok je asi 310 kg. Z toho množství je přibližně 35 % organického původu a z něhož lze odhadovat přibližnou produkci 0,3 m<sup>3</sup>/kg.

**Bioplyn** - Při rozkladu organických látek (hnůj, zelené rostliny, kal z čističek) v uzavřených nádržích bez přístupu kyslíku vzniká bioplyn. Tento proces, kdy se organická hmota štěpí na anorganické látky a plyn, vzniká díky bakteriím pracujícím bez přístupu kyslíku (anaerobně). Rozkládání víceméně odpovídá procesům probíhajícím v přírodě s tím rozdílem, že v přírodě probíhají i za přítomnosti kyslíku (aerobní procesy). Proto jsou meziproducty těchto procesů odlišné a také chemické složení konečných produktů se liší. Zbytky vyhnívacího procesu jsou vysoce hodnotným hnojivem nebo kompostem.

Bioplyn obsahuje cca 55 - 70 % objemových procent **metanu**, výhřevnost se proto pohybuje od 19,6 do 25,1 MJ/m<sup>3</sup>. V zemědělství se v největší míře využívá **kejda** (tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat promísené s vodou), případně **slamnatý hnůj**, v menší míře sláma, zbytky travin, stonky kukuřice, bramborová nat' (obtížnější zpracování). Bioplynový potenciál v hnoji závisí na obsahu sušiny a na složení a strávení potravy.

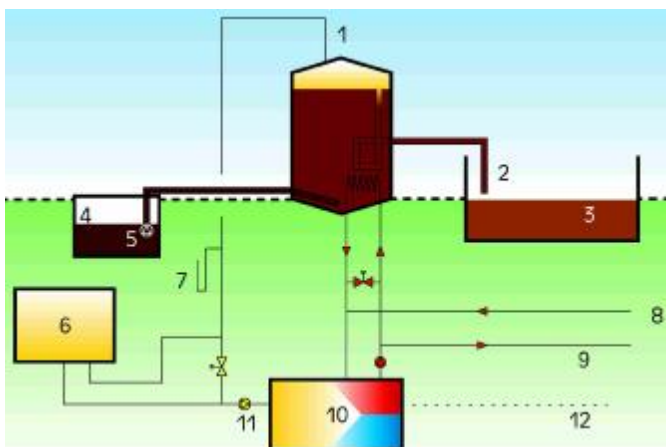
V bioplynové stanici se biomasa zahřívá na provozní teplotu ve vzduchotěsném **reaktoru**, kde zůstává pevně stanovenou **dobu zdržení** (většinou experimentálně ověřenou). Optimální teplotní pásma jsou vázána na různé kmeny bakterií:

| Bakterie              | Teplota fermentovaného materiálu [°C] |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Bakterie psychrofilní | 15 - 20                               |
| Bakterie mezofilní    | 37 - 43                               |
| Bakterie termofilní   | 55                                    |

Tabulka 10: Optimální teplotní pásma anaerobních bakterií.



Obrázek 46.:Kontinuální systém na zpracování kejdy v Dánsku.



Obrázek 47: Schéma bioplynové stanice, kontinuální systém.

Popis zařízení: 1 - odvod bioplynu, 2 - přepad kalu, 3 - zásobník odplyněné kejdy, 4 - nová sběrná nádrž, 5 - kalové čerpadlo, 6 - plynojem, 7 - vodní uzávěr, 8 - připojení ke stávajícímu dálkovému vytápění, 9 - teplo z kogenerační jednotky, 10 - kogenerační jednotka, 11 - dmychadlo, 12 - elektřina z kogenerační jednotky

#### 6.2.4. Mechanicko-chemická přeměna

**Bionafta** - Z řepkového semene se lisuje olej, který se působením katalyzátoru a vysoké teploty mění na **metylester řepkového oleje**, jenž je použitelný jako bionafta. Nazývá se "bionafta první generace". Protože výroba metylesteru je dražší než běžná motorová nafta, mísí se s některými lehkými ropnými produkty, nebo s lineárními alfa-olefiny, aby jeho cena mohla konkurovat běžné motorové naftě. Tyto produkty se nazývají "bionafty druhé generace", musí obsahovat alespoň 30 % metylesteru řepkového oleje, zachovávají si svou biologickou odbouratelnost a svými vlastnostmi, jako je např. výhřevnost, se více přibližují běžné motorové naftě. Jejich výroba se řídí ČSN 656507, která pojednává o výrobě biopaliv. Motory musí být pro spalování bionafty přizpůsobeny (např. pryžové prvky).

### 6.3. Pěstování biomasy pro energetické účely

Druh energetické plodiny je určován mnoha faktory: **druhem půd**, způsobem **využití a účelem**, možností sklizně a dopravy, druhovou skladbou v okolí. Předem se musí porovnat náklady na pěstování a na výrobu (spotřebu energie) a výnosu (zisku) energie.

Z bylin jsou zajímavé rostliny produkující cukr, škrob nebo olej. Například brambory, cukrová řepa, slunečnice a zejména řepka (řepkový olej se zpracovává na naftu a mazadla, řepková sláma se použije ke spálení). **Řepková sláma** má vyšší výhřevnost 15 - 17,5 GJ/t oproti obilné slámě, u které počítáme s výhřevností 14,0 – 14,4 GJ/t.

Z víceletých rostlin je známá **křídlatka sachalinská** (Reynoutria sachalinensis Nakai), která dosahuje vysokých výnosů 30 - 40 t sušiny z ha. Velmi diskutovanou energetickou rostlinou je **sloní tráva** (Miscanthus sinensis). Výhodné je pěstování **konopí setého** (Cannabis sativa L.), neboť nevyžaduje žádné ošetření v průběhu vegetace. V Evropě dosahuje výšky až 4 m a výnosu hmoty 6 - 15 t suché hmoty z ha. Konopí je jednoletá rostlina, ale na stanovišti vydrží, pokud se vysemeří, mnoho let (odtud např. Konopiště).

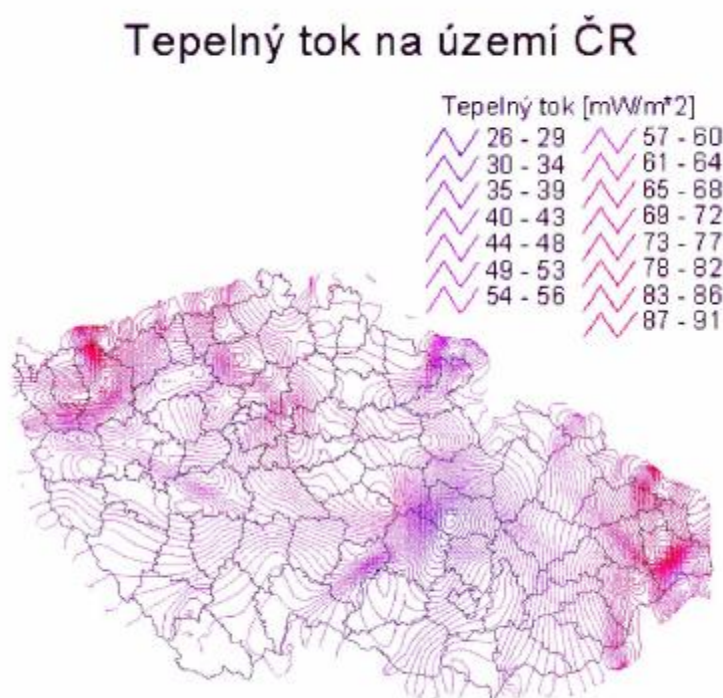
| Plodina/termín                                      | Výhřevnost | Vlhkost | Výnos [t/ha] |       |      |
|-----------------------------------------------------|------------|---------|--------------|-------|------|
|                                                     |            |         | min.         | prům. | opt. |
|                                                     | [MJ/kg]    | [%]     |              |       |      |
| Sláma obilovin (VII-X)                              | 14         | 15      | 3            | 4     | 5    |
| Sláma řepka (VII)                                   | 13,5       | 17-18   | 4            | 5     | 6    |
| Energetická fytomasa – orná půda (X-XI)             | 14,5       | 18      | 15           | 20    | 25   |
| Rychlerostoucí dřeviny – zem. půda (XII-II)         | 12         | 25-30   | 8            | 10    | 12   |
| Energetické seno - zem. půda (VI;IX)                | 12         | 15      | 2            | 5     | 8    |
| Energetické seno - horské louky (VI;IX)             | 12         | 15      | 2            | 3     | 4    |
| Rychlerostoucí dřeviny – antropogenní půda (XII-II) | 12         | 25-30   | 8            | 10    | 12   |
| Jednoleté rostliny – antropogenní půda (X-XI)       | 14,5       | 18      | 15           | 17,5  | 20   |
| Energetické rostliny – antropogenní půda (X-XII)    | 15         | 18      | 15           | 20    | 25   |

Tabulka 11: Orientační klíčová čísla pro výhřevnost, výnosy, dobu sklizně a sklizňovou vlhkost energetické fytomasy. (Zdroj: VÚRV)

Nejvhodnější **rychle rostoucí dřeviny (RRD)** jsou platany, topoly (černý, balzamový), pajasany (žláznatý), akáty, olše a zejména **vrby**, které jsou vhodné hlavně pro hydromorfní půdy podél vodotečí, kde lze uplatnit i domácí **topol černý**. Obmýtní doba je 2 až 8 vegetačních období, životnost plantáže je 15 - 20 let. Speciální vyšlechtěné klony mají výtěžnost až 15 -18 t sušiny na ha, v našich podmínkách se dosahuje roční výtěžnosti 10 t/ha. Je třeba respektovat zákon 114/92 Sb. o ochraně přírody a krajiny (cizí rostliny a dřeviny).

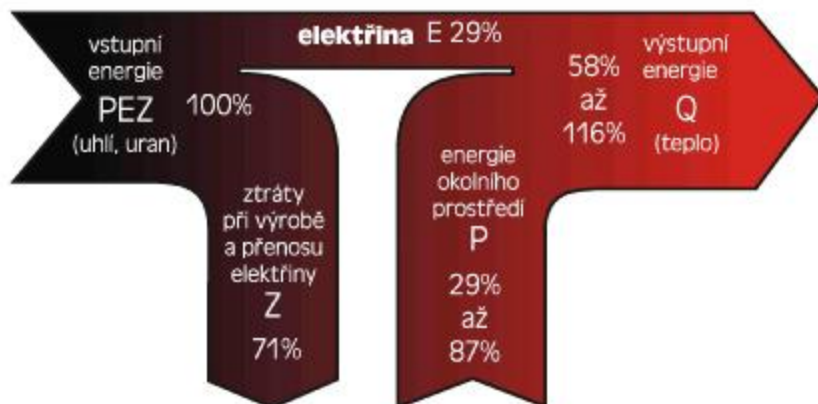
## 7. Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla

Prostředí, které nás obklopuje (vzduch, voda, půda) má obvykle příliš nízkou teplotu, než abychom ji mohli přímo využít třeba pro vytápění domů. Výjimkou jsou geotermální prameny, nejznámější na Islandu. Teplo okolního prostředí však můžeme využívat pomocí **tepelných čerpadel** (TČ). Princip je znám již dlouho a léta se využívá v chladnicích a dalších chladicích zařízeních. Chladnička odebírá teplo potravinám a předává ho do místnosti svojí zadní stěnou (černou mřížkou). Podobně tepelná čerpadla odebírají teplo půdě, vodě nebo okolnímu vzduchu. Abychom toto teplo mohli použít pro vytápění, převádějí ho na **vyšší teplotní hladinu** (např. teplo z půdy o teplotě 8 °C převádějí na teplo pro topnou vodu 50°C). Podobně jako vodní čerpadlo přečerpává vodu z nižší hladiny na vyšší, tepelné čerpadlo převádí **teplo o nízké teplotě na teplotu vyšší**.



Obrázek 48: Izolinie tepelného toku na území ČR. (Zdroj: Geomédia, s r.o.)

### 7.1. Toky energií



Obrázek 49: Toky energií pro elektrické tepelné čerpadlo.

## 7.2. Topný faktor

Velmi důležitým parametrem TČ je topný faktor. Vyjadřuje poměr dodaného tepla k množství spotřebované energie.

$$\varepsilon = Q/E$$

Q = teplo dodané do vytápění [kWh]

E = energie pro pohon TČ [kWh]

Topný faktor různých TČ je od 2 do 5. Závisí na vstupní a výstupní teplotě, typu kompresoru a dalších faktorech. Dodavatelé obvykle udávají topný faktor při různých teplotách vstupního a výstupního média.

Pozor: Při výpočtu topného faktoru se někdy nezapočítává spotřeba oběhových čerpadel (resp. ventilátorů), která jsou nutná pro provoz TČ. Skutečný topný faktor se pak může od údajů z prospektu výrazně lišit.

Topný faktor pro kompresorové TČ lze stanovit také podle z rozdílu mezi teplotou kondenzační a vypařovací. Přibližný vztah pro výpočet topného faktoru kompresorového TČ:

$$e_T = k \cdot \frac{T_k}{T_k - T_0}$$

kde:

$T_k$  je teplota kondenzační (topného systému) [K]

$T_0$  je teplota vypařovací (teplota zdroje) [K]

k je korekční součinitel respektující skutečný oběh;  $k = (0,4 \div 0,6)$

Pro dosažení minimální spotřeby pohonné energie a dosažení vysoké hodnoty topného faktoru, je zapotřebí:

- **Teplota zdroje** nízkopotenciálního tepla má být **co nejvyšší**, nesmí však přesáhnout maximální teplotu povolenou výrobcem pro daný typ tepelného čerpadla. Jeho vydatnost musí být dostatečná a ochlazení teplonosné látky ve výparníku přiměřené, aby teplota vypařovací nemusela být zbytečně nízká. Kromě snížení topného faktoru pak může dojít k ohrožení funkce, např. zamrznutím zdrojové vody.
- Používání tepelného čerpadla je výhodné v kombinaci s **nízkoteplotním vytápěcím systémem** (podlahové vytápění). Čím menší rozdíl hladin teplot musí tepelné čerpadlo překonávat, tím méně energie spotřebuje (maximální pracovní teplota na výstupu TČ je cca 55 °C).

Topný faktor během roku kolísá v závislosti na vstupní a výstupní teplotě tepelného čerpadla. **Průměrný roční topný faktor** je poměr **celoroční spotřeby energie** a **celoroční výroby tepla** a používá se pro vyhodnocení provozu. Běžně tepelná čerpadla dodají za ideálních podmínek třikrát až čtyřikrát více tepla, než spotřebují elektřiny.

## 7.3. Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo

**Okolní vzduch** – Je k dispozici všude, vzduchová TČ jsou investičně méně náročná. Vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně budovy. Protože ve vzduchu je tepla

poměrně málo, musí výměníkem procházet velké objemy vzduchu. Je tedy nutný výkonný ventilátor. Ten je zdrojem určitého hluku, proto je potřeba volit umístění výměníku pečlivě, aby hluk neobtěžoval obyvatele domu ani sousedy. Venkovní část by neměla být ani v místech, kde se mohou tvořit „kapsy“ studeného vzduchu. Vzduchová TČ jsou schopná pracovat i když je venku cca  $-12^{\circ}\text{C}$ , poté je nutné zapnout další, tzv. bivalentní zdroj. Při nízkých teplotách se na venkovním výměníku tvoří námraza. Energie spotřebovaná na její odtávání může výrazně zhoršit celkový topný faktor a tím zvýšit provozní náklady.

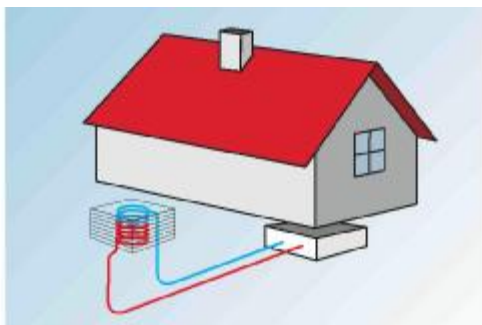
**Odpadní vzduch** - Ochladuje se vzduch odváděný větracím systémem objektu, který má vždy relativně vysokou teplotu ( $18$  až  $24^{\circ}\text{C}$ ). Tepelné čerpadlo může pracovat efektivně i za podmínek, kdy běžně užívané systémy zpětného získávání tepla (rekuperace) nelze použít. Teplo může být použito pro topnou vodu ústředního topení, nebo výhodněji pro ohřev vzduchu, je-li vytápění objektu teplovzdušné. Nevýhodou je, že větracího vzduchu je k dispozici jen omezené množství, takže bývá potřeba výkonnější bivalentní zdroj. Na trhu jsou tepelná čerpadla s integrovanými ventilátory, která lze použít jako centrální větrací jednotku domu.

**Povrchová voda** – Voda v toku nebo rybníku se může ochlazovat tepelným výměníkem umístěným buď přímo ve vodě, nebo zapuštěným do břehu vždy tak, aby nehrozilo zamrznutí. Podmínkou je vhodné umístění objektu, nejlépe přímo na břehu. Teoreticky je také možné vodu přivádět potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou vypouštět zpět. Je zde ale mnoho technických i administrativních překážek. Tím je použití v praxi omezeno téměř na nulu.

**Podzemní voda** - Voda se odebírá ze sací studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování. Ochlazenou vodu lze za určitých podmínek vypouštět i do potoka nebo jiné vodoteče. Zdroj podzemní vody však musí být dostatečně vydatný (přibližně  $15 - 25$  l/min pro TČ s výkonem  $10$  kW). Vhodných lokalit je velmi málo, takže toto řešení se v praxi příliš nepoužívá.

**Z půdy** - Půda se ochladuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí a uloženého do výkopu (půdní kolektor). Půdní kolektor se umísťuje poblíž objektu v nezamrzlé hloubce. Trubky půdního kolektoru se mohou ukládat na souvisle odkrytou plochu, nejméně  $0,6$  m od sebe. Velikost takovéto plochy je asi trojnásobkem plochy vytápěné. Je také možné ukládat potrubí ve tvaru uzavřených smyček do výkopů kolektoru, rýhy o hloubce cca  $2$  m a šířce cca  $0,9$  m. Na  $1$  kW výkonu tepelného čerpadla je pak potřeba  $5$  až  $8$  metrů délky výkopu. Je třeba počítat s tím, že půdní kolektor okolní zeminu ochladí, takže se zde např. bude v zimě déle držet sníh. Pokud má být teplo odebíráno celoročně (v létě pro ohřev bazénu), je potřeba půdní kolektor o větší ploše. Je-li TČ využíváno pro letní chlazení, lze půdní kolektor „dobíjet“ odpadním teplem.

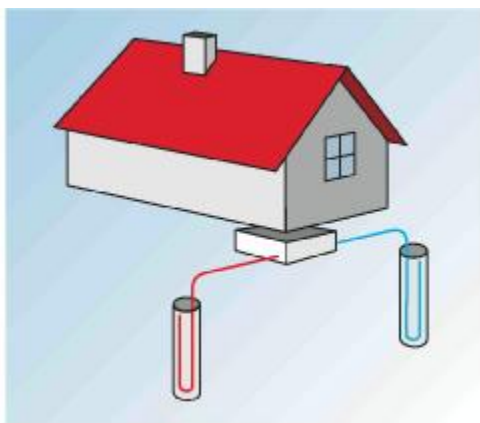
**Z hlubinných vrtů** – Využívá se teplo hornin v podloží. Vrtů hluboké až  $150$  m se umísťují v blízkosti stavby, nejméně  $10$  m od sebe. Je možno umístit vrt i pod stavbou, zvláště jde-li o novostavbu. Na  $1$  kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba  $12$  až  $18$  m hloubky vrtu, podle geologických podmínek. Vrtů nelze provádět kdekoli, je vhodné zajistit si hydrologický průzkum, aby nedošlo k narušení hydrologických poměrů. Výhodou je celoročně stálá teplota zdroje (cca  $8^{\circ}\text{C}$ ), takže TČ pracuje efektivně.



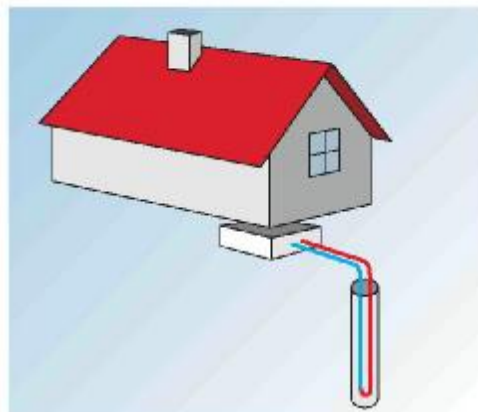
Obrázek 50: Tepelné čerpadlo vzduch/voda, vzduch se ohlazuje ve výměníku umístěném vně budovy.



Obrázek 51: Tepelné čerpadlo vzduch/voda, ochlazuje se vzduch odváděný větracím systémem.



Obrázek 52: Ochlazováním vody čerpané z hluboké (sací) studny, kde je teplota stálá, získáme velmi vyrovnaný a účinný zdroj tepla. Ochlazená voda se vypouští do druhé (vsakovací) studny



Obrázek 53: Tepelné čerpadlo nemrznoucí kapalina/voda; výměník naplněný nemrznoucí směsí ochlazuje půdu ve vrtu nebo ve výkopu, případně vodu ve vodním toku nebo v rybníku

## 7.4. Přehled systémů

V současnosti se pro vytápění rodinných domků používají téměř výhradně TČ s kompresorem, který je poháněn elektromotorem. Kompresor lze pohánět i jakýmkoli jiným motorem (např. motorem na zemní plyn). Pro relativně malé výkony, potřebné v rodinných domcích, jsou elektrická TČ nejvýhodnější. Elektromotor je levný a palivo – elektřina ve zvláštním tarifu – rovněž.

- **TČ s pístovými kompresory** – jsou levnější, mají horší topný faktor a jsou mírně hlučnější. Životnost pístového kompresoru je okolo 15 roků, za dobu životnosti TČ je třeba počítat s jednou jeho výměnou.
- **TČ se spirálovými kompresory scroll** – jsou dražší, dosahují však nejlepších topných faktorů. V současnosti je to nejpoužívanější typ. Životnost kompresoru scroll je nejméně 20 roků.
- **TČ s rotačními kompresory** – lze se s nimi setkat u klimatizačních zařízení a levnějších TČ. Mají o něco topný faktor než TČ s kompresory scroll.
- **Absorpční tepelná čerpadla** – pracují bez kompresoru a jsou tedy zcela nehluchá. Nevýhodou je horší topný faktor. V současnosti se pro vytápění používají výjimečně, vyskytují se však u klimatizačních zařízení.

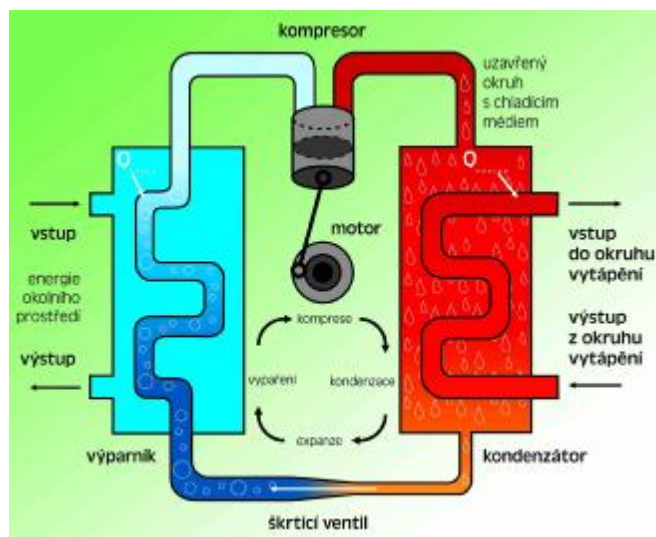
Podle druhu ochlazovaného a ohřívaného média se rozlišují typy tepelných čerpadel.

| Typ čerpadla:<br>(ochlazuje se/<br>ohřívá se) | Možnosti použití                                                                           |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| vzduch/voda                                   | univerzální typ, pro ústřední vytápění                                                     |
| vzduch/vzduch                                 | doplňkový zdroj tepla, teplovzdušné vytápění, klimatizace                                  |
| voda/voda                                     | využití odpadního tepla, geotermální energie, ústřední vytápění                            |
| nemrzoucí kapalina/voda                       | univerzální typ pro ústřední vytápění, zdrojem tepla je nejčastěji vrt nebo půdní kolektor |
| voda/vzduch                                   | teplovzdušné vytápěcí systémy                                                              |

Tabulka 12: Nejčastější typy tepelných čerpadel.

## 7.5. Funkce kompresorového tepelného čerpadla

Činnost tepelného čerpadla je založena na pochodech spojených se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky (**chlادivo**). Ve výparníku odnímá chlادivo za nízkého tlaku a teploty tepla ochlazované látky (zdroji nízkopotenciálního tepla). Dochází k varu a kapalně chlادivo přiváděné do výparníku se postupně mění v páru. Páry chlادiva jsou z výparníku odsávány a stlačeny kompresorem na kondenzační tlak. V kondenzátoru předávají kondenzační teplo ohřívané látce a mění své skupenství na kapalně. Kapalně chlادivo je po snížení tlaku přiváděno zpět do výparníku, kde doplňuje vypařené chlادivo. Tím je oběh uzavřen.



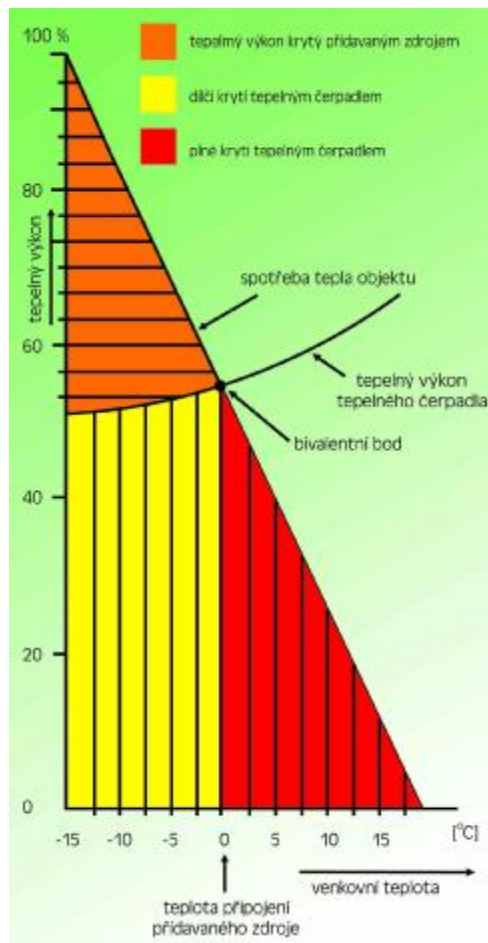
Obrázek 54: Princip tepelného čerpadla.

## 7.6. Bivalentní provoz tepelného čerpadla

Spotřeba tepla na vytápění se během roku mění. Pokrytí celé spotřeby TČ je obvykle neekonomické (větší TČ a delší vrtv výrazně zvyšují pořizovací náklady), proto se systém doplňuje dalším **špičkovým zdrojem** tepla, obvykle elektrokotlem. Tento zdroj slouží i jako záloha pro případ výpadku TČ. Jako jiný bivalentní zdroj lze použít i krb nebo jiné interiérové topidlo, které nemusí být napojeno na systém ústředního vytápění.

Systém pak pracuje v tzv. **bivalentním provozu**, kdy po určitou dobu (např. v mrazových dnech) běží kromě TČ druhý zdroj tepla (elektrokotel). Instalovaný tepelný výkon tepelného čerpadla je v tomto provozu nižší než je maximální potřebný (obvykle 50 - 75 %). U správně navrženého systému špičkový zdroj dodává pouze 10 –15 % celkové spotřeby tepla.

U TČ ochlazujících venkovní vzduch je bivalentní zdroj nezbytný, aby bylo možno vytápět i v době, kdy je venkovní teplota nižší než  $-12^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 55: Bivalentní chod tepelného čerpadla.

## 7.7. Monovalentní provoz tepelného čerpadla

U moderních, dobře izolovaných rodinných domů s tepelnou ztrátou do 10 kW je možné navrhnout TČ jako jediný zdroj tepla. Investiční náklady se výrazně nezvýší. Výhodou je úspora provozních nákladů. Není-li TČ doplněno elektrokotlem, postačí menší příkon elektřiny a tím i menší jistič. V současnosti, kdy konečná platba za elektřinu značně závisí na velikosti hlavního jističe, může být úspora „za jistič“ zajímavá. Jinou cestou ke snížení velikosti hlavního jističe je použití ne-elektrického bivalentního zdroje, např. kamen na dřevo.

## 7.8. Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

TČ pro vytápění lze použít téměř všude, pro dimenzování je důležité znát spotřebu tepla a teple užitkové vody a další podmínky:

- **Elektrická přípojka** musí umožnit připojení TČ (dostatečný příkon).
- Obvykle je výhodné provést **zateplení objektu** (pak stačí menší a levnější technologie).
- **Vzduchová TČ** není výhodné používat v drsných klimatických podmínkách, kde venkovní teploty klesají pod  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (horské oblasti). U tohoto typu je potřeba najít vhodné umístění vnější jednotky (hlučnost, omezení průtoku vzduchu, námrazy).
- V případě využití **hlubinných vrtů** je dobré znát předem geologické podmínky v podloží, aby nedošlo k jejich poškození („zavření vrtu“). Provádění vrtů v 1. a v 2. ochranném pásmu lázní a minerálních vod je upravené zvláštními předpisy.
- Při využití **podzemní vody** je podmínkou dostatečná vydatnost zdroje vody.
- Při využití **povrchových vod** se platí poplatky správci toku, případně stočné.

TČ se nejčastěji používají na vytápění a klimatizaci budov. V kancelářských prostorách se často využívá možnosti reverzního chodu, kdy tepelné čerpadlo v létě ochlazuje vzduch v místnostech, zatímco v zimě topí.

Porovnáme-li emise vzniklé v důsledku spotřeby elektřiny pro pohon TČ s emisemi vzniklými při spalování tuhých paliv, pak od průměrného ročního topného faktoru 2,33 dochází k jejich snížení (uvažujeme-li ztráty při výrobě a přenosu elektřiny 70 % a při spalování tuhých paliv 30 %).



Obrázek 56: Kotelna s 20 kW TČ (Foto: Alterm s.r.o.)



Obrázek 57: Spotřeba oběhových čerpadel v TČ někdy není zanedbatelná.

## 8. Použitá a doporučená literatura

- [1] Bednář, J.: Malé vodní elektrárny 2. SNTL, Praha, 1989.
- [1] Bednář, J., Zikmunda, O.: Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Academia, Praha, 1985.
- [2] Beranovský, J., Truxa, J.: Alternativní energie pro váš dům, ERA, Brno, 2004.
- [3] Cihelka, J.: Solární tepelná technika. T. Malina, Praha, 1994.
- [4] Crome, H.: Technika využití energie větru – svépomocná stavba větrných zařízení, HEL, Ostrava 2002
- [5] Dvořák, L., Klazar, J., Petrák, J.: Tepelná čerpadla. Praha, SNTL, 1987.
- [2] Gabriel, P., Čihák, F., Kalandra, P.: Malé vodní elektrárny. ČVUT, Praha, 1998.
- [6] Hájek, L.: Sluneční kolektory. Poradenská knižnice ČEA. ČEA, Praha, 1997.
- [7] Hallenga, U.: Malá větrná elektrárna, HEL, Ostrava 1999
- [8] Haller, A., Humm O., Voss, K.: Solární energie - Využití při obnově budov, Grada, Praha, 2001
- [9] Kára, J., Adamovský, R.: Praktická příručka - obnovitelné zdroje energie, MZE ČR, Praha, 1993.
- [10] Kára, J., Šrámek, V., Hutla, P., Stejskal, F., Kopická, A.: Využití biomasy pro energetické účely. ČEA, Praha, 1997.
- [11] Karmanolis, S.: Sluneční energie. MAC, Praha, 1996.
- [12] Koč, B.: Šance pro vítr. Ekocentrum, Brno, 1996.
- [13] Kol. autorů: Energie – kde ji vzít? EkoWATT, Praha, 1993. ISBN 87-87669-74-1. Dotisk EkoWATT, Praha, 1995.
- [3] Kol. autorů: Co chcete vědět o malých vodních elektrárnách. ČEZ, a.s., Praha.
- [4] Kol. autorů: Malé vodní turbíny, konstrukce a provoz. ČVUT, Praha, 1998.
- [14] Kol. autorů: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, 1994, druhé upravené a doplněné vydání 2001.
- [15] Kol. autorů: Tepelná čerpadla, projektování a instalace. Stiebel Eltron, 1998.
- [16] Kol. autorů: Kombinované energetické systémy s využitím obnovitelných zdrojů energie. ČEA, Praha, 1997.
- [17] Krieg, B.: Elektřina ze Slunce. HEL, Ostrava, 1993.
- [18] Ladener, H., Späte, F.: Solární zařízení, Grada, Praha, 2003
- [19] Macholda, F., Srdečný, K.: Úspory energie v domě, Grada, Praha, 2004
- [5] Melichar, J.: Malé vodní turbíny. ČVUT, Praha, 1995.
- [20] Mittermair, F.: Zařízení se slunečními kolektory. HEL, Ostrava, 1995.
- [21] Pažout, F., Hutla, P.: Praktická příručka obnovitelné zdroje energie 3/1993. MZE ČR, Praha, 1993.
- [6] Pažout: Malé vodní elektrárny. SNTL, Praha, 1990.
- [22] Rychetník, V., Pavelka, J., Janoušek, J.: Větrné motory a elektrárny. ČVUT, Praha, 1997.
- [23] Schulz, H.: Savoniův rotor – návod na stavbu, HEL, Ostrava 2002
- [24] Simanov, V.: Dříví jako energetická surovina. MZE ČR, Praha, 1993.
- [25] Sládek, I., Rychetník, V.: Větrná situace v ČR. Praha, 1989.
- [26] Škorpil, J., Kasárník, M.: Obnovitelné zdroje energie I. Malé vodní elektrárny. ZČU, Plzeň, 2000.
- [27] Vaníček, K. a kol.: Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984 - 1993. Národní klimatický program české republiky, Praha, 1994.
- [28] Vaníček, K., Čeněk, J., Reichrt, J.: Sluneční záření na území ČSSR. MLVH ČSR ve spolupráci a DT ČSVTS Pardubice, Pardubice, 1985.
- [29] Žeravík. A.: Stavíme tepelné čerpadlo, vl. nákladem, 2003

## **SEZNAM TABULEK**

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tabulka 1: Parametry zasklení</i> .....                                                                                                                                                  | 4  |
| <i>Tabulka 2: Tabulka pro dimenzování solárního systému.</i> .....                                                                                                                          | 8  |
| <i>Tabulka 3: Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den], kterou lze získat během jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 W<sub>p</sub> (cca 1 m<sup>2</sup>) dle měsíců.</i> ..... | 3  |
| <i>Tabulka 4: Příklad M-denní průtokové závislosti.</i> .....                                                                                                                               | 20 |
| <i>Tabulka 5: Instalovaný výkon větrných elektráren koncem roku 2007 v evropských zemích (zdroj: EWEA).</i> .....                                                                           | 24 |
| <i>Tabulka 6: Energetické plodiny.</i> .....                                                                                                                                                | 31 |
| <i>Tabulka 7: Přeměny biomasy.</i> .....                                                                                                                                                    | 32 |
| <i>Tabulka 8: Jednotky a termíny pro objemové značení dřevní hmoty. V praxi používaný výraz „kubík“ většinou znamená plm.</i> .....                                                         | 33 |
| <i>Tabulka 9: Výhřevnost biomasy.</i> .....                                                                                                                                                 | 34 |
| <i>Tabulka 10: Optimální teplotní pásma anaerobních bakterií.</i> .....                                                                                                                     | 35 |
| <i>Tabulka 11: Orientační klíčová čísla pro výhřevnost, výnosy, dobu sklizně a sklizňovou vlhkost energetické fytohmoty. (Zdroj: VÚRV)</i> .....                                            | 37 |
| <i>Tabulka 12: Nejčastější typy tepelných čerpadel.</i> .....                                                                                                                               | 42 |

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Obrázek 1: Průměrné roční sumy globálního záření v MJm<sup>-2</sup>. ZDROJ: ČHMÚ.</i> .....         | 5  |
| <i>Obrázek 2: Možnosti krytí potřeby tepla solárním systémem různé velikosti</i> .....                 | 6  |
| <i>Obrázek 3: Princip stratifikace teplot v solárním zásobníku</i> .....                               | 7  |
| <i>Obrázek 4: Solární energie – Praha.</i> .....                                                       | 8  |
| <i>Obrázek 5: Dvouokruhový solární systém s nuceným oběhem.</i> .....                                  | 10 |
| <i>Obrázek 6: Solární systém v zimě přitápí a v létě ohřívá bazén.</i> .....                           | 10 |
| <i>Obrázek 7: Kolektor z vakuových trubic.</i> .....                                                   | 10 |
| <i>Obrázek 8: Kombinace střešních oken a solárních kolektorů</i> .....                                 | 11 |
| <i>Obrázek 9: Kolektor integrovaný do střechy a uložený nad střešní krytinou</i> .....                 | 11 |
| <i>Obrázek 10: Solární systém na současném rodinném domě.</i> .....                                    | 11 |
| <i>Obrázek 11: Solární systém jako standardní součást řadové výstavby</i> .....                        | 11 |
| <i>Obrázek 12: Jižní orientaci nelze vždy dodržet.</i> .....                                           | 11 |
| <i>Obrázek 13: Kolektory nemusí být vždycky na střeše.</i> .....                                       | 11 |
| <i>Obrázek 14: Princip činnosti solárního článku.</i> .....                                            | 12 |
| <i>Obrázek 15: Fotovoltaické panely mohou tvořit i střešní krytinu.</i> .....                          | 13 |
| <i>Obrázek 16: Schéma zapojení systému dodávajícímu energii do rozvodné sítě</i> .....                 | 13 |
| <i>Obrázek 17: Schéma zapojení ostrovního systému</i> .....                                            | 13 |
| <i>Obrázek 18: Budova s fotovoltaickou fasádou (Wels, Rakousko)</i> .....                              | 14 |
| <i>Obrázek 19: Fotovoltaické panely v kombinaci s teplovodním systémem tvoří krytinu střechy</i> ..... | 14 |
| <i>Obrázek 20: Fotovoltaika na kostele (Německo)</i> .....                                             | 14 |
| <i>Obrázek 21: Fotovoltaické panely na zábradlí balkonu</i> .....                                      | 14 |
| <i>Obrázek 22: Kapesní nabíječka tužkových akumulátorů</i> .....                                       | 14 |
| <i>Obrázek 23: Fotovoltaické panely na šikmé a na ploché střeše.</i> .....                             | 3  |
| <i>Obrázek 24: Typy nejčastěji používaných turbín.</i> .....                                           | 17 |
| <i>Obrázek 25: Základní charakteristika turbín podle průtoku a spádu.</i> .....                        | 19 |

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 26: Průběh průtoku v roce a průměrný roční a měsíční průtok. ....                                                                                                                      | 20 |
| Obrázek 27: Roční odtoková závislost a výkon dosažený v průběhu roku. ....                                                                                                                     | 21 |
| Obrázek 28: Malá vodní elektrárna. ....                                                                                                                                                        | 22 |
| Obrázek 29: Kolo Peltonovy turbíny pro MVE. ....                                                                                                                                               | 22 |
| Obrázek 30: Tlakový přivaděč před rekonstrukcí. ....                                                                                                                                           | 22 |
| Obrázek 31: Turbína s generátorem na přivaděči v úpravně pitné vody nahradí škrticí armatury. ....                                                                                             | 23 |
| Obrázek 32: Mnoho MVE pracuje se starou technologií, což sžuje účinnst. ....                                                                                                                   | 23 |
| Obrázek 33: Schématicované vertikální profily rychlosti větru v přízemní vrstvě při různých parametrech drsnosti. (Zdroj časopis Větrná energie). ....                                         | 25 |
| Obrázek 34: Větrný atlas České republiky, zdroj ÚFA AV ČR. ....                                                                                                                                | 25 |
| Obrázek 35: Výkonová charakteristika větrné elektrárny s výkonem 500 kW. ....                                                                                                                  | 27 |
| Obrázek 36: Elektrárna 2 MW na Šumavě (Rakousko). ....                                                                                                                                         | 29 |
| Obrázek 37: Montáž rotoru 600 kW v Jeseníkách. ....                                                                                                                                            | 29 |
| Obrázek 38: Malá elektrárna pro osvětlení jako reklamní poutač (Olomouc) ....                                                                                                                  | 3  |
| Obrázek 39: Elektrárny zásobující českou polární stanicí v Antarktidě (foto Kamil Lásk) ....                                                                                                   | 3  |
| Obrázek 40: Farma větrných elektráren (jižní Morava) ....                                                                                                                                      | 3  |
| Obrázek 41: Možnosti využití biomasy. ....                                                                                                                                                     | 32 |
| Obrázek 42: Interiérová kamna na dřevo. ....                                                                                                                                                   | 33 |
| Obrázek 43: Zpracování odpadní biomasy štěpkováním. ....                                                                                                                                       | 33 |
| Obrázek 44: Hořák kotle na peletky (lze vmontovat i do starších kotlů na jiné palivo). ....                                                                                                    | 34 |
| Obrázek 45: Automatický kotel na peletky. ....                                                                                                                                                 | 34 |
| Obrázek 46: Kontinuální systém na zpracování kejdy v Dánsku. ....                                                                                                                              | 36 |
| Obrázek 47: Schéma bioplynové stanice, kontinuální systém. ....                                                                                                                                | 36 |
| Obrázek 48: Izolinie tepelného toku na území ČR. (Zdroj: Geomédia, s r.o.) ....                                                                                                                | 38 |
| Obrázek 49: Toky energií pro elektrické tepelné čerpadlo. ....                                                                                                                                 | 39 |
| Obrázek 50: Tepelné čerpadlo vzduch/voda, vzduch se ohlazuje ve výměníku umístěném vně budovy. ....                                                                                            | 41 |
| Obrázek 51: Tepelné čerpadlo vzduch/voda, ochlazuje se vzduch odváděný větracím systémem. ....                                                                                                 | 41 |
| Obrázek 52: Ochlazováním vody čerpané z hluboké (sací) studny, kde je teplota stálá, získáme velmi vyrovnaný a účinný zdroj tepla. Ochlazená voda se vypouští do druhé (vsakovací) studny .... | 41 |
| Obrázek 53: Tepelné čerpadlo nemrznoucí kapalina/voda; výměník naplněný nemrznoucí směsí ochlazuje půdu ve vrtu nebo ve výkopu, případně vodu ve vodním toku nebo v rybníku. ....              | 41 |
| Obrázek 54: Princip tepelného čerpadla. ....                                                                                                                                                   | 3  |
| Obrázek 55: Bivalentní chod tepelného čerpadla. ....                                                                                                                                           | 3  |
| Obrázek 56: Kotelna s 20 kW TČ (Foto: Alterm s.r.o.) ....                                                                                                                                      | 44 |
| Obrázek 57: Spotřeba oběhových čerpadel v TČ někdy není zanedbatelná. ....                                                                                                                     | 44 |