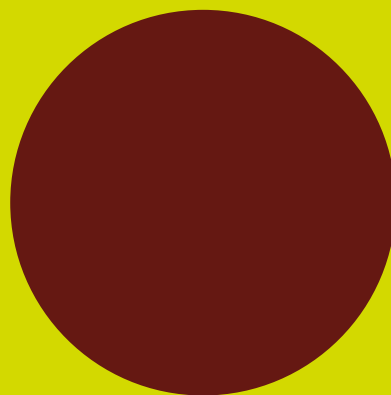




SVĚT ENERGIE

ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

# ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ





ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

# ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ





# OBSAH

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| Na počátku bylo kolo • František Honzák | 7  |
| Energie řek a moří • Bořek Otava        | 17 |
| S větrem o závod • Bořek Otava          | 31 |
| Slunce a Země • Zuzana Večeřová         | 45 |
| Biomasa • Pavel Novotný                 | 59 |



# ÚVOD

Za obnovitelné zdroje energie jsou považovány nefosilní přírodní zdroje energie, jako je energie vody, větru, slunečního záření, biomasy a bioplynu, energie prostředí využívaná tepelnými čerpadly, geotermální energie, energie kapalných biopaliv i energie pohybu vodních mas moří a oceánů.

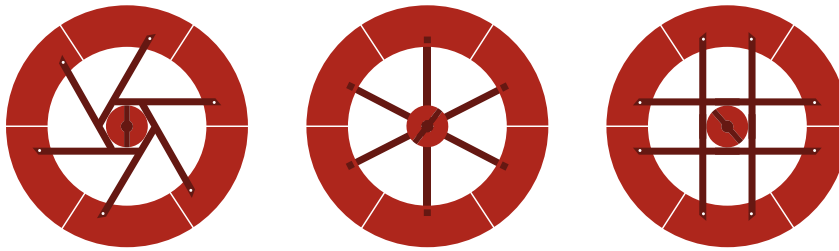
Obnovitelným zdrojem s největším energetickým potenciálem využívaným v České republice je tradiční vodní energetika, největší šance z hlediska dalšího rozvoje má spalování biomasy, především dřevní štěpky a dalších rostlinných produktů lesního a zemědělského původu. Technická řešení většiny vybraných, zpravidla teplárensky zaměřených, elektráren v České republice umožňují poměrně úspěšně spalovat biomasu ve směsi s uhlím. Větší uplatnění čeká i využití energie větru a slunečního záření.

Maximální využívání obnovitelných zdrojů je jedním z klíčových bodů energetické politiky Evropské unie. Podle výsledků průzkumu provedeného statistickým úřadem EU Eurostat považuje zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na bilanci spotřeby energie za jeden z prioritních úkolů svých vlád 90 % občanů členských zemí. Evropská unie si v rámci své energetické politiky stanovila cíl zvýšit podíl hrubé spotřeby energie vyrobené z obnovitelných zdrojů na úroveň 20 % do roku 2020. Česká republika si jako indikativní cíl vůči EU stanovila v roce 2010 dosažení hrubé spotřeby 8 % elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů.

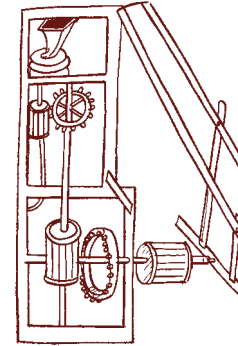
Obnovitelné zdroje energie mají ve vyváženém energetickém mixu České republiky své pevné místo. Věda a technika nacházejí stále nové možnosti, jak efektivitu využívání obnovitelných zdrojů zvýšit. Využití obnovitelných zdrojů je dnes považováno za jednu z cest minimalizace nebezpečí ohrožení klimatu Země skleníkovým efektem.







Konstrukce vodního kola na svrchní vodu



Mlýnské složení vodního mlýna z 15. století

## NA POČÁTKU BYLO KOLO

Síla vodního proudu byla prvním přírodním zdrojem energie, který se lidstvo naučilo vědomě využívat. Vynálezem vodního kola se zrodil první motor, který spolehlivě sloužil lidem po tisíce let. Moderní vědecké výzkumy a výpočty přivedly pak na svět vodní turbínu, mnohem účinnější zařízení, než klasické kolo. Vodní turbíny se staly výhradním zdrojem energie pro generátory na výrobu elektrického proudu v hydroelektrárnách.

### KOLO, KOLO MLÝNSKÉ...

Kolo je úžasným technickým vynálezem, dílem neznámého tvůrčího génia, který zmizel v propasti času. Nám ovšem teď nepůjde o kolo zkracující vzdálenosti, o kola vozů, automobilů či vlaků. Připomeneme si kolo speciální – kolo jako zdroj energie, kolo jako motor.

Tekoucí proud vody, ale i poklidně se čeříci jezero, v sobě skrývají obrovskou a vlastně nevyčerpatelnou zásobu energie. Vodní „síla“ je tím větší, čím větší je množství vody a u proudící vody také čím větší je spád vodního toku. Velkou výhodou energie skryté ve vodních tocích je její snadná přeměna na energii mechanickou, kterou už přímo můžeme využít při nejrůznějších lidských činnostech. A právě k tomu nám již tisíciletí slouží vodní kolo.

Nejstarší vodní kola byla **horizontální** (ležatá). Na lopatky takto umístěného kola se přiváděla voda dřevěnou troubou. Hřidel kola procházela volně spodním mlýnským

kamenem a byla přímo upevněna do horního, otáčejícího se mlýnského kamene (běhounu). Taková sestava mlýna byla velice jednoduchá, protože odpadly všechny převody nutné u svislých vodních kol. A tak se mlýny s ležatými vodními koly přes svou nižší účinnost udržely v některých méně vyspělých oblastech světa až do našeho století. Měly ještě jednu výhodu – k jejich pohonu stačilo poměrně málo vody, pokud měla dostatečně velký spád. Uplatňovaly se proto především v horských oblastech na malých prudech potocích a říčkách.

Tu pravou slávu však získala až svislá vodní kola, často důmyslná a náročná tesařská (nebo – jak se říkalo – sekernická) díla. Stavěli je už staří Římané a po staletí pak představovala vedle lidských a zvířecích svalů prakticky jediný spolehlivý zdroj energie.

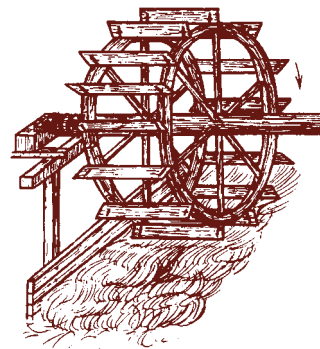
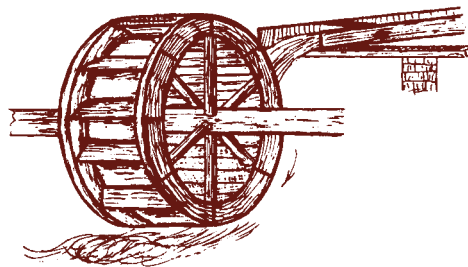
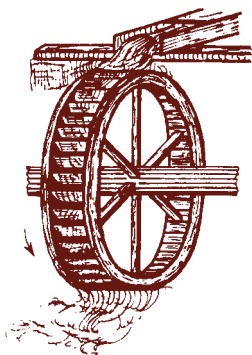
Vodní kola se využívala pro pohon nejrůznějších mechanismů. Poháněla pily, valchy, hamry, využívala se pro čerpání vody, nejčastěji se s nimi však setkáváme u mlýnů

na obilí. A tak se tomuto ve skutečnosti univerzálnímu vodnímu motoru začalo říkat obecně mlýnské kolo.

### PROČ SE TOČÍ?

Z hlediska působení vodního proudu rozlišujeme tři typy vodních kol. **Kola na spodní vodu** mají rovné lopatky a jsou do vodního toku ponořena svou spodní částí. Pokud voda v potoku nebo řece poklesla, často se kola dostala celým obvodem nad vodní hladinu a – zastavila se. Směr otáčení těchto kol byl opačný než směr proudu vody.

**Kola na svrchní vodu** mají místo lopatek jakési dřevěné „truhlíčky“ (říká se jim korečky). Voda se na kolo přivádí svrchu, pomocí dřevěného náhonu. Kola se otáčejí stejným směrem jako plyne proud. Mají až dvakrát vyšší účinnost, nejsou tak závislá na stavu vody v toku, stavba náhonu však vyžaduje poměrně náročná technická řešení. Jakýmsi kompromisem mezi oběma typy je **kolo na střední**



Tři typy vodních kol na svrchní, střední a spodní vodu

**vodu** (nazývalo se „na půl kříže“). Volba typu kola závisela na přírodních podmínkách, na množství vody, jejím spádu a také na zkušenosti stavitele mlýna – mlynáře.

Zvláštním typem byla **vodní kola používaná na lodních mlýnech**. Lodní mlýny byly, jak už název napovídá, postaveny přímo na lodích, zakotvených na větších řekách. Kola byla samozřejmě na spodní vodu, nehrozilo jim však „vyschnutí“. Je zřejmé, že při poklesu hladiny klesal celý mlýn a s ním i kolo, takže jeho ponor zůstával stále stejný. Navíc se mohly lodní mlýny v případě potřeby celkem snadno přemístit na vhodnější (hlubší) místo na řece.

## MLÝNY A MLYNÁŘI

V Čechách byl první vodní mlýn postaven snad již v 8. století, největšího rozmachu však mlynářství dosáhlo v době vrcholného středověku. Jak už jsme se zmínili, neužívaly se mlýny jen k mletí obilí, ale i k valchování sukna, řezání dříví, roztloukání rudy, pohonu měchů u kovářských či hutnických výhní, k drcení sádry, k výrobě střelného prachu. Ve své době byly vodní mlýny tím, čím se později staly parní stroje. Jejich rozšíření bylo obrovské. Koncem 14. století měla u nás většina venkovských měst průměrně až sedm mlýnů, např. nijak významná Příbram jich měla 18 celkem s téměř 40

koly. Z toho je vidět, že větší mlýny využívaly i několik vodních kol.

V principu se každý mlýn skládá ze tří částí: z motoru, převodového ústrojí a pracovního zařízení. Jako motor sloužilo vodní kolo. Převody byly tvořeny nejrůznějšími hřídeli, palečnými soukolími a palcovými převody. Měly za úkol jednak změnit směr síly, jednak převést pomalý pohyb otáčení vodního kola na rychlou rotaci běhounu. Navíc bylo nutné u jiných výrobních procesů než mletí změnit otáčivý pohyb kola na vratný pohyb, např. kladiva v hamru. Všechny tyto důmyslné mechanizmy byly tesány ze dřeva samotnými mlynáři a specializovanými tesaři – **sekerníky**.

Pracovní zařízení bylo různé podle účelu mlýna. Srdcem obilních mlýnů byly mlýnské kameny. Spodní, nehybný, se nazýval ležák, horní, otáčející se, běhoun. Mezi těmito kameny se drtilo (mlelo) zrna.

Kromě vlastního složitého mechanismu mlýna bylo třeba vyřešit i další náročný problém – přívod vody. Málokdy se dal mlýn prostě postavit na břeh řeky a ponořit do ní vodní kolo. Pokud byl proud příliš slabý, mlýn nemohl pracovat, pokud byl příliš silný, mohl mlýn „strhnout“. Přitom v našich klimatických poměrech se síla proudu v řece většinou značně měnila s ročním obdobím. Bylo tedy nutné toky aspoň částečně

regulovat, stavět umělé náhony a budovat jezy. Není tedy divu, že mlynáři se stávali nejen řemeslníky ovládajícími mletí mouky, ale spíš všumělý, tesaři a vodními staviteli. Patřili k hrstce odborníků na hydrotechniku, dokonale znali vodní poměry na „své“ řece a podíleli se i při řešení komplikovaných otázek vodního práva.

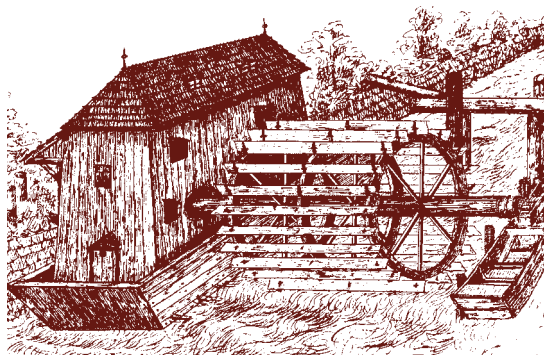
## REKORDY

Vodní kolo byl úžasný vynález, ale měl své meze. Sebelépe zkonstruované kolo nedokázalo získat z vodního proudu více než 30 % jeho energie. Pokud bylo třeba získat více užitečné síly, neexistovala jiná cesta než zvýšit počet kol. I na obyčejných mlýnech se objevovala dvě nebo tři kola, ale známe také od nás velké mlýny až s deseti koly.

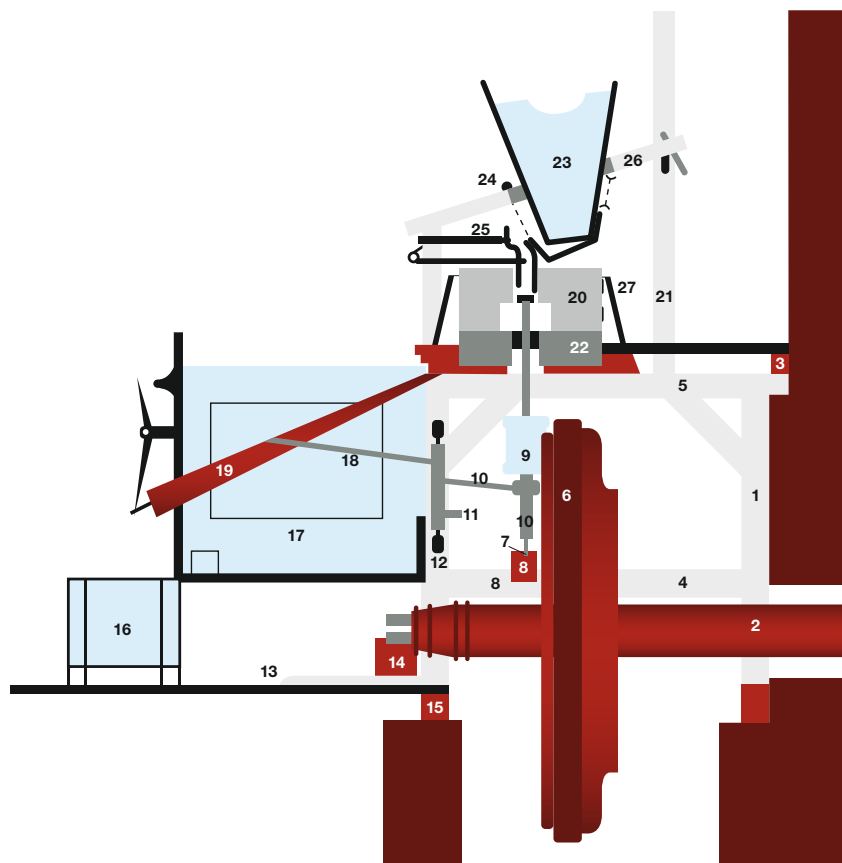
Jedno z největších známých soustrojí vodních kol postavil holandský tesař Ranequin v 17. století na Seině u Marly. Čtrnáct obrovských vodních kol o průměru přes 8 metrů tu pohánělo 225 čerpadel, která přečerpávala 5 km dlouhým potrubím vodu do nádrže položené 160 metrů nad Seinou. Voda z nádrže byla vedena do vodotrysků versailleského parku. Celá tato dost náročná zábava, která prý stála na 80 milionů franků (těžko dnes odhadnout, kolik to vlastně bylo, určitě však hodně), byla zničena za francouzské revoluce.



Pilotový mlýn na řece Sávě se svislým vodním kolem na spodní vodu

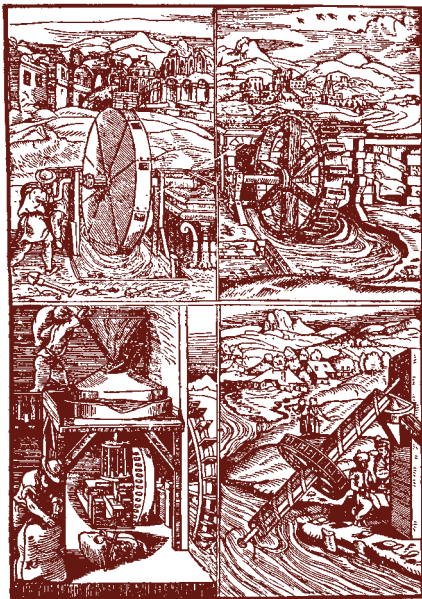


Lodní mlýn. Podle legendy se první lodní mlýny objevily při obležení Říma Góty. Ti pobožili římské vodovody, jejichž vodou byla dosud kola římských mlýnů poháněna. Zviřata, která by mohla pohánět mechanické ruční mlýny, byla vybita a snědena, otroci museli pomáhat při hájení města. Římský vojevůdce dal proto postavit mlýny na lodě zakotvené na Tibeře. U nás se lodní mlýny používaly ještě v 30. letech našeho století, hlavně na velkých řekách, na Váhu či na Dunaji. Kola dunajských lodních mlýnů byla zvláště mohutná, široká až 8 metrů a o průměru okolo 6 metrů.

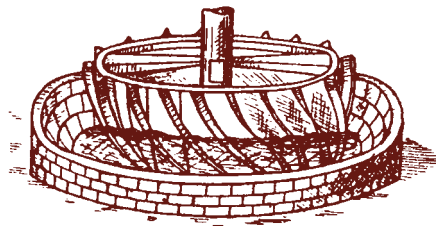


- 1 nosné sloupky
- 2 hřídel
- 3 zadní moučník
- 4 příčky nosných sloupů (a)
- 5 svory (nosníky pro moučníky)
- 6 paleční kolo
- 7 náraz
- 8 kobylice
- 9 céví kladnice
- 10 pytlovací drážka
- 11 ručka pro pohyb žejbra
- 12 sloupky pytlování
- 13 remlíky
- 14 shlavi
- 15 podlažní podval
- 16 truhla
- 17 moučnice
- 18 raménka přepadu
- 19 přepad
- 20 běhoun
- 21 sloupky
- 22 spodní kámen
- 23 nasýpací koš s pohyblivým dnem (korčákem)
- 24 váleček pro zavěšení korčáku
- 25 klapací pružinka
- 26 rám pro nasýpací koš
- 27 dřevěný kryt kamenů (lub)

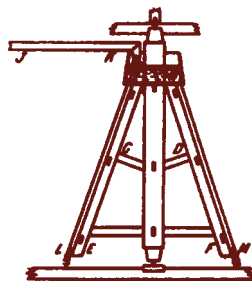
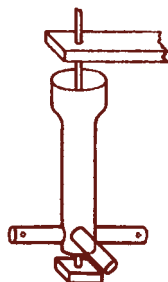
Schéma starého českého mlýnského složení



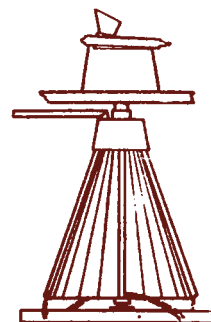
Vodní kola nejen poháněla mlýnská složení, ale sloužila např. i k čerpání vody do zavlažovacích systémů



Jedním z předchůdců moderních vodních turbín bylo i tzv. Bessonovo vodní kolo z roku 1578



Různé typy Segnerova kola



Zvláště velkých rozměrů dosahovala vodní kola používaná v rudných dolech k čerpání vody nebo při dopravě těžené rudy na povrch. Voda k nim byla přiváděna náhonem často z velké dálky. Další jejich zvláštností byla tzv. vratnost. Točila se totiž podle potřeby oběma směry, pro spouštění těžní nádoby i její vytažení. Nejjednodušší řešení spočívalo ve změně svrchního náhonu na tu či onu stranu kola.

### EPIZODA PRVNÍ – VODNÍ TRKAČ

Vodní trkač vynalezl Joseph Michel Montgolfier, jeden z bratrů, mnohem více proslulých svými vzduchoplaveckými pokusy. Princip trkače je jednoduchý, jeho účinnost minimální. Voda z nádrže (nebo přímo z potoka) je vedena potrubím zakončeným záklopkou. Tlak v potrubí stoupá, až otevře další záklopku, otevírající malou nádrž, tzv. větrník. Voda tedy proudí do nádržky

a odtud potrubím do další, výše položené nádrže. Tlak v potrubí klesá a v určitém okamžiku se zákloпка větrníků vlastní hmotností uzavře. Tlak začne opět stoupat, až otevře záklopku na konci potrubí a voda začne vytékat volně ven do potoka. Tím se ale tlak sníží a zákloпка se opět vlastní hmotností uzavře. Tlak v potrubí začne narůstat, až otevře záklopku větrníku. Celý proces se neustále opakuje. Část vody se pomocí trkače skutečně dostane do vyšší nádrže, ale mnohem více jí proteče bezúčelně dál potokem. Bylo to tedy zařízení vhodné zejména tam, kde byl vody dostatek a k jiným zdrojům energie daleko.

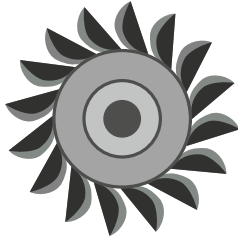
### EPIZODA DRUHÁ – VODOSLOUPOVÉ STROJE

Princip vodosloupových strojů je podobný jako u strojů parních, jen místo horké páry se na píst stroje přivádí voda pod značným

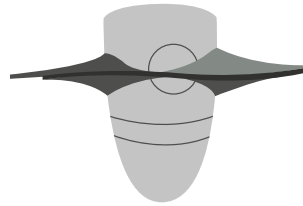
tlakem. Vodosloupové stroje se takřka výhradně používaly v dolech k čerpání důlních vod. Byly postaveny i stroje dvojčinné, u kterých působila tlaková voda střídavě na obě strany pístu. Vodosloupové stroje nedosahovaly výkonů parních strojů, jejich provoz byl však levnější. Díky tomu se udržely v provozu ještě koncem 19. století, např. v Banské Štiavnici.

### CESTA K TURBÍNÁM

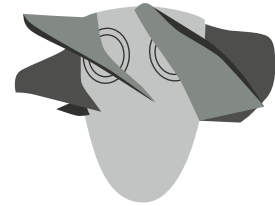
Vodní kolo bylo výsledkem geniálního nápadu a dokonalého řemeslného zpracování na základě dlouholetých zkušeností. Dosáhlo svého vrcholu a nastal čas, kdy se nedalo už zlepšit. Nový kvalitativní skok ve využití vodní síly přinesly až **turbíny**, výsledek vědeckého bádání a přesných výpočtů v oboru zvaném **hydromechanika**. Její zákony první popsal



Oběžné kolo Peltonovy turbíny



Oběžné kolo Kaplanovy turbíny při různých provozních režimech (vlevo zavřené, vpravo otevřené)



Kaplanova turbína a její tvůrce ing. Viktor Kaplan

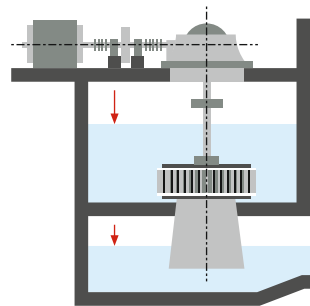
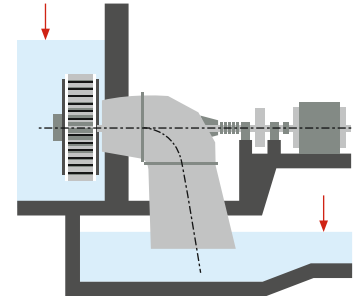


Schéma Francisovy turbíny vodorovné a svislé a její připojení ke generátoru



a matematicky stanovil francouzský fyzik Daniel Bernoulli. Z jeho teoretických prací pak vyšel profesor göttingenské univerzity **Johann Andreas Segner** a sestavil pravzor turbíny – Segnerovo kolo.

Segnerovo kolo má velmi jednoduchý princip – dutým hřídelem se žene voda pod vysokým tlakem do trysek, z kterých tryská ven a podle zákona akce a reakce roztáčí systém.

Profesor Segner se narodil v Bratislavě, tam vystudoval gymnázium, v Jeně univerzitu. Stal se lékařem, ale záhy začal přednášet matematiku na své mateřské univerzitě. Svě „kolo“ sestrojil za působení na univerzitě v Göttingenu, kupodivu však nedokázal vědecky zdůvodnit, proč se vlastně otáčí. To učinil až další slavný matematik L. Euler (jeho číslo se učíme dodnes). Ke skutečnému praktickému využití Segnerovy praturbíny došlo jen jednou, snad i proto, že byla

konstrukčně velmi nedokonalá. V jedné vesničce poblíž Göttingenu poháněla stoupy v lisovně oleje. Stoupy drtily různá olejnatá semena a vymáčkávaly z nich olej.

Nepřímým pokračovatelem Segnerových snah se stal francouzský inženýr **Benoît Fourneyron**. Vystudoval hornickou školu, kde poslouchal přednášky profesora **Bourdina** o hydrodynamice a vodních kolech, tehdy v hornictví velmi rozšířených. Fourneyron vyšel ze zajímavé myšlenky, že základem pro dokonalejší vodní motor nebude výkonnější svislé vodní kolo, ale naopak kolo vodorovné. V tom se shodoval se svým učitelem Burdinem, který dokonce předložil francouzské Akademii spis o vodních kolech spolu s návrhem dokonalejšího řešení, jež nazval turbínou podle latinského **turbo** = kroužení. Burdinovo řešení bylo zajímavé, ale konstrukčně jen naznačené. A právě v této chvíli vstoupil do hry Fourneyron.

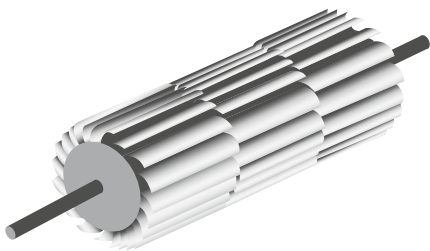
Postavil malou pokusnou turbínku o výkonu pouhých 6 koňských sil (podle tehdejších měření). Ale co bylo důležitější – měla účinnost plných 80 %, což je číslo, o kterém se žádnému vodnímu kolu nemůže ani snít.

## VODNÍ TURBÍNY

Fourneyron dal světu nový, vysoce účinný, ekologicky neškodný a prakticky zadarmo fungující motor. Vývoj se však samozřejmě nezastavil. **Fourneyronova turbína** byla **radiální** – to znamená, že voda protékala oběžným kolem turbíny ve směru jeho poloměru. Brzy se objevily i turbíny **axiální**, ve kterých voda protéká ve směru osy.

Další rozhodující slovo ve vývoji turbín vyslovil anglický konstruktér žijící v USA, James B. Francis. Při konstrukci použil na svou dobu velice moderní metodu modelování. Ironií osudu mu to přineslo velké obtíže. Jeho turbíny měly sice vynikající





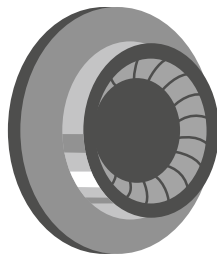
Bánkiho turbína

parametry, nedaly se však matematicky vyjádřit. A to bylo pro konzervativní evropské vědce záminkou k jejich odmítnutí. Praktické výsledky však brzy prokázaly, že lepší turbíny neexistují, a tak se začaly rychle šířit i v dosud skeptické Evropě.

Také další konstruktér turbin pocházel z Ameriky. Jmenoval se Lester Allan Pelton a postavil turbínu bez rozváděcího kola. Vodu na lopatky (ve tvaru zvláštních misek) přivádějí trysky. Také tuto poněkud netradiční turbínu (nazývá se **Peltonovo kolo**) evropští hydrotechnici zprvu zavrhli. Brzy se však prokázalo, že na malých tocích, které ale mají velký spád, je nenahraditelná.

Porovnávat kvalitu turbin je totiž ošidné. Nedá se jednoznačně říci, která je lepší a která horší. Všechno totiž záleží na typu vodního toku, který má turbínu pohánět. Právě konkrétním podmínkám je třeba konstrukci turbíny přizpůsobit. Zkušenosti a praxe tak nakonec prokázaly, že pro prudké horské řeky je nejvýhodnější Peltonova turbína, pro dolní toky s malými spády jsou lepší turbíny Francisovy. Ty měly však jednu nevýhodu. Jejich otáčky byly příliš nízké, takže generátor na výrobu elektrického proudu k nim musel být připojován přes složité převody, což značně snižovalo celkovou účinnost.

Tento problém vyřešil až profesor německé univerzity v Brně Viktor Kaplan.



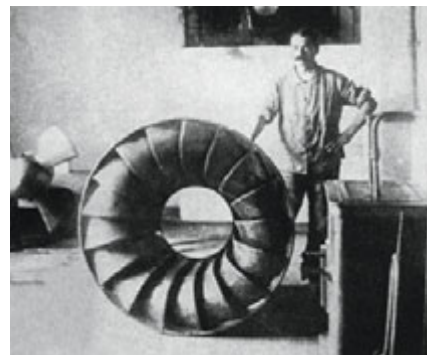
Francisova turbína

Po dlouhých pokusech postavil vhodnou rychloběžnou turbínu pro malé spády. Ani on však nebyl ušetřen obrovských potíží a útoků z odborných kruhů. Kritiky se nakonec vystupňovaly do takové intenzity, až se přepracovaný Kaplan zhroutil. Ale to již měla jeho turbína řadu stoupenců, mimo jiné i mezi jeho českými spolupracovníky. Netrvalo dlouho a vydala se na vítězné tažení světem. Dnes jich po celém světě pracují tisíce. Výrazným znakem **Kaplanových turbin** je možnost nastavování lopatek rozváděcího i oběžného kola podle průtočného množství. Aby nedocházelo k víření vody, které ohrožuje hladký chod turbíny, má oběžné kolo Kaplanovy turbíny jen čtyři lopatky.

### VYBERE SI JEN TEN, KDO SE VYZNÁ

Je asi načase říci si, proč jsou vlastně turbíny o tolik **výhodnější** než vodní kola. Odpověď je jednoduchá – mají mnohem větší účinnost, to znamená, že dokáží využít ze stejného vodního toku mnohem více energie. Zatímco vodní kola získají z energie skryté ve vodním proudu asi 30 % k užitečné práci, účinnost turbin je až 90%. Patří k neúčinnějším motorům vůbec.

Je to proto, že zatímco vodní kola zužitkují pouze ráz (tlak vody, její polohovou energii) na lopatky a v případě kola na svrchní vodu i její hmotnost, turbíny zužitkují pohybovou



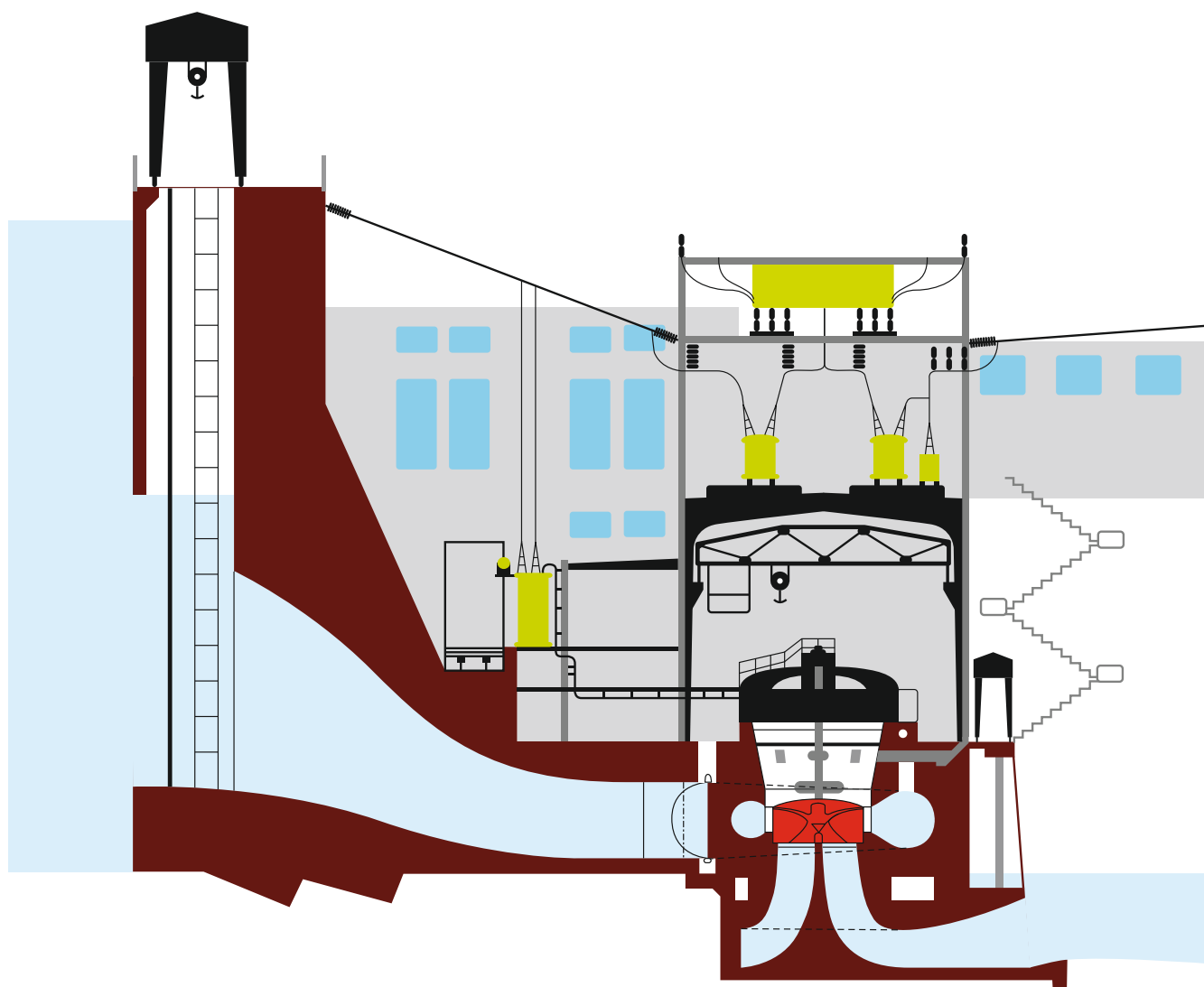
Dobový snímek Francisovy turbíny

energií vody. Navíc voda v turbíně působí současně na všechny lopatky, u vodního kola jen na poměrně malou část jeho obvodu.

V principu mají turbíny rovněž oběžné kolo s lopatkami. Voda jím však protéká plně, na jedné straně oběžného kola do lopatek vstupuje, na druhé vychází. Většina turbin má navíc ještě rozváděcí kolo, které je pevné, neotáčí se a slouží k přivádění vody na lopatky oběžného kola. Zaručuje vlastně, aby voda na lopatky přicházela v tom neoptimálnějším směru. Velmi důležité je zakřivení lopatek obou kol, určené podle náročných hydrodynamických výpočtů nebo pomocí modelování. Rozváděcí kolo bývá v některých případech nahrazeno několika tryskami.

Otáčející se hřídel oběžného kola pak může přímo pohánět pracovní mechanismus. Nejčastěji to bývá generátor pro výrobu elektrického proudu.

Podle způsobu práce se moderní turbíny dělí na rovnotlaké a přetlakové. V rovnotlakých turbínách zůstává tlak vody stále stejný – to znamená, že voda vychází z turbíny pod stejným tlakem, pod jakým do ní vstupuje. Příkladem je Peltonovo kolo, nejvýhodnější pro toky s malým průtokem vody, ale s velkým spádem. Takové podmínky nalézáme nejčastěji v horských oblastech.



Řez vodní elektrárnou



Vodní elektrárna Dalešice



První elektrárna u Niagarských vodopádů

U přetlakových turbín vstupuje voda do oběžného kola s určitým přetlakem, který při průtoku turbínou klesá. Při výstupu z turbíny má tedy voda nižší tlak než při vstupu do ní. Právě takhle pracují Francisovy turbíny, vhodné pro střední spády.

Pro malé výkony na malých spádech jsou vhodné **horizontální turbíny**, pro malé spády a velké výkony se stavějí vertikální turbíny.

Vývoj Francisových turbín ještě není ukončen. Dosahují výkonů až 250 MW, jsou však schopny i 1000 MW a více.

Pro nejmenší spády a velký průtok vody – to znamená pro elektrárny na přehradních jezerech dolních toků velkých řek – se jako nejvýhodnější ukazují Kaplanovy turbíny.

Tam, kde by bylo ne hospodárné přivádět elektrický proud z velkých vzdáleností, nebo dokonce stavět velké vodní elektrárny, dobře slouží miniaturní vodní turbíny. Stačí jim poměrně malé množství vody, nevelký spád a jednoduché stavební vybavení. Jejich výkony se pohybují od 5 kW výše.

## VODNÍ ELEKTRÁRNY

Zatímco energie vodního kola byla využívána pro velmi pestrou paletu nejrůznějších

lidských činností, moderní vodní turbíny nacházejí své uplatnění takřka výhradně při výrobě elektrického proudu. Vodní síla nám dokáže vyrobit elektrický proud vlastně zadarmo. Ovšem jen tehdy, když náklady na výstavbu elektrárny a především vodního díla, zaručujícího pro elektrárnu dostatečný a soustavný přívod vody, nejsou příliš vysoké. Proto se „vodní“ elektrické energie využívá především v oblastech prudkých toků s velkými spády, které jsou pro tento účel nevýhodnější. A tak jsou na tom dobře třeba v hornatém Švýcarsku nebo v Norsku.

Ideální by vlastně bylo stavět vodní elektrárny na vodopádech. Proto také jedna z prvních byla vybudována na Niagarských vodopádech. Technicky je provedena tak, že nad vodopády je voda (samozřejmě jen její malá část) odváděna potrubím do elektrárny pod vodopády. K pohonu **turbín** je tu tedy převážně využíván značný spád daný rozdílem výšek. Z celkové energie vodopádů je využíván jen zlomek, nedá se však předpokládat, že by to bylo v budoucnu lepší. Ani Američané, ani Kanadáné by si asi nenechali svůj nejslavnější vodopád spoutat do potrubí.

U nás nejsou přírodní poměry pro budování vodních energetických děl příliš příznivé. Naše toky nemají potřebný spád

a dostatečné množství vody. To lze někdy docela důmyslně obejít. Například v jedné bývalé šachtě zlatých dolů v Kremnici na Slovensku byly instalovány turbíny a voda na ně byla vedena z povrchové nádrže potrubím o spádu téměř 250 metrů. Protože voda se z šachty na povrch musela opět vyčerpávat elektrickými čerpadly, vznikala zdánlivě nesmyslný kolotoč. Jeho účelnost však spočívala v tom, že turbíny pracovaly v době velké spotřeby elektrického proudu ve „špičce“, a naopak voda se vyčerpávala v noci, kdy bylo energie dostatek.

Právě jsme si vysvětlili princip tzv. přečerpávacích (špičkových) elektráren. Podobných bylo na našem území postaveno několik. Nikoli v dolech, ale na povrchu, kde se voda spouští a zase přečerpává do dvou v různých výškách postavených nádrží. Taková elektrárna pracovala např. pod Černým jezerem na Šumavě, u Pastvin na Divoké Orlici atd. K nejznámějším asi dodnes patří elektrárna na přehradě ve Štěchovicích na Vltavě. Moderními přečerpávacími elektrárnami jsou např. Dalešice a elektrárna Dlouhé Stráně, která má hned několik „nej“: soustrojí s největším výkonem v Evropě (325 MW), největší spád v České republice (510,7 m) a největší instalovaný výkon v ČR ( $2 \times 325$  MW).



V České republice se v minulých desetiletích stavěly spíše vodní elektrárny na mohutných údolních přehradách, např. na Vltavě. Působily impozantně, jejich energetický význam je však problematický. Obrovské náklady na výstavbu, tisíce hektarů zatopené zemědělské půdy a mnohdy i nepříznivý vliv na klima nemůže vyvážit energetické zisky z takovýchto staveb. To platí samozřejmě nejen u nás, ale všude ve světě. Získávat vodní energii tímto způsobem má smysl jen tehdy, když podobná vodohospodářská díla mají zároveň i jiné účely – umožňují splavnost řek, chrání před povodněmi, slouží k zavlažování nebo jako rezervoáry pitné či užitkové vody.



Vodní elektrárna Slapy





Povodeň na Berounce roku 1872 dokazuje, jaká síla je ukrytá ve vodních tocích

## ENERGIE ŘEK A MOŘÍ

V řekách a mořích je ukryt obrovský potenciál energie. Energie nevyčerpatelné, protože se stále obnovuje. Energie o to vzácnější, že při jejím získávání neznečišťujeme životní prostředí, neničíme si naši mateřskou planetu. Už stovky let se ji učíme ovládnout a využít, stále však nejsme na konci cesty.

### ENERGIE ZADARMO

Je vlastností lidí, že se chtějí mít stále lépe. Co člověku stačilo včera, s tím je již dnes nespokojený. A zítřek? Lidská nespokojenost je hybným motorem pokroku. Ovšem, za každý pokrok technické civilizace našeho věku se zatím draze platí. Stále stoupá spotřeba energie se všemi ekologickými důsledky. Dochází tak k nerovnováze. Na jedné straně stojí vyspělá věda a rozvinuté technologie, na druhé straně se po staletí mnoho nezměnilo. Stále se zrychluje čerpání jediných dobře přístupných zdrojů

energie, převážně fosilních paliv. Jejich zásoby se však hrozivě zmenšují.

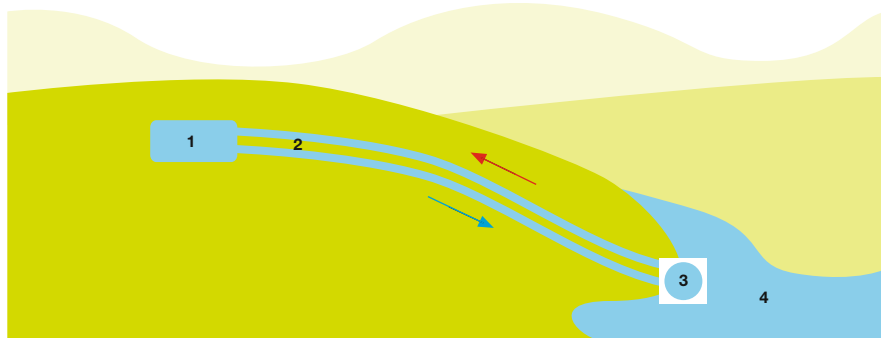
Potřeba hledat nové, netradiční energetické zdroje a zdokonalovat obnovitelné zdroje již známé se jeví se stále větší naléhavostí. Při tomto hledání je však nutné úzkostlivě dbát ekologických hledisek, protože není nic tak vratkého a snadno zranitelného, jako rovnováha životního prostředí.

Takovým stále se obnovujícím zdrojem energie je **koloběh vody v přírodě**. U tečkou vody se zatím v největší míře využívá její **polohová** (potenciální) a **pohybová**

(kinetická) energie. Voda stéká z hor a cestou uvolňuje svou nashromážděnou energii. Po jejím vyčerpání se vrací do moří, kde je potenciální energie nejnižší.

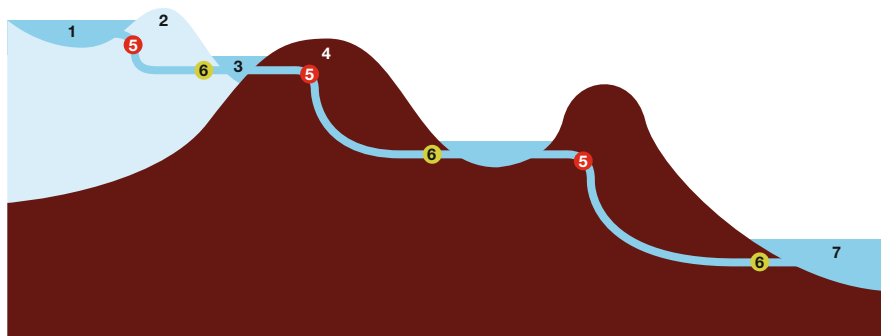
Původní energii pak voda opět získá působením slunečního záření. Sluneční energie vodu odpaří z hladiny moří a jako dešťové anebo sněhové srážky navrací zpět do míst vysoké potenciální energie. A koloběh se opakuje.

Je na člověku, jak tuto zásobárnu využije, neboť z lidského pohledu je to energie získaná takřka zadarmo.



- 1 horní nádrž
- 2 potrubí
- 3 elektrárna
- 4 dolní nádrž

Uspořádání přečerpávací vodní elektrárny



- 1 ledovce
- 2 přirozená ledovcová bariéra
- 3 ledovcová jezera
- 4 horská skalní hráz
- 5 kaskáda vodních elektráren
- 6 přečerpávací stanice
- 7 mořská zátoka

Návrh kaskády ledovcových vodních elektráren v jižním Grónsku

## VODNÍ ELEKTRÁRNY

Nejběžnějším způsobem využívání vodní energie je její přeměna v energii elektrickou. Ve vodních elektrárnách voda roztáčí turbíny a točící se turbína pohání rotor elektrického generátoru. Konečným výsledkem této činnosti je vyrobená elektrická energie. Ta se pak transformuje a vysokonapěťovými rozvody odvádí do míst spotřeby.

Posláním vodních elektráren je – zejména v naší zemi, kde není dostatek velkých vodních zdrojů – pracovat jako doplňkové elektrárny k velkým energetickým kolosům,

kterými jsou tepelné elektrárny na fosilní paliva nebo uran. Doplnějí a vyrovnávají okamžitou energetickou bilanci v elektrizační síti. Jejich velkou předností je možnost náběhu ve velmi krátké době, s velkým výkonem.

Paleta vodních elektráren je velmi široká. Jsou elektrárny **ledovcové**, elektrárny **přečerpávací**, elektrárny velké i elektrárny malé. Nelze zcela vyčerpát všechna hlediska, podle kterých jsou vodní elektrárny tříděny a rozlišovány. Všechny bez rozdílu však využívají základní princip – **polohový**

**energetický potenciál vody**. Jsou takové, které využívají přímo říčního proudu na jezích, další získávají větší spádový zisk výstavbou derivačního kanálu.

Mezi nejznámější typy vodních elektráren patří **akumulační** elektrárny. Jsou charakterizovány hrází a jezerem, kde je shromážděna velká zásoba vody. Tato **vodní** díla v sobě spojují více poslání než pouhou akumulaci vody pro výrobu energie. V trati pod hrází stabilizují průtoky vod říčním korytem, chrání před povodněmi a podporují plavební možnosti toku. Břehy nádrží mohou sloužit jako

- 1 jez
- 2 hrubé česle
- 3 stavidla
- 4 přívodní kanál
- 5 jemné česle
- 6 stavidla
- 7 elektrárna
- 8 jalová propust
- 9 odpadní kanál

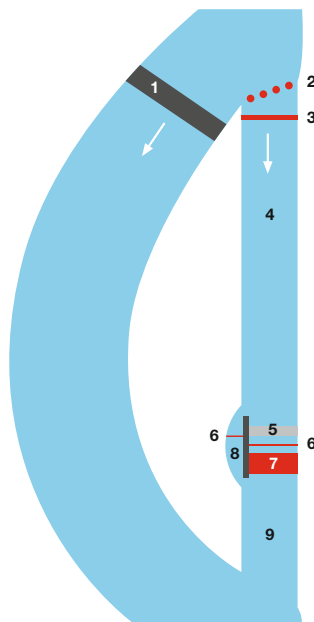
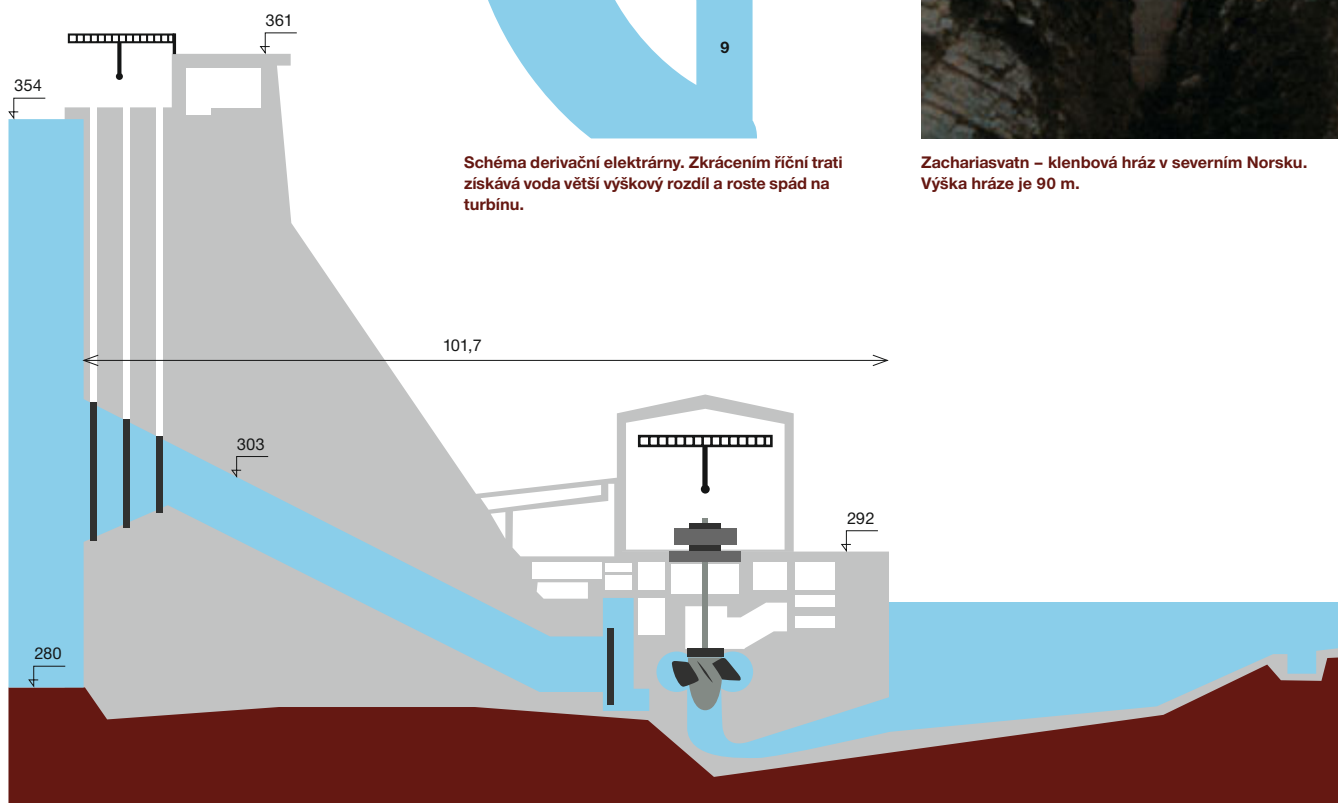


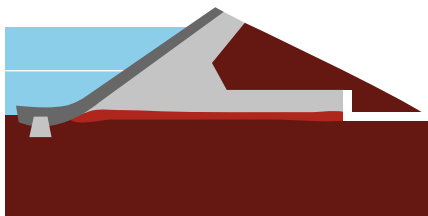
Schéma derivační elektrárny. Zkrácením říční trati získává voda větší výškový rozdíl a roste spád na turbínu.



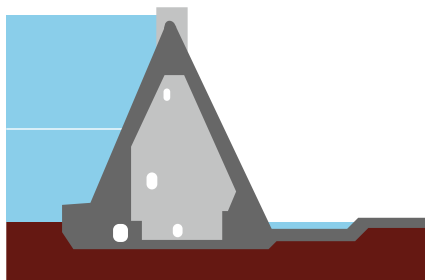
Zachariassvatn – klenbová hráz v severním Norsku. Výška hráze je 90 m.



Vodní dílo Orlik. Hráz přímá, betonová, gravitační. Výška hráze 91,5 m, délka v koruně 450 m, elektrárna osazena čtyřmi Kaplanovými turbinami o výkonu  $4 \times 91$  MW (číselné údaje jsou udány v metrech).



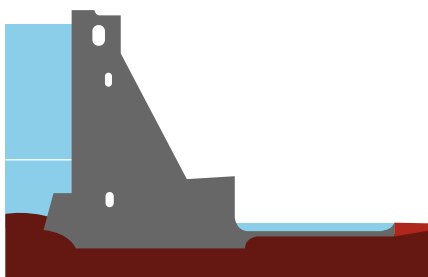
Řez gravitační hrází Stanovice



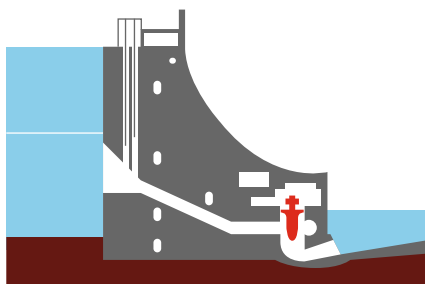
Ukázka kontrolních chodeb uvnitř přehradní hrázé vodního díla Fláje



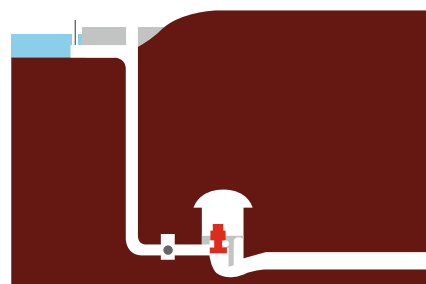
Situace vodního díla Orlik a jeho vyrovnávací nádrže vodního díla Kamýk



Vodní dílo Klíčava – přepadový blok s vývařišťem



Umístění elektrárny ve vodním díle Slapy



Umístění elektrárny v podzemí – vodní dílo Lipno

rekreační oblasti. Mnohdy jsou nádrže také zdrojem pitné vody pro vodárny, technologické vody pro průmysl a závlahové vody pro zemědělství.

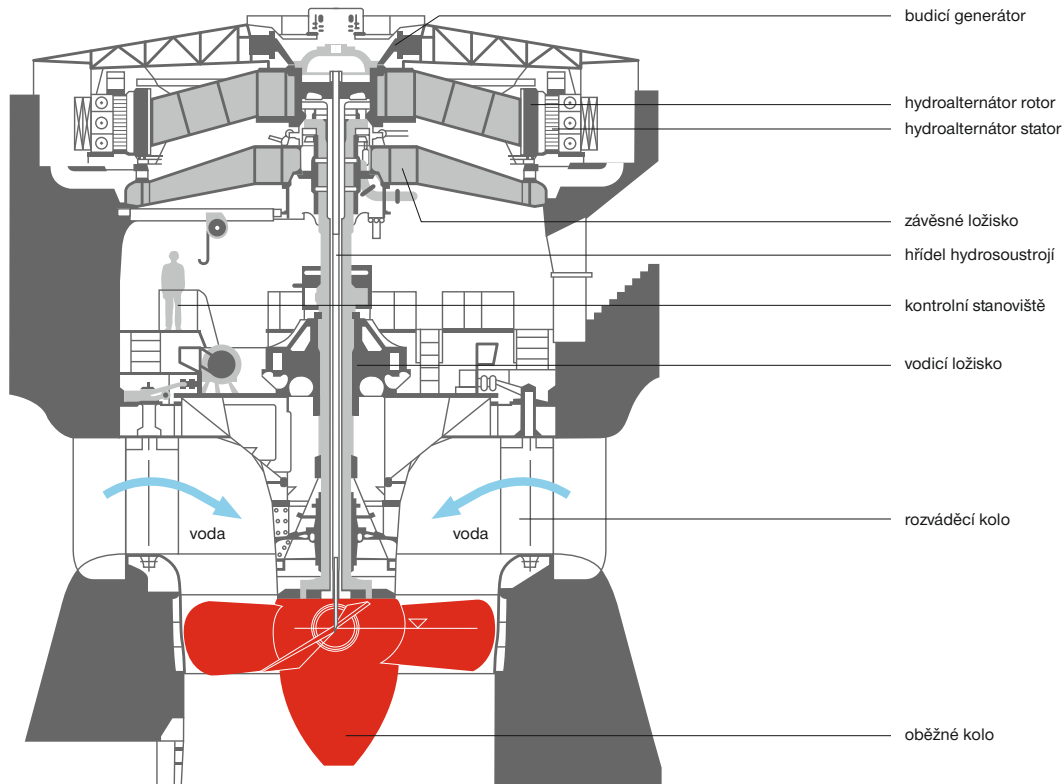
**Hráze** bývají budovány jako **sypané** (gravitační s těsnicím jádrem), kde hráz vzdoruje tlaku vody svou hmotností a objemností. Jiné jsou hrázé **klenbové**, kde se proti tlaku vody vzpírá poměrně tenká železobetonová protiproudě vyklenutá skořepina. Na řekách jsou stavěny jezy se zabudovanými elektrárenskými objekty. V poslední době se rozšiřuje i výstavba takzvaných **malých vodních elektráren**, kde akumulace vody je nenáročná a mnohde stačí dřevěný jízec s náhonem na derivační kanál.

Hráz velkých vodních děl je technicky složitá stavba protkaná sítí kontrolních chodeb s množstvím pevných bodů, které jsou nepřetržitě kontrolovány a přeměřovány, zda nedochází k nežádoucím pohybům v tělese hrázé. Samotná hráz je zabezpečena proti přelíti spodními výpustěmi opatřenými **klapkami** a horními **přelivovými hranami**, které jsou navíc obvykle stavitelné. Tato zařízení umožňují také průběžně upravovat výšku hladiny ve zdrži. Výpusti a přelivy jsou na vzdušné straně hrázé ukončeny bazénem, **vývařišťem**. Zde se odtékající energeticky bohatá voda zklidní a odchází do řečiště, resp. do vyrovnávací nádrže.

Pod velkými vodními díly se staví další **vyrovnávací akumulační nádrž**. Jejím úkolem je zachytit velké průtoky vody turbinami. Bez vyrovnávací nádrže by při chodu turbin vznikaly v řečišti pod hrází povodně. Vyrovnávací nádrž tyto pracovní přítoky zachycuje a odtékající vodu rovnoměrně rozloží do času tak, že průtok řečištěm je stabilizovaný.

Umístění vlastní elektrárny může být různé. Cílem je využít co nejlépe akumulovalané vody a její energie. Jsou elektrárny zabudované přímo do **tělesa hrázé**. Jinde je elektrárna vystavěna hluboko v **podzemí**. Voda se k ní přivádí tlakovým potrubím a odvádí se podzemním kanálem s volnou hladinou do vyrovnávací nádrže. Vše záleží





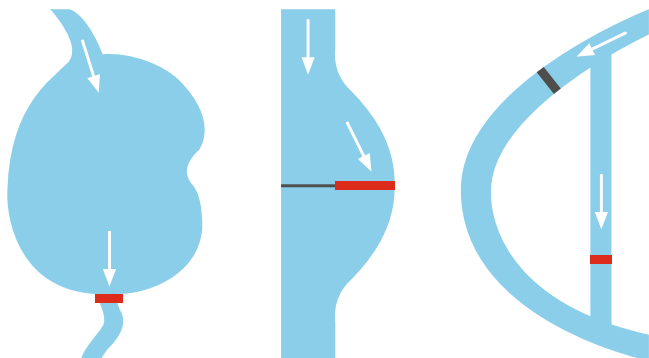
Vertikální Kaplanova turbína v elektrárně Persenberg – Rakousko



Vodní elektrárna Lipno II



Slapy – hrázové těleso



Tři základní varianty řešení hydroenergetických děl



Strojovna vodní elektrárny Štěchovice



Vodní dílo Štěchovice – jedno z nejstarších na vltavské kaskádě



Vodní elektrárna Spálov

na tvaru terénu, výškových a spádových možnostech a na množství vody, které je k dispozici. Elektrárny, které využívají sice menšího množství vody, ale s velkým výškovým rozdílem, často používají tlakového potrubí položeného na povrchu terénu.

Srdcem každé vodní elektrárny je vodní motor, turbína s elektrogenerátorem. K turbíně je voda přiváděna z odběrných zařízení hráze. Energeticky využitá voda pak odtéká do vývěřiště hráze anebo zvláštním svodným zařízením přímo do vyrovnávací nádrže.

**Volba turbíny** je do značné míry přímo závislá na účelu a podmínkách celého vodního díla. Nejčastěji se osazují turbíny reakčního typu, a to Francisova nebo Kaplanova turbína v nepřeberné paletě modifikací. Pro vysoké spády (někdy až 500 m) se používá Peltonova turbína, která se řadí mezi turbíny akční. V přečerpávacích vodních elektrárnách se používá turbín s reverzním chodem a s přestavitelnými lopatkami. V opravdu malých vodních elektrárnách se převážně zabydlela malá horizontální turbína Bánkiho

spolu s upravenou jednoduchou turbínou Francisovou.

### MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

Zeměpisná poloha České republiky je taková, že velké řeky u nás většinou pouze pramení, a tak značná část je rozptýlena v malých tocích. Je velmi žádoucí tuto zatím unikající energii podchytit a energeticky využít.

Malá vodní elektrárna je pojem ne zcela vystihující obsah. Zahrnuje zdroje elektrické

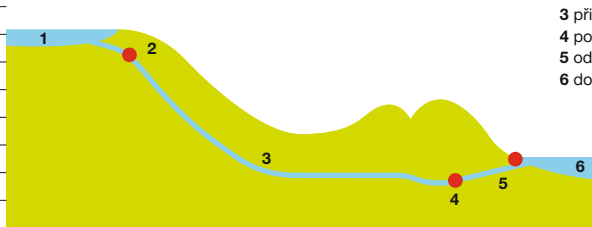




Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně. Na snímku vidíme horní i dolní nádrž.

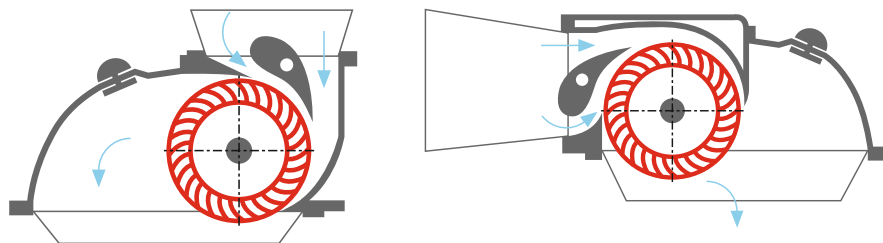
m n. m.

1400  
1300  
1200  
1100  
1000  
900  
800  
700



- 1 horní nádrž
- 2 objekt uzávěrů
- 3 přívaděč o průměru 3600 mm
- 4 podzemní elektrárna
- 5 odpadní tunel o průměru 5200 mm
- 6 dolní nádrž

Schematický podélný profil přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně



Bánkiho turbína s různým typem přívodu vody

energie od těch nejmenších kapacit o výkonech necelých 20 kW, sloužících pro uspokojení potřeb majitele, až po říční elektrárny o výkonech 20 MW. Podle vodnatosti, spádu a trvání použitelných průtoků jsou pak osazovány vhodnými typy turbín. Nároky na stavební úpravy malých vodních elektráren rostou s instalovaným výkonem. Pro malé Bánkiho turbíny stačí pouhý dřevěný domek, jednoduché přívaděcí potrubí a dřevěný hradící jizek. Instalace náročnějších typů turbín s většími a velkými výkony vyžaduje i podstatně rozsáhlejší stavební úpravy.

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

## PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNY

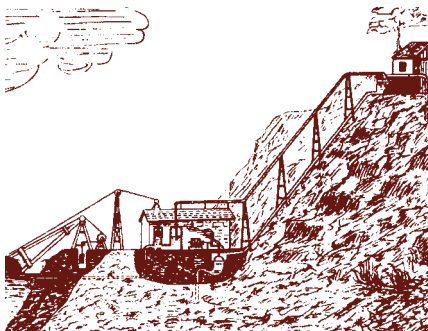
Protože elektrickou energii nelze v čistém stavu skladovat, musí elektrizační soustava

státu v každém okamžiku vyrobit přesně tolik elektrické energie, kolik jí průmyslové podniky, zemědělství a vůbec celá společnost spotřebují. Spotřeba elektrické energie však kolísá jak během dne, tak i v delších obdobích. Velké energetické zdroje, jako jsou tepelné elektrárny, nejsou schopné a ani uzpůsobené rychle a pružně reagovat na stále se měnící spotřebu. Vznikají tak ztráty z přebytku vyrobené energie. Používání přečerpávacích vodních elektráren je vedeno nutností zamezit těmto energetickým ztrátám. Tento typ vodních elektráren umí „skladovat“ drazo vyrobenou energii. Proces uchování nevyužité energie, vyrobené převážně v noci a o sobotách a nedělích, probíhá tak, že elektrická energie je v nich měněna na energii jinou. Na takovou energii, která je trvale v pohotovosti a v každém okamžiku je použitelná pro vykrývání energetických špiček a maximálních spotřeb.

Ve zjednodušeném pohledu přečerpávací vodní elektrárna není nic jiného, než soustava dvou výškově rozdílně položených vodních nádrží spojených tlakovým potrubím, na němž je v jeho dolní části umístěna turbína s elektrickým generátorem.

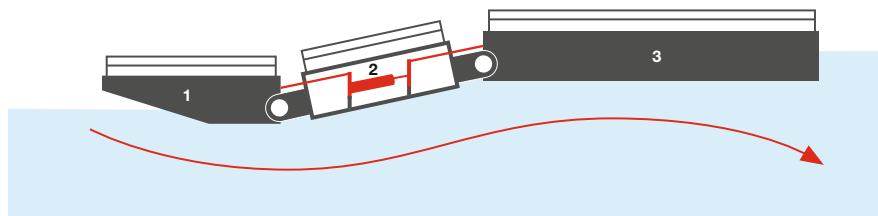
Přebytek elektrické energie je zde ukládán tím způsobem, že elektromotor pohání **čerpadlo** a to vytlačuje vodu shromážděnou v dolní nádrži do nádrže horní. Přebytečná elektrická energie se zde nejprve mění v energii mechanickou – činnost čerpadla. Přeměna pokračuje dál. Mechanická energie čerpadla se předává vytlačené vodě do horní nádrže. Voda získává potenciální energii.

V době potřeby je pak možné kdykoli tuto uskladněnou energii znovu použít. Voda z horní nádrže se přivede potrubím na turbínu. Svým tlakem a rychlostí ji roztočí. Mechanická energie točící se turbíny pohání generátor a mění se zpět na elektrickou energii.



Zařízení na využití energie mořského vlnění z přelomu století

- 1 přední nárazová část plavidla
- 2 střední část se strojovnou, vodním motorem a alternátorem
- 3 zadní stabilizační část elektrárny



Plovoucí vlnová elektrárna, tzv. Cockerellovy plovoucí trámy – pontony

V praxi se tento proces děje tak, že vodní přečerpávací elektrárny se staví v horském terénu, aby bylo možné mezi oběma nádržemi získat dostatečný výškový rozdíl. Nádrže jsou pak spojeny tlakovým potrubím s osazenou turbínou s generátorem na druhém konci. Turbína je konstruována tak, aby byla schopna pracovat ve dvou režimech. Jednou při přečerpávání jako čerpadlo, podruhé při zužitkování horní vody jako vodní motor, tj. turbína. Názorným příkladem přečerpávací vodní elektrárny je elektrárna Dlouhé Stráně na severní Moravě. Výškový rozdíl hladin obou nádrží je 535 m. Koruna horní hráze leží ve výšce 1 350 m n. m. Elektrárna je osazena dvěma Francisovými turbínami s jednotkovým instalovaným výkonem 325 MW.

Velkou předností přečerpávacích vodních elektráren je to, že kromě „skladovacích“ schopností jsou schopny se po spuštění přifázovat do elektrifikační sítě s plným výkonem v několika minutách.

## ENERGIE MOŘÍ

Světovým oceánem nazýváme veškerou vodní hmotu na povrchu země s výjimkou vod na pevninách. To jsou vody řek, jezer a podzemní vody. Nepatří sem ani vody v pevninských ledovcích, krystalické vody

nerostů, vody biosféry a veškeré vody v atmosférických parách.

Ve světových oceánech je soustředěno 96,5 % veškeré vody planety Země. Střední hloubka světových oceánů dosahuje přibližně hodnoty 3 790 metrů. Kdyby se veškeré vody oceánů rovnoměrně rozlily po celé ploše Země, dosáhla by hladina výšky 2 200 metrů.

Světové oceány a moře mají vlastní proudový systém, rozvrstvení slanosti sedimentů. Důležité je **rozvrstvení teplot** ve vodních masách. Vrchní vrstva má značně kolísavou teplotu a podléhá sezónním změnám. Další vrstva, která na předešlou těsně navazuje, je již podstatně tepelně stálější. Hranice mezi nimi je však neostrá. Pohybuje se v hloubkách od desítek do tisíce metrů. Dochází zde k prudkému zlomu v teplotě. Obecně se dá říci, že klesá se stoupající zeměpisnou šířkou. Například v tropech se nalézá již v hloubce několika desítek metrů. Toto tepelné rozhraní zásadně ovlivňuje rozsah proudění vodních mas.

Dalším činitelem ovlivňujícím vody oceánů je **hustota** vodstev. Je závislá na teplotě a na slanosti.

Na všech těchto základních a i na dalších, podružnějších vlastnostech závisí a přímo z nich vyplývají možnosti jejich energetické ho využití.

## ENERGIE VLNĚNÍ

Celá hmota světových moří je v neustálém pohybu, a to nejen na povrchu, ale i ve značných hloubkách. **Vertikální pohyb** vodních částic mění úroveň mořské hladiny, **horizontální pohyb** je příčinou vzniku jak místního, tak celooceánského proudového systému.

Nejdůležitějším pohybem vodních částic na povrchu oceánů a moří je **vlnění**, které má různý původ. Jde o vlnění působené větrem, slapové působení Měsíce a Slunce, vlnění před ústím velkých řek, katastrofické vlnění **tsunami**, které je následkem podmořských zemětřesení.

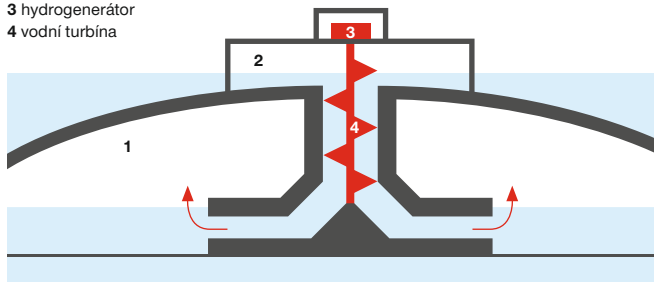
Odhaduje se, že energie, kterou vyvinou vlny ve všech světových oceánech, dosahuje hodnoty 342 miliard MJ. Zatím se však tohoto zdroje využívá velice málo.

První kroky k praktickému využití mořského vlnění však už byly učiněny. Například bylo vypočteno, že každá vlna vzdutého moře při pobřeží Velké Británie má nepřetržitě po celý rok na jeden metr své délky výkon 50–80 kWh.

Jedním z mnoha řešení je návrh na používání **trojdílných pontonů**. Ty by byly zakotveny na dně a ležely na povrchu mořské hladiny. Pohyb vln by se přenášel na vodní motor systémem kyvadel nebo pístů.

Další zajímavý návrh je znám pod jménem Ploeg. V podstatě jde o řadu plováků, které

- 1 vzduchový polštář
- 2 vzduchová tlumící vana
- 3 hydrogenerátor
- 4 vodní turbína



Princip vlnové elektrárny – Dam-Atol

působením vln kmitají kolem osy. Tento pohyb je soustavou hydraulických nebo mechanických zařízení převáděn na generátor.

Jiný způsob využití vln byl navržen v Japonsku. **Elektrárna Kalimai** je podobná cisternové lodi dlouhé 80 m a široké 12 m. Mořské vlny stlačují v komorách stanice vzduch a pohánějí 3 turbíny s generátory o výkonu 200 kW. Takto upravená elektrárna je víceúčelová, protože plní funkci vlnolamu před přístavem a před rybími farmami.

U havajského pobřeží byly prováděny pokusy s **minielektrárnami** umístěnými v mořských bójích.

Na převratnou myšlenku ve využití energie mořských vln přišli pracovníci firmy Lockheed. Navrhli novou konstrukci **elektrárny Dam-Atol**. Je to umělý ostrov. Vlnová elektrárna má být kruhová o průměru 76 m. Lopatky zvláštního tvaru by přiváděly vodu z moře do středu elektrárny, kde by se vytvářel mohutný vír, který by otáčel lopatkami turbíny. Přivaděč vody by měl průměr 20 m a hydrogenerátor by dosahoval výkonu až 2 MW.

## ELEKTRÁRNY PRO VYUŽITÍ MOŘSKÉHO PŘÍBOJE

Charakter mořských vln se výrazně mění při jejich příchodu do mělkých vod. Narazí-li vlny na mořské dno, mění se jak jejich

délka, tak i výška. Ta se zvyšuje a hřebeny vln se lámou.

Síla **příboje** při větších bouřkách je až neuvěřitelná. Například ve Francii přehazovaly příbojové vlny přes kamenný vlnolam vysoký 7 m balvany o hmotnosti až 3,5 t a betonový blok o hmotnosti 65 t posunuly na vzdálenost 20 m.

Příbojové vlnění svými nárazy na pobřeží vyvolává velmi silné otřesy. Velká síla příboje je zatím velice málo používána i proto, že v místech silného příboje se nenalézají velká města a ani se nestaví žádné velké průmyslové podniky.

Ojedinelá je proto **příbojová hydroelektrárna** na pobřeží Bretaně s generátory umístěnými pod mořskou hladinou.

V Japonsku byla zkonstruována vodní turbína s vertikálním hřídelem, použitelná pro oba směry průtoků vody. Lze ji použít i pro využití příboje. Její lopatky se samy otevírají asi na polovině obvodu ve směru proti vodnímu průtoku. Výsledná nerovnováha tvoří točivý moment. Čtyřlopatkové turbíny mají průměr až 700 mm a výšku 150 mm.

## ENERGIE MOŘSKÝCH PROUDŮ

**Cirkulace** vodních mas ve světových oceánech a mořích je nejen periodická, ale uchovává svůj směr a rychlost. Stabilní

proudy jsou součástí celooceánské cirkulace. Proudy přemisťují obrovská množství vody na velké vzdálenosti. Jsou určujícím elementem teploty vodstev jak na povrchu, tak v hloubce a podstatně ovlivňují klima přilehlých pevnin – například Golský proud otepluje evropský kontinent.

Energetické využití těchto mořských proudů zůstává zatím ve stavu úvah a studií. Jako příklad lze uvést návrh na energetické využití části Golského proudu mezi mysem Heterras a Floridou v USA. Průměrná rychlost proudu je v těchto místech 3,2 km/h ve spodních vodních vrstvách a 8,8 km/h při povrchu. Každou sekundu tudíž proteče 70 milionů m<sup>3</sup> vody.

Na úrovni mysu Heterras se téměř 100 km široký proud vody obrací k východu a směřuje k Evropě. Podle propočtů by se zde dalo získat z 1 m<sup>3</sup> vody 0,8 kW elektrického výkonu. Celkový energetický výkon Golského proudu v těchto místech se odhaduje na 25 tisíc MW.

V projektu se uvažuje o využití velkých turbín o průměru asi 170 m se dvěma lopatkami oběžného kola, otáčejícími se rychlostí 1 otáčka za minutu. Turbíny mají být upevněny ocelovými lany k těžkým kotvám v hloubce 30 až 130 m pod hladinou. Jejich vzájemná vzdálenost by byla 100 m i s propustěmi pro proplouvání velkých



Snad nejstarší návrh na využití energie mořských slapů (přiliv a odliv) z roku 1438

lodí. Všechny projekty využívání mořských proudů s sebou však nesou velké riziko. Mohlo by dojít ke zpomalení Golfského proudu a možné katastrofické důsledky se dají stěží odhadnout.

Francouz Morion navrhuje zapustit do mořského dna obrovské disky, které by se otáčely spolu s mořským proudem. Turbína by měla průměr víc než 100 m. Tyto elektrárny navrhuje umístit k pobřeží Francie, Japonska a Iberských ostrovů. Zkušební projekt byl zrealizován u jižního pobřeží Sicílie. O tento projekt je ve světě značný zájem již také proto, že neohrožuje stabilitu proudů a nepodstupuje **ekologická** rizika.

V USA se kdysi objevil názor, že by bylo možné prokopat Floridský poloostrov a obrátit Golfský proud k severu podél amerického pobřeží při jeho plném energetickém využití. Příznivé klima by se tak z Evropy odstěhovalo do Ameriky, neboť Golfský proud by se k evropským břehům již nikdy nedostal. Uskutečnění takového projektu by přineslo katastrofické následky pro celý náš kontinent. Na západě by zimní teploty klesaly až na  $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$  a klima by bylo podobné klimatu Aljašky či Labradoru.

Podobných návrhů s možnými hrozivými následky bylo učiněno víc, ať už to bylo přehrazení Beringovy úžiny, či vybudování hráze mezi Gibraltarem a Afrikou. Vždy se však od nich naštěstí včas odstoupilo. Ekologické využití energie mořských proudů zatím čeká na svého objevitele.

### PŘÍLIVOVÉ ELEKTRÁRNY

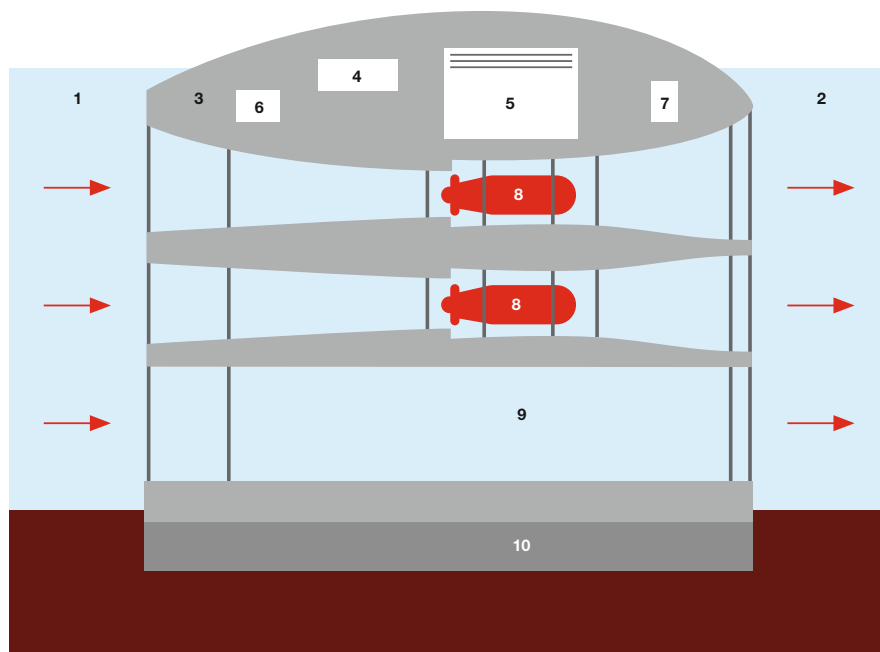
Dmutí moře, které se projevuje pravidelným stoupáním a klesáním mořské hladiny, je důsledkem působení slapových sil Měsíce a Slunce. Na světových oceánech tak vzniká **přiliv a odliv**. Na výšku přilivu a odlivu má zásadní vliv tvar pobřeží. Vysoké přilivy se tvoří tam, kde se dmoucí voda tlačí do úzkých a dlouhých zálivů. Nejvyšší známý přiliv je u Nového Skotska v USA. Voda tam stoupá o plných 20 m.

Chod slapových sil, a tím přilivů a odlivů, je jen zdánlivě pravidelný. Během měsíčního dne (to je za 24 h, 50 min a 30 s) se na témže místě vystřídá dvakrát odliv a dvakrát přiliv. Do tohoto ustáleného běhu svou přitažlivostí zasahuje Slunce a všechny nerovnoměrnosti planety Země. Výsledkem jsou potom nepravidlosti v přílivovém

a odlivovém rytmu vodních mas na různých místech Země. V určitém období vzniká takzvaný **hluchý** přiliv a odliv. Dochází i k jednodennímu přilivu a odlivu. Při stavbě přílivových elektráren je třeba přihlížet ke všem vlastnostem toho či onoho místa a ke všem nepravidlostem, které s sebou nese.

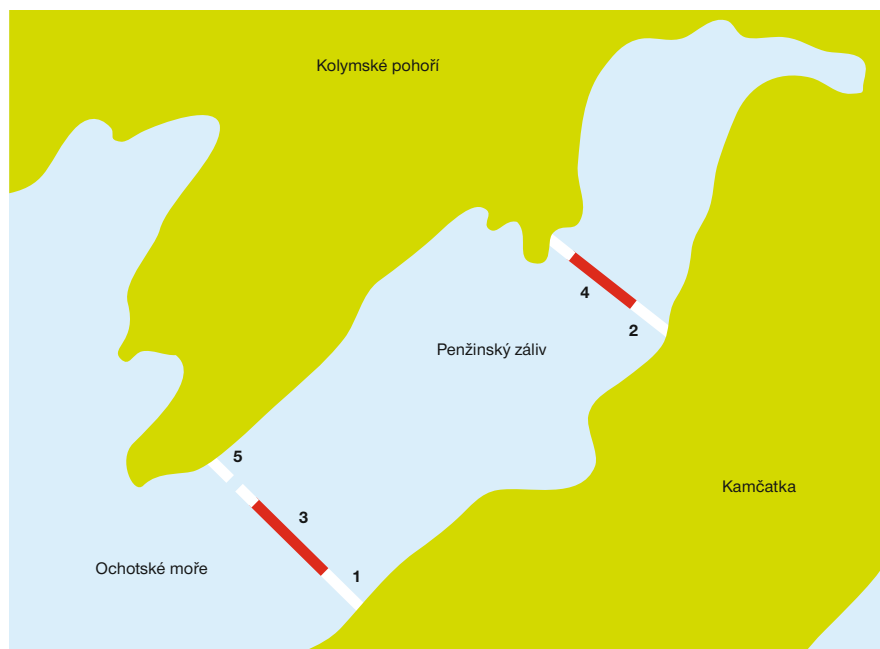
Ve Francii a Itálii jsou známy stavby přílivových mlýnů již ze 13. století. Přílivová vlna se vlévala přímo do nádrží a při odlivu se vypouštěla na mlýnská kola. Nepravidlosti přilivů a odlivů však přinášely značné obtíže, a to nejen starobylým mlýnům. Potíže vznikaly i v později budovaných přílivových elektrárnách.

Za nejstarší přílivovou elektrárnu je možné pokládat anglickou **Dee Hydro Station** v Cheshire o výkonu 635 kW. Byla postavena v roce 1913. Skutečně moderní přílivová elektrárna zahájila provoz až v roce 1966. Jedná se o **francouzskou přílivovou elektrárnu** v Bretani, v ústí řeky Rance. V těchto místech je průměrná výška přilivu 8,4 m. Nádrž nad elektrárnou využívá morfologického tvaru řečiště a má plochu 22 km<sup>2</sup>. Přílivová voda pro turbíny je navíc



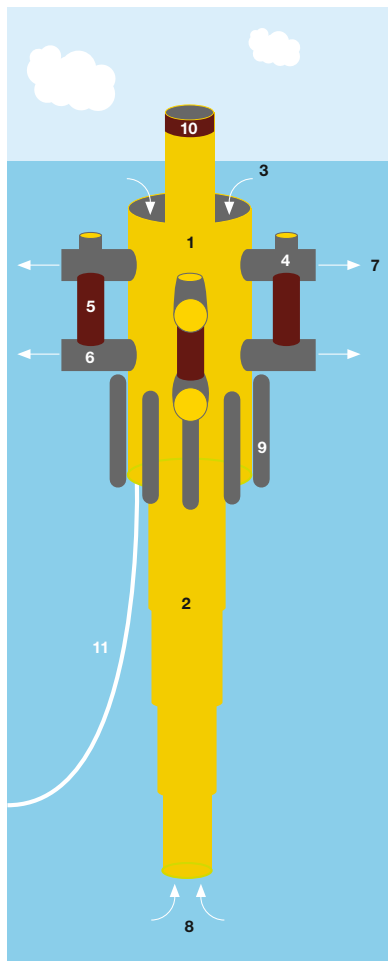
- 1 Ochotské moře
- 2 Penžinský záliv
- 3 betonový blok elektrárny dopravený na místo stavby po moři
- 4 dopravní automobilový tunel přes hráz
- 5 strojovna elektrárny s rozvodnami
- 6 pomocná komunikace
- 7 prostory pro zařízení elektrárny s rozvodnami
- 8 přímoproudé vodní Kaplanovy turbíny s alternátory
- 9 vyrovnávací vodní propust
- 10 základní deska

Průřez jedním blokem Penžinské přílivové elektrárny



- 1 hlavní hráz
- 2 hráz
- 3 přílivová elektrárna o výkonu 100 000 kW
- 4 přílivová elektrárna o výkonu 35 000 kW
- 5 plavební kanál pro mořskou dopravu

Situační plán projektu dvoustupňové přílivové elektrárny v Penžinském zálivu Ochotského moře



- 1 mořská elektrárna tvaru bóje
- 2 teleskopická trubka až do hloubky 1 000 m
- 3 přívod mořské teplé vody do výměníku tepla
- 4 komory odpařovače, v nichž se mění amoniak nebo propan na páru
- 5 strojovna s turbínou a generátorem
- 6 kondenzátor, z něhož se kondenzát vrací zpět do oběhu potrubím
- 7 výstup teplé vody z elektrárny
- 8 vstup chladné vody otvorem
- 9 nosné plováky
- 10 řídicí ústředna elektrárny
- 11 kabelové vedení elektrické energie do transformovny na pobřeží

Zařízení elektrárny OTEC (40 MW) využívající teplotního gradientu mořských hloubek

posilována i přítokem řeky. Výkon elektrárny je 240 MW. Elektrárna je vybavena 24 re-verzními turbínami, takže využívá jak přílivu, tak odlivu. Pracuje ročně 2 250 hodin a produkuje 540 milionů kWh elektrické energie.

V roce 1984 byl v Kanadě v bazénu Annapolis s výškou přílivu až 15,8 m spuštěn první stroj přílivové elektrárny. Rotor přímoproudé turbíny se čtyřmi lopatkami má průměr 7,6 m a výkon 17,8 MW.

Vážnou nevýhodou přílivových elektráren je, že jejich pracovní doba mnohdy nesouhlasí s energetickou špičkou elektrizačních soustav. Další nevýhodou je i to, že místa vhodná pro výstavbu těchto elektráren jsou mnohdy značně vzdálena od míst spotřeby produkované energie. Ztráty na dálkových vedeních jsou pak natolik značné, že se stavba nevyplácí.

Přesto energie přílivů a odlivů je naděj-ným energetickým zdrojem pro využití v budoucnosti. Ročně by se tak mohlo získat 7,2–11,8 biliónů MJ elektrické energie. Slapová energie by tedy mohla mít v budoucnosti významnou úlohu.

## VYUŽITÍ TEPELNÉ ENERGIE OCEÁNŮ A MOŘÍ

V podstatě jde o využití **teplotního rozdílu** mezi teplou vodou při hladině a chladnou

vodou mořských hlubin. Oceány a moře jsou obrovským akumulátorem tepelné energie, což je způsobeno tím, že se sluneční záření odráží od vodní hladiny s menší intenzitou než od pevnin.

Teplotního gradientu využívá **pokusná malá elektrárna MIN OTEC** (Ocean Thermal Energy Conversion). Tato elektrárna na pouhých 50 kW je postavena u pobřeží Havajských ostrovů. Působením teplé mořské vody dochází ve výměníku tepla k odpařování amoniakových par, které pak pohánějí turbínu. Po průchodu turbínou se páry opět kondenzují pomocí chladné hlubinné vody a cyklus se opakuje. Zařízení je instalováno na palubě lodi, odkud je do hloubky spuštěna přes 60 m dlouhá hadice. Tou se čerpá chladná voda potřebná ke kondenzaci par amoniaku.

Nedaleko této lodi je budováno jiné zařízení OTEC-2. Je to elektrárna založená na stejné myšlence, ale již podstatně větší. Má mít výkon 1 MW. Elektrárna se bude podobat mořské bóji s teleskopickým potrubím dosahujícím do hloubky až 1000 m.





Strojovna vodní elektrárny Štěchovice





# S VĚTREM O ZÁVOD

**Snaha zmocnit se třeba jen zlomku obrovského potenciálu větru není ničím jiným než pokračováním využití energie Slunce, našeho jediného energetického prazdroje. Slunce nestejně otepluje moře i souše a předává tak snad celá dvě procenta dopadající energie proudění vzduchu. Podle hrubého odhadu z ní lze technicky získat 26 000 TWh elektřiny ročně. Jakkoli by to byl údaj nepřesný, celý svět dnes vyrábí cca 260 TWh, tj. asi 1,5 % světové spotřeby elektřiny. Zkusme zjistit, co vítr skutečně přinesl a ještě přinese lidstvu.**

## ZKROČENÝ VÍTR

Vítr je živý, a svéhlavý. Jednou hravý vánek, jindy bláznivý fanfaron, někdy ukrutný rváč. Pokaždé však plný síly. Tisíce let trvají snahy spoutat jej, vzít mu jen zlomeček energie, kterou na celém povrchu Země střízlivě odhadujeme na nějakých 1012 kW výkonu, což odpovídá jednomu milionu tisícimega-wattových velkých energetických bloků. Z této energie lze prý vydobýt tak asi pětiset-násobek výkonu všech elektráren na světě. A bez jakýchkoli škodlivin (pokud k nim nepočítáme hluk). Přesto dosud všechny větrné elektrárny světa dosahují výkonu jen něco přes 150 000 MW (2010).

Stejně jako se nikdy nedozvíme, kdo odlil první kostelní zvon nebo poprvé okoval koně, nedopátráme se ani, kdy a kde se roztočil první větrný mlýn. Pokud nicméně paměť sahá, v dobách těsně před Kristem si učený Hérón Alexandrijský pohrával s myšlenkami na rozličné mechanismy a mezi nimi také jako pouhou hříčku zmínil větrný

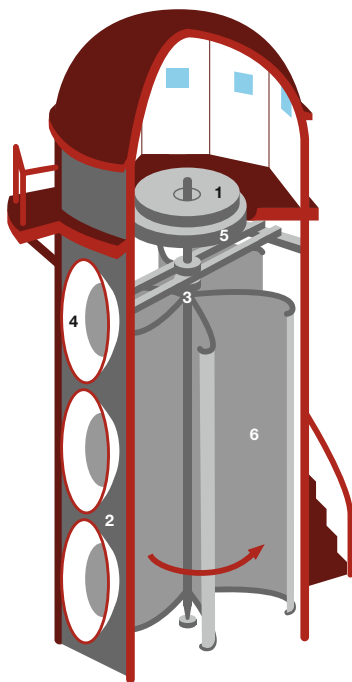
mlýn. Netrvalo ani osm set let a už podobný funkční stroj drtil obilí kdesi v Číně a Persii. Někdy kolem 10. století jej Arabové přenesli do Španělska, odkud se za dalších 200 či 300 let rozšířil po Evropě, aby se, vedle vodního kola, stal v příhodných krajích druhým motorem feudální epochy.

Větrné mlýny a podobná zařízení se sice pro svou hlučnost hodí spíše do neobydlených nebo málo lidnatých krajín, ale ve středověku jejich vrzavé zvuky patřily k přírodnímu koloritu venkovské krajiny mnohých zemí. Mlýnů se ve středověku užívalo nejen k mletí obilí, ale také k valchování sukna, pohonu měchů, kování železa, řezání dřeva, během průmyslové revoluce i k předení, tkaní a k mlácení obilí. Další užití: mletí kaka, kávy, rozemílání uhlí, rudy, stavebních a keramických surovin, chemických látek pro hnojiva, laky, barvy, výbušniny, kosmetiku a podobně.

Postavit a obsluhovat mlýny bylo nad síly většiny vesnických kovářů. Tak se zrodilo

řemeslo **sekerníků**, kteří putovali krajem a stavěli a spravovali mlýny. Tito lidé byli prvními mechaniky v moderním slova smyslu.

Větrné mlýny se dají zhruba rozdělit do dvou základních skupin a jejich variant: Zatímco **německý větrný mlýn** měl středový sloup, kolem něhož se celý natáčel do směru větru, u holandského typu spočívala na pevném základě věž s větrným kolem. Nejvhodnější pracovní režim se nastavoval svinováním a rozvinováním plachet na lopatkách větrné růžice. Nemohlo být příhodnějšího kraje pro uplatnění větrných mlýnů než Nizozemí, dodnes nazývaného zemí větrných mlýnů (a tulipánů). V 16. století se tam už otáčely lopatky strojů o jednotkovém výkonu přes 7,5 kW, tedy takové, které by stačily vyrobit dostatek elektřiny pro potřeby alespoň čtyř dnešních domácností. Leckde po Evropě pracovaly rozsáhlé vodárenské systémy s mechanickými čerpadly poháněnými větrnou energií.



- 1 otáčivý mlýnský kámen
- 2 pohyblivá stěna
- 3 rotor
- 4 komínové průduchy
- 5 pevný mlýnský kámen
- 6 tkanina lopatek

Tak to začínalo: Snad vůbec první větrný mlýn se objevil v Seistanu, bezřeké části dnešního západního Afghánistánu, patrně počátkem 7. stol. př. K. Mlýny stávaly na účelově budovaných pahorcích, hradních věžích či vrcholcích kopců. V jejich horní komoře spočíval mlýnský kámen, zatímco v dolní se otáčel rotor se šesti či dvanácti lopatkami pokrytými dvojitou vrstvou tkaniny. Otvory ve tvaru dovnitř se zužujícího trychtýře v dolní komoře urychlovaly proudění vzduchu opírajícího se do plachet. Uspořádání se svislým rotorem se rozšířilo takřka po celé Asii. Ve středověkém Egyptě sloužily tyto mlýny k drcení cukrové třtiny, ale jinak vesměs ke mletí obilí. Muslimové měli dobrý důvod zásadně odmítnout evropský typ mlýna s vodorovně uloženým rotorem, neboť jej křížáci vztýčovali na svých hradech.



Něco nového o větru: Celá staletí bývaly větrné mlýny víceméně hříčkami větru, který je nechával na holičkách, když často měnil směr. Pak přišel Angličan Edmund Lee. V roce 1745 vymyslel stabilizační „ocasní plochy“ a podružné větrné kolo, tedy soustavu, jež rotor samočinně nastavovala proti větru.

Ve vykopávkách velkomoravského sídliště z 9. století ve Starém Městě na Moravě našli archeologové pozůstatky čehosi, co mohlo být větrným mlýnem. Faktem zůstává, že **u Strahova stál v roce 1277 větrný mlýn, první průkazný doklad využití síly větru u nás.** Ještě v tomtéž století se na Moravě otáčely lopatky 680 mlýnů. Právě Morava měla dost stálých, pravidelných a rovnoměrně vanoucích větrů, a to zejména tam, kde scházela voda nezbytná pro stavbu mlýnů vodních.

## PODSTATA VĚTRU

Vítr je pohyb vzduchu vůči zemskému povrchu. Na pravidelnost tohoto proudění silně působí nerovnoměrné zahřívání vzduchu slunečním zářením, střídání teplot a tepelné rozdíly mezi mořem a pevninou, horami a údolími, zalesněnými a holými plochami

a podobně. V proudění vzduchu pak nastávají časté výkyvy, které se v krajním případě projevují větrnými bouřemi.

V pohybu větru výrazně převládá vodorovná složka. Je charakterizován jednak směrem, odkud vane (ve stupních nebo sektorech – sever 360° nebo 0°, východ 90°, jih 180°, západ 270°), jednak rychlostí (měřenou v m/s nebo km/s – viz Beaufortova stupnice).

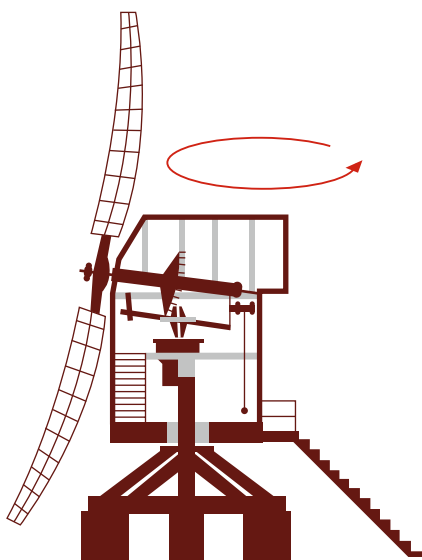
Převládající větry nad velkými územími určují všeobecnou cirkulaci atmosféry, zatímco místní větry určitého směru a charakteru se vyskytují nad menšími územími (viz Větrné lokálky). V tropických a subtropických pásmech je proudění větru pravidelné. Směrem k rovníku proudí pasáty a v horních vrstvách opačným směrem antipasáty. Pro oblast jihovýchodní Asie je typické půlroční střídání monzunů vanoucích na pevninu z moře s antimonzuny směřujícími opačně.

## VĚTRNÉ LOKÁLKY

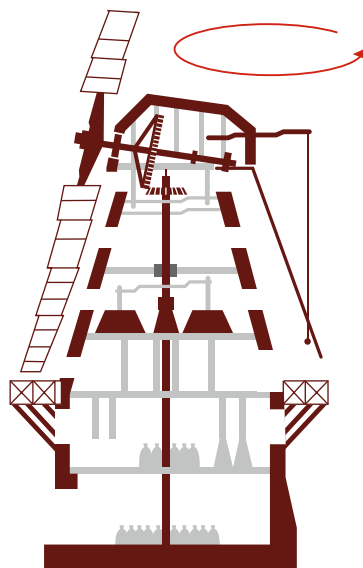
**Bóra** – silný nárazovitý padavý vítr ve směru spádnice horského hřebene přinášející v zimě citelné ochlazení. Vyskytuje se často v místech, kde s mořem hraničí nevysoký horský hřeben. Jeho rychlost dosahuje 20–60 m/s. Místní obdoba severní bóry v Orlických horách a na severní Moravě se označuje polák.

**Bríza** – vítr s denní periodicitou vznikající tam, kde sousedí dva povrchy, jejichž teplota se výrazně liší: například vodní plocha – suchý břeh nebo město s kamennými dlažbami – vlhké vegetací porostlé okolí. Typická denní (mořská) bríza vane z moře na ohřátou pevninu, noční (pobřežní) bríza z chladnější pevniny na moře. U nás se zřídka vyskytuje v období slabého všeobecného proudění s malou oblačností v létě.

**Fén** – suchý padavý vítr na závětrné straně hor. Vzniká tím, že na návětrné straně



Němec: Větrný mlýn německého typu otáčející se kolem středového sloupu. Pohyb celé hmoty znemožňoval stavbu větších a výkonnějších mlýnů.



Holandaň: Tento větrný mlýn, u kterého se proti větru natáčí pouze horní věžička s větrným kolem, se rozšířil v Holandsku. Vůbec největší stavbou tohoto typu se stal 33,3 metru vysoký nizozemský De Noord. Ramena jeho krajana zvaného Dijkpolder se rozpáhla na rekordních 29 metrů.



Poslední mohykán: Kdysi stávalo na území našeho státu kolem 900 větrných mlýnů, z toho většina na Moravě. Nezřídka se stavěly statické mlýny beraního typu, jednou provždy postavené proti předpokládanému směru převládajících větrů. Do dnešních časů se u nás zachovalo 29 zděných i dřevěných mlýnů, které však již neslouží svému účelu. Jen jediný z nich by se kdykoli mohl spustit – větrný mlýn holandského typu v Kuželově u Veselí na Moravě z roku 1842. Pracoval ještě v roce 1946, tedy přes sto let. Spolu s přílehlými hospodářskými budovami byl renovován v roce 1973. Při správném větru dokázal sešrotovat metrák obilí za necelé dvě hodiny.



Boreas a Oreithyia

Beaufortova stupnice síly větru. Podle projevů a účinků na různé předměty stanovil admirál sir Francis Beaufort pro pozorování na pevnině 12 stupňů síly větru.

| Beaufortův stupeň | Označení a rozpoznávací znaky větru                                                       | Rychlost  |            |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|
|                   |                                                                                           | (m/s)     | (km/h)     |
| 0                 | bezvětří – kouř stoupá přímo vzhůru                                                       | 0,0–0,2   | 1          |
| 1                 | vánek – směr větru je pozorovatelný podle kouře, vítr však nepůsobí na větrnou korouhev   | 0,3–1,5   | 1–5        |
| 2                 | slabý vítr – je cítit v tváři, listí stromů šelestí, korouhve se začínají pohybovat       | 1,6–3,3   | 6–11       |
| 3                 | mírný vítr – listí stromů je v trvalém pohybu, vítr napíná praporky, čeří hladinu vody    | 3,4–5,4   | 12–19      |
| 4                 | dost čerstvý vítr – zvedá prach a útržky papíru, pohybuje slabšími větvemi stromů         | 5,5–7,9   | 20–28      |
| 5                 | čerstvý vítr – keře se hýbou, na stojatých vodách se tvoří vlnky se zpětnými hřebeny      | 8,0–10,7  | 29–38      |
| 6                 | silný vítr – pohybuje tlustými větvemi, telegrafní dráty sviští, deštník působí nesnáze   | 10,8–13,8 | 39–49      |
| 7                 | prudký vítr – pohybuje celými stromy, znesnadňuje chůzi                                   | 13,9–17,1 | 50–61      |
| 8                 | bouřlivý vítr – povaluje větve, znemožňuje chůzi                                          | 17,2–20,7 | 62–74      |
| 9                 | vichřice – způsobuje menší škody na stavbách a strhává komíny a krytiny střech            | 20,8–24,4 | 75–88      |
| 10                | silná vichřice – vyskytuje se na pevnině zřídka, vyvrací stromy, působí škody na obydlích | 24,5–28,4 | 89–102     |
| 11                | mohutná vichřice – vyskytuje se velmi zřídka, působí rozsáhlé škody                       | 28,5–32,6 | 103–117    |
| 12                | orkán – ničivé účinky (odnáší střechy, demoluje těžké objekty)                            | 32,7      | 118 a více |

vystupující vzduch se nasýtí vodními parami a ochlazuje se asi o 0,6 °C na 100 m výstupu. Protože se většina kondenzované vody odčerpá ve srážkách, vzduch se vysouší a při sestupu otepluje asi o 1 °C na 100 m. U nás působí ve všech vyšších pohořích, ale není tak výrazný jako u dlouhých horských hřebenů.

**Chinook** – místní název jihozápadního fénu na východních svazích Skalnatých hor. Často má teploty 30 °C i vyšší – působí vzestup teploty o 10–20 °C během několika minut.

**Harmatan** – místní název suchého, horkého a prašného severního větru vanoucího v zimě ze Súdánu do hornoguinejské oblasti.

**Mistral** – silný chladný a nepříjemný severozápadní vítr na středomořském pobřeží Francie, který vane širokým údolím řeky Rhóny.

**Pampero** – silný studený vítr vanoucí v Jižní Americe od západu nebo jihozápadu

přes pampy; někdy je doprovázen bouřkou nebo deštěm.

Ve střední Evropě nejsilnější větry (vichřice) dosahují 9. stupně Beaufortovy stupnice, tedy rychlosti i přes 80 km/h.

### 59 % – JEDNOU PROVĚDY

Větrné kolo snižuje rychlost vzdušného proudu, čímž se část pohybové energie přeměňuje na energii mechanickou. Nejvyššího výkonu se dosahuje při zpomalení vzdušného proudu na třetinu.

Z toho pak plyne teoretický limit všech větrných kol, formulovaný poprvé v roce 1926: Neztrátová, tedy ideální větrná elektrárna, může přeměnit 6/27 energie vzdušného proudu v energii mechanickou. Jinak řečeno, její teoretická účinnost dosahuje 59 %.

Otáčky kola jsou zpomalovány třením v jeho vlastním mechanismu, třením větru a vznikem vírů. Navíc se konce lopatek vždy pohybují rychleji než jejich středové části,

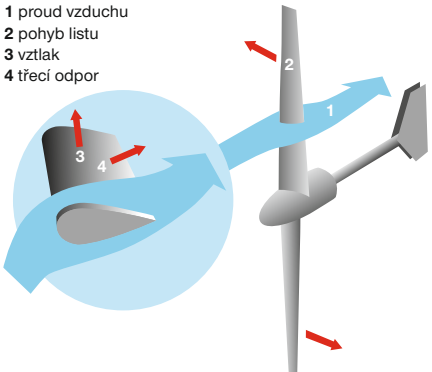
a proto také výsledná účinnost závisí na součiniteli rychloběžnosti (bývá označován  $\lambda$ ), tedy poměru rychlosti, jakou se otáčejí konce lopatek, a rychlosti větru. Zmenšíme-li počet lopatek, zvýší se součinitel rychloběžnosti čili rychlost otáčení rotoru.

Současné větrné turbíny mívají jednu až tři lopatky, a tomu odpovídá součinitel mezi čtyřmi a deseti. V nejlepším případě pak dosahují účinnosti 45 %.

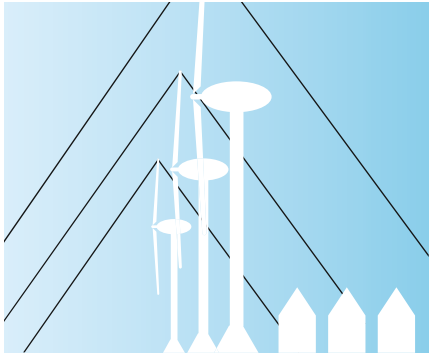
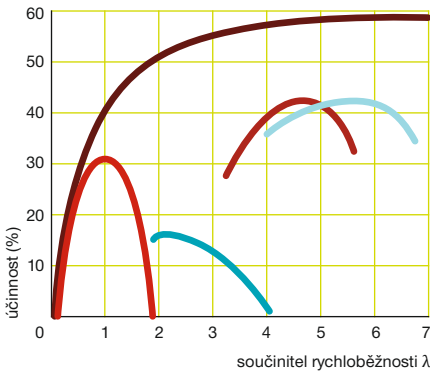
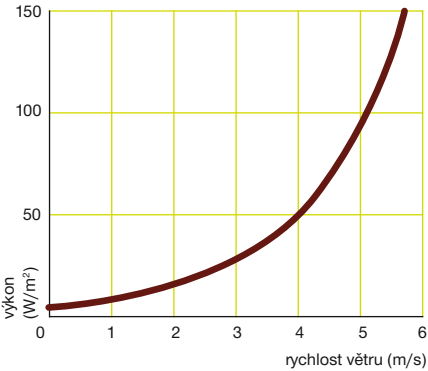
Za využitelné se považují větry dující rychlostí mezi 3 a 26 m/s (asi 15–95 km/h) ve výškách do 200 metrů. Tak široké rozmezí rychlostí nemůže jedno zařízení efektivně pokrýt, protože by se musely výrazně měnit otáčky rotoru, a tím i připojeného generátoru. Podobně jako automobilový **motor** pracuje i větrný agregát neúčinněji při daných otáčkách. Samotné generátory s proměnnou rychlostí otáček vykazují vysokou účinnost, ale vyžadují elektroniku, která udržuje konstantní kmitočet nezbytný pro připojení k veřejné distribuční síti.

Průměrná roční výroba elektrické energie u malých větrných agregátů

| Průměr rotoru (m) | Výkon při 10 m/s (W) | Očekávaný přínos (kWh/rok) |       |       |       |       |
|-------------------|----------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                      | 4 m/s                      | 5 m/s | 6 m/s | 7 m/s | 8 m/s |
| 1,5               | 150                  | 274                        | 426   | 576   | 710   | 820   |
| 1,7               | 250                  | 305                        | 527   | 747   | 944   | 1107  |
| 2,2               | 500                  | 581                        | 977   | 1421  | 1854  | 2240  |
| 2,4               | 700                  | 670                        | 1420  | 2290  | 3110  | 3800  |
| 3,0               | 900                  | 1430                       | 2048  | 2597  | 3040  | 3387  |



Princip větrného stroje



Se třetí mocninou: výkon větru prudce stoupá s třetí mocninou jeho rychlosti. Jestliže se rychlost zvýší dvakrát, podává vítr osminásobný výkon. Výkon větru totiž plyne z rovnice  $P=1/2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot S$ , kde  $P$  je výkon [W],  $\rho$  hustota vzduchu [ $\text{kg/m}^3$ ] – ta souvisí mimo jiné s tlakem, výškou a teplotou – a  $S$  plocha, kterou vítr proudí [ $\text{m}^2$ ]. Lze to snadno odvodit z rovnice pro kinetickou energii  $E=1/2 \cdot m \cdot v^2$ . Stačí vyjádřit hmotnost jako hustotu vynásobenou objemem ( $m=\rho V$ ) a výkon jako práci (energií) dělenou časem. Vychází:  $P=E/t=1/2 \cdot \rho V v^2/t$ . Pak už stačí uvědomit si, že objem vzduchu narážejícího po čas  $t$  na plochu vrtule činí  $V/t=v \cdot S$ , a rovnice výkonu větru je hotova. Příklad? Vzroste-li rychlost větru z 5 m/s (rychlý běh) na 10 m/s (špičkový sprinter na trati 100 m), výkon vzroste z 81 W/ $\text{m}^2$  na 648 W/ $\text{m}^2$ , skutečně tedy osmkrát.

**Legenda:**

- ideální dosažitelná hodnota
- americký mnohalistový rotor
- rotor Darrieus
- holandský větrný mlýn
- moderní dvoulistový rotor

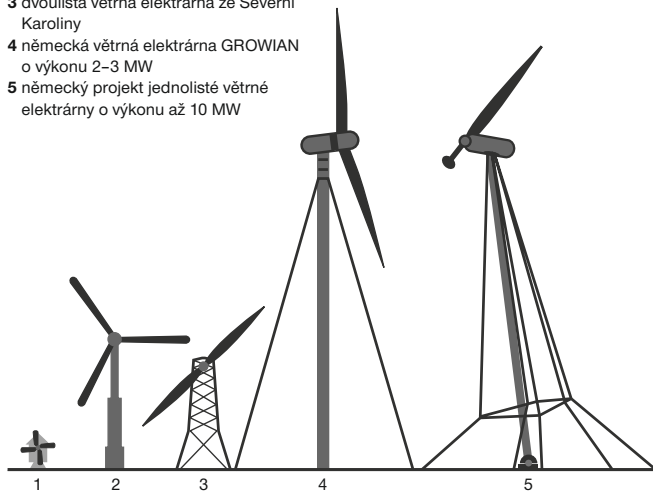
**Nedosažitelný ideál:** Účinnost jednotlivých typů větrných energetických zařízení – součinitelem rychloběžnosti je poměr obvodové rychlosti lopatek k rychlosti větru. Účinnost je dána poměrem výkonu odevzdaného rotorem k výkonu větru.

Jednou z hlavních věcí, které lze větrným elektrárnám vyčítat z hlediska životního prostředí, je hluk. Jak ukazuje schéma, v nadměrných úrovních působí do vzdálenosti o to větší, čím výše je umístěn rotor.



Větrná elektrárna Mravenečník

- 1 malý typ o výkonu kolem 90 kW
- 2 dánská větrná elektrárna TVIND s třilistovou vrtulí o výkonu 2 MW
- 3 dvoulistá větrná elektrárna ze Severní Karoliny
- 4 německá větrná elektrárna GROWIAN o výkonu 2–3 MW
- 5 německý projekt jednolisté větrné elektrárny o výkonu až 10 MW



Porovnání několika možných velikostí a typů větrných elektráren

## PŘEDNOSTI JEDINÉHO LISTU

Éra větrných mlýnů trvala několik set let. Po celou dobu měly jedinou konkurenci v podobě vodního kola. Ta se však nemohla uplatnit v sušších oblastech. Vynález parního stroje, prvního motoru zcela nezávislého na přírodních silách, znamenal přirozený úpadek obou prvních motorů. Přesto se vývoj větrných mlýnů, přesněji větrných turbín, nezastavil. Jen dočasně zůstal na okraji zájmu.

**V roce 1890 byl v Dánsku uveden do provozu první elektrický generátor poháněný větrnou turbínou.** Počátkem našeho století se už po světě otáčelo několik velkých turbín s výkonem okolo 100 kW. V roce 1941 dokonce Američané postavili ve Vermontu větrnou turbínu o výkonu 1 250 kW, ale krátce po zahájení provozu se jí utrhl list a skončila ve šrotu. Od konce druhé světové války do počátku 70. let nebylo důvodu se větrnou energetikou zabývat pro hojnost energie získávané spalováním fosilních paliv. Teprve

první ropná krize v roce 1973 zapůsobila jako podnět k dalšímu výzkumu. Za tu dobu výrazně postoupily technické znalosti, a tak se díky poznatkům z aerodynamiky a stavby letadel objevily konstrukce, které mají s dávnými mlýny vnějškově společné jen jedno – stojí za bezvětří a jinak se pohybují.

Obrovská vrtule moderní větrné turbíny je upevněna na zpravidla vodorovně uložené hřídeli na vrcholu štíhlé věže. Rovina, v níž se několik desítek metrů dlouhý jednolistý až třílistý rotor otáčí, se nastavuje pohybem celé aerodynamicky krytované gondoly, ve které je uložen také generátor s převodovkou. Konce lopatek dosahují obrovských obvodových rychlostí, což způsobuje krajní namáhání materiálu. Náhlé náporů větru, stejně jako jistá asymetrie vrtule, mohou způsobit nebezpečné rozkmitání celé konstrukce.

Dosáhnou-li náporů větru kritické rychlosti, hrozí havárie a turbínu je třeba odstavit, zapojí se brzdění rotoru a vrtulové listy se nastaví proti větru svým nejužším profilem.

Tato opatření odpadají u turbín se svisle uloženým rotorem. Systém Darrieus má navíc tu přednost, že celé velmi hmotné technické zařízení spočívá nízko pod rotorem, což zvyšuje stabilitu konstrukce.

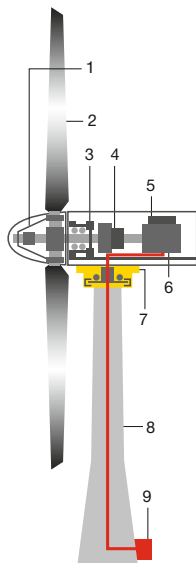
Odborníci dlouho předpokládali, že výkon největších turbín nepřekročí 3 MW. Mimochodem, první takový gigant, vysoký 150 m, postavila již v roce 1982 firma Grosse Windenergie Anlage a uvedla jej do provozu na pobřeží Severního moře.

Jednu z možností, jak zabránit nežádoucímu rozkmitání velkých větrných generátorů, představuje atypická jednolistá vrtule.

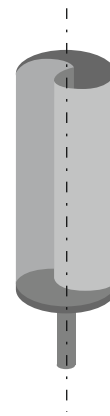
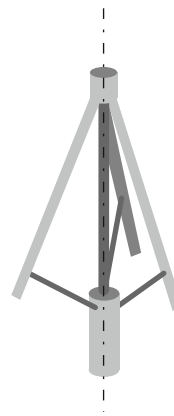
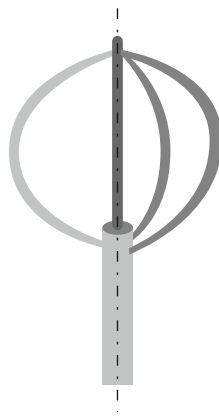
Rozdíly rychlosti větru v horní a spodní části kruhu, který opisuje dvoulistá vrtule, mohou totiž dosahovat až 2,8 m/s. Na každou polovinu pak působí rozdílné síly, které rozkmitají listy. Takový stav nemůže u jednolisté vrtule nastat a lze ji navíc dokonale vyvážit protizávažím. V Německu vznikl dokonce projekt jednolisté turbíny o výkonu 10 MW.



- 1 rotorový kužel s mechanickým natáčením listů
- 2 rotorový list
- 3 brzda motoru
- 4 převodovka
- 5 řídicí elektronika
- 6 generátor
- 7 mechanické natáčení gondoly
- 8 věž
- 9 přípojka k elektrické síti



Noha s vrtulí – uspořádání typické větrné turbíny s vodorovnou osou



Svislé rotory. Větrné agregáty se svislým rotorem pracují na principu rozdílu tlaků při obtékání listu leteckého profilu. Jsou velmi stabilní, dobře se udržují, ale vyžadují poměrně vysoké rychlosti větru, nucený rozběh a jejich účinnost je nižší než u rychloběžných vrtulí. Světový vývoj se od nich zvolna odklání.

## ÚNOSCE SEVERÁK ANEB VÍTR V ŘECKÉ MYTOLOGII

Nemohlo být významnějšího přírodního jevu, aby mu naši předkové nepřiklali náležitě místo ve svém náboženství. Mezi větry v řecké mytologii vynikl razantní Boreas – jak zpravidla vyniká nejsilnější z rodu. Obdivuhodná plodnost Astraia, mimo jiné otce hvězd, přikla Severákovi tři sourozence – bratříčka Argesta, pak mírného, rovněž západního Zefyra a Řeky obávaného jižního Notu, přinášejícího vodní smršti a nebezpečí pro plavbu.

Na špatný původ si hoši nemohli stěžovat ani z druhé strany, neboť jejich matkou byla sama růžovoprstá Eos, bohyně jitra předcházející svého bratra, samotného boha slunce Helia.

Boreas se zasadil o jednu z nespočetných mytologických afér, když se dlouho ucházel o ruku dcery aténského krále Erechthea. Monarcha jej však odbýval planými sliby. I zadul Severák, dcerku unesl, pojal

za choť a zplodil s ní dva syny a dvě dcery. Aténané tak Borea považovali za svého zetě. Dočkal se uctívání zejména po roce 480 před Kristem, kdy jej prosili o pomoc v námořní bitvě u Salamin. Jeho přízeň připravila perského krále Xerxe o flotilu 400 lodí.

Podle jedné z bájí Aiolos, král větrů, zadržoval čtyři větrné bratry v jeskyni. Na jednom z aiolských ostrovů vlídně přijal Odyssea se svými druhy a na cestu jim daroval měch, do něhož zavázal všechny nepříznivé větry a nechal dout jen mírného Zefyra.

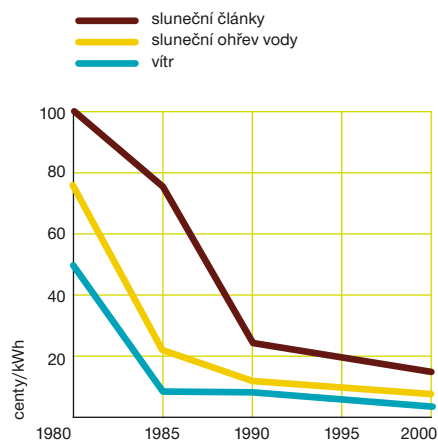
Zvědaví námořníci však měch otevřeli a skončili tam, odkud vypluli, na ostrově krále Aiola.

Větrní bratři se mnohokrát objevovali jako důjící stafáž výtvarných scén. Se snovým citem pro krásné reálné je zachytil ve dvou mistrovských dílech Zrození Venuše a Jaro – také velký florentský malíř Sandro Botticelli (1445–1510).

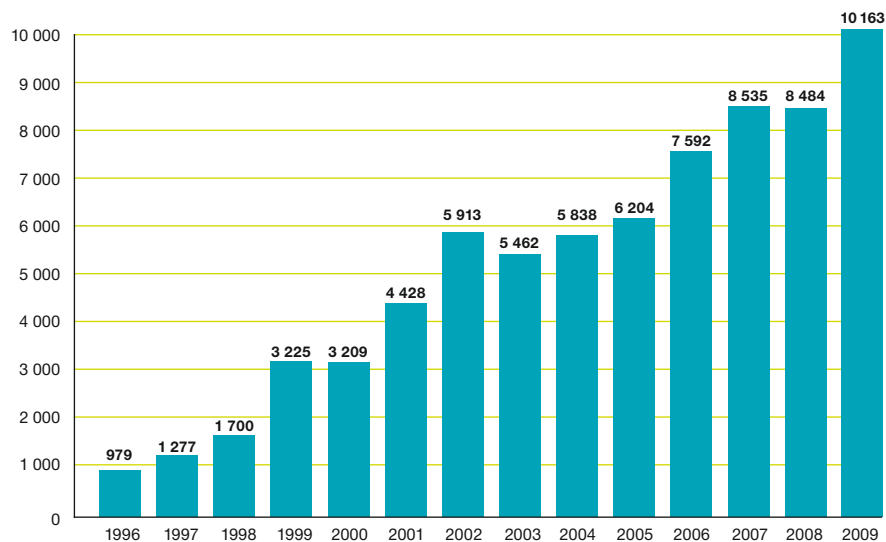
## SVĚT A VĚTRNÁ ENERGETIKA

Nejdále ve využití energie větru pokročili američtí odborníci, kteří systematicky rozpracovali široký soubor otázek, do něhož zahrnuli techniku a technologii, ekonomiku a energetiku, ale také sociologii a ekologii, stejně jako právní stránku věci a veřejné mínění. Vycházeli z faktu, že už koncem minulého století pracovalo v USA kolem šesti milionů malých větrných zařízení a země má mnoho rozlehlých oblastí s velmi dobrými větrnými podmínkami. Platí to především o Kalifornii, kde vznikla celá větrná pole – větrné farmy. V Evropě je dnes (2010) ve větrných elektrárnách instalováno cca 76 000 MW, což je jako 76 temelínských reaktorů, vyrábí se v nich asi 150 miliard kWh elektřiny ročně, což je však jen asi osmkrát víc, než co vyrobí Temelín za rok.

Technologii větrných energetických zařízení se podařilo nejdále dovést v Dánsku, v zemi, kde vítr dufé po 300 dnů v roce. Podle některých údajů odtud pochází každé



Cena rozhoduje. Pokles nákladů na jednotku energie z některých obnovitelných zdrojů podle amerických pramenů (centy/kWh).



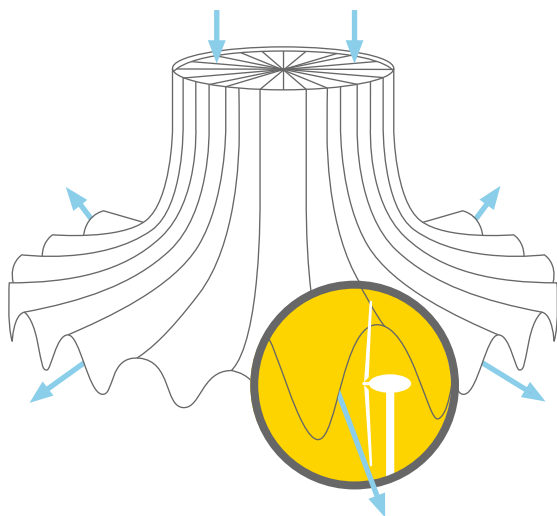
Vývoj přírůstků instalovaného výkonu v Evropě v letech 1996–2008 (v MW)



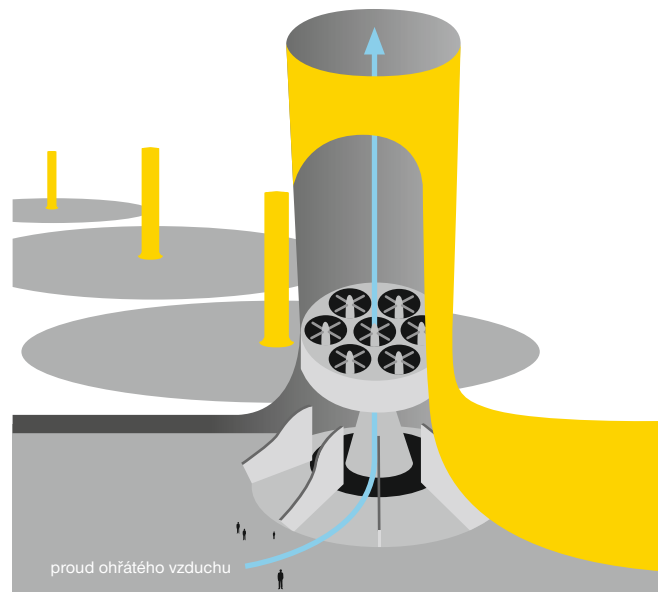
Větrné elektrárny najdeme i na mořské hladině, kde existují vhodné podmínky pro využití větrné energie. Na snímku je dánská tzv. offshore větrná farma nedaleko Kodaně disponující 20 větrnými jednotkami i jednotkovým instalovaným výkonu 2 MW. Údajně první větrnou elektrárnou na světě, stojí od roku 1990 na mořské plošině, je elektrárna Svante 1. Při výkonu 200 kW má dodávat 500 000 kWh ročně pro 125 domácností bez elektrického vytápění u švédského „větrného“ ostrova Oland.



Největší evropskou větrnou farmu o instalovaném výkonu 600 MW začal stavět ČEZ v roce 2009 v Rumunsku



**Pračka.** Projekt velkoměstské čistírny vzduchu, která by jako vedlejší produkt vyráběla také elektřinu, se zrodil v národních laboratořích v Los Alamos. Vzdušné proudění vzniká díky vodě rozstříkované na vrcholku 150metrové věže.



**Konvekční elektrárna.** Jeden z německých návrhů předpokládá kruhový kolektor o průměru 400–9 600 m podle požadovaného výkonu (dokonce až 1 000 MW), pod nímž se ohřívá vzduch na teplotu 15–70 °C a proudí komínem rychlostí 20–60 m/s (až 216 km/h). Pro výkon 1 MW by měl stačit komín o výšce 300 m při průměru kolektoru 400 m a komína asi 10 m.

třetí větrné zařízení na světě. V zemi pracují tisíce agregátů, které představují cca 20 % instalovaného výkonu elektráren. Dánové se rozhodli pro masivní státní podporu tohoto obnovitelného energetického zdroje. Obdobný úmysl naznačuje také Velká Británie, kde větrný potenciál překračuje údajně až sedminásobek celkových energetických potřeb.

Země Evropských společenství přijaly program rozvoje větrné energetiky v roce 1980. Začaly stanovením technických a hospodářských možností v jednotlivých členských zemích a zpracováním jejich větrných energetických atlasů.

## KONVEKCE NEKONVENČNĚ

Vítr je možné uměle vyvolat na stejném principu jako v přírodě – vytvořením tlakového spádu. Zůstává otázkou volby, zda oblast

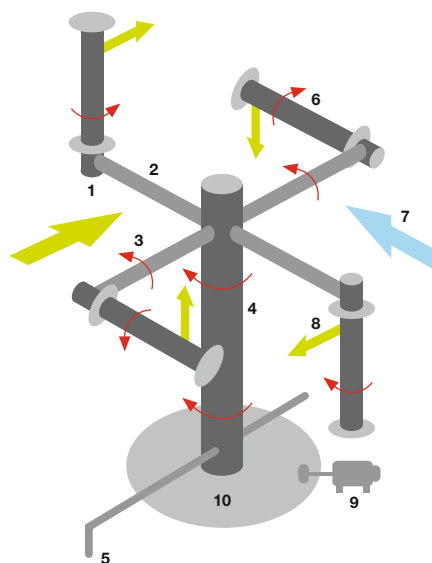
s nízkým tlakem bude při zemi nebo naopak.

S myšlenkou na vytvoření stálého stoupajícího vzdušného proudu pohánějícího generátory, k jehož vzniku se využije sluneční energie, přišel v roce 1929 francouzský vynálezce Bernard Dubois. Podle jeho návrhu kruhová střešní nízká budova pokrytá průhlednou fólií přechází vprostřed do vysoké plechové věže, komína o velkém průměru. Vlivem skleníkového efektu se pod střechou hromadí horký vzduch a vlivem dalšího efektu, komínového, vzniká silný tah směrem vzhůru, který roztáčí vrtule spojené s generátory.

Dosud jedinou zkušební elektrárnu tohoto druhu postavili Španělé v Manzanares, asi 180 km jižně od Madridu. Sluneční kolektor o průměru 24 m přechází ve 200metrovou věž s průměrem 10 m. Konstrukce skutečně

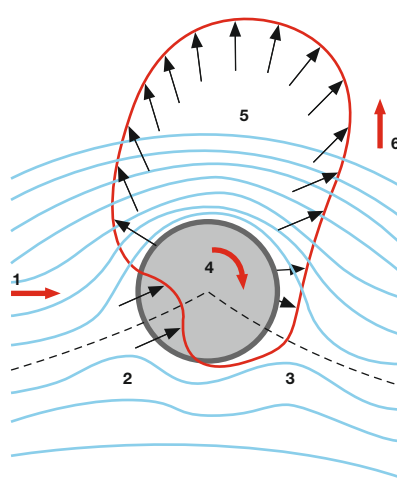
dodává elektrický výkon 50 kW, avšak její plastové fólie vystavené prudkému slunci mají krátkou životnost.

Když jistý Philip Carlson v roce 1965 pracoval na projektu odsolování mořské vody, přišel na to, že by bylo možné teoreticky získat devítinásobek energie, než kolik jí bylo třeba k čerpání na vršek komína, v němž se voda měla odsolovat. Projektční kancelář Agabian z kalifornského El Segunda pak pro pouštní oblasti navrhla elektrárnu typickou megakomínem čnícím do výšky 2 500 m, kde dosahuje průměru 210 m. Z moře se pak na jeho vrchol čerpá voda, která se tlakově rozprašuje. Začíná se odpařovat a ochlazený, zvlhčený vzduch klesá dolů. Vzniká tlakový spád, v němž vzdušný proud o rychlosti až 240 km/h roztáčí deset turbín. Průměrně by prý mohly dodávat 1000 MW (právě výkon jednoho



- 1 elektromotor
- 2 osa
- 3 rotace
- 4 hlavní hřídel
- 5 el. energie pro elektromotory
- 6 rotor
- 7 vítr
- 8 síla
- 9 generátor
- 10 setrvačnik

Princip Flettnerova rotoru



- 1 směr větru
- 2 přetlak
- 3 přetlak
- 4 otáčející se válec
- 5 podtlak
- 6 směr pohybu válce

**Totální rotace.** Kalifornská firma Windfree vtipně využila místo vrtulových listů tři Flettnerovy rotory. Každý při čelním proudění větru vyvíjí boční sílu, kterou se roztáčí celý rotor. Pokusný stroj se tedy otáčí v pěti osách, přičemž-li osu natáčení celé gondoly. Schéma ukazuje jinou zkušební konstrukci, kde se kromě základny otáčí úplně všechno.

temelínského bloku), špičkově snad až 2 500 MW.

Ekologický dopad tohoto projektu vyznívá nadobycí příznivě: u základny věže bude teplota asi o 30 °C nižší, vzduch se zvlhčí, v sousedství věže bude stále mrholit a několik kilometrů pouště se tak zazeleňuje. Odsolovací zařízení má navíc z vody získat 99,9 % její soli. Investiční náklady na stavbu takového veličana by prý byly srovnatelné s klasickými elektrárnami, avšak náklady provozní by vycházely podstatně příznivěji. Věž by vyráběla energii asi za třetinu ceny oproti elektrárnám na fosilní paliva či topný olej.

Právě tady leží klíč k pochopení poněkud megalomansky působícího projektu: Jednou z hlavních nevýhod obnovitelných zdrojů energie je zpravidla to, že poskytují

energii jen v nepříliš koncentrované podobě, a proto dosud neúspěšně soupeří s klasickými technologiemi včetně jaderné energetiky. Vždy jsou vytlačovány na okraj úvah o pokrývání energetických potřeb a bývají považovány za doplněk či kuriozitu. Právě projekt obrovského komína má dokázat, že také u obnovitelných zdrojů vedou cesty ke stavbě skutečně výkonných elektrárn.

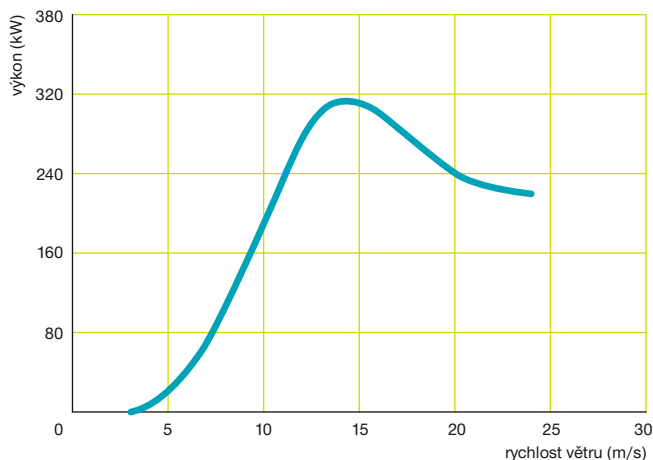
Megavěž může stát jen v poušti. S obdobným projektem, ale pro velkoměsta, a navíc s výrazným ekologickým přínosem, přišly americké Národní laboratoře v Los Alamos. Při představě, že by se po městech měly tyčít 150 m vysoké věže o srovnatelném průměru, poněkud naskakuje husí kůže. Jinak na to může nahlížet obyvatel, např. Los Angeles, který se denně dusí pod poklicí smogu. Na vrcholu věže by se opět rozstří-

kovala a ochlazovala voda, jež by ve svém oparu vázala částice smogu. Vzniklý proud vlhkého vzduchu by se v patě věže filtroval, poháněl elektrické generátory a vyváděl nízko nad zem po obvodu věže.

## SOUVISLOSTI DĚLOVÝCH KOULÍ

Nikdy prý nebrázdilo hladiny moří nic vznešenějšího než trojstěžník plující pod plnými plachtami. A podobně jako větrným mlýnům na souši, i na vodě plachetnicím odzvonil parní stroj. Po dobu hojnosti uhlí a ropy nebylo důvodu se využitím větru na mořích zabývat. Pak vyplul **Tracker**...

V roce 1835 německý fyzik a chemik Heinrich Gustav Magnus konečně přišel na kloub tomu, proč dělová koule leckdy



Orientační graf výkonu první větrné elektrárny a.s. ČEZ – EWT 315. Počítačový řídicí systém spouštěl elektrárnu při rychlosti větru 3,5 m/s. Nejvyšší výkon 315 kW dosahovala při 14,5 m/s a odpojovala se při 24 m/s. Konstrukce o celkové hmotnosti 35 t odolávala větru do rychlosti 60 m/s (přes 216 km/h).



EWT 315. Tak se nazývala první větrná elektrárna a.s. ČEZ o výkonu 315 kW, kterou na Dlouhé Louce nad Osekem na zkušebním polygonu Ústavu fyziky atmosféry postavila firma Energovars. Třílístý rotor o průměru 30 m a počtu otáček 33 za minutu spočíval na ocelovém kuželovém sloupu vysokém 29 m. Vedle něho vyrostl 48 m vysoký stožár, na němž meteorologové umístili měřící aparatury. Na zakázku ČEZ, a.s., se zde čtyři roky sledovaly dopady na životní prostředí, zejména hluchost, vlivy na hnízdění a tahy ptáků, popř. šíření radiového a televizního signálu.

mění směr a míjí cíl. Zjistil totiž, že při rotaci s sebou strhává nejbližší vrstvičku vzduchu, a tak na jedné straně vyvolává přetlak a na druhé podtlak. Rozdíl těchto sil pak vychyluje dráhu koule. Když se v roce 1926 objevily na palubě Barbary, jedné z lodí německé obchodní flotily, tři vysoké, podélně drážkované válce, byly považovány za komíny a nikomu nepřipadalo divné, že z nich nevychází kouř. Takto aplikoval Magnusůvjev námořní průkopník Anton Flettner. Rotující válce, stejně jako dělová koule, vytvářely vztlak, a tak poháněly loď vpřed (na rozdíl od plachetnic byl vítán nikoli zadní, ale boční vítr).

Po dlouhé odmlce se až v 70. letech bostonská společnost Windship a firma Wind-free rozhodly prakticky ověřit konkurenceschopnost Flettnerova rotoru. Vycházely z toho, že zařízení, jež vyvolá vztlak (boční sílu), vyvolá také aerodynamický odpor a jeho účinnost je potom dána součinitelem vztlaku, tedy poměrem vztlaku k odporu.

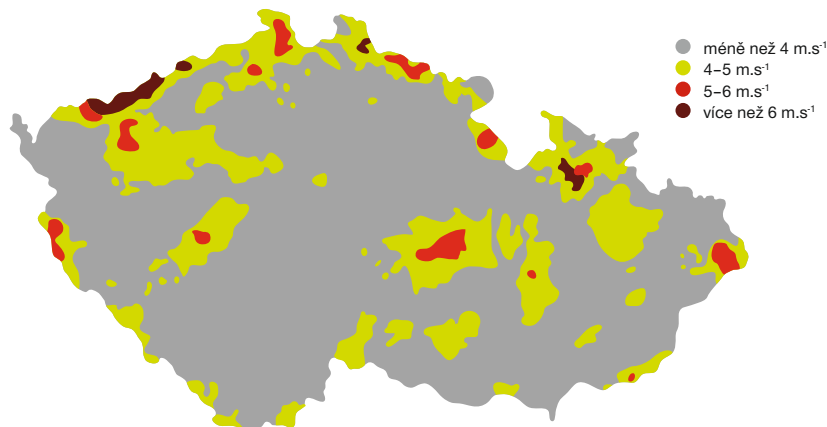
Vyplul 12metrový člun **Tracker** s hliníkovým válcem vysokým 7,2 m o průměru 1,2 m, podpůrně poháněný spalovacím motorem. Válec dosahoval vztlakového součinitele až 13, a tak vysoce převyšoval nejen klasické, ale i pevné plachty (se součinitelem 2,5–3). Pokud se k rotaci užívala výlučně síla větru, součinitel klesal na 2,7–5. Při průměrné rychlosti větru km/h dosahoval člun rychlosti 13 km/h a za užití vznětového motoru klesla spotřeba paliva o 44 %. Na rozdíl od klasických plachetnic je člun méně citlivý na změny směru větru, a protože mu k téměř výkonu stačí zhruba poloviční výška „stožáru“ než u plachet, je také stabilnější a nevyžaduje posádku školenou k manipulaci s plachtovím.

Uvádí se, že světové loďstvo spotřebuje ročně palivo za 30 miliard dolarů. Pokud by jen pětina plavidel využila pomocných plachet a rotorů, ušetřila by se skoro desetina této sumy. Investiční náklady by se údajně vracely do čtyř let. Se svými „komínovými“

katamarany **Moulina vent** (Větrný mlýn) a později **Alcyone** proslul také francouzský badatel J. J. Cousteau přesvědčený o tom, že tento atypický větrný pohon přispěje až ke 40% úsporám paliva.

- Éra větru jako obnovitelného energetického zdroje nastala v 80. letech minulého století. V polovině tohoto století by větrná energie mohla zajišťovat více než 10 % světové spotřeby elektriny.
- Ze všech světadílů právě Evropa disponuje největšími zdroji pobřežní větrné energie. Větry, které dnes tak ztěžují těžbu, jedou možná nahradí, a jistě přežijí, tenčící se zásoby ropy v Severním moři.
- S rostoucím zájmem o využití větrných zdrojů mohou být meteorologové zaměřeni na vítr vyhledávání stejně, jako byli v 70. letech minulého století geologové.

Průměrná rychlost větru v ČR. Vnitrozemská poloha státu a složité orografické podmínky způsobují snížení rychlosti větru a nestálost proudění. Příhodné lokality se z tohoto důvodu téměř vždy nacházejí ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 600 m n. m. Podle zákona č. 114/92 Sb. nejsou přípustné stavby v národních parcích nebo chráněných oblastech. Po odečtení legislativně, ekologicky a z hlediska potenciálu nedostatečných lokalit je podle některých odhadů realizovatelný technický potenciál našeho území 680 MW, představující 1,5 TWh ročně. Tyto hodnoty lze považovat za spodní hranici.



## VĚTR V SRDCI EVROPY

Větrná mapa orientačně ukazuje mnohaleté celoroční průměrné rychlosti větru přes 4 m/s (ve výšce 10 m) a přes 5,3 m/s (ve výšce 30 m). Vznikla podle podkladů Českého hydrometeorologického ústavu. Větrný atlas ČR vytvořený Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR podrobně mapuje dlouhodobé rozložení energie větru nad naším územím a umožňuje vybrat nejprůhodnější lokality pro stavbu větrných farem.

Počítá se s plochami 3 × 3 nebo 4 × 6 km v nadmořských výškách zpravidla nad 700 m (většinou však leží v chráněných krajinných oblastech, kde je zakázáno stavět). Až na řídke výjimky se energeticky příhodné lokality nacházejí v horských pohraničních pásmech a v oblasti Českomoravské vrchoviny.

Podle předběžných odhadů by bylo možné v Krušných horách postavit 320–340 větrných elektráren o jednotkovém výkonu 300–500 kW. Tj. celkem až 170 MW (výkon 1 bloku starší uhelné elektrárny).

## VĚTRNÁ MYTOLOGIE

Mnoho lidí se staví proti větrným elektrárnám, většinou pod dojmem mýtů, které o nich panují.

### 1. Větrné elektrárny budou mít dopad

na krajinný ráz. Jde o problém velice subjektivní, dopady nejsou o nic rušivější než stávající dominantní prvky v krajině – např. sloupky vysokého napětí, televizní vysílače, tovární komíny, rozhledny atd.

**2. Větrné elektrárny jsou hluché.** Hladina hluku na úrovni 500 m od stroje se pohybuje okolo 35–40 dB, což je zhruba hladina hluku v obývacím pokoji. Stroje jsou navíc plánovány ve velké vzdálenosti od obydlených oblastí, vzdálenost k nejbližšímu obydlí je v rozmezí 700–1200 m. Moderní stroje mají oproti starším typům navíc upraveny listy rotoru tak, aby hluk minimalizovaly. Agentura ochrany přírody a krajiny uvádí, že les ve vzdálenosti 200 metrů vydává při rychlostech větru 6–7 m/s přibližně stejný hluk jako větrná elektrárna ve stejné vzdálenosti.

**4. Větrné elektrárny jsou zdrojem infra-zvuku.** Německý spolkový zdravotní úřad prováděl na toto téma podrobný výzkum. Výsledky měření prokázaly, že intenzita produkovaného infrazvuku je zanedbatelná.

**5. Větrné elektrárny ruší televizní a rozhlasový signál.** Rušení signálu by hrozilo pouze v případě, že by kovový sloup turbíny stál přímo mezi nedalekou anté-

nou a vysílačem. Ovšem tak blízko domů se elektrárny nestavějí. Ani listy vrtulí se už nevyrábějí z kovu, nýbrž z umělých pryskyřic, takže elektromagnetické vlny neodrážejí.

**6. Větrné elektrárny zabíjejí ptáky a ruší volně žijící zvíř.** Chování ptáků je rozdílné: zatímco některé druhy staví klidně svá hnízda i v úkrytu generátorových skříní, jiné druhy se okolí elektráren vyhýbají. Žádný výzkum zatím nepotvrdil, že by počet ptáků případně zasažených vrtulí elektrárny byl vyšší než počet ptáků zabitých na silnicích. Liché jsou také obavy, že větrné elektrárny budou rušit nebo vyhánět zajíce, srnčí, lišky a další zvířata. Potvrdil to tříletý výzkum, který prováděla Veterinární univerzita v Hannoveru na rozsáhlém území s celkem 36 větrnými elektrárnami a ve srovnávací oblasti, kde turbíny nejsou. Hustota zvířete na území s elektrárnami zůstávala stejná, nebo se dokonce zvyšovala.

**7. Větrná elektrárna vrhá zneklidňující pohyblivé stíny.** Větrné elektrárny jsou umístěny dostatečně daleko od obydlí a otáčející se stíny se budou pohybovat nad poli a lesy. Pokud zahrneme svit slunce, oblačnost a měnící se směr větru, celkově jde zhruba o pět až šest hodin v součtu za celý rok!

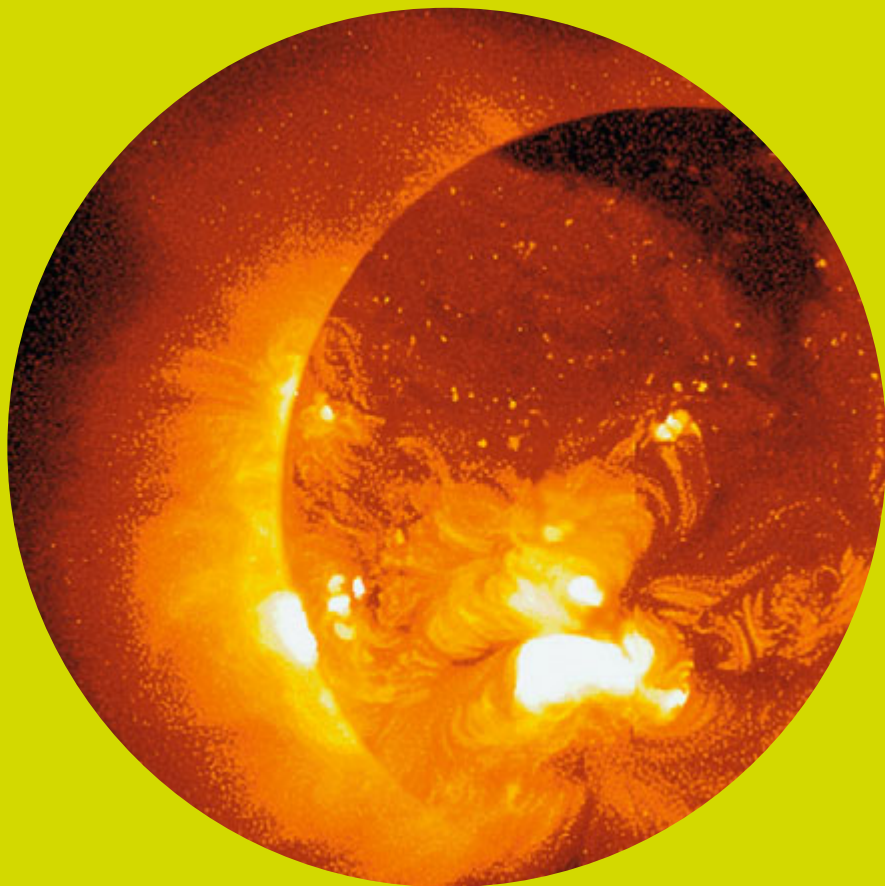


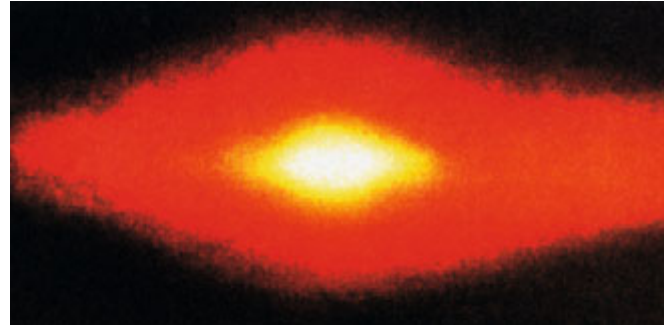


Využití energie větru

| Typ                                | Větrný mlýn                                             | Plachtové kolo           | Farmářské kolo                         | Vrtule                                                | Rotor typu Savanus                          | Rotor typu Darrieus                       |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Nejobvyklejší použití              | mletí a čerpání vody                                    | čerpání vody             | čerpání vody, výroba elektřiny v malém | výroba třífázového proudu                             | čerpání vody, výroba stejnosměrného proudu  | výroba stejnosměrného i střídavého proudu |
| Účinnost rotoru                    | 18–28 %                                                 | max. 21 %                | 20–43 %                                | max. 45 %                                             | 23 %                                        | 38 %                                      |
| Počet lopatek                      | 4                                                       | 6–16                     | až 150                                 | 1–4                                                   | 2                                           | 2–3                                       |
| Ochrana proti bouři                | boční nastavení mlýna či věže                           | svinování plachet        | vytočení ze směru větru                | natočení listů, stočení po větru a mechanické brzdění | mechanické brzdění                          | mechanické brzdění                        |
| Ovládání                           | svinování a rozvinování platech                         | změna počtu plachet      | žádné lopatky bez natáčení             | natočení listů, stočení po větru a mechanické brzdění | mechanické brzdění                          | mechanické brzdění                        |
| Max. otáčky rotoru (ot/min)        | 200                                                     | 150                      | 90                                     | 900                                                   | 100                                         | 200                                       |
| Max. průměr rotoru (m)             | 25                                                      | 10                       | 12                                     | 100                                                   | 3                                           | 25                                        |
| Max. výkon (kW)                    | 30                                                      | 5                        | 15                                     | 4000                                                  | 5                                           | 230                                       |
| Max. výška (m)                     | 30                                                      | 10                       | 30                                     | 100                                                   | 15                                          | 47                                        |
| Materiál rotoru                    | dřevo s plátnem                                         | dřevo s plátnem          | zakřivené plechové lopatky             | plasty zpevněné skelnými vlákny                       | ocelový plech, plast                        | hliník, plasty zpevněné skelnými vlákny   |
| Min. pracovní rychlost větru (m/s) | 3–4                                                     | 2–4                      | 0,16                                   | 3–6                                                   | 2–3                                         | 5–6                                       |
| Zvláštnosti                        | ve střední Evropě klasický větrný mlýn asi od roku 1400 | nepatrné výrobní náklady |                                        | nejčastější konstrukce                                | často slouží k rozběhu motoru typu Darrieus | rozběh jen s dopomocí                     |







Vznik sluneční soustavy – ve středu se smršťuje Praslunce. Ze zbylé mlhoviny zkondenzují planety, měsíce a komety.

# SLUNCE A ZEMĚ

**Energii pro průmysl, dopravu, zemědělství a domácnost čerpáme dnes především z fosilních paliv – v mnohem menší míře i z „jádra“, větru a vodních toků. Všechny tyto zdroje kromě „jádra“ představují přeměněnou sluneční energii. Přímé sluneční (solární) záření je i perspektivním zdrojem pro budoucnost. Je to energie naprosto čistá, bezpečná a nevyčerpatelná. Dostáváme ji od Slunce v množství mnohem větším, než samo lidstvo potřebuje.**

## MATEŘSKÉ SLUNCE

Naše hvězda – Slunce – je pro nás důležitá stejně jako planeta Země, která je našim domovem. Země skýtá vhodné životní prostředí, chrání nás před smrtícími paprsky z vesmíru svou atmosférou a magnetosférou a poskytuje atomy pro náš organismus. Avšak vhodné tepelné prostředí, všechnu energii potřebnou pro život nejen lidský, ale všech milionů druhů organismů rostlinných i živočišných, nám dává Slunce. Bez něho bychom tu prostě nebyli.

Před pěti miliardami let tu nebyla ani Země, ani Slunce. V tomto koutku Galaxie se prostíral rozsáhlý oblak velmi studeného a velmi řídkého plynu a prachu – mateřská (nebo sluneční) mlhovina. Mateřská mlhovina se začala svou vlastní gravitací pozvolna smršťovat. Prachová zrníčka i molekuly plynů se k sobě navzájem přitahovaly gravitační silou – jako by jim bylo zima (dvěšest šedesát osm stupňů Celsia pod nulou čili 5 K je opravdu třesutý mráz – a takový byl

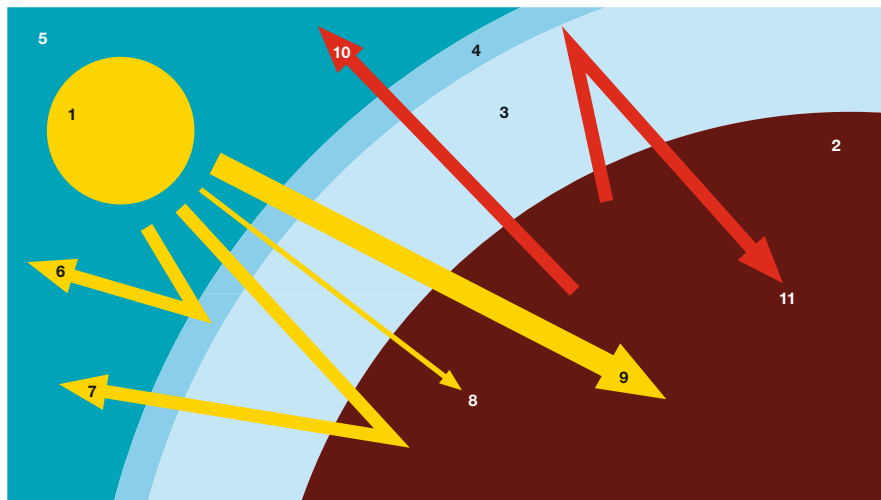
tehdy v mlhovině). Při smršťování se mlhovina zahřívala, podobně jako se při stlačení v hustilce zahřívá vzduch. Zvláště ve středu mateřské mlhoviny vzrůstala hustota i teplota. Tam vzniklo Slunce, které pozvolna začínalo zářit. Nejdříve bylo tmavě červené jako rozpálená kamna. Když teplota ve středu rodícího se Slunce dosáhla 15 milionů K, stalo se „dospělým“ Sluncem. Za teploty 13 milionů K a hustot 100× větších, než je hustota vody, vzrostl tlak natolik, že zastavil další smršťování. V žhavé a husté plazmě se začal vodík měnit v helium. To způsobilo podstatnou změnu v životě Slunce. Tehdy přestalo smršťování v důsledku vlastní gravitace a Slunce začalo uvolňovat svou energii pouze jadernými reakcemi.

## SÍTO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

Sluneční výkon, čili zářivost Slunce, je  $3,8 \times 10^{23}$  kW. To je více, než spotřebovává celé lidstvo dohromady, o násobek 40 bili-

onů. Z toho se zachytí v planetární soustavě asi 1 stomiliontina a na Zemi pouze 1 dvoumiliardtina. Množství záření, které dostáváme z celkové sluneční zářivosti, je jako kapka vody v Niagarských vodopádech. Je to však energie životně důležitá pro celou Zemi.

Pro lepší představu znázorníme onu „kapičku“ energie, kterou nám poskytuje Slunce (180 tisíc terawattů), jako 100 %. Tato energie dopadá jako sluneční záření na povrch zemské atmosféry – takovou bychom ji naměřili ve výškách kolem tisíce kilometrů, kam ještě atmosféra sahá. Atmosféra – naštěstí pro život – pohlcuje některé druhy slunečního záření (např. rentgenové a ultrafialové), kdežto jiné (např. světlo) propouští. Záření nebezpečné pro život (rentgenové a ultrafialové) pohlcuje ve výškách nad 60 km. Sluneční záření, které projde atmosférou, dopadá na povrch Země. Pevniny a moře je z malé části odrazí a z větší části pohltní a přemění v teplo.



- 1 sluneční záření
- 2 zemský povrch
- 3 atmosféra
- 4 vrstva skleníkových plynů
- 5 vesmír
- 6 odraz od atmosféry (cca 25 % záření)
- 7 odraz od povrchu Země (cca 5 % záření)
- 8 zpracováno biomasou (cca 0,5 %)
- 9 teplo pohlcené Zemí
- 10 infračervené vyzařování Země
- 11 podíl záření odražený zpět skleníkovým efektem

**Osudy sluneční energie na Zemi a princip skleníkového efektu.** Na tomto obrázku jsou znázorněny osudy sluneční energie na Zemi. Z celkového dopadajícího záření (příkonu) 180 tisíc terrawattů (100 %) se asi třetina odráží zpět do kosmického prostoru, necelá pětina je pohlcena v atmosféře a téměř polovina se přemění v teplo na povrchu Země. Asi půl promile (tj. 90 terrawattů) se mění v chemickou energii biomasy přes fotosyntézu zelených rostlin a fytoplanktonu. Zachycená sluneční energie je pak vyzařována jako tepelné infračervené záření do kosmického prostoru (v procentech).

Zhruba můžeme říci, že z celkového toku slunečního záření dopadajícího na Zemi se asi 1/3 odráží od atmosféry a od povrchu, asi 1/5 je pohlcována v atmosféře a přibližně 1/2 je pohlcena povrchem pevnin i moří a mění se v teplo. Díky tomuto teplu žijeme v příznivém prostředí.

## SKLENÍKOVÝ EFEKT A OTEPLOVÁNÍ ZEMĚ

Na Zemi se proměňuje asi 2/3 dopadajícího slunečního záření v teplo (kolem 120 tisíc terawattů). Stejně množství záření Země vyzařuje zpět do vesmíru, ale s tím rozdílem, že vlastní záření Země je tepelné, s vlnovou délkou kolem setiny milimetru. Mezi pohlceným slunečním světlem a teplem vyzařným Zemí je tedy energetická rovnováha. Tuto rovnováhu člověk v dnešní době narušuje. Spalováním fosilních paliv roste v atmosféře obsah oxidu uhličitého a tento plyn působí skleníkový efekt (jev). Oxid uhličitý pohlcuje tepelné záření Země a zčásti ho vrací zpět. Zabraňuje mu, aby uniklo do kosmického prostoru. Země tedy více přijímá, než vyzařuje, a důsledkem toho je, že dochází k jejímu pozvolnému oteplování.

Oteplování se projevuje posunováním hranice sněhu do větších výšek, ledovce v mořích končí ve vyšších zeměpisných šířkách a stejně tak se posouvá hranice permafrostu (věčně zmrzlé země) k severu.

Užívání fosilních paliv může mít nepříjemné důsledky pro celou zeměkouli, pokud nepřejdeme na využívání jiných zdrojů energie nebo **přímého slunečního záření**.

## SLUNCE A ELEKTŘINA

Bez elektřiny si už vůbec neumíme život představit. Zdrojem užívané elektrické energie jsou většinou fosilní paliva (především uhlí), tedy dávná sluneční energie zachycená fotosyntézou. Ale i ve vodních a větrných elektrárnách je zdrojem sluneční energie, nepřímo skrytá v síle vodních toků a větrů. Elektřinu lze získat ze sluneční energie různými způsoby, přímo i nepřímo.

### PŘÍMÁ PŘEMĚNA

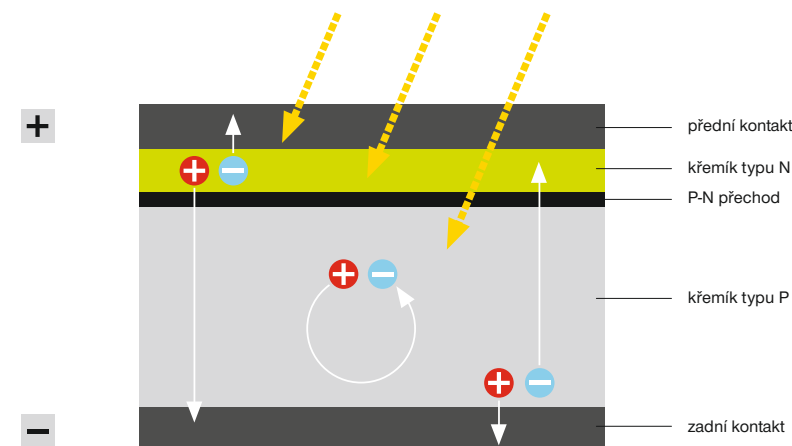
**Přímá přeměna** využívá **fotovoltaického jevu**. Je to jev, při kterém v látce působením světla (fotonů) za určitých okolností vzniká

elektrické napětí. Pro výrobu slunečních článků se užívá polovodičových materiálů. Nejrozšířenějším je křemík, jehož technologie byla do velké dokonalosti vypracována zejména v souvislosti s potřebami mikroelektroniky. Polovodič může mít vodivost buď typu N způsobenou přítomností příměsí dodávajících volné elektrony (negativní nosiče náboje), nebo typu P spojenou s přítomností příměsí zachycujících elektrony, po kterých v polovodiči zbudou „volná místa“, jež se chovají jako kladné (pozitivní) nosiče náboje. Díky elektronickým vlastnostem obou polovodičů vzniká na rozhraní mezi nimi na tzv. P-N přechodu samovolně rozdíl potenciálů (tzv. difuzní), přičemž polovodič typu N je kladný, P záporný. Dopadne-li do oblasti přechodu světelné kvantum, předá svou energii látce: některý elektron díky tomu přejde na vyšší energetickou hladinu a zanechá za sebou „volné místo“, které se chová jako kladný náboj. Oba náboje z vytvořeného páru se v důsledku difuzního rozdílu potenciálů od sebe oddělí – elektron je přitahován do oblasti typu N, „volné místo“ opačným směrem. Dopadá-li na článek proud světla, je těchto nábojů mnoho a vzniká na něm



Sluneční články může být bez problémů napájena například kalkulačka

napětí. Při uzavřeném elektrickém obvodu protéká proud. Fotovoltaický článek je tvořen nejčastěji tenkou destičkou z monokrystalu křemíku, použit lze i polykrystalický materiál. Destička je z jedné strany obohacena atomy trojmocného prvku (např. bóru), z druhé strany atomy pětímocného prvku (např. arzenu). Jeden čtvereční centimetr dává proud okolo 12 mW (miliwattů). Jeden metr čtvereční slunečních článků může v letní poledne vyrobit až 150 W stejnosměrného proudu. Abychom dosáhli potřebného napětí (na jednom článku je 0,5 V) zapojují se sluneční články za sebou, větší proud získáme zapojením vedle sebe. Spojením mnoha článků vedle sebe a za sebou vzniká sluneční panel. Rozměry jednoho článku jsou asi 10 × 10 cm, spojují se do panelů o výkonech od 10 do 300 W. Nevýhodou fotovoltaických článků je stále jejich vysoká cena, závislost na denním a ročním období, nutnost průběžného čištění povrchů panelů (zaprášením se snižuje účinnost). Průměrný počet hodin slunečního svitu se v ČR pohybuje pouze okolo 1460 h/rok. Výhodou je to, že sluneční články mohou fungovat jako zdroje elektřiny na těžko přístupných



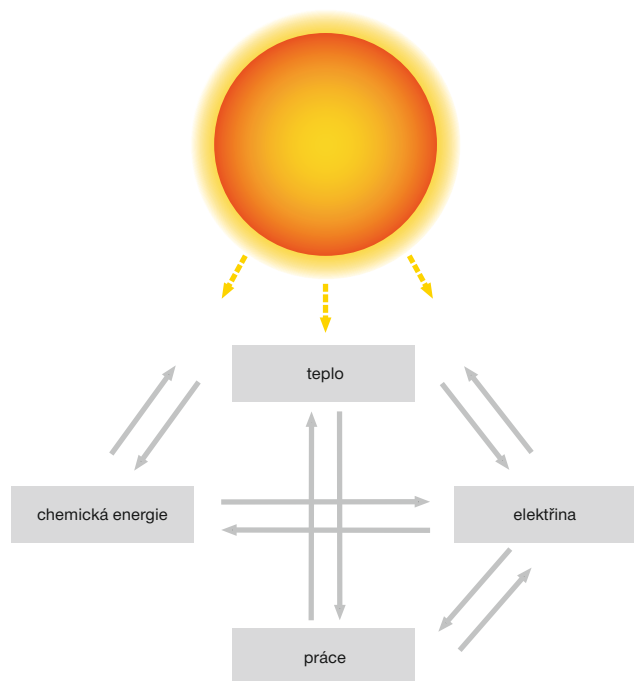
Řez fotovoltaickým článkem se znázorněným P-N přechodem

místech, na ostrovech, v horách, oázách, v kosmu. Mohou se jimi pokrýt fasády domů, nebo se mohou umístit na stožáry, či mořské bóje. Doplníují se akumulátory, které se za slunného počasí nabíjejí. Aplikace slunečních článků jsou velmi rozsáhlé – od napájení hodinek či kapesních kalkulaček přes uplatnění na satelitech a vesmírných sondách až po energetické využití. Dnes nejrozšířenější a nejperspektivnější princip přeměny solární energie na elektrickou „ve velkém“ je přímá přeměna v polovodičových fotovoltaických panelech. Solární elektrárny z polovodičových panelů se instalují po celém světě od malých systémů s maximálními výkony řádově jednotek kilowattů až po elektrárny s maximálními výkony několika MW. Stejnoseměrný elektrický proud lze použít k napájení spotřebičů, k dobíjení akumulátorů či k výrobě vodíku elektrolýzou vody a k akumulaci energie v této formě. Pomocí měničů lze stejnosměrný proud měnit na střídavý. Tyto malé fotovoltaické systémy i větší elektrárny mohou být konstruovány jako ostrovní nebo síťové. Ostrovní systémy nejsou napojeny na rozvodnou síť a zásobují jen malou oblast, někdy to může být

i jeden spotřebič. Naproti tomu síťové systémy jsou napojeny na veřejnou rozvodnou síť a v době přebytku vlastního výkonu mohou elektrickou energii dodávat do sítě. Moderní měniče je se sítí sfázují automaticky.

## NEPŘÍMÁ PŘEMĚNA

**Nepřímá přeměna** je založena na získání tepla. Teplo získáváme snadno pomocí slunečních sběračů. V ohnisku sběračů umístíme termočlánky, které mění teplo v elektřinu. Zmíňme se o přímých přeměnách tepla v elektřinu: **termoelektrické a termoemisní. Termoelektrická přeměna** spočívá na tzv. **Seebeckově jevu**. V obvodu ze dvou materiálů různých drátů vzniká elektrický proud, mají-li jejich spoje různou teplotu. Takové jednoduché zařízení ze dvou různých drátů spojených na koncích se nazývá termoelektrický článek. Jeho účinnost závisí na vlastnostech obou kovů, z nichž jsou dráty vyrobeny, a na rozdílu teplot mezi teplým a studeným spojem. Větší množství termoelektrických článků vhodně spojených se nazývá **termoelektrický generátor**. Teplo pro zahřívání teplého spoje se získává hořením fosilních paliv



Člověk přeměňuje energii slunečního záření v jiné potřebné formy energie, a to buď přímo, nebo nepřímo. Sluneční záření můžeme měnit v energii chemickou, tepelnou, elektrickou a mechanickou.

nebo z **radioaktivních** látek či ze slunečního záření. Při využívání slunečního záření se teplý spoj umístí v ohnisku fokusačního sběrače. Studený spoj může být ve vodě či v půdě.

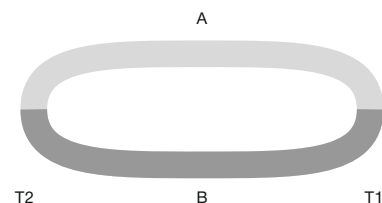
### FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Na plochu velikou 1 m<sup>2</sup> a vodorovně položenou dopadá u nás přibližně 1200 kWh sluneční energie za rok. Na stejně velkou plochu nad zemskou atmosférou a postavenou kolmo ke slunečním paprskům dopadá ročně 12 000 kWh, tedy 10× více než k nám. V kosmickém prostoru se nestřídá den a noc, nejsou žádná oblaka, sluneční záření není ničím zeslabováno. Napadá nás proto otázka, zda by bylo možné sbírat sluneční záření mimo zemskou atmosféru, přeměnit

je tam v elektrickou energii a tu pak posílat na povrch Země.

Kam v prostoru umístit takovou sluneční elektrárnu, aby nespadla na Zemi nebo neodletěla pryč do vesmíru? Ve výšce 200 km je rychlost družice 8 km/s. Zemi oběhne jednou za půldruhé hodiny. Nás zajímá, v jaké výšce oběhne družice Zemi právě za 24 hodiny. Vypočteme, že je to ve výšce 36 000 km nad zemským povrchem. To znamená, že ve výšce 36 000 km oběhne družice Zemi za 24 hodiny – to je za stejnou dobu, za kterou se Země otočí jednou kolem své osy.

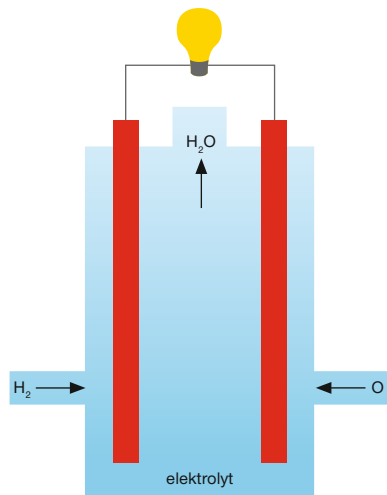
Umístíme-li tedy družici do vzdálenosti 36 000 km nad zemský rovník, bude stále nad stejným místem, jako by tam „visela“. Takové družice se říká **geostacionární**



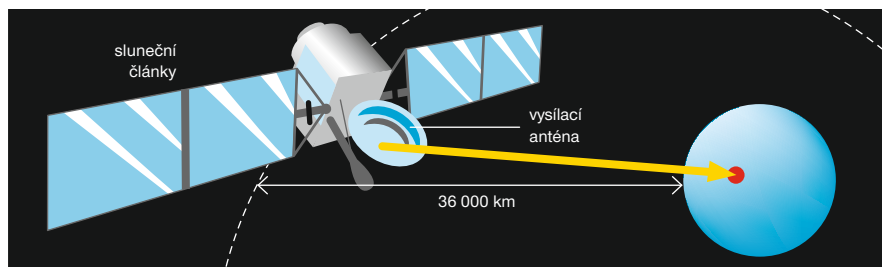
**Seebeckův jev.** Termoelektrický jev: jestliže spojíme vodiče A a B z různých materiálů a jeden spoj budeme udržovat na teplotě T1 a druhý spoj na teplotě T2, bude obvodem protékat elektrický proud.

(tj. stojící nad určitým bodem zemského povrchu).

Umělé družice jsou ve stavu beztíže a to má dvojitý význam: umělá družicová elektrárna může mít velikost mnoha kilometrů čtverečných a lze ji snadno natáčet tak, aby byla stále kolmo ke slunečním paprskům. Družicová elektrárna nebude konstruována na Zemi, ale v kosmickém prostoru ve stavu beztíže, ve výšce nad 200 km a odtud pak bude vynesena do vzdálenosti 36 000 km nad rovník. Při konstrukci družicové elektrárny bude tedy celé „staveniště“ i s materiálem a montéry létat kolem Země v beztížném stavu, neboť jen tak se dají zkonstruovat rozsáhlé panely pro fotovoltaickou přeměnu. Dopravu materiálu na oběžnou dráhu bude zajišťovat



Palivový článek



Geostacionární družice se slunečními články ve výšce 36 000 km nad Zemí oběhne naší planetu přesně za 24 hodin

raketoplán. Družicových elektráren je plánováno několik. Navržené panely mají rozlohu  $5 \text{ km} \times 12 \text{ km}$ , tedy  $60 \text{ km}^2$ . Na sluneční články panelů bude dopadat sluneční záření  $60\,000\,000 \text{ m}^2 \times 1,4 \text{ kW/m}^2 = 84\,000\,000 \text{ kW}$ , a to ve dne v noci. Celkový výkon obou panelů dohromady by tedy byl  $16\,000\,000 \text{ kW}$  ve formě stejnosměrného proudu. Stejnosměrný proud z panelů se bude měnit na decimetrové rádiové vlny, které budou vysílány směrem k Zemi. Decimetrové vlny snadno procházejí atmosférou i oblaky. Na Zemi bude energie decimetrových vln zachycena přijímací anténou a přeměněna ve střídavý proud rozváděný normální sítí. Po všech přeměnách by z původních  $84$  milionů  $\text{kW}$  záření mělo být v síti na Zemi  $10\,000\,000 \text{ kW}$ . Pro srovnání uveďme, že přibližně  $7$  takových družic by mohlo zcela kryt veškerou energetickou potřebu našeho státu.

## PALIVOVÝ ČLÁNEK

Elektřinu lze získávat ze slunečního záření také přes energii chemickou. Nakonec i klasické tepelné elektrárny využívající uhlí

představují způsob, jak chemickou energii uhlí (tj. fosilní energii sluneční) změnit v teplo a teplo v elektřinu. Chemickou energii můžeme však měnit přímo v elektřinu například tak, že pomocí slunečního záření rozložíme vodu na vodík a kyslík. Tím se původní energie záření uskladí jako energie chemická do obou plynů. Při slučování obou plynů, tj. při okysličování vodíku, vzniká opět voda. Nahromaděná energie se přitom uvolní buď jako teplo (při hoření), nebo jako elektrický proud (v palivovém článku). Palivový článek je měnič, ve kterém se energie chemická mění v energii elektrickou. Na rozdíl od ostatních elektrochemických článků (primárních, jako je baterie do svítilny, a sekundárních, jako je akumulátor), palivový článek dostává látku a katalyzátor, aby mohl pracovat. Na obrázku je znázorněn vodíko-kyslíkový článek. Z jedné strany se do něho přivádí vodík, z druhé kyslík. Vzniklá voda je odváděna z článku pryč. Elektrony, které odevzdává vodík katodě, se pohybují vnějším obvodem ke kyslíkové anodě, kde je přebírá kyslík. To je

tedy elektrický proud získaný z energie chemické.

Palivové články budou pravděpodobně v budoucnosti důležitým zdrojem elektrické energie. Představují uskladenou sluneční energii a lze je získávat v neomezeném množství.

Účinnost palivových článků je vysoká (až  $90\%$ ). Provoz palivových článků je čistý, neboť jejich produktem je voda.

Palivové články pracují zcela bezhlučně, jelikož neobsahují žádné pohyblivé části.

Pomocí palivových článků lze získávat elektřinu pro domácnost (s výkonem  $12 \text{ kW}$ ).

Vyrábějí se však už baterie mnoha palivových článků s výkonem až  $13\,000 \text{ kW}$  (užívají se zejména v astronautice).

## SLUNEČNÍ TEPELNÉ ELEKTRÁRNY

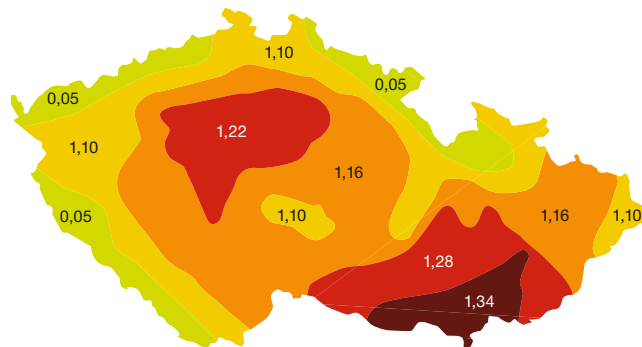
Sluneční tepelná elektrárna je zařízení, ve kterém se mění sluneční záření na elektrickou energii ve velkém měřítku.

Sluneční tepelná elektrárna je vlastně obyčejná tepelná elektrárna, která potřebné teplo získává přímo ze slunečního záření. Za





Sluneční tepelná elektrárna



Na vodorovně umístěnou plochu jednoho metru čtverečního v našich krajích dopadá za rok více než 1 000 kWh sluneční energie. Obrázek znázorňuje přibližné rozložení po republice. Údaje jsou v MWh za rok. Nejvíce slunečního záření dopadá na jižní Moravě.

tím účelem je kotel sluneční elektrárny umístěn na věži v ohnisku velkého **fokusačního (ohniskového) sběrače**.

Sluneční záření se soustředí u kotel zvaný absorbér pomocí mnoha otáčivých roviných zrcadel – tzv. **heliostatů**.

V kotli se získává horká pára, která pak pohání turbínu, turbína pohání generátor a generátor dává elektrický proud – tedy jako v obyčejné tepelné elektrárně.

## TEPLO ZE SLUNEČNÍ ENERGIE

Měli bychom si především připomenout, že teplo je pohybová (kinetická) energie molekul. Sluneční záření se mění v teplo velmi snadno: světelný paprsek je v podstatě velmi rychle kmitající elektrická a magnetická síla. Při dopadu na hmotu (např. černý plech) elektrická síla světla rozkmitá její molekuly – jinými slovy – zahřeje ji. Tomuto procesu přeměny světla v teplo se říká absorpce (pohlcení) záření a černému plechu se říká absorbér. Čím více záření se pohltí, tím rychleji kmitají molekuly a tím více se absorbér zahřívá. Avšak nejen černý plech, ale celá planeta Země

je obrovským absorbérem slunečního záření. Přeměna v černém plechu je však dokonalejší, neboť přemění téměř všechno dopadající záření.

Naopak Země jako celek absorbuje jen 2/3 dopadajícího slunečního záření. Černá barva má proto při přeměně sluneční energie v teplo významnou roli ve všech zařízeních, o nichž se zmíníme.

### SKLENÍK

Nejjednodušším zařízením, ve kterém se mění sluneční záření v teplo, je skleník. Skleník má dvě důležité vlastnosti:

1. ohřátý vzduch z něho nemůže uniknout;
2. sklo nepropouští dlouhovlnné tepelné záření, ale pohlcuje jej a tím se zahřívá.

Vzniká skleníkový jev. Teplo takto získané se používá nejen v zahradnictví, ale i na mnoha jiných místech, kde je třeba teplý vzduch, olej, voda či jiná tekutina. Používá se k sušení ovoce, obilí, burských oříšků, dřeva apod. Pomocí skleníkového jevu se slunečním zářením ohřívá voda pro domácnost, vytápějí se byty, čerpá se voda ze studní atd.

## SLUNEČNÍ OHŘÍVAČ VODY

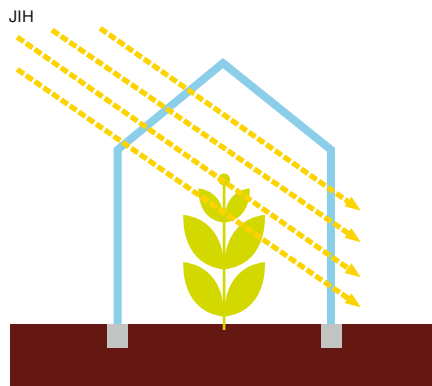
Teplo ze slunečního záření lze velmi účinně využít i k ohřevu vody v domácnostech, v zemědělství apod. Tím se ušetří značné množství energie zvláště pak v období od jara do podzimu.

Někde již tyto ohříváče fungují. Můžete si je vyrobit i sami doma. Základním prvkem je tzv. sběrač (kolektor) slunečního záření.

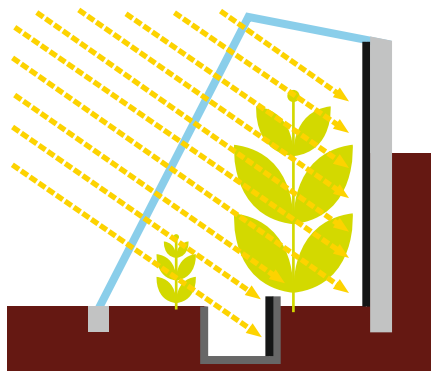
Účelem sběrače je pomocí slunečního záření ohřívát vzduch, vodu či jinou látku. Sluneční sběrač má pět hlavních částí:

1. **Absorbér** je nejdůležitější, neboť v něm probíhá přeměna záření na teplo. Je to obvykle černá plechová deska (z hliníku, mědi, železa apod.). Materiál i černý povrch má vydržet vyšší teploty.
2. **Schránka sběrače** (např. bedna), v níž jsou umístěny všechny části sběrače. Může být z prken, překližky nebo z plechu. Musí být pevná a těsná, aby teplý vzduch zevnitř neunikal. Nemá být příliš těžká.
3. **Krycí materiál**, který musí propouštět co nejlépe sluneční záření k absorbéru. Někdy se užívá fólie, která je sice levná a lehká, ale propouští infračervené záření





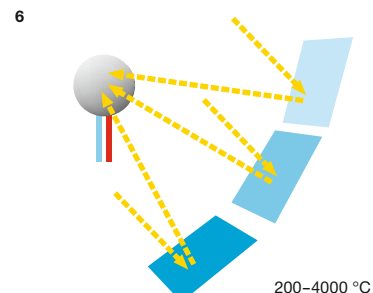
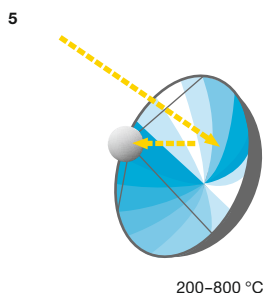
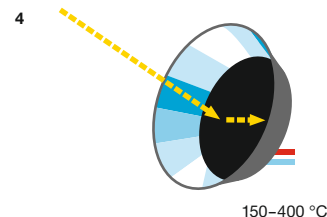
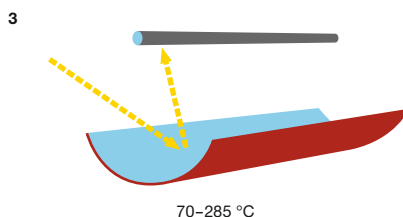
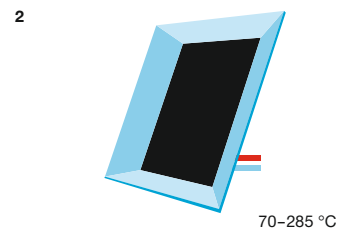
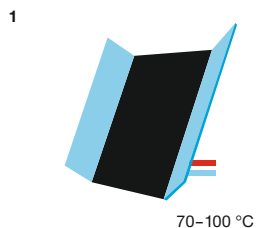
Nevhodný skleník. V předjaří a na podzim, když je slunce nízko nad obzorem, většina paprsků dopadajících na skleník prochází bez „tepelného efektu“ severní stěnou.



Skleník účelně využívající „šikmého“ jarního a podzimního sluníčka. Stěny jsou tepelně izolovány, vnitřní plochy severních stěn jsou černé. Skleník je zapuštěn do svahu, aby ztráty ochlazováním byly co nejmenší. Konstrukci je vhodné vybavit sklápěcí zateplovací deskou. Sklon jižního skla je cca 56 stupňů.

absorbéru ven. Vhodnější je sklo, které působí skleníkový jev. Krycí materiál má být pevný, musí vydržet vysoké teploty a má být upevněn tak, aby nepraskal.

**4. Izolace,** která vystylá dno a 4 úzké boky sběrače. Je vhodná skelná vata, rotaflex, polyuretan a různé pěnové materiály, které snesou vyšší teploty (polystyren



Ohříváče na vysokou teplotu (páru). Tok záření dopadající na kolektor lze zesílit pomocí dvou zrcadel (1) nebo čtyř zrcadel (2). Pro ještě větší teploty použijeme parabolického válce (3), v jehož ohnisku je černá trubka. Méně užívaný je komolý kužel (4), naopak velmi častý je tzv. sluneční varíč (5), otočné parabolické zrcadlo, v jehož ohnisku se v nádobě vaří. Pro získání páry o vysoké teplotě se užívá rovinných zrcadel (tzv. heliostatů), která se otáčejí a odrážejí sluneční paprsky na kotel, v němž se voda mění v páru (6).

není vhodný). Izolace chrání absorbér, aby z něho neunikalo teplo vedením.

**5. Pracovní látka,** která přebírá teplo z absorbéru a přenáší je k využití. Jako pracovní látka slouží vzduch, voda, olej (i „vyjetý“ z auta), nemrznoucí směs. U sběračů s vodou se na zimu musí přidat fridex. Ohřátá voda se vede ze sběrače

do zásobní nádoby. Zásobní nádoba je umístěna nad sběračem. Voda, která se ve sběrači ohřeje, je lehčí a stoupá do zásobní nádoby a na její místo proudí chladnější. Tomuto způsobu oběhu vody v ohříváči se říká **oběh samotíží**. Voda takto obíhá a ohřívá se do té doby, pokud teplo přijímané sběračem ze Slunce je

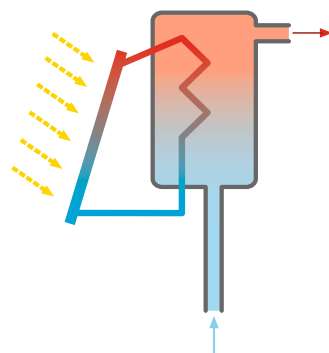
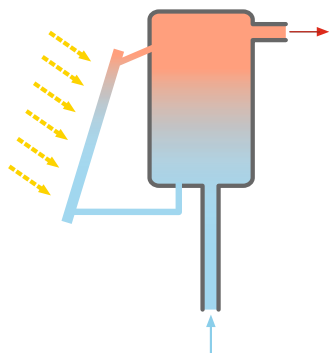
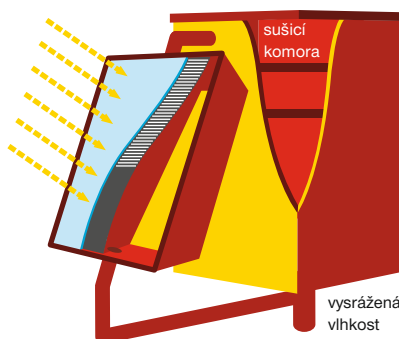
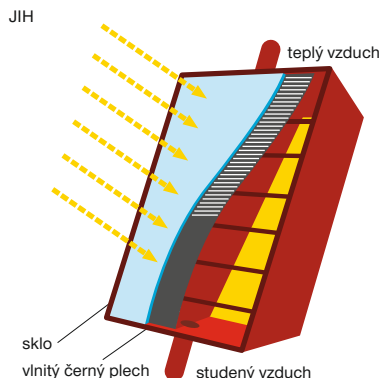


Schéma jednoduchého slunečního ohřivače vody a ohřivače vody pracujícího s uzavřeným okruhem pracovní kapaliny



Sušička je buď otevřená, nebo uzavřená. Otevřená je jednodušší a pracuje dobře za pěkného slunečního počasí. Uzavřená sušička je náročnější, ale pracuje za každého počasí.

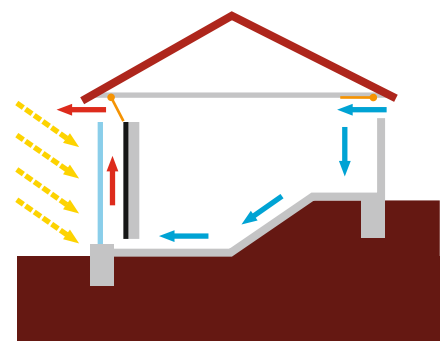
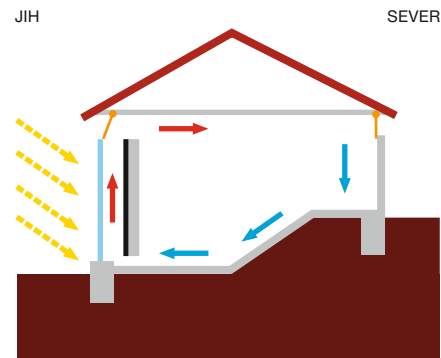


Schéma Trombeho stěny

větší než ztráty tepla z celého ohřivače (to je ze zásobní nádoby, z přívodního potrubí a ze sběrače). Jak je patrné z obrázku, jsou dvě možná uspořádání ohřivače vody: v prvním případě dostaneme ohřátou vodu ze zásobní nádoby tak, že připouštíme vodu studenou: ze zásobní nádoby nahoře přetéká horká voda, kterou potřebujeme. V druhém případě je zásobní nádoba pouze **výměníkem tepla**, jako pracovní látku v rovinném sběrači lze použít nemrznoucí směs, olej apod. Toto uspořádání je vhodné zejména pro zimní období. V rovinných ohřivačích obvykle

zahřejeme kapalinu na teploty od 30 až do 80 stupňů C. Dosažená teplota závisí na tom, zda je jasno nebo oblačno, na množství dopadajícího záření, na teplotě okolního vzduchu, na větru, na izolaci sběrače, akumulací nádoby a spojovacích trubek, na těsnění a pokrytí sběrače, na selektivním povrchu absorberu, na velikosti sběrače, na druhu zapojení (vedle nebo za sebou) a na množství ohřívání vody.

## SLUNEČNÍ SUŠIČKA

Ve sběrači můžeme také ohřívat vzduch. Absorbér (černý plech) bývá zvlněn, takže

v průřezu vypadá jako zuby od pily. Ohřivač vzduchu je základním článkem ve **sluneční sušičce**. Každá sluneční sušička má nejméně jeden ohřivač vzduchu. Nejjednodušší sušička je samotný ohřivač, do něhož se naskládá sušený produkt. Vysoušení nastává jednak teplým vzduchem, jednak přímým slunečním zářením. Dokonalejší je sušička, která sestává z více ohřivačů vzduchu, ze kterých se ohřátý vzduch vede do **sušicí komory**. Sušicí komora je uzavřený prostor se sítí, na které je rozložen produkt k sušení. Horký vzduch z ohřivačů odebírá vlhkost, ochlazuje se a sestupuje dolů. Jeho



Některé typy slunečních domů



vlhkost, tj. množství páry v  $1 \text{ m}^3$  vzduchu, přitom vzrůstá. Při dodatečném ochlazení na spodku sušící komory se vlhkost vysráží jako voda, která se pak odstraní. Chladný vzduch proudí zpět do ohříváče vzduchu, kde se ohřívá. Tím klesne jeho relativní vlhkost a horký vzduch pak proudí opět do sušící komory, aby nabral novou vlhkost atd. Sušení probíhá samovolně (samotíží), neboť chladný vzduch je těžší, takže klesá dolů, a horký lehký vzduch stoupá nahoru.

## SLUNEČNÍ STĚNA

Ohříváčů vzduchu lze využít i k jednoduchému vytápění bytů, chat apod. K tomu slouží např. francouzská sluneční stěna, zvaná též Trombeho stěna. Absorbérem je celá jižní stěna domu, která je černá a matná, aby dobře pohlcovala sluneční záření. Před stěnou je sklo, obyčejné okenní tabule, zasazené do dřevěné (kovové) mříže. Chladný vzduch proudí otvorem dole při podlaze místnosti před zahřátou stěnou. Stykem se stěnou se ohřívá a stoupá nahoru. Nahoře při stropu místnosti je další otvor, kterým teplý vzduch vniká do místnosti. Předává své teplo, ochladí se, klesne k podlaze a otvorem je znovu vyváděn mezi stěnu a sklo. Ohřívání probíhá samovolně (samotíží)

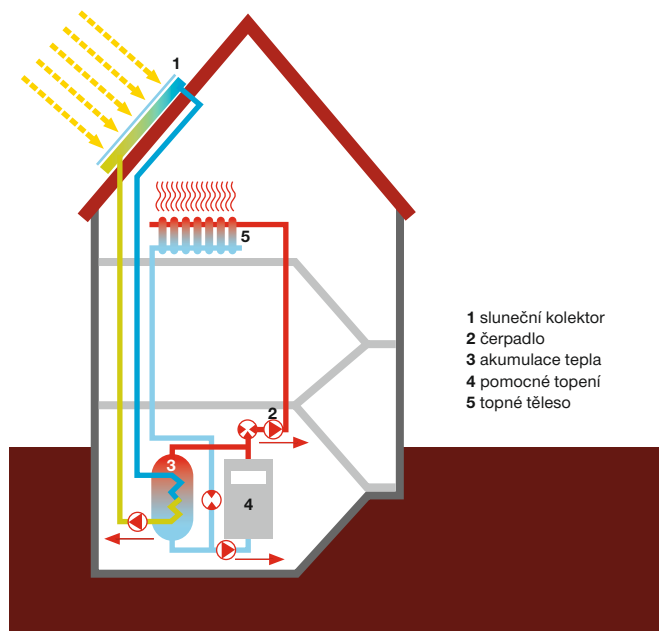
a není potřeba žádných větráků. Pohlcené sluneční záření z poloviny zahřívá vzduch a druhá polovina se uchovává ve stěně jako teplo. Vyhřívání pokračuje od teplé stěny ještě celou noc. V létě by nám mohlo být v domku s Trombeho stěnou nepříjemně teplo. Proto se záklopkou uzavře otvor u stropu a tím se uvolní otvor ven. Horký vzduch stoupá a uniká otevřeným otvorem ven. Na jeho místo proudí do místnosti chladný vzduch otvorem v severní stěně. Severní stěna je ve stínu, často je u ní zahrada, kde je vzduch nejen chladný, ale i svěží. Dům s Trombeho stěnou se v létě nejen nepřehřívá, ale naopak je jednoduchým způsobem klimatizován. Na základě dlouholetých zkušeností s Trombeho stěnou lze říci, že v jižní Francii uspoří celoročně asi  $1/2$  spotřeby paliva. I u nás by tento jednoduchý, bezpečný a automatický způsob slunečního vytápění mohl uspořit část paliva, i když ne tolik jako v jižní Francii.

## SLUNEČNÍ DŮM

V rodinném domku se spotřebuje za rok asi 60–80 metrických centů uhlí. Z něho se uvolní během hoření přibližně 30 mil. kcal, což je přibližně 35 000 kWh nebo 126 000 MJ. Z mapky rozložení sluneční

energie České republiky zjistíme, že na  $1 \text{ m}^2$  dopadá u nás za rok více než 1000 kWh. Na střechu našeho domu dopadne za rok celkem 80–100 tisíc kWh slunečního záření (podle velikosti střechy a podle oblasti, kde žijeme). Kdybychom jen polovinu dopadajícího záření přeměnili na teplo, stačilo by nám na celoroční topení. Domek, ve kterém se topí nebo alespoň přitápí sluneční energií, se jmenuje **sluneční dům**. Už je jich po celém světě mnoho tisíc a začínají se stavět i u nás. Je zajímavé, že i ve Skandinávii, kde mají méně slunečního záření než my ve střední Evropě, mají se slunečními domy dobré zkušenosti. Je však potřeba mít na paměti, že potřebujeme nejvíce tepla právě v zimě, tedy v době, kdy k nám dopadá nejméně slunečního záření. Jsou tu dvě možnosti, jak vyřešit tento nedostatek. Nejlépe by bylo nasbírat hodně sluneční energie v době, kdy je dostatek slunečního záření, abychom ji pak mohli využívat v době nepříznivého počasí.

Domy vyhřívané po celý rok sluneční energií opravdu existují. Avšak uschovávání (akumulace) tepla na delší dobu je nákladné a nemáme s ním zatím mnoho zkušeností. Jinou možností je přitápění fosilními palivy.



- 1 sluneční kolektor
- 2 čerpadlo
- 3 akumulace tepla
- 4 pomocné topení
- 5 topné těleso

Schéma kombinace slunečního a klasického (v tomto případě pomocného) topení v jednoduchém slunečním aktivním domě



Sluneční pec v Pyrenejích

Teplo pro sluneční dům se obvykle získává pomocí rovinných sběračů umístěných na jižním svahu střechy. Horká voda se skladuje (akumuluje) ve velké cisterně, dobře izolované a uložené ve sklepech. Vodní oběh je nucený, tzn. poháněný čerpadlem, protože zde nemůže pracovat samospád jako u ohříváče vody. Pro topení však můžeme odebírat teplotu vodu z cisterny samospádem, jak pochopíme z obrázku. U nás asi budeme nejprve stavět jednoduchý typ slunečního domu. To znamená, že sluneční energií budeme jen přitápět – tak ušetříme palivo.

### SLUNEČNÍ VAŘIČ A SLUNEČNÍ PEC

Dosud jsme hovořili o **rovinných sběračích**. Užívají se na ohřev vody a vzduchu. U rovinných sběračů absorber pohlcuje záření tak, jak na něj dopadá. Dosažená

teplota v rovinných sběračích je 30–80 °C, ve výjimečném případě až 150 °C. Teplo při takové teplotě nazýváme **nízkopotenciální**. Druhou skupinu slunečních sběračů tvoří různé druhy **sběračů fokusačních**. Fokus (ohnisko) je místo, kde se soustředí paprsky a kde je umístěn absorber. Ve fokusačních sběračích je absorber vždy menší než sběrač. U některých sběračů je pouze 2× menší, ale u velikých fokusačních sběračů zvaných **sluneční pec** je absorber několikrát menší. Tomuto číslu, které udává, kolikrát je plocha absorberu menší než plocha sběrače, se říká **fokusační poměr** 1 a u slunečních pecí je několik tisíc. Fokusační sběrače se musí natáčet za Sluncem, aby soustředěné záření padalo stále na absorber. Naopak rovinné sběrače využívají i rozptýleného slunečního záření,

za Sluncem se zpravidla neotáčejí a pracují i tehdy, když je Slunce za oblačky. Fokusační sběrače se nejčastěji užívají k vaření – odtud název sluneční vaříč. Takový vaříč je vlastně parabolické zrcadlo, v jehož ohnisku je umístěna nádoba na vaření (kotlík). Zrcadlo může být uděláno ze sklolaminátu a jeho vnitřní stěna se polepí staniolem (hliníkovou fólií, alobalem). Vaříč se otáčí kolem osy, která je rovnoběžná se zemskou osou. Otáčením vaříče kolem osy dosáhneme toho, že sluneční paprsky po odrazu od zrcadla stále dopadají na kotlík. Vaření pomocí slunečního vaříče se osvědčuje všude tam, kde není po ruce jiný zdroj energie, např. v pouštích Středního východu, na menších ostrovech, v horách atd. Sluneční vaříč můžeme užívat jen tehdy, když slunce svítí. Pro zajímavost voda na kávu se v něm uvaří asi za 10 minut, kilo rýže asi za půl hodiny.



Sluneční automobil

## SLUNEČNÍ PEC

Největší fokusační sběrače se nazývají **sluneční pece**. Je to velké parabolické zrcadlo o průměru několika metrů až desítek metrů.

Parabolické zrcadlo pece je nehybné. Je otočeno vždy k severu (na severní polokouli). Jedno nebo několik rovinných zrcadel zvaných **heliostaty** se otáčí za Sluncem. Každý heliostat se otáčí automaticky za Sluncem tak, aby paprsky od něho odražené směřovaly vždy k jihu, to znamená na parabolické zrcadlo. Od parabolického zrcadla se všechny paprsky odrážejí do ohniska pece, které se nachází uvnitř uzavřeného prostoru. Tím se zamezí ztrátám tepla. Ve světě bylo vybudováno několik slunečních pecí (např. v Japonsku, Francii, SSSR, USA). Nejznámější je sluneční pec, kterou vybudoval profesor Trombe v městečku Odeillo v Pyrenejích. Na svahu je umístěno celkem 63 heliostatů, které odrážejí sluneční paprsky k parabolickému zrcadlu.

Každý heliostat je složen ze 180 čtvercových zrcadel o straně 1/2 metru. Parabolické zrcadlo je 54 metrů široké a 40 metrů vysoké. Je složeno z 9 000 čtvercových

zrcadel o straně 45 cm. Když svítí Slunce, je do ohniska pece soustředěno asi 1 000 kW. Ohnisko se nachází v hliníkovém válci, v jehož základně je otvor pro záření. Válec musí být chlazený vodou, neboť teplota v ohnisku je 3 000–4 000 K.

## SLUNCE V PRÁCI

Nakonec uvažme energii mechanickou. Setkáváme se s ní na každém kroku – v autě, ve strojích apod. Je to všechna energie pocházející původně ze Slunce. V této kapitole se podíváme, zda je možné i v tomto případě používat přímo sluneční energii – jinými slovy, zda můžeme stroje pohánět přímo slunečním zářením a vyhnout se naftě, benzinu, kerosenu, uhlí, čili fosilním palivům.

### 1. Sluneční motor

**Sluneční motor** je zařízení, které přeměňuje jakýmkoliv způsobem sluneční záření na mechanickou energii. V užším slova smyslu je to tepelný motor spojený se slunečním sběračem. Sběrač může být rovinný (např. u slunečních pump), ale i fokusační. Sběračem v rozsáhlém měřítku je i hladina teplých moří a oceánů (oceánský sluneční motor).

Teplo samovolně přechází do studené látky. Studená látka, kam teplo teče, je v kondenzátoru. Přenos tepla se děje pracovní látkou v uzavřeném okruhu. Teplem ze sběrače se zahřívá pracovní látka ve výparníku (čpavek, propan, freon; oxid siřičitý atd.). Zahřátá pracovní kapalina se vypařuje a mění v horkou páru o vysokém tlaku. Pára pohání turbínu a koná mechanickou práci. Rozpínáním se pára v turbíně ochladí a vede se do kondenzátoru. V kondenzátoru se dalším ochlazením přivede pracovní látka do kapalného stavu a odtud se žene čerpadlem zpět do výparníku.

### 2. Sluneční čerpadlo

Sluneční energii lze s výhodou použít k čerpání vody ze studní. Sluneční motor, který čerpá vodu ze studny, se nazývá sluneční čerpadlo. K ohřevu výparníku se užívá rovinných sběračů, jako pracovní látka slouží freon nebo propan. Kondenzátor se chladí studenou vodou, čerpanou ze studny.

Ve světě už pracuje více než sto slunečních pump. Jsou velmi užitečné zejména v oblastech s velkým slunečním zářením (Mexico, Ceylon, Sahara apod). První sluneční pumpa na Sahaře byla ve škole

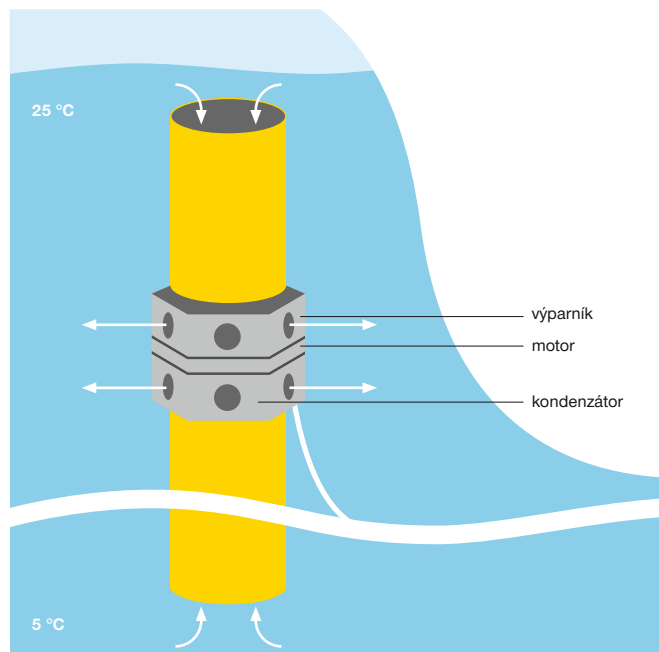
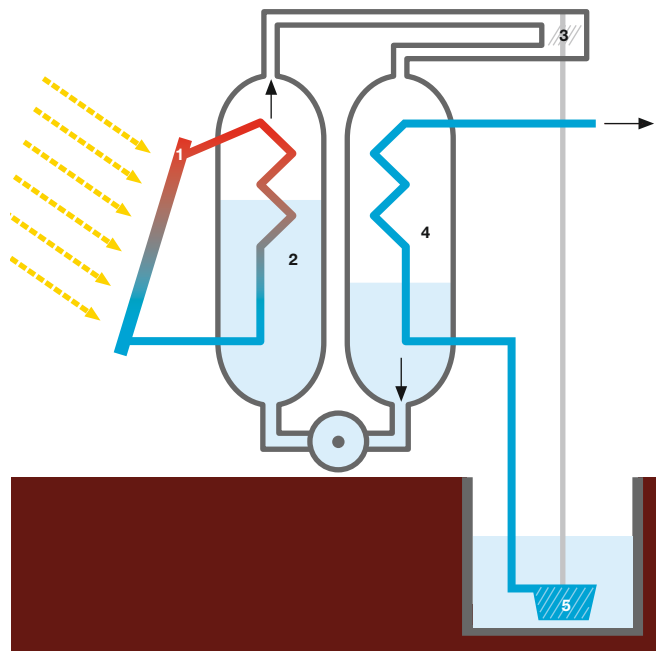


Schéma oceánského slunečního motoru



Sluneční čerpadlo. Teplo získané ve slunečních kolektorech (1) zahřívá pracovní látku (freon, propan aj.) ve výparníku (2). Pára pohání turbínu (3) a chladí se kondenzátorem (4). Turbína pohání pumpu (5) a studniční voda protéká kondenzátorem (4).

v městečku Chingetti (Mauretánie). Na střeše školy je 70 m<sup>2</sup> slunečních sběračů. Vlastní motor je uvnitř věže při škole. Voda prochází kondenzátorem a je vedena do dvou cisteren ve věži (každá 15 m<sup>3</sup>). Za hodinu načerpá motor ze studny 10 m<sup>3</sup> vody. Tato voda zásobuje asi 3 tisíce obyvatel Chingetti uprostřed pouště. Dříve se musela pro pohon čerpadla přivážet nafta z velké vzdálenosti. Další výhodou je příjemná teplota ve škole, neboť záření dopadající na budovu se mění v práci a nezahřívá třídy. V pouštních a polopouštních oblastech jsou sluneční čerpadla nenahraditelná.

### 3. Sluneční automobil

Existuje několik způsobů, jak lze získat mechanickou energii ze slunečního záření. Některé z nich již byly s úspěchem vyzkoušeny k pohonu automobilů.

### POHON Z BIOMASY

V Brazílii už jezdí statisíce automobilů, které mají vzadu nápis „Movido a alcohol“. Jsou to obyčejná auta, která místo benzínu užívají **líh** (etanol, etylalkohol). Etanol Brazilci získávají kvašením z cukrové třtiny, z kasave nebo ananasů. Dodejme ještě, že benzinový motor lze snadnou úpravou přeměnit na motor lihový a že se cukrová třtina neustále obnovuje. Důležité je, že z výfuku auta vychází pouze vodní pára a oxid uhlíčitý, neboť v alkoholu jsou pouze atomy uhlíku a vodíku C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH – jejich hořením (okysličováním) nemůže nic jiného vzniknout.

### VODÍKOVÝ POHON

Vodu lze rozkládat pomocí slunečního záření několika způsoby. Získáme tak vodík a kyslík. Firma Mercedes má prototyp vodíkového automobilu, ve kterém se místo

směsi benzinových par se vzduchem užívá směs vodíková. Protože čistý vodík je látka vysoce výbušná, užívá se v autech vodík vázaný na některé prvky, tzv. hydridy.

### ELEKTRICKÝ POHON

Vodík a kyslík získaný ze sluneční energie můžeme pomocí palivového článku měnit přímo v elektrický proud. Elektromotorem napájeným z článku pak poháníme automobil (solární). Energie přitom prodělává tento řetěz přeměn: Sluneční záření se při rozkladu vody mění v chemickou energii. Chemická energie vodíku a kyslíku se mění palivovým článkem v elektrický proud. Elektrický proud se elektromotorem převádí na pohybovou energii automobilu.

Pro zajímavost se zmiňme, že elektrický proud pro pohon automobilu lze získat pomocí **slunečních fotovoltaických**





Obrovské rozlohy pouští na Zemi lze využít k přeměně sluneční energie na elektřinu nebo k rozkladu vody na vodík a kyslík. S využitím Sahary a dodáváním solární elektřiny do Evropy počítá projekt Desertec.

**článků.** Panely článků jsou při tom umístěny na střeše automobilu. Potřebují však velkou plochu střechy. Získaný proud je slabý a auto jede, jen když svítí slunce. Lépe se ovšem osvědčilo nabíjet pomocí slunečních článků (rozmístěných na střeše domu) akumulátory a těmi pak automobily pohánět. Pomocí vhodných akumulátorů lze naježdit 200–300 km při rychlosti menší než 90 km/h. Potom je potřeba akumulátory vyměnit za nabité. Pro pojižd'ky po městě se ukázal tento typ automobilu zcela vyhovující, a co je velmi důležité, jezdí potichu a neznečišťuje vzduch.

## VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE V BUDOUCNOSTI

Teď asi dojdete k závěru, jak skvělým řešením energetické situace lidstva z hlediska

ekonomického a ekologického by bylo naučit se využívat ten nejdokonalejší, nejčistší, nejbezpečnější, nejlevnější a věčný jaderný reaktor, který nám příroda dala už před pěti miliardami let. Na několika příkladech jste viděli, že přímá sluneční energie již slouží lidem nejrůznějšími způsoby v různých částech světa.

Na Zemi je asi 22 milionů km<sup>2</sup> pouští, které nelze využít ani v zemědělství, ani k chovu dobytka (Sahara, Kalahari, Atakama). Jejich obrovské rozlohy však mohou být alespoň zčásti využity k přeměně sluneční energie na elektřinu nebo k rozkladu vody na vodík a kyslík. Pro Evropu je nejbližší Sahara, která má rozlohu 7 milionů km<sup>2</sup>. Jednoduchý výpočet nám ukáže, že jen z jedné desetiny Sahary bychom dnešní technikou získávali asi 50 terawattů, což je 5× více, než lidstvo potřebuje. Elektrická energie ze solárních

článků ze Sahary by se mohla rozvádět přes Gibraltar do Evropy. Jinou možností je využívat sluneční energii z rozkladu vody a vodík pak dopravovat do Evropy potrubím nebo ve velkých tankerech podobně jako zemní plyn. Bude však ještě potřeba velkého úsilí a značných nákladů, než bude všečen světový průmysl, zemědělství, doprava i domácnosti využívat sluneční energii. To není sen – to je technicky uskutečnitelná možnost!







Ozdobnice čínská

# BIOMASA

Obvykle je biomasa definována jako substance biologického původu zahrnující rostlinnou biomasu pěstovanou na půdě nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady. Biomasou v nejširším slova smyslu je hmota všech organismů na Zemi, zahrnující jak jejich „tělesné schránky“, tak i živé a neživé produkty jejich činnosti – stonky trav a obilovin, dřevo, semena a jejich obaly, exkrementy aj. V praxi pak je používána řada termínů pro označení skupin biomasy, např. rostlinná biomasa – fytomasa, dendromasa nebo zoobiomasa atd. Základním producentem biomasy jsou rostliny, které jsou schopné využitím světelné energie Slunce zachycené v zeleném barvivu (chlorofylu) produkovat sacharidy a následně bílkoviny – základní „stavební kameny“ všech živých organismů. Tato reakce – syntéza atmosférického  $\text{CO}_2$  a vody za pomoci slunečního záření – je proces nazývaný fotosyntéza.

Teoreticky je možné všechny formy biomasy využít pro produkci energie, neboť základním stavebním prvkem živé hmoty je uhlík a jeho chemické vazby, které obsahují energii – je pouze technickou otázkou, jak tento potenciál využít. Pokud hovoříme o biomase v souvislosti s energetikou, je pod tímto pojmem nejčastěji myšleno dřevo a dřevní odpad, sláma a jiné produkty zemědělství, včetně exkrementů užitkových zvířat.

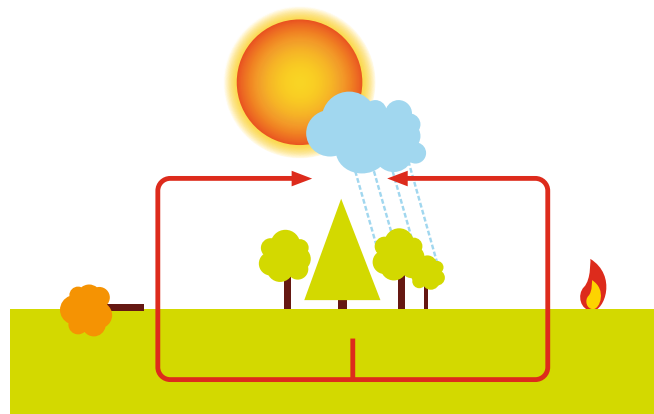
Biomasa patří mezi obnovitelné zdroje energie, její množství se neustále obnovuje činností organismů a nedochází tak k jednostrannému narušení rovnováhy prvků a energie v biosféře, jak je tomu při využívání fosilních paliv. Ta vznikla na Zemi před mnoha miliony let za určitých podmínek rovněž z biomasy. Fosilní paliva lze označit za jistou

„energetickou konzervu“, ve které je energie uložena ve vyšší koncentraci. A právě při procesu přeměny těchto paliv na energii se do prostředí uvolňují prvky a látky, rovněž ve vyšší koncentraci, uložené do nich v době jejich vzniku, kdy se atmosféra výrazně lišila od dnešní.

Energie získávaná spalováním biomasy je nejstarší energie, kterou kdy člověk využíval. Až do poloviny minulého století si zemědělské podniky a venkovská sídla v našich krajích z větší části zajišťovaly své energetické potřeby využíváním biomasy z vlastních zdrojů – tak je tomu dosud v některých zemích třetího světa. V historických dobách sloužilo až asi 40 % plochy zemědělské půdy pro tyto účely, zejména pro chov tažných zvířat. S nástupem průmyslové revoluce a postupným zvyšováním životních

standardů se stále více využívala fosilní paliva až do doby, než byly zjištěny všechny dopady na životní prostředí. Technologie spalování nebyly tak dokonalé, aby zachycovaly škodliviny vznikající z jejich přeměny na energii.

Biomasa je ve světě považována za velmi perspektivní zdroj energie, který je schopen v budoucnu nahradit podstatnou část mizejících neobnovitelných klasických zdrojů energie, jako je uhlí, ropné produkty a zemní plyn. Odhadovaná roční celosvětová produkce energeticky využitelné biomasy převyšuje téměř desetkrát svým energetickým potenciálem roční objem světové produkce ropy a zemního plynu – a přesto je podíl obnovitelných zdrojů energie, kam biomasa bezesporu patří, na celkové spotřebě energie poměrně malý.



Přírozený okruh se uzavírá

## APLIKACE BIOMASY PRO VÝROBU ENERGIE

Využívání biomasy k energetickým účelům je možné několika způsoby, které jsou závislé na fyzikálních a chemických vlastnostech použité biomasy. Mezi nejvýznamnější vlastnosti biomasy patří její vlhkost, charakterizovaná obsahem sušiny v biomase.

**Podle vlhkosti** lze dělit procesy jejího energetického využívání na dvě základní skupiny:

1. mokré procesy, hmotnostní obsah sušiny je menší než hmotnostní obsah vody,
2. suché procesy, hmotnostní obsah sušiny je větší než hmotnostní obsah vody.

Rozhraní tvoří biomasa s hmotnostním obsahem 50 % sušiny. Toto základní členění lze podrobněji rozvést ve vztahu ke způsobům konverze biomasy na energii.

**Podle materiálové skladby** lze rozdělit energetickou biomasu do několika skupin, přičemž pro každou skupinu jsou vhodné jiné způsoby konverze:

1. Fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy – vhodná konverze spalováním, případně i **aerobní** a **anaerobní fermentací**.
- Energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny)

- Obiloviny (celé rostliny i se semeny nebo pouze jejich sláma)
  - Travní porosty trvalé nebo záměrně pěstované (např. sloní tráva, chřastice aj.)
  - Ostatní rostliny (šřovík uteuša, konopí seté, křídlatka aj.)
2. Fytomasa olejnatých rostlin (semena řepky olejky a slunečnice, lnu, dýně aj.) – vhodná konverze semen esterifikací bioolejů, popř. spalováním či anaerobní fermentací, zbytková sláma spalováním nebo anaerobní fermentací.
  3. Fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru (brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice, obilná zrna) – vhodná konverze alkoholovou fermentací.
  4. Organické odpady živočišného původu, rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby, z údržby silničních a železničních tras, vodních toků a krajiny (sláma obilná, kukuřičná, slunečnicová, řepková, zbytky po odstraňování křovin a lesních náletů, zbytky z lučních a pastevních ploch, odpady ze sadů a vinic, travní porosty z údržby parků a ošetřování úhorů) – vhodná konverze spalováním, popř. anaerobní fermentací.
  5. Odpady ze živočišné výroby (exkrementy z chovu hospodářských zvířat, zbytky

krmiv, odpady z mléčnic a z přidružených zpracovatelských kapacit) – vhodná konverze anaerobní fermentací, popř. spalováním nebo aerobní fermentací.

6. Komunální organické odpady z venkovských i městských sídel (kalý odpadních vod, organický podíl z komunálních odpadů, odpadní organické hmoty z údržby zeleně) – vhodná konverze spalováním a anaerobní fermentací, popř. zplynováním a pyrolýzou.
7. Organické odpady z potravinářské a průmyslové výroby (odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozů, odpady ze zpracování dřeva, tj. odřezky, piliny, hobliny, brusný prach) – vhodná konverze anaerobní fermentací, popř. aerobní nebo alkoholovou fermentací.
8. Odpady z lesního hospodářství (dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest, šišky a jehličky) – vhodná konverze spalováním, popř. zplynováním, pyrolýzou a anaerobní fermentací.

Přehled typů konverze biomasy

| Typ konverze biomasy                      | Způsob konverze biomasy | Energetický výstup    | Odpadní materiál nebo druhotná surovina |
|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| thermochemická konverze:<br>suché procesy | spalování               | teplo vázané na nosič | popeloviny                              |
|                                           | zplynování              | generátorový plyn     | dehtový olej<br>uhlíkaté palivo         |
|                                           | pyrolýza                | generátorový plyn     | dehtový olej<br>pevné hořlavé zbytky    |
| biochemická konverze:<br>mokré procesy    | anaerobní fermentace    | bioplyn               | fermentovaný substrát                   |
|                                           | aerobní fermentace      | teplo vázané na nosič | fermentovaný substrát                   |
|                                           | alkoholová fermentace   | etanol, metanol       | vykvašený substrát                      |
| fyzikálně-chemická konverze               | esterifikace bioolejů   | metylester biooleje   | glycerin                                |

Přehled typů rostlin vhodných pro výrobu energie z biomasy

| Plodina/termín                                      | Výhřevnost<br>(MJ/kg) | Vlhkost<br>(%) | Výnos (t/ha) |        |      |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|--------|------|
|                                                     |                       |                | Min.         | Průměr | Opt. |
| sláma obilovin (VII–X)                              | 14                    | 15             | 3            | 4      | 5    |
| sláma řepky (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    |
| energetické seno – ostatní půda (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   |

9. Směsi různých organických odpadů – vhodná konverze se zvolí podle převažujících druhů odpadů.

Biomasu využívanou k energetickým účelům je také možné členit z hlediska technologického:

1. Biomasa záměrně pěstovaná a získávaná jako výsledek výrobní činnosti.
2. Biomasa odpadní, využití odpadů ze zemědělské a potravinářské výroby,

z údržby a péče o les a krajinu, z komunálního hospodářství a některých druhů průmyslové výroby.

Při pěstování biomasy pro energetické účely na vybraných plantážích je velmi důležitá volba plodiny. Druh energetické plodiny je určován mnoha faktory – druhem půdy, 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 výnos (zisk) energie. Pro plantáže energetických rostlin lze využívat zejména zemědělsky nepotřebnou a nevhodnou půdu, např. území okolo dálnic, plochy po povodních a podobně. V ČR jsou pro tyto účely velmi vhodné lokality odkališť a výsypek u energetických a rudných provozů, které nemají jiné vhodné využití a kde může pěstování biomasy pomoci navrátit krajinu jejímu původnímu účelu. Je možné také využít dřívě tradičních



Různé biologické materiály – peletky

- 1 ochranný kryt vkladacího prostoru
- 2 vťahovací válečky s hydraulickým pohonem a vratným pohybem
- 3 protiosťří
- 4 rotor štěpkovače
- 5 nože rotoru (jejich počet určuje délku štěpky)
- 6 natáčecí odhazová trubka štěpky

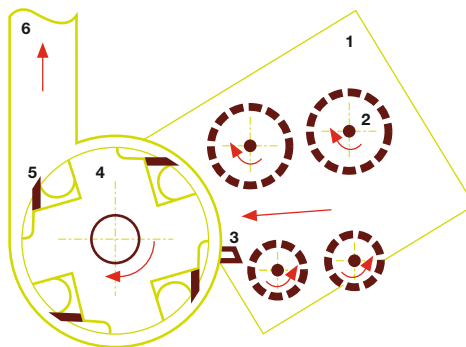


Schéma bubnového štěpkovacího stroje



Sklizeň slámy a její vazba do velkých balíků používaných přímo ke spalování





Elektrárna Chvaletice, kde proběhly zkoušky na spalování biomasy spolu s uhlím



Po několika letech zkoušek spoluspalování biomasy s uhlím přechází fluidní kotel Elektrárny Hodonín na spalování čisté biomasy

ploch mezi, remízků a okolí potoků, které kdysi tvořily přirozené živé ploty.

Hlavní rozdíl při pěstování energetických dřevin na plantážích proti běžnému způsobu je v době mezi sázením stromů a těžbou dřeva – ta je u plantáží kratší (2 až 8 vegetačních období). Za tuto dobu se vytvoří slabé kmínky a ke sklizni lze použít i konvenční zemědělské stroje. Nejvhodnějšími dřevinami jsou platany, topoly, akáty, olše a zejména vrby, které mají vysokou roční výtěžnost – až 10 t/ha a výhřevnost okolo 17 MJ/kg (pro srovnání – hnědé uhlí 12–22 MJ/kg). Z bylin jsou zajímavé rostliny produkující cukr, škrob nebo olej, jako např. brambory, cukrová řepa, slunečnice a zejména řepka, jejíž semena se využívají k výrobě nafty, olejů a mazadel a sláma ke spalování.

Významným faktorem v celém procesu realizace záměru využít biomasu jako palivo je volba nejvhodnějšího postupu při zpracování návrhu způsobu její konverze na energii. V praxi se vyskytují v podstatě dvě možnosti:

1. Technologie konkrétního typu konverze již existuje nebo je zvolena a tím jsou i dány technické požadavky na dodávku

biomasy (štěpka, peletky, balíky slámy apod.).

2. Nejvhodnější technologie je zvolena na základě zjištěného potenciálu a struktury biomasy v dané lokalitě i požadavků na energetický výstup.

Druhá varianta je vhodnější, umožňuje lépe zohlednit stav i případný výhled v oblasti, respektuje i jiné aspekty, např. sociální, krajinné a jiné.

## SPALOVÁNÍ BIOMASY

Spalování biomasy je nejstarší známá termochemická konverze biomasy, při které dochází za teplot nad 660 °C k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny (i jiné látky) a při následné oxidaci se uvolňuje energie, CO<sub>2</sub> a voda. Oproti spalování fosilních paliv má spalování biomasy v podstatě nulovou bilanci oxidu uhličitého, který patří mezi tzv. skleníkové plyny, rovněž obsah síry je nízký (0–0,1 % má dřevo nebo sláma, naproti tomu hnědé uhlí má nad 2 %). Produkci CO<sub>2</sub> ze spalování biomasy lze označit za neutrální, protože množství uvolněné

do ovzduší spalováním je přibližně stejné jako to, které je zpětně vázáno do rostlin v zemědělských a lesních porostech nebo na založených energetických plantážích. Množství vznikajícího NO<sub>x</sub> lze kontrolovat úpravou teploty spalování.

Z hlediska využití v komunální sféře se obvykle jeví jako nejvhodnější centrální vytápění se spalováním biomasy, ať je to dřevo (převážně v podobě dřevní štěpky) nebo sláma. Pro porovnání lze uvést výhřevnost v ČR běžně spalovaných paliv a některých druhů biomasy:

- hnědé uhlí 12,5–22 MJ/kg
- dřevo o vlhkosti 40 % 12,7 MJ/kg
- dřevo o vlhkosti 30 % 14,0 MJ/kg
- sláma obilní o vlhkosti 15 % 14,0 MJ/kg
- sláma řepková o vlhkosti 20 % 14,0 MJ/kg

Nejobvyklejším palivem v kotlích na biomasu je dřevo v různých podobách (kusové pro kotle nízkých výkonů, štěpka a dřevní odpad pro centrální kotelní, brikety nebo peletky).

Spotřeba neupraveného paliva (palivo mimo brikety, pelety apod.) je závislá na jeho vlhkosti a homogenitě, např. u štěpky (obvykle vlhkost 30–35 %) lze počítat přibližně

## Výhřevnost dřeva v závislosti na obsahu vody

| Druh paliva          | Obsah vody (%) | Výhřevnost (MJ/kg) | Objemová hmotnost (volně ložená) (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|----------------|--------------------|-------------------------------------------------------|
| polena (měkké dřevo) | 0              | 18,56              | 355                                                   |
|                      | 10             | 16,40              | 375                                                   |
|                      | 20             | 14,28              | 400                                                   |
|                      | 30             | 12,18              | 425                                                   |
|                      | 40             | 10,10              | 450                                                   |
|                      | 50             | 8,10               | 530                                                   |
| dřevní štěpka        | 10             | 16,40              | 170                                                   |
|                      | 20             | 14,28              | 190                                                   |
|                      | 30             | 12,18              | 210                                                   |
|                      | 40             | 10,23              | 225                                                   |

## Možnosti zdrojů biomasy v ČR pro zajištění indikativních cílů EU dosažení 6–8 % energie z obnovitelných zdrojů do roku 2010

| Druh biomasy            |      | Energie celkem | Z toho teplo | Elektřina |
|-------------------------|------|----------------|--------------|-----------|
|                         | v %  | PJ             | PJ           | GWh       |
| dřevo a dřevní odpad    | 24   | 33,1           | 25,2         | 427       |
| sláma obilnin a olejnin | 11,7 | 15,7           | 11,9         | 224       |
| energetické rostliny    | 47,1 | 63             | 47,7         | 945       |
| bioplyn                 | 16,3 | 21,8           | 15,6         | 535       |
| celkem                  | 100  | 133,6          | 100,4        | 2231      |

Zdroj: CZ Biom (2003)

se spotřebou 300–400 kg za hodinu na každých 1000 kW tepelného výkonu. Sláma pro spalování se používá obvykle lisovaná do malých nebo velkých balíků (váhy až 500 kg), pro bilanci se obvykle počítá s výnosem 2,5–5 t sušiny na 1 ha, energeticky 3 kg slámy nahradí 1 kg lehkého topného oleje.

Výhřevnost paliva a jeho měrná hmotnost jsou ovlivněny zejména jeho vlhkostí. U štěpky s vyšší vlhkostí je problematické její dlouhodobé skladování. V prvních dnech uskladnění dojde vlivem mikrobiální činnosti k samozáhřevu na 60–70 °C. Pokud je štěpka provzdušňována, přispívá tento proces k jejímu vysoušení. V opačném případě

vznikají v dřevní hmotě nezanedbatelné ztráty její fermentací, popř. štěpka může být napadena plísněmi nebo dřevokaznými houbami a následně dochází ke ztrátám jejího objemu. Proto se doporučuje skladování štěpky do patnácti dnů od jejího uložení, maximálně do 8 měsíců.

**BRIKETY**

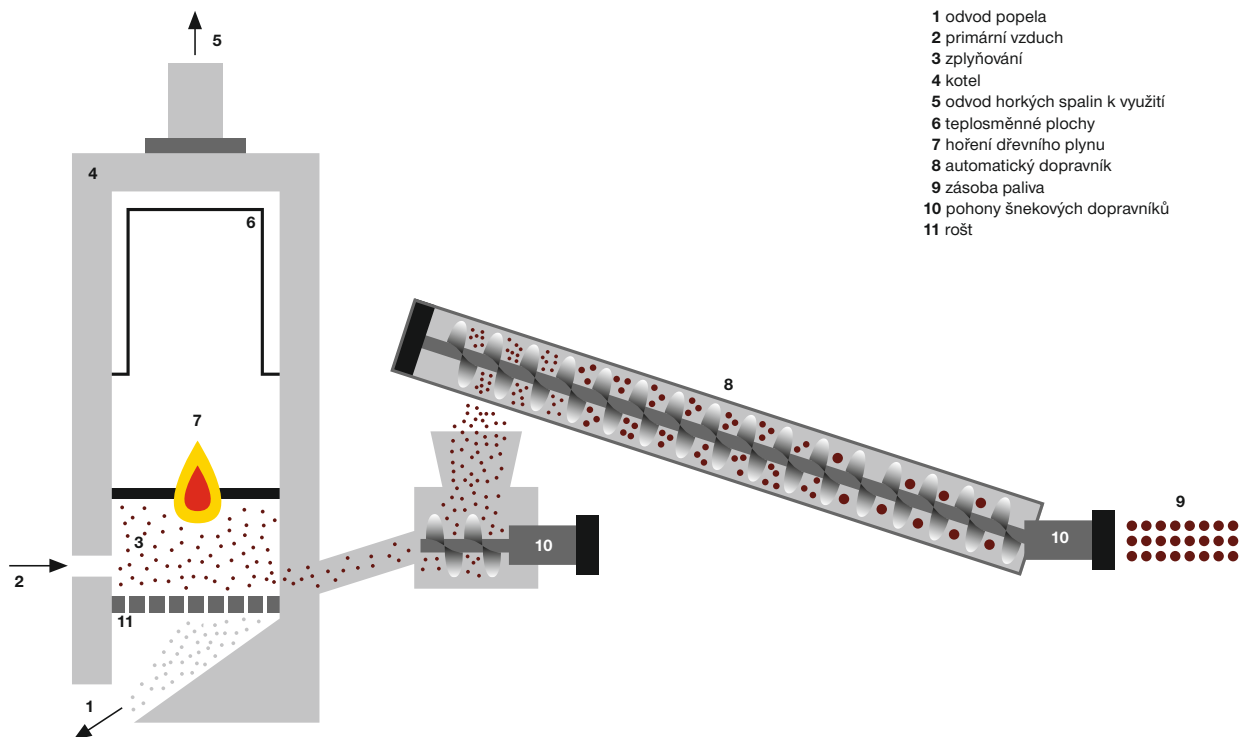
Biomasu lze rovněž zpracovat do briket, resp. pelet – tzv. do formy upraveného paliva, které je homogenní, má stejnou vlhkost i výhřevnost. Nejčastější vstupní surovinou je dřevní štěpka, kůra, piliny a hobliny. Ve směsi s dřevní štěpkou lze briketovat i slámu,

její podíl v závislosti na kvalitě dřeva však může činit max. 25 % z celkové hmotnosti vstupní suroviny. Briketa (peleta) představuje ušlechtilé palivo s nízkým obsahem síry (do 0,07 %) a s poměrně vysokou výhřevností (18 a ž 20 MJ/kg).

Vzhledem k tomu, že výroba briket je poměrně energeticky náročná, je vhodné brikety používat pouze tam, kde není možné využití neupravené biomasy. Toto doporučené omezení se týká zejména kotlů do výkonu 40 kW, vhodných zvláště pro rodinné domky či menší provozy.

V souvislosti s výrobou briket z dřevní hmoty je vhodné uvést pro porovnání





- 1 odvod popela
- 2 primární vzduch
- 3 zplyňování
- 4 kotel
- 5 odvod horkých spalin k využití
- 6 teplosměnné plochy
- 7 hoření dřevního plynu
- 8 automatický dopravník
- 9 zásoba paliva
- 10 pohony šnekových dopravníků
- 11 rošt

Automatický kotel na spalování dřevní štěpky

energetickou náročnost jejich výroby s výrobou briket z uhlí a jejich výhřevností:

- K výrobě briket, včetně dosoušení dřevní hmoty, je třeba cca 200 kW/t, tzn. k výrobě paliva o výhřevnosti 18–20 GJ je třeba cca 0,75 GJ, převážně elektrické energie. Pokud započítáme i energii vynaloženou na získání či sklizení biomasy, je to 5–6 % z energie, kterou získáme spálením briket.
- Spotřeba energie při těžbě hnědého uhlí v severních Čechách o výhřevnosti 14 GJ se pohybuje nad hranicí 20 % energie, kterou lze z uhlí získat. K tomu je ještě třeba připočítat energii vynaloženou na třídění uhlí a vlastní výrobu briket.

Pelety jsou moderní palivo určené především pro kotle malého a středního výkonu,

krby a krbová kamna. Jejich předností při aplikaci v kotlích ústředního topení je plně automatický provoz, vysoká a stabilní výhřevnost a nízký obsah popela. Za tím účelem jsou v domě nebo u domu zřizovány vlastní sklady štěpek spojené dávkovacím dopravníkem s násypkou kotle. Po rozšíření používání peletek jako paliva pro rodinné domky (zejména v Rakousku a Německu), se začaly objevovat problémy s jejich kvalitou. Proto se v uvedených zemích přistoupilo k certifikaci, která garantuje jejich vlastnosti a parametry.

### VYUŽITÍ BIOMASY VE VELKÝCH ELEKTRÁRNÁCH

Biomasa se zatím jeví v podmínkách České republiky jako nejperspektivnější obnovitel-

ný zdroj energie. Nejde přitom pouze o využití malých kotlen na spalování biomasy, ale zejména o možnost spalovat biomasu ve velkých kotlích uhelných elektráren. Směs uhlí a biomasy má v řadě parametrů výhodnější hodnoty než její jednotlivé složky – snížení emisí plyných i pevných škodlivin, nižší podíl popela, zvýšenou účinnost spalování. Výhodou jsou v tomto případě především fluidní kotle.

V rámci ČR se v energetické společnosti ČEZ spoluspálují biomasa s uhlím v elektrárnách, kde jsou instalovány fluidní kotle (Hodonín, Poříčí, Tisová) a v Teplárně Dvůr Králové (v zahraničí také v rámci Skupiny ČEZ v polské Skawině). Od roku 2009 spaluje čistou biomasu jeden z kotlů Hodonína a Energetické centrum Jindřichův Hradec.

## Složení a vlastnosti bioplynu

| Charakteristika                  | Metan CH <sub>4</sub> | Oxid uhličitý CO <sub>2</sub> | Vodík H <sub>2</sub> | Sulfan H <sub>2</sub> S | Bioplyn: 60 % CH <sub>4</sub> , 40 % CO <sub>2</sub> |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|
| objemový díl (%)                 | 55–70                 | 27–47                         | 1                    | 1                       | 100                                                  |
| výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> )  | 35,8                  | –                             | 10,8                 | 22,8                    | 21,5                                                 |
| hranice zápalnosti (obj. %) 5–15 | –                     | –                             | 4–80                 | 4–45                    | 6–12                                                 |
| zápalná teplota (ZC)             | 650–750               | –                             | 585                  | –                       | 650–750                                              |
| hustota (kg/m <sup>3</sup> )     | 0,72                  | 1,98                          | 0,09                 | 1,54                    | 1,2                                                  |

V prvním pololetí roku 2004 byla biomasa zkušebně spalována i v práškovém kotli ve Chvaleticích.

Zkoušky prokázaly, že je možné spalovat biomasu s uhlím ve fluidních kotlích přibližně na úrovni 20 % tepelného obsahu směsi a v roštových kotlích i při podílu až 100 %. Problémem je určit optimální roční množství biomasy, tak aby se vyplatilo dlouhodobě investovat do úprav dopravy paliva a do dalších opatření pro kontinuální spalování. Z hlediska typu biomasy byla používána především odpadní biomasa, zejména dřevní štěpka, popř. zemědělské produkty, jako jsou otruby, pelety ze zbytků po čištění semen a piliny. V malé míře se spaluje též biomasa cíleně pěstovaná pro energetické účely (energetické plodiny), jejíž využití zatím omezuje především nedostatečná produkce těchto plodin.

Největším problémem pro větší využití biomasy zatím zůstává nedostatek stálých dodavatelů využitelných paliv, schopných zaručit stabilní dodávky ve velkém.

Podle dosavadních zkušeností lze očekávat, že největší využití biomasy bude spojeno s decentralizovanými zdroji menších výkonů, zejména s kogeneračními jednotkami, popř. s jednotkami trigeneračními (současná výroba elektřiny, tepla a chladu).

## ANAEROBNÍ FERMENTACE

Anaerobní technologie představují z hlediska ekonomického a ekologického nejvhodnější způsob zušlechťení odpadů, při kterém se v bezkyslíkatém prostředí převážná část přítomných organických látek mikrobiálně přemění na energeticky bohatý **bioplyn**. Z počátku byla tato technologie používána převážně ke stabilizaci čistírenských kalů, v posledních letech se stále více používá pro zpracování různých zemědělských odpadů (např. exkrementy hospodářských zvířat, různé organické zbytky rostlinného a živočišného původu apod.) i k anaerobnímu rozkladu tuhých městských odpadů. Proces anaerobního rozkladu organických látek probíhá i v tělesech skládek komunálních odpadů.

Biologický rozklad organické hmoty představuje ve své podstatě napodobování a zintenzivnění procesů, které probíhají v přírodě samovolně již tisíce let. Hlavní předností anaerobních technologií je nízká energetická náročnost a vysoké objemové zatížení umožněné vysokou koncentrací biomasy. Za nedostatek lze považovat zejména obtížné odstraňování především amoniakálního dusíku a fosforu. U aerobních technologií je výhodou možnost kombinovat vysoce efektivní odstraňování organického znečištění a nutrientů biolo-

gickým způsobem. Nevýhodou je vysoká energetická náročnost a značná produkce přebytečného kalu.

Významnou předností anaerobní technologie před aerobní je transformace a zušlechťení organických látek do energeticky bohatého bioplynu, který může z velké části nebo zcela pokrýt energetickou spotřebu technologie.

Vyplývá to i z porovnání aerobní a anaerobní reakce z pohledu bilance energie a uhlíku.

**Z energetické bilance** obou technologií je patrné, že:

- U aerobních procesů je přibližně 60 % energie spotřebováno na syntézu nové biomasy a 40 % se ztrácí ve formě reakčního tepla.
- Při anaerobních procesech je téměř 90 % energie, původně obsažené v substrátu, zachováno ve vzniku bioplynu, 5–7 % je spotřebováno na růst nové biomasy a 3–5 % se ztrácí ve formě reakčního tepla.
- U aerobních procesů je asi 50 % uhlíku ze substrátu přeměněno na biomasu a 50 % na oxid uhličitý.
- Při anaerobních procesech přechází 95 % uhlíku do bioplynu (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) a 5 % do biomasy.



Skládka biomasy v Elektrárně Hodonín



V Elektrárně Poříčí se zkušeně spaloval energetický šťovík

Většina biochemických reakcí, kterými jsou rozkládány organické látky v prostředí, není striktně omezena na aerobní a anaerobní organizmy. Proto se u současných technologií volí kombinace obou procesů do dvoustupňové technologie s anaerobním předčištěním a aerobním dočištěním.

Tvorba bioplynu z odpadů obsahujících organickou sušinu je poměrně složitý biochemický proces probíhající bez přítomnosti kyslíku – zjednodušeně ho lze charakterizovat čtyřmi základními fázemi:

- **Hydrolyza** – přeměna polymolekulárních organických látek na nižší monomery.
- **Acidogeneze** – přeměna jednoduchých organických sloučenin na mastné kyseliny působením acidogenních bakterií.
- **Acetogeneze** – vznik hlavního produktu kyseliny octové.
- **Metanogeneze** – tvorba metanu a oxidu uhličitého působením metanogenních bakterií.

Proces anaerobního rozkladu organických látek a jeho stabilita v pracovním prostoru fermentoru je ovlivňován řadou faktorů, které mění přímo nebo nepřímo životní prostředí anaerobních mikroorganismů. Mezi nejdůležitější činitele patří teplota, pH, vlhkost, složení substrátu (druh a množství

surového materiálu), vysoký obsah těkavých látek a přítomnost toxických a inhibujících látek. Pestrost materiálů – odpadů, které lze technologií anaerobní digesce zpracovávat, a množství dalších ovlivňujících faktorů je rovněž důvodem, proč nelze považovat technologické zařízení na využití bioplynu za sériově vyráběný výrobek, který by bylo možné pouze instalovat bez nutného provozního „doladění“ k dosažení optimálních provozních poměrů navržené technologie.

Pro správný návrh bioplynové stanice a pro její ekonomický provoz jsou nutné informace o **produkci bioplynu** z jednotlivých druhů materiálů – odpadů. Je několik způsobů získávání bilančních údajů. Jedním z nich jsou např. údaje o produkci bioplynu z 1 tuny substrátů v čerstvém stavu (hodnoty množství bioplynu v m<sup>3</sup>/t):

- hovězí kejda – 25
- prasečí kejda – 36
- obsahy žaludků – 65
- zeleninové odpady – 90
- travní siláž – 150
- kuchyňské odpady – 245
- pšeničné odpady – 360
- starý tuk – 800

Pro bilanční výpočet lze použít obecně známé údaje o produkci exkrementů od jednot-

livých kategorií domácích zvířat a orientační množství bioplynu. V praktických výpočtech se obvykle používá termín „velká dobytčí jednotka“ (VDJ), což je fiktivní hospodářské zvíře o hmotnosti 500 kg.

Bioplynový potenciál v hnoji závisí na obsahu sušiny a na složení a strávení potravy. V našich podmínkách se používají zejména dvě základní technologie získávání bioplynu – ze zpracování kejdy (kontinuální systém) a slamnatého hnoje (zásobníkový systém). Většina bioplynových technologií je však založena na zpracování kejdy nebo tekuté rozemleté biomasy.

Realizace zařízení na využití bioplynu je oproti technologii spalování biomasy obtížnější pro její vysoké investiční náklady a tím vysokou cenu energie. Pro aplikaci zařízení je třeba vybrat vhodnou lokalitu, kde je buď velká spotřeba tepla, nebo kde lze využívat elektřinu i teplo z kogenerační jednotky. Větší bioplynové stanice jsou ekonomicky rentabilnější než malé jednotky, stále však zůstává problém laciného využití velkého množství odpadního tepla (zejména v létě), pokud pro ně není možné najít uplatnění v jiném oboru. Na českém trhu existují dodavatelské i montážní firmy, není jich však mnoho. Protože bioplynové stanice patří mezi nákladné investice, poptávka je velice nízká.

## Produkce bioplynu z chovu hospodářských zvířat

| Kategorie (váha)               | Sušina výkalů,<br>včetně moče (kg/den) | Výkaly celkem –<br>průměr (kg/den) | Množství bioplynu<br>(m³/den) |
|--------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Hovězí dobytek – průměr</b> |                                        |                                    |                               |
| dojnice (550 kg)               | 6                                      | 60                                 | 1,7                           |
| hovězí žír (350 kg)            | 3                                      | 30                                 | 1,2                           |
| odchov jalovic (330 kg)        | 3,5                                    | 35                                 | 0,9                           |
| teleta (100 kg)                | 1,25                                   | 12–15                              | 0,3                           |
| <b>Prasata – průměr</b>        |                                        |                                    |                               |
| výkrm (70 kg)                  | 0,5                                    | 8,5                                | 0,2                           |
| prasnice (170 kg)              | 1,0                                    | 14                                 | 0,3                           |
| prasnice se selaty (90 kg)     | 0,55                                   | 9                                  | 0,2                           |
| selata menší (10 kg)           | 0,15                                   | 3                                  | 0,1                           |
| selata větší (23 kg)           | 0,25                                   | 4                                  | 0,15                          |
| kanci (250 kg)                 | 1,3                                    | 18,5                               | 0,3                           |
| <b>Drůbež – průměr</b>         |                                        |                                    |                               |
| nosnice (2,2 kg)               | 0,036                                  | 0,15–0,3                           | 0,016                         |
| brojleři (0,8 kg)              | 0,02                                   | 0,009                              | –                             |
| kuřice (1,1 kg)                | 0,02                                   | 0,009                              | –                             |

V České republice je v provozu několik velkých bioplynových stanic, které jsou zaměřeny výhradně na zpracování zvířecích fekálií, popř. doplněných kaly z čistírný odpadních vod. Převážná část realizace se uskutečnila v letech 1982–1992, kdy probíhalo řešení výzkumného projektu zaměřeného na využití exkrementů z velkochovu hospodářských zvířat pro výrobu bioplynu.

Zásadním hlediskem při rozhodování pro tuto investici je důkladný rozbor zdrojů (vstupů a také výstupů a jejich uplatnění), energie i fermentované suroviny.

Využití získaného plynu je poměrně široké – pro zásobování energií domácností, zemědělských objektů i menších průmyslových provozů. Optimální je jeho využívání v kogeneračních jednotkách. **Kogenerace**, neboli společná výroba tepla a elektřiny, představuje velmi zajímavou aplikaci moder-

ních technologií na známé principy. Ve starší české technické literatuře se pro kogeneraci používá termín „teplárenství“, dnes je však zcela obvyklé používání počesttější verze mezinárodně srozumitelného termínu „co-generation“.

**Kogenerační jednotku** tvoří generátor na výrobu elektřiny, poháněný nejčastěji spalovacím motorem, řídící plynovou nebo parní turbínou. Takové generátory jsou známy např. z nemocnic, kde tvoří záložní zdroj pro případ výpadku elektřiny. Výhoda kogenerace spočívá v tom, že odpadní teplo spalovacího motoru, obvykle odváděného chladičem, je využito pro vytápění nebo ohřev teplé vody v objektu. Základní podmínkou pro použití kogenerace je tedy možnost využití tepla. Tím se výrazně zvýší energetická účinnost celého zařízení. Účinnost výroby elektřiny se

u těchto zařízení pohybuje mezi 20–35 %, tepelná účinnost mezi 50–60 % a celková účinnost dosahuje až 90 %. Tato hodnota je v protikladu se skutečností, že při výrobě elektřiny ve velkých elektrárnách se využije zpravidla 30–55 % energie obsažené v palivu, zbytek se v případě kondenzačního režimu bez užítka odvádí do vzduchu chladicími věžemi.

Kromě významného faktoru decentralizace výroby elektřiny vede použití kogenerace ke snížení ztrát v elektrorozvodné síti a snadnějšímu vyrovnání energetických špiček. Kogenerační jednotky mají obvykle relativně malý výkon, desítky až stovky kW elektrického výkonu. S většími zařízeními se můžeme setkat v průmyslových podnicích a městských teplárnách, kde je odpadní teplo využíváno pro technologické procesy či vytápění a ohřev teplé vody pro sídliště.



Ocelové suché plynojemy



Dopravní pás ze skladu paliva s balíky slámy do rozdrůžovače



Zařízení pro spalování biomasy (pelet) v Bystřici nad Perštejnem

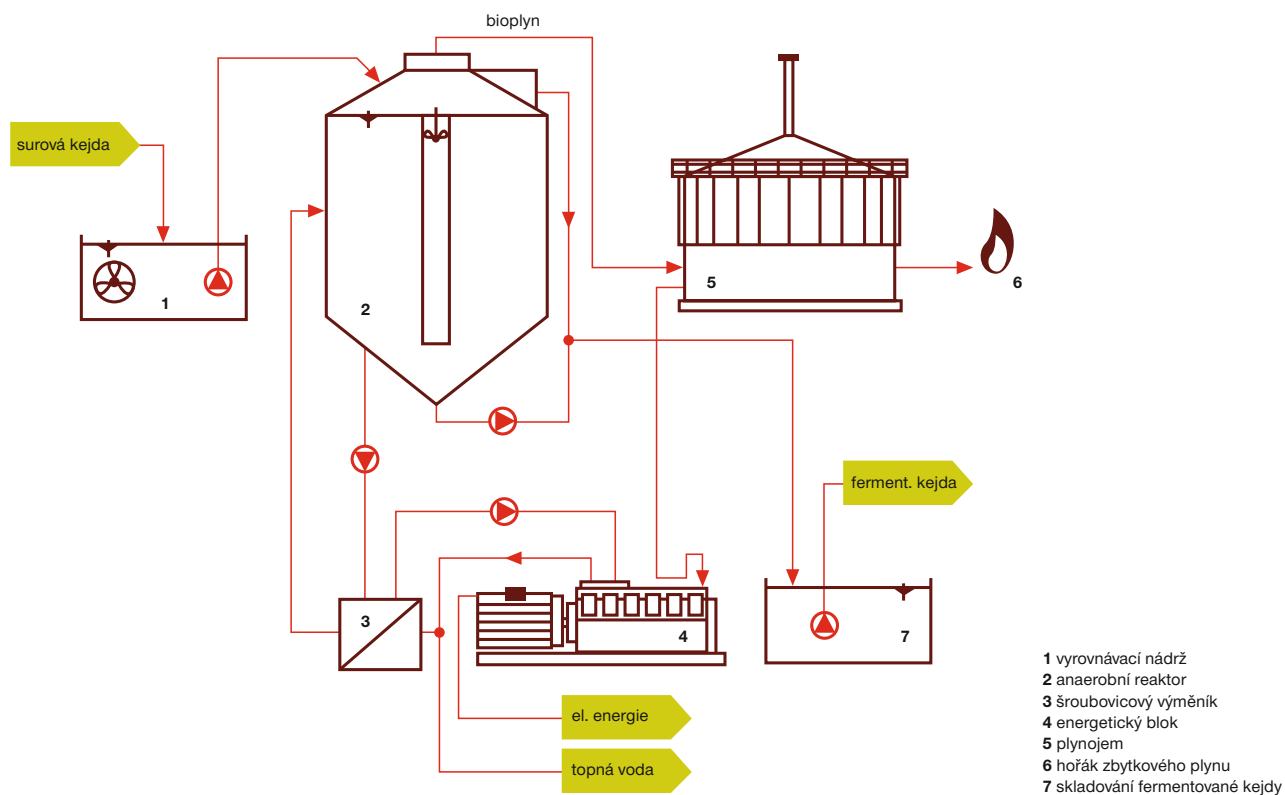


Schéma bioplynové stanice

## Potenciál využití bioplynu

| Potenciál            |                                | Živočišný odpad | Biomasa |
|----------------------|--------------------------------|-----------------|---------|
| technický potenciál  | materiál (tis. t)              | 30 000          | 6000    |
|                      | bioplyn (tis. m <sup>3</sup> ) | 780 000         | 450 000 |
|                      | energie (PJ)                   | 17              | 10      |
| dostupný potenciál   | materiál (tis. t)              | 10 000          | 3000    |
|                      | bioplyn (tis. m <sup>3</sup> ) | 260 000         | 225 000 |
|                      | energie (PJ)                   | 5,7             | 5       |
| ekonomický potenciál | materiál (tis. t)              | 2 100           | 1 500   |
|                      | bioplyn (tis. m <sup>3</sup> ) | 61 000          | 90 000  |
|                      | energie (PJ)                   | 1,3             | 2,0     |

Elektrický generátor je u typových zařízení přizpůsoben ke snadnému připojení k veřejné elektrické síti. Při tzv. ostrovním provozu, kdy generátor dodává proud pouze pro potřebu jednoho objektu, vzrůstají náklady na regulaci. Generátor je poháněn nejčastěji pístovým motorem, upraveným pro spalování zemního plynu nebo bioplynu. U tuzemských zařízení se používají automobilové motory Škoda Favorit, Liaz, lodní motory ČKD, lze se setkat i s motory dováženými. Kogenerační jednotky se obvykle dodávají jako kompaktní zařízení, v odhlučněné skříni, jejíž instalace vyžaduje minimální stavební úpravy.

Obecně platí, že je-li kogenerační jednotka napojena na nízkoteplotní vytápěcí systém, vzrůstá energetická účinnost zařízení. Protože však většina stávajících otopných systémů pracuje v teplotním spádu 90/70 °C, navrhuji výrobci zařízení tak, aby je bylo možné bez problémů napojit na tyto systémy.

Pěknou ukázkou praktické aplikace využití bioplynu jsou menší zemědělské provozny – rodinné farmy např. v Rakousku, kde vyrobenou energii z vlastní produkce bioplynu využívají pro vlastní spotřebu a přebytek elektrické energie prodávají do veřejné sítě.

Zatímco v mnoha evropských zemích záživá rozvoj využití bioplynu rozmach podporovaný EU, v České republice se již několik let nepostavila žádná bioplynová stanice zpracovávající živočišný či jiný biodegradabilní odpad. Odvětví využívání bioplynu se omezuje na občasné projekty při čistírnách odpadních vod nebo při skládkách komunálních odpadů.

Usnesením vlády ČR z roku 2001 byl schválen program výroby a využití bioplynu a výstavby bioplynových stanic do roku 2010, a to včetně návrhu legislativní a finanční podpory. V České republice je dostupný potenciál 14 mil. tun vhodného materiálu, což představuje výrobu zhruba 625 mil. m<sup>3</sup> bioplynu ročně s energetickou hodnotou 14 PJ.

## DALŠÍ APLIKACE ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY

V menší míře, avšak s trvale se zvyšující produkcí, se rozšiřují i další technologie využívání biomasy – **esterifikace**. Konečným produktem je pak bionafta, popř. bioetanol.

Fermentací roztoků cukrů je možné vyprodukovat ethanol (ethylalkohol). Vhodnými

## Výhřevnost plyných paliv

| Palivo                          | Výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|---------------------------------|
| propan-butan                    | 46,1                            |
| zemní plyn                      | 34,0                            |
| bioplyn – 100 % CH <sub>4</sub> | 35,8                            |
| bioplyn – 80 % CH <sub>4</sub>  | 28,6                            |
| bioplyn – 67 % CH <sub>4</sub>  | 24,0                            |
| bioplyn – 55 % CH <sub>4</sub>  | 19,7                            |
| svítiplyn                       | 14,5                            |

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 ethanolu. V praxi je však energetická výtěžnost 90–95 %, protože kromě ethanolu vznikají vedlejší produkty, např. glycerin. Fermentace cukrů může probíhat pouze v mokřím (na vodu bohatém) prostředí. Vzniklý alkohol je nakonec oddělen destilací.

Získaný ethanol je vysoce hodnotné kapalné palivo pro spalovací motory. Jeho přednostmi jsou ekologická čistota a antidetonační vlastnosti. Nedostatkem ethanolu jako paliva je schopnost vázat vodu a působit korozi motoru, což lze odstranit přidáním antikoročních přípravků. Pro výrobu těchto paliv se v různých částech světa využívají různé suroviny, např.:

- v Evropě řepka, slunečnice, použité tuky, živočišné tuky;
- v Severní Americe sója, řepka, slunečnice, použité tuky;
- ve východní Asii palmový olej, použité tuky, řepka.

Využívání těchto druhů paliv má význam zejména ve snížení emisí při náhradě pohonných hmot v dopravních prostředcích.



## ZÁVĚR

Energetické využívání biomasy, resp. spalování dřevního paliva, patří k nejlevnějším způsobům získávání tepla. Ostatní metody energetické konverze biomasy, vzhledem k vyšším nárokům na technologii a tím i na investice, nejsou v našich podmínkách tak rozšířené, i když jejich výhodnost je nesporná.

Energetické využití biomasy má více pozitivních přínosů. Nesporným argumentem je přínos ke snižování emisí  $\text{SO}_2$  a  $\text{CO}_2$  i jiných škodlivin vypouštěných do ovzduší. Rozvoj těchto nových technologií vytváří i nové pracovní příležitosti. Významným faktem je účast na tvorbě krajiny a zahlazování negativních důsledků těžební a průmyslové činnosti.



Spálením biomasy vyrobila v roce 2009 energetická společnost ČEZ více než 327 tisíc MWh a pokryla spotřebu více než 93 tisíc domácností

## JMENNÝ REJSTŘÍK

Bánki Donát 12, 22, 23  
Bernoulli Daniel 11  
Besson Jacques 10  
Bourdin Claude 11  
Carlson Philip 39  
Cousteau Jacques-Yves 41  
Dubois Bernard 39  
Euler Leonhard 11  
Flettner Anton 40, 41  
Fourneyron Benoît 11  
Francis James Bicheno 11, 12, 14, 22, 24  
Hérón Alexandrijský 31  
Kaplan Viktor 11, 12, 14, 19, 21, 22, 27  
Lee Edmund 32  
Magnus Gustav Heinrich 40, 41  
Montgolfier Joseph Michel 10  
Morion 26  
Pelton Lester Allen 11, 12, 14, 22  
Ranequin 8  
Segner Jan Andreas 10, 11

Grafická úprava a sazba: [www.marvil.cz](http://www.marvil.cz)

Ilustrace: Martina Hamouzová

Fotobanka: Profimedia

Materiál je součástí vzdělávacího programu ČEZ, a. s., Svět energie. Je určen k bezplatnému šíření pro vzdělávací účely.

Autoři publikace vynaložili veškeré úsilí identifikovat autory všech reprodukováných fotografií, bohužel se to ve všech případech nepodařilo.

Nabídku dalších materiálů vzdělávacího programu Svět energie naleznete na **[www.cez.cz/vzdelavaciprogram](http://www.cez.cz/vzdelavaciprogram)**

2011 © ČEZ, a. s., sekce komunikace, Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4, tel.: 211 042 681

