

FOND PRE ALTERNATÍVNE ENERGIE - SZOPK

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Táto publikácia je určená pre čitateľov, ktorí majú záujem o poznanie budúcnosti v oblasti využívania energetických zdrojov na Zemi. Hoci dnešná energetika ešte stále stojí na znižujúcich sa zásobách fosílnych palív, nová éra využívania obnoviteľných zdrojov sa blíži rýchlejšie ako si to mnohí uvedomujú. Podobne ako sa doba kamenná neskončila pretože nebolo kameňa aj prechod na zdroje, ktorých základom je Slnko sa uskutočňuje preto, že sú tu technológie, ktoré tu ešte včera neboli a poskytujú to, čo je pre existenciu ľudstva na Zemi nevyhnutné - energiu čistú a nevyčerpatelnú.

Za pomoc pri vydaní publikácie ďakujem The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain
a mojej manželke za korekcie v texte, na vykonanie ktorých autor už nemal ani chuť ani trpezlivosť.

Vydal: Fond pre alternatívne energie - SZOPK, P.O.Box 35, 850 07, Bratislava

www.fae.sk

Autor textu: RNDr. Emil Bédi

Zalomenie: M. Hlava

Vyšlo vo februári 2001

OBSAH

PREČO POTREBUJEME OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE ?	5
SPOTREBA ENERGIE - PROBLÉM UDRŽATELNOSTI	5
EKOLOGICKÉ DOPADY VYUŽÍVANIA ENERGIE	11
KLIMATICKÉ ZMENY	11
KYSLÉ DAŽDE	13
SOCIÁLNE PROBLÉMY SPOJENÉ S VYUŽÍVANÍM ENERGIE	16
OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	18
EXTERNÉ NÁKLADY A FOSILNÉ PALIVÁ	21
 SLNEČNÁ ENERGIA	 23
PASÍVNE VYUŽÍVANIE SLNEČNÉHO ŽIARENIA	26
PRVKY SLNEČNEJ ARCHITEKTÚRY	27
SLNEČNÉ KOLEKTORY	32
NAVRHOVANIE SOLÁRNEHO SYSTÉMU NA PRÍPRAVU TEPLEJ VODY	40
SEZÓNNE SKLADOVANIE TEPLEJ VODY	45
SLNEČNÉ VARIČE	47
SLNEČNÁ DESTILÁCIA VODY	49
SOLÁRNA TERMÁLNA VÝROBA ELEKTRINY	50
SLNEČNÉ KONCENTRÁTORY	51
SLNEČNÉ ABSORBČNÉ NÁDRŽE	54
FOTOVOLTAIKA	54
TECHNOLÓGIA	57
SOLÁRNE SYSTÉMY	61
AKUMULÁCIA SLNEČNEJ ENERGIE - VODÍKOVÉ HOSPODÁRSTVO	67
 BIOMASA	 69
VÝROBA ENERGIE Z BIOMASY	72
PEVNÉ PALIVÁ	75
DREVO - VÝROBA TEPLA	76
SLAMA AKO PALIVO	81
RÝCHLORASTÚCE DREVINY	83
KVAPALNÉ BIOPALIVÁ	84
ETANOL	85
METANOL	89
BIONAFTA - RASTLINNÉ OLEJE	91
PLYNNÉ BIOPALIVÁ - BIOPLYN	96
SKLÁDKOVÝ PLYN	98
DREVOPLYN	99
PLYNNÉ BIOPALIVÁ V MOTOROVÝCH VOZIDLÁCH	99
 VETERNÁ ENERGIA	 102
ENERGIA VETRA	106
TECHNOLÓGIA	108
VELKÉ TURBÍNY	109
VETERNÉ TURBÍNY NA MORI	111
MALÉ TURBÍNY	112

ENVIRONMENTÁLNE DÔSLEDKY VYUŽÍVANIA VETERNEJ ENERGIE	115
PRAVIDLÁ PRI VÝSTAVBE TURBÍN	116
VODNÁ ENERGIA	120
PROBLEMY SPOJENÉ S VODNÝMI ELEKTRÁRŇAMI	122
TECHNOLÓGIA	124
TYPY TURBÍN	126
MALÉ VODNÉ ELEKTRÁRNE	128
ZHODNOTENIE POTENCIÁLU VODNEJ ENERGIE	130
ENERGIA OCEÁNOV	132
PRÍLIVOVÉ ELEKTRÁRNE	132
POBREŽNÉ PRÚDY	133
ENERGIA VLŇ	134
GEOTERMÁLNA ENERGIA	136
TEPELNÉ ČERPADLÁ	138
VYUŽITIE GEOTERMÁLNEJ ENERGIE NA SLOVENSKU	139
JEDNOTKY	142
LITERATÚRA	143

PREČO POTREBUJEME OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE?

ENERGIA V NAŠOM ŽIVOTE

Energia, ktorú dnes využívame (teplo, elektrina, palivá pre motorové vozidlá), má svoj pôvod prevažne vo fosílnych palivách. Uhlie, ropa alebo zemný plyn sú práve takýmito palivami. Tieto palivá sa nachádzajú pod zemským povrchom, kde vznikali po milióny rokov rozkladom pravekých rastlín a živočíchov. Hoci sa fosílna palivá pôsobením prírodných síl (tepla a tlaku) stále vytvárajú, ich súčasná spotreba mnohonásobne prevyšuje ich tvorbu. Skutočnosť, že nie sú doplňované tak rýchlo, ako ich spotrebujeme znamená, že pri tomto spôsobe spotreby ich v blízkej budúcnosti vyčerpáme. Z toho dôvodu sú fosílna palivá považované za neobnoviteľné. Obmedzenosť zdrojov palív nie je však jediná hrozba, ktorej ľudstvo čelí. Spaľovanie fosílnych palív vedie tiež k vážnemu poškodzovaniu životného prostredia.

Medzi fosílnymi palivami má osobitné postavenie urán - palivo pre atómové elektrárne. Aj tento zdroj je obmedzený a pri súčasnom trende vyčerpatelný za menej ako 100 rokov. Hoci túto dobu by bolo možné predĺžiť využívaním tzv. "množivých reaktorov", problémy s bezpečnosťou, tvorbou rádioaktívnych odpadov (ktoré budú po milióny rokov predstavovať riziko pre ľudstvo) a odpor verejnosti viedli k tomu, že vyspelé krajiny sa od tohto zdroja dnes odvracajú. Navyše vysoké finančné náklady, ktoré sú spojené s jadrovou energetikou, sú neprekonateľnou bariérou pre väčšinu krajín vo svete. Odklon od jadrovej energetiky pretrváva i napriek tomu, že atómové elektrárne neprodukujú takmer žiadne emisie skleníkových plynov a teoreticky by mohli byť považované za riešenie problému globálnych klimatických zmien. Emisie skleníkových plynov vznikajúce pri spaľovaní fosílnych palív sú v súčasnosti považované za najdôležitejšiu príčinu snahy o prechod na čistejšie palivá a znižovanie ich spotreby vo svete.

Hlavným problémom súčasnosti nie je fakt, že využívame energiu, ale ako vyrábame a spotrebujeme energetické zdroje. Pokiaľ budeme pokrývať naše potreby hlavne spaľovaním fosílnych palív alebo využívaním atómových elektrární - budeme mať stále viac problémov. Pretože náš svet závisí na energii potrebujeme zdroje, ktoré budú trvať navždy. Také zdroje, ktoré sú schopné zabezpečiť udržateľný rozvoj spoločnosti, nazývame obnoviteľné. Navyše tieto zdroje sú pri ich používaní omnoho čistejšie pre životné prostredie ako palivá fosílna.

SPOTREBA ENERGIE - PROBLÉM UDRŽATELNOSTI

HISTÓRIA SPOTREBY ENERGIE

Objav ohňa a spaľovanie dreva otvorili ľuďom cestu k využívaniu energetických zdrojov. Využívanie veternej energie na pohon lodí alebo vodnej energie na pohon zavlažovacích systémov pred 6000 rokmi odštartovalo kultúrny rozvoj ľudstva. Po niekoľko tisícročí ľudské potreby boli pokrývané len obnoviteľnými zdrojmi energie - slnkom, biomasou, vodnou a veternou energiou. Tento vývoj prebiehal až do začiatku priemyselnej revolúcie. Schopnosť meniť tepelnú energiu na pohybovú, využiteľnú na pohon strojov znamenala, že spotreba energie a ekonomický rozvoj sa začali zrýchľovať. Priemyselná revolúcia, ktorá začala asi pred 250 rokmi, bola revolúciou energetických technológií, založených na fosílnych palivách. Tento vývoj prebiehal postupne od využívania uhlia cez ropu až po urán a zemný plyn. Lokálne resp. regionálne zásobovanie sa zmenilo na globálne transportovanie palív po zemeguli. Spotreba palív do-siahla obrovský rozmer a ich nedostatok sa už prejavil na viacerých miestach. Rovnako ako sa prejavilo poškodenie životného prostredia ich používaním.

Spotreba energie sa neustále zvyšuje. Ešte pred 120 rokmi bola väčšina práce vykonávaná svalovou silou. To sa odráža aj v počte robotníkov a zamestnancov, ktorý v roku 1880 bol 9:1, kým dnes je celosvetovo asi 1:1. Základný posun v oblasti toku energie nastal uprostred 19. storočia, odkedy spotreba enormne stúpala. Tento nárast nebol len výsledkom priemyselného rozvoja ale aj rastu populácie. Počet obyvateľov Zeme vzrástol 3,2-krát medzi rokmi 1850 a 1970, spotreba tzv. priemyselnej energie na obyvateľa však vzrástla až 20-násobne

Počet obyvateľov a spotreba energie vo svete v rokoch 1850-1990.

	Počet obyvateľov (miliárd)	Spotreba energie na osobu za rok (kW)		Spotreba energie za rok (TW)		
		Priemyselná energia	Tradičná energia	Priemyselná energia	Tradičná energia	Spolu
1850	1,13	0,10	0,50	0,11	0,57	0,68
1890	1,49	0,32	0,35	0,48	0,52	1,00
1930	2,02	0,85	0,28	1,71	0,56	2,27
1970	3,62	2,04	0,27	7,38	0,98	8,36
1990	5,32	2,19	0,29	11,66	1,54	13,20

Vysvetlivky: priemyselná energia zahŕňa hlavne uhlie, ropu zemný plyn, vodnú a atómovú energiu.

Tradičná energia predstavuje palivové drevo, drevné uhlie, bioplyn a odpady z biomasy. Jednotka energie TW je ekvivalentná 700 milión ton ropy za rok. Energia pochádzajúca z potravín a ľudskej práce nie je v tabuľke zahrnutá. Pre ilustráciu výkon manuálne pracujúceho človeka je asi 0,1 kW a spotreba energie priemerného Američana je asi 12 kW t.j. 120-násobne viac. Inými slovami, ak by mala byť energia spotrebovaná priemerným Američanom vytvorená ľudskou silou, bola by pre jeho existenciu potrebná práca asi 120 otrokov. V prípade priemerného Nigérijčana by to boli asi 2 otroci.

SÚČASNÁ SPOTREBA ENERGIE

Zabezpečovanie našich energetických potrieb znamená, že každý rok sa na Zemi spotrebuje ekvivalentné množstvo približne 10 miliárd ton ropy. Približne 40 % tejto energie je vo forme ropy, ktorej podiel spolu s uhlím a zemným plynom predstavuje viac ako 90 % spotrebovávanej energie.

Ročná spotreba primárnych zdrojov energie vo svete (1992) podľa zdrojov.

Zdroj	Spotreba v EJ	Spotreba v mtoe
Ropa	131	3128
Uhlie	91	2164
Zemný plyn	75	1781
Biomasa	55	1310
Vodná energia	24	561
Jadrová energia	22	532
Spolu	398	9476

Pozn. mtoe = milión ton ropného ekvivalentu. Ďalšie jednotky pozri prílohu.

Pri počte obyvateľov 5,3 miliardy v roku 1992 vychádza priemerná spotreba 1,8 ton ropného ekvivalentu na obyvateľa. Toto číslo zahŕňa v sebe všetky palivové zdroje spotrebované priemyslom, poľnohospodárstvom, službami i domácnosťami. Taktiež zahŕňa veľké množstvo dreva a iných organických odpadov používaných zväčša v rozvojových krajinách. Podstatné však je, že táto hodnota predstavuje priemernú hodnotu vztiahnutú k celosvetovej populácii, a preto skrýva obrovské rozdiely v spotrebe energie medzi jednotlivými regiónmi a krajinami.

V priemyselne vyspelých krajinách je spotreba palív na jedného obyvateľa viac ako 6-násobne vyššia ako v rozvojových krajinách. V absolútnych číslach vyspelé krajiny spotrebávajú až dvakrát viac palív ako menej rozvinuté krajiny, hoci ich počet obyvateľov predstavuje sotva tretinu počtu obyvateľov v rozvojových krajinách. Je evidentné, že tento stav je z dlhodobého hľadiska neudržateľný a bude predstavovať vážny problém už v blízkej budúcnosti, kedy tlak na surovinné zdroje bude rásť úmerne tomu, ako bude rásť ekonomika hlavne v ázijských krajinách.

Spotreba energie v rozvinutých a rozvojových krajinách (rok 1992).

	Počet obyv. (miliárd)	Spotreba energie (EJ/rok)	Spotreba energie na obyv. (GJ/rok)
Rozvinuté krajiny	1,2	268	223
Rozvojové krajiny	4,1	130	32
Svet	5,3	398	75

BUDÚCI TREND SPOTREBY

Rozsah energetického problému, s ktorým budú konfrontované budúce generácie, môže byť ilustrovaný na jednoduchom príklade. Podľa predpovede OSN sa počet obyvateľov Zeme zvýši z cca 5 miliárd v roku 1990 na cca 8 miliárd v roku 2025. Koncom 21. storočia by sa však tento počet mal stabilizovať na úrovni 10 až 12 miliárd. Väčšiu časť z tohto prírastku sa očakáva v rozvojových krajinách. Podľa amerického ministerstva energetiky (US DOE) bude spotreba energie v budúcnosti výrazne narastať počas nasledujúcich dvoch desaťročí s ťažiskom v Ázii, kde sa prejaví najväčší dopyt po energii. Svetová spotreba by mala v roku 2015 dosiahnuť asi 562 EJ. Očakávaný nárast medzi rokmi 1995 a 2015 - takmer 200 EJ - sa vyrovná celosvetovej spotrebe energie v roku 1970, t.j. pred vypuknutím ropnej krízy v roku 1973.

Dve tretiny nárastu spotreby energie pripadne na rozvojové krajiny a krajiny bývalého východného bloku (postkomunistické štáty). Nárast spotreby energie v Ázii bude predstavovať v priemere až 4,2 % za rok, v porovnaní s 1,3 % v priemyselne rozvinutých krajinách. Predpokladaný nárast spotreby v USA predstavuje asi 1 % za rok. V roku 1990 spotreba energie v USA presiahla spotrebu v rozvojových ázijských krajinách o 33 EJ. V roku 2015 však spotreba týchto krajín by mala prevýšiť spotrebu energie v USA o 48 EJ.

Celosvetová spotreba energie podľa regiónov, 1970-2015 (EJ).

Krajiny	1970	1995	2010	2015	Ročný prírastok v %	
					1970-1995	1995-2015
Priemyselné	135.1	200.2	248.7	260.8	1.6	1.3
USA	67.6	90.6	107.9	110.9	1.2	1.0
Rozvojové	32.0	112.6	194.4	226.2	5.2	3.5
Ázia	18.9	69.6	134.7	159.1	5.4	4.2
Východná Európa a Rusko	39.7	52.1	70.5	75.0	1.1	1.8
Svet spolu	206.7	364.9	513.6	561.9	2.3	2.2

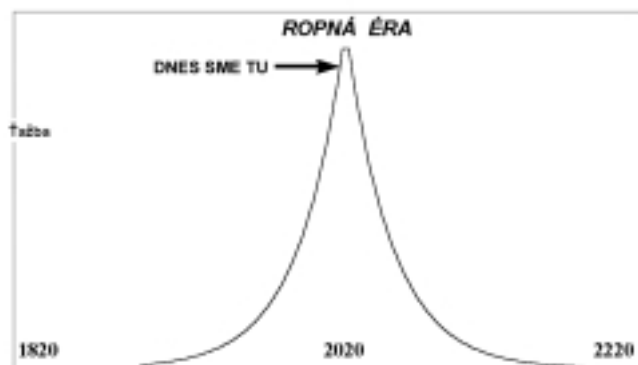
Pozn.: Čísla nezahrňujú nekomerčné druhy palív ako je napr. biomasa.

Hlavným palivovým zdrojom by mala byť naďalej ropa. Podľa US DOE by v roku 2015 mala spotreba ropy presiahnuť 100 milión barelov za deň, čo je o 50 % viac ako v roku 1995. Obchodovanie s týmto fosílnym palivom by však malo zaznamenať výrazné geografické zmeny v dôsledku nerovnováhy medzi spotrebou a domácou ťažbou hlavne v ázijskom regióne. Táto skutočnosť povedie k prehĺbeniu závislosti tohto regiónu na dodávkach z Blízkeho Východu. Celosvetová spotreba uhlia by mala prekročiť asi 7,3 miliárd ton v roku 2015, v porovnaní s 5,1 mld. ton v roku 1995. Nárast spotreby uhlia by mal byť regionálne koncentrovaný hlavne v Indii a Číne.

Vývoj spotreby palív v EJ.

Palivo	1970	1995	2010	2015	Ročný prírastok v %	
					1970-1995	1995-2015
Ropa	97,8	141,1	194,8	213,4	1,5	2,1
Zemný plyn	36,1	77,7	129,0	144,7	3,1	3,2
Uhlie	59,7	93,1	122,7	134,7	1,8	1,9
Jadrová energia	0,9	23,3	25,0	22,8	13,9	-0,1
Obnoviteľné zdroje	12,2	29,7	42,1	46,3	3,6	2,3
Spolu	206,7	364,9	513,6	561,9	2,3	2,2

Najväčší prírastok spotreby - 3,1 % ročne - sa očakáva pre zemný plyn, ktorého spaľovanie je v porovnaní s uhlím resp. ropu čistejšie. Okolo roku 2015 by spotreba plynu mala dosiahnuť spotrebu ropy v roku 1995 a mala by sa pohybovať na úrovni 2/3 spotreby ropy v roku 2015. V roku 1995 predstavovala spotreba plynu len asi 55 % spotreby ropy. Podľa predpovede US DOE len 8 % z projektovaného nárastu spotreby energie bude pochádzať z nefosílnych (komerčných) zdrojov a v skutočnosti by ich podiel na celosvetovej spotrebe mal poklesnúť zo súčasných 15 % na 12 % do roku 2015. Tým by sa emisie uhlíka do atmosféry zvýšili o 3,7 miliárd ton alebo o 61 % nad úroveň z roku 1990. Dohovor o klimatických zmenách z roku 1992 však zaväzuje všetky signatárske krajiny (viac ako 150 krajín sveta) hľadať a rozvíjať cesty na stabilizáciu emisií uhlíka. Avšak aj keby vyspelé krajiny boli schopné stabilizovať svoje emisie na úrovni roku 1990, celkové emisie uhlíka by i napriek tomu vzrástli o 2,5 miliárd ton do roku 2015.



Očakáva sa, že spotreba energie na jedného obyvateľa v priemyselne vyspelých krajinách, ktorá vysoko prevyšuje úroveň v rozvíjajúcich sa krajinách, sa v najbližších desaťročiach zmení len mierne. V niektorých rozvojových krajinách ako napr. v Indii a Číne by sa mala spotreba energie na obyvateľa dokonca zdvojnásobiť. Avšak aj pri takomto búrlivom vývoji zostane priemerná spotreba energie na obyvateľa v rozvojových krajinách v roku 2015 na úrovni jednej pätiny spotreby v priemyselne vyspelých krajinách. Tiež sa očakáva,

že po tzv. prechodnej fáze v období rokov 2020 a 2060, začne dochádzať ku znižovaniu spotreby ropy, hlavnej energetickej suroviny dneška. Bude to spôsobené vyčerpanými zásobami viacerých ropných polí. Pokles spotreby ropy bude vyrovnaný nárastom spotreby zemného plynu, ktorý je evidentný už dnes. Tento trend bude pokračovať dovtedy, kým bude jeho cena relatívne nízka a budú zabezpečené dostatočné zdroje. Po tom, čo sa zásoby budú znižovať a cena vzrastie, na trhu opäť získa silnejšiu pozíciu uhlie, ktoré je lacnejšie ako zemný plyn a vzhľadom na veľké zásoby by sa jeho ceny na svetových trhoch nemali výraznejšie meniť. Keďže tlak na ekologizáciu energetiky bude len silnejší, tiež sa očakáva, že spaľovanie uhlia bude musieť byť čisté, čo spĺňa hlavne technológia jeho splyňovania. Je potrebné zdôrazniť, že uvedené predpovede sú založené na spôsobe tzv. tradičného trhového chápania zdrojov ("business as usual") bez snahy o výraznú ekologizáciu energetiky. Prechod na udržateľný energetický systém si však vyžaduje, aby podiel obnoviteľných zdrojov kontinuálne narastal. Obnoviteľné zdroje v spojení s novými technológiami sa môžu významnou mierou podieľať na pokrývaní spotreby energie po roku 2020. Správa OSN (expertná skupina pre slnečnú energiu) hovorí o tom, že pri využití súčasných technológií na trhu by obnoviteľné zdroje energie mohli pokryť asi 60 % svetovej spotreby elektriny a 40 % celosvetovej spotreby energie. Ich skutočný potenciál je však oveľa väčší a je schopný pokryť všetky naše energetické potreby.

REZERVY FOSILNÝCH PALÍV

Fosílna palivá sú cennými prírodnými zdrojmi energie, ktoré sa v prírode vytvorili za mnoho miliónov rokov. Dnes sú však obrovským tempom vyčerpávané. Skutočnosť, že tieto zdroje tu raz nebudú, bola naznačená už začiatkom 70-tych rokov v knihe Hranice rastu (Limits to Growth). Na základe niekoľkých počítačových simulácií využívania prírodných zdrojov tu bolo ukázané, že spotreba palív vo svete bude rásť exponenciálnym tempom. Konečným výsledkom bola predpoveď kolapsu zásob palív bez ohľadu na množstvo paliva, ktoré je k dispozícii. Tieto obavy sa naplnili v roku 1973, kedy svet zažil prvú ropnú krízu. V tom čase krajiny OPEC po prvýkrát skoorinovali svoju politiku a dramaticky zdvihli ceny ropy. Jedným z podnetov pre tento postup bola aj skutočnosť, že USA dovtedy veľký exportér ropy sa začiatkom 70-tych rokov stal jej dovozcom. Príčinou bolo vyčerpanie väčšiny domácich zásob z texaských ropných polí. Hoci drastický nedostatok ropy, ktorý sa v USA prejavil aj na benzínových staniaciach, dnes nehrozí, neodvratiteľnou skutočnosťou zostáva, že zásoby fosílnych palív sú ohraničené a jedného dňa sa vyčerpajú. Odhadnúť, ako dlho ich budeme môcť ešte užívať, nie je jednoduché. Každý rok sa totiž objavujú

správy o nových ložiskách ropy, zemného plynu alebo uhlia. V niektorých štatistikách sa pravidelne objavujú údaje o overených rezervách palív t.j. o tých množstvách, ktoré sú technologicky vyťažiteľné pri súčasnej úrovni ekonomiky ťažby. Užitočným údajom pre zhodnotenie zásob je pomer rezerv k ťažbe (spotrebe) v danom roku. Tento podiel vyjadruje dobu, po ktorú bude možné dané rezervy ešte čerpať pri súčasnej úrovni spotreby. Podľa údajov jedného z najväčších svetových ropných gigantov The British Petroleum, štatistika svetových rezerv jednotlivých fosílnych palív vychádza nasledovne (stav ku koncu roka 1999):

ZDROJ	ŽIVOTNOSŤ REZERV
Ropa	40 rokov
Zemný plyn	62 rokov
Uhlie	224 rokov

Údaje o životnosti rezerv fosílnych palív v danom svetovom regióne nám poukazujú na závislosť jednotlivých krajín na inom regióne. Napríklad rezervy ropy pre Západnú Európu predstavujú menej ako 10 rokov. Pre Severnú Ameriku je to asi 25 rokov. Je zrejmé, že oba regióny by sa ocitli vo vážnych problémoch, ak by nemohli dovážať ropu z krajín Stredného Východu, kde pomer rezerv k ťažbe predstavuje takmer 100 rokov. V oblasti Stredného Východu sa nachádza približne 60 % svetových rezerv ropy, pričom len Saudská Arábia vlastní asi 25 %.

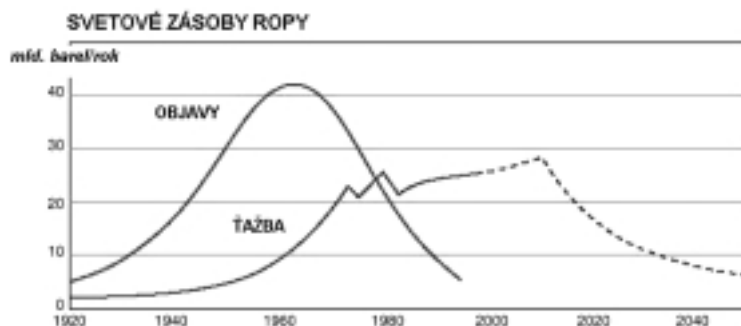
V prípade zemného plynu je situácia o čosi lepšia, hlavne s ohľadom na veľké zásoby v Rusku. V tejto krajine sa nachádza približne 40 % svetových rezerv plynu. Ďalších 40 % sa nachádza v krajinách OPEC. Z uvedeného je zrejmé, že svetová spotreba palív závisí na obmedzenom počte krajín, v ktorých sa nachádzajú najväčšie rezervy. Celosvetové rezervy uhlia sú oveľa väčšie ako v prípade ropy alebo plynu a navyše sú rovnomernejšie rozdelené. Nanešťastie uhlie sa vyznačuje vyššími emisiami síry, oxidov dusíka resp. CO₂ na jednotku energie ako je to v prípade plynu alebo ropy. Podobne ako iné fosílné palivá aj urán predstavuje vyčerpatelný zdroj energie. Ak by sa používal v reaktoroch len raz (takmer všetky súčasné reaktory), tak jeho rezervy by ľudstvu stačili na nasledujúcich 60 rokov. Túto dobu by bolo možné predĺžiť v tzv. množivých reaktoroch, ktoré však vzhľadom na rôzne problémy, ktoré ich sprevádzajú, nie sú dnes považované za perspektívne.

ROPA

V období okolo roku 2005 sa svet dostane do situácie, kedy bude vyčerpaná viac ako polovica rezerv ropy na Zemi. Do roku 2000 sme vyťažili viac ako 850 miliárd barelov (barel asi 158 litrov) surovej ropy. Podľa geológov Zem ukrýva ešte asi 995 miliárd barelov, ktoré je možné vyčerpať pri súčasnej úrovni techniky a cien. Ak celosvetová spotreba ropy zostane konštantná na úrovni 24 miliárd barelov za rok, vystačí nám táto surovina tak do roku 2040. Avšak spotreba nie je statická a vzrastá približne o 2 % ročne. Dnes je zrejmé, že dopyt po rope presiahne ponuku už pred rokom 2040. Viacerí experti sa domnievajú, že to čo nám bezprostredne hrozí nie je nedostatok ropy, ale nedostatok lacnej ropy a že v období medzi rokmi 2010 a 2025 sa ropa stane pre priemerného spotrebiteľa príliš drahou. Kedy presne k tomu príde, závisí hlavne na postupe krajín na Blízkom Východe. Tieto predpovede vychádzajú z toho, že v danom období by spotreba ropy mala presiahnuť možnosti ťažby. V súčasnosti totiž krajiny produkujúce ropu sú ešte stále schopné zvýšiť ťažbu a pokryť celosvetový dopyt. Cenové výkyvy sú hlavne dôsledkom špekulácií na trhu. Väčší dopyt ako možnosti ťažby však bude znamenať trvalý cenový nárast a šok pre globálnu ekonomiku aký svet ešte nezažil.

Hľadanie nových nálezísk ropy je veľmi nákladnou činnosťou a počet novoobjavených ropných polí závisí na ekonomických podmienkach, hlavne cene a tiež i na politickej situácii vo svete. Overené svetové rezervy ropy sa zvýšili z 540 miliárd barelov v roku 1969 na asi 1000 miliárd barelov v roku 1992. Toto však neznamená, že potenciálne rezervy sú neobmedzené. Zem bola preskúmaná ropnými spoločnosťami veľmi podrobne a najdostupnejšie, najlacnejšie a najväčšie ropné polia už boli objavené a s výnimkou obrovského ropného poľa na Blízkom Východe, najprístupnejšie svetové rezervoáre už boli z väčšej časti vyčerpané. Práve táto skutočnosť viedla k tomu, že dnes sa ropa ťaží v takých neprístupných oblastiach ako je Severné more alebo Aljaška. To v podstate znamená, že cena ropy vzrástla natoľko, že

je ekonomické ťažiť ju aj v týchto odľahlých oblastiach. Ťažba v týchto miestach si vyžaduje prácu v zložitejších geologických podmienkach, hlbšie vrty a používanie väčšieho množstva materiálu i úsilia ľudí na dosiahnutie toho istého cieľa.



ZEMNÝ PLYN

V roku 1970 predstavovala celosvetová spotreba zemného plynu 850 miliárd kubických metrov. Dnes je táto spotreba viac ako 2000 miliárd m³ a ročne stúpa približne o 3,5 %. Takýto trend spotreby však bude mať za následok vyčerpanie rezerv zemného plynu okolo roku 2050. Ukazuje sa, že tzv. lacné zásoby plynu budú vyčerpané už okolo roku 2040. Táto skutočnosť je dnes takmer úplne prehliadaná ekonómami i energetickými monopolmi, ktoré vsadili na zemný plyn ako na najdôležitejšie palivo pri výrobe elektrickej energie. Len v USA by mal do roku 2010 dosiahnuť inštalovaný výkon v plynových elektrárňach asi 100.000 MW. Elektrárne na zemný plyn sú príťažlivé pre investorov pre ich ekologické prednosti, nízke investičné náklady a krátku dobu výstavby. Návratnosť vložených investícií je tiež relatívne krátka - v USA asi 6 rokov a cena vyrobenej elektriny dosahuje sotva 0,02 - 0,03 USD/kWh. Keďže podobný trend vidíme aj v Európe, je zrejmé, že dopyt po zemnom plyne výrazne vzrastie v blízkej budúcnosti, avšak v dôsledku vyčerpanosti zásob bude klesať v druhej polovici storočia.

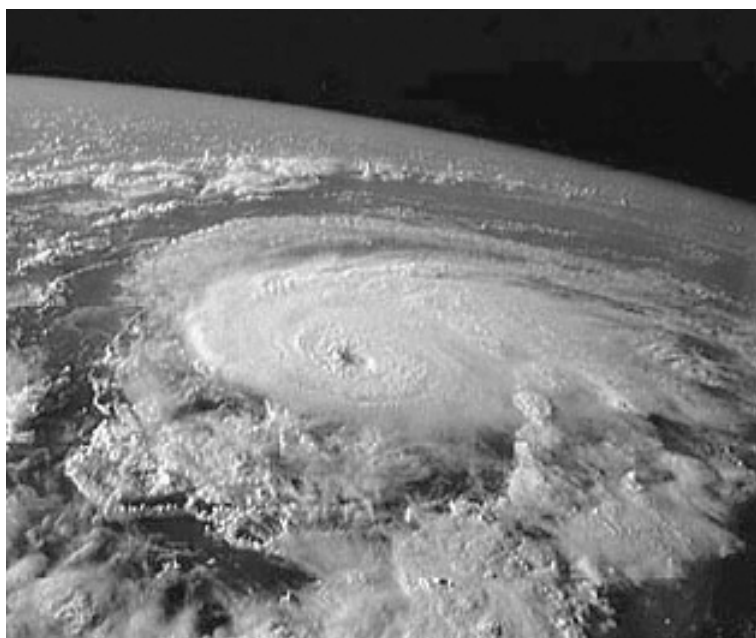
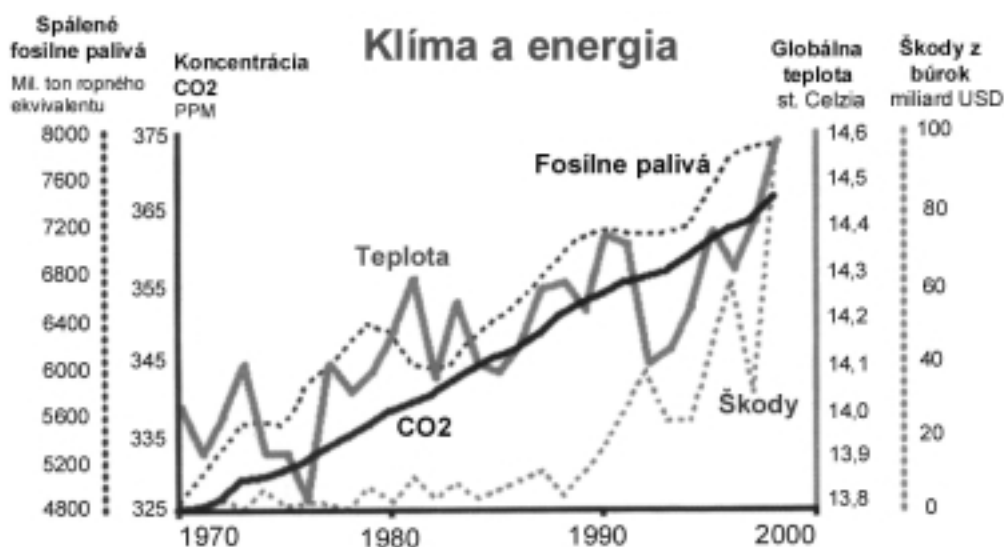


EKOLOGICKÉ DOPADY VYUŽÍVANIA ENERGIE

Najdôležitejšími negatívnymi prejavmi spaľovania fosílnych palív sú globálne klimatické zmeny, ktoré sú výsledkom emisií skleníkových plynov nepoznajúcich hranice štátov. Podobne je to aj s emisiami síry, ktoré majú cezhraničný charakter, sú zodpovedné za kyslé dažde a viditeľne sa prejavujú napr. odumieraním stromov na mnohých miestach sveta.

KLIMATICKÉ ZMENY

Počas uplynulých dvoch desaťročí sa výrazne zvýšil medzinárodný záujem o emisie tzv. skleníkových plynov, ktorým sa pripisuje hlavná zodpovednosť za nárast teploty na Zemi. Klimatické zmeny výrazne ovplyvnia sociálnu a ekonomickú situáciu väčšiny obyvateľov Zeme. Globálne otepľovanie znamená postupný nárast priemernej celosvetovej teploty vzduchu, morí a oceánov. Dnes existuje veľké množstvo údajov o tom, že teplota Zeme počas posledných 150 rokov stále narastá. Tento nárast predstavuje asi 0,3 °C za desaťročie a väčšina klimatológov je presvedčená o tom, že je to dôsledok zvyšujúcej sa koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. Najdôležitejším skleníkovým plynom je oxid uhličitý - CO₂. Väčšina emisií CO₂ pochádza z elektrární na fosílna palivá, automobilov a priemyslu. Spaľovanie fosílnych palív prispieva až 80 percentami k celosvetovým antropogénnym emisiám CO₂.



Hurikán Bonnie nad Severnou Amerikou

Emisie CO₂ majú stále rastúci trend, na čom sa v poslednom čase podieľa hlavne doprava. Benzín aj nafta sú uhľovodíkové palivá a ich spaľovaním sa do atmosféry dostáva každoročne obrovské množstvo uhlíka. Ďalším príspevkom k narastaniu koncentrácie CO₂ v atmosfére je odlesňovanie. Stromy pohlcujú CO₂ zo vzduchu počas ich rastu. Masívne odlesňovanie, ktorého sme svedkami na viacerých miestach Zeme, má za následok nielen uvoľňovanie CO₂ pri spaľovaní, ale aj znížovanie schopnosti svetových lesov pohlcovať CO₂ z atmosféry. Druhým najdôležitejším skleníkovým plynom je metán (CH₄). Jeho emisie vznikajú pri spaľovaní uhlia, ale aj pri

únikoch zemného plynu (čo je čistý metán) do atmosféry. Spaľovanie rôznych fosílnych palív vedie k rôznym emisiám CO₂ na jednotku energie. Uhlie sa skladá prevažne z uhlíka, preto aj emisie CO₂ pri jeho spaľovaní sú najvyššie. Spaľovanie zemného plynu vedie k najnižším emisiám CO₂. Spaľovanie ropy, ktorá je zmesou uhlovodíkov, spadá z hľadiska emisií oxidu uhličitého medzi uhlie a zemný plyn. Nižšie emisie sú jedným z dôvodov širšieho využívania plynu pri výrobe elektriny aj tepla a to i napriek skutočnosti, že napr. zásoby uhlia sú oveľa väčšie. Relatívne množstvo vznikajúcich emisií CO₂ na jednotku energie je nasledovné.

Uhlie	2
Ropa	1,5
Zemný plyn	1

AKO FUNGUJE GLOBÁLNE OTEPLOVANIE

Zemská atmosféra sa skladá z viacerých plynov, ktoré tým, že zachytávajú slnečné žiarenie odrazené od zemského povrchu fungujú ako skleníky. Bez tohto mechanizmu by Zem bola príliš chladná na to, aby tu bol možný život. Približne od začiatku priemyselnej revolúcie ľudstvo neustále pridáva do atmosféry veľké množstvo skleníkových plynov hlavne CO₂. Viac skleníkových plynov znamená viac zachyteného tepelného žiarenia v atmosfére, čo má za následok globálne otepľovanie. Spaľovanie uhlia, ropy a plynu zvyšuje koncentrácie týchto plynov v atmosfére. Počas uplynulých sto rokov nárast priemyselnej produkcie, dopravy a výroby elektriny viedol k tomu, že koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére rastú veľmi rýchlo a prírodné procesy nie sú schopné tento trend zvrátiť. Je to práve ľudská činnosť, ktorá spôsobuje globálne otepľovanie.

PREJAVY

Globálna priemerná teplota vzrástla za posledných sto rokov o 0,5° C a hladina morí sa zvýšila o 30 centimetrov. Rok 1998 sa stal najteplejším v histórii merania teploty, ktorá sa začala v roku 1840. Desiat najteplejších rokov v histórii sa vyskytlo počas posledných 15-tich rokov (1985-1999).

Za oficiálne potvrdenie globálnych klimatických zmien je možné považovať správu medzivládnej komisie OSN o klimatických zmenách (IPCC) z roku 1995, pod ktorou je podpísaných viac ako 2500 vedúcich svetových klimatológov. Správa konštatuje, že "... váha dôkazov potvrdzuje ľudský vplyv na globálnu klímu." Taktiež bolo konštatované, že celosvetová teplota rástla počas 20. storočia spolu s koncentráciou oxidu uhličitého rýchlosťou, ktorá je v zhode s teoretickými predpoveďami a že toto je jav, ktorý bude spôsobovať nárast teploty aj v budúcich 75 rokoch a to aj za predpokladu, že emisie oxidu uhličitého by dnes klesli na nulu. Táto predpoveď je založená na skutočnosti, že CO₂ zostáva v atmosfére veľmi dlhú dobu.

Väčšina klimatológov je dnes presvedčená, že stále častejšie sa vyskytujúce veľké suchá, záplavy alebo hurikány sú prírodné javy, ktoré by mohli mať priamu súvislosť s klimatickými zmenami a ich výskyt a dôsledky by mohli v budúcnosti nadobudnúť ešte väčšie rozmery. Tieto predpovede potvrdzuje aj skutočnosť, že:

- Uplynulé dve desaťročia boli v znamení nových teplotných i zrážkových rekordov.
- Ladovce sa topia vo zvýšenej miere na všetkých miestach na Zemi. V Európe (Alpy) bol zaznamenaný až 50 %-ný úbytok objemu ľadu. Ladovec Columbia na Aljaške sa zmenšil o viac ako 12 kilometrov za posledných 16 rokov v dôsledku nárastu teploty v tomto regióne. V Antarktíde sa odtrhol obrovský kus ľadového šelfu zvaného Larsen B, ktorý je veľký asi ako Slovensko. Niektorí vedci sa domnievajú, že toto môže byť začiatok konca tohto šelfu.
- Obrovské záplavy, ktoré od roku 1993 do 1997 postihli tak USA ako aj Európu, vrátane Slovenska, sa stávajú stále častejšími.
- Tropické choroby sa presúvajú do nových oblastí (smerom na sever).
- V súlade s nárastom globálnej teploty dochádza aj k nárastu hladiny morí a posunu klimatických pasiem.

Komisia OSN (IPCC) vo svojej najnovšej správe z roku 2000 predpokladá, že počas nasledujúcich 100 rokov sa teplota vzduchu na Zemi zvýši o ďalší 1,5 - 6 °C (v správe z roku 1995 sa uvádzal nárast

o 1-3,5°C) a hladina morí vzrastie až o jeden meter. Zmeny takéhoto rozsahu budú mať dopad na mnohé oblasti nášho života. Tu sú niektoré z nich:

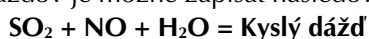
- Zvýši sa úmrtnosť ľudí v dôsledku extrémnych teplôt. Častejšie sa budú vyskytovať obdobia s extrémnymi teplotami ako napr. to, ktoré v roku 1995 spôsobilo smrť niekoľko sto ľudí v americkom Chicagu. Najzraniteľnejšou skupinou obyvateľstva z pohľadu stresu z extrémnych teplôt sú deti a starší ľudia.
- Tropické choroby sa budú rozširovať rýchlejšie a na nové miesta. Infekčné choroby ako sú malária, žltá zimnica, encefalitída a cholera, ktoré sú prenášané komármi a inými organizmami, sa v dôsledku teplejšej klímy budú presúvať do nových oblastí. Príkladom môže byť výskyt malárie v americkom štáte New Jersey a žltej zimnice v Texase.
- Hladina morí sa bude naďalej zvyšovať. Nárast spôsobí eróziu pobrežných oblastí a na mnohých miestach zničí prírodné prostredie, na ktorom závisí mnoho živých organizmov. Tieto oblasti sa stanú zraniteľnejšími aj z pohľadu možných záplav. Predpokladá sa, že nárast hladiny morí o 50 centimetrov povedie k zdvojnásobeniu počtu obyvateľov vystavených riziku záplav a búrok v pobrežných oblastiach Zeme.
- Kolobeh vody v prírode bude narušený. Niektoré oblasti budú postihnuté väčšími záplavami a iné zas budú vystavené väčšiemu a dlhotrvajúcemu suchu. Táto variabilnosť bude ešte viac vplývať na problémy s kvalitou a kvantitou vody na mnohých miestach Zeme.
- Príde k ovplyvneniu poľnohospodárskej produkcie. Teplejšia klíma si vyžiada väčšie zavlažovanie. Predpokladá sa, že v niektorých oblastiach sa predĺži vegetačné obdobie. Avšak kým niektoré štáty by mohli profitovať z teplejšej klímy, iné hlavne chudobné africké krajiny budú vystavené ešte väčšiemu hladu v dôsledku značnému poklesu poľnohospodárskej produkcie.
- Ohrozené budú živočíšne a rastlinné druhy. Niektoré z najzraniteľnejších organizmov sú panda obrovská, polárny medveď, tiger indický, sob, biela veľryba, tučniak z kmeňa Rockhopper, niektoré druhy žiab, motýľov ale aj medveď grizly. Vyššia teplota oceánov ako dôsledok globálneho otepľenia vedie k odumieraniu korálov na mnohých miestach sveta, čo je možné pozorovať už dnes.

Všetky tieto javy sú príkladom environmentálnych dôsledkov globálnych klimatických zmien. Globálne otepľovanie a klimatické zmeny predstavujú teda vážne ohrozenie tak pre mnoho živočíšnych druhov ako aj tiež pre kvalitu života človeka na Zemi.



KYSLÉ DAŽDE

Iným dôsledkom spaľovania fosílnych palív a následných emisií škodlivín do ovzdušia sú tzv. kyslé dažde. V procese spaľovania uhlia, ropy ale aj zemného plynu dochádza k emisiám niektorých plynov ako sú napr. oxid siričitý (SO_2) a oxidy dusíka (NO_x). Hoci existujú aj prírodné zdroje emisií týchto oxidov (vulkanickú činnosť, rozklad organizmov), viac ako 90% emisií síry a 95% emisií dusíka vznikajúcich v Severnej Amerike a Európe má pôvod v ľudskej činnosti. Keď sa raz tieto plyny dostanú do atmosféry, prechádzajú v dôsledku chemických reakcií na sekundárne škodliviny ako sú kyselina siričitá alebo dusičitá, ktoré sú ľahko rozpustné vo vode. Výsledkom sú potom zrážky, ktoré majú kyslú povahu. Chemickú reakciu vzniku kyslých dažďov je možné zapísať nasledovne:



Tekutiny majú rôzny stupeň kyslosti. Čistá voda je definovaná ako neutrálna, pričom napr. mlieko má mierne kyslú povahu, rajčinový pretlak je kyslejší a medzi najkyslejšie tekutiny patria ocot alebo citrónová šťava. Na opačnej strane sa nachádzajú niektoré zásadité tekutiny ako napr. amoniak. Kyslý dážď alebo kyslé zrážky sú tie, pri ktorých je kyslosť pod hodnotou $\text{pH} = 5,6$, čo je úroveň normálneho dažďa.

Normálna dažďová voda, ktorá by spadala medzi mierne kyslé tekutiny, sa však v dôsledku znečistenia ovzdušia stáva oveľa kyslejšou a na niektorých miestach na Zemi je dážď tak kyslý, že dosahuje úroveň octu. Takýto kyslý dážď spôsobuje poškodenie nielen živých organizmov, hlavne stromov, ale aj eróziu budov a koróziu kovových materiálov. Odhaduje sa, že korózia kovových konštrukcií budov v dôsledku kyslých dažďov spôsobuje škody len v USA v sume dvoch miliárd dolárov ročne. Najvyššie emisie síry pochádzajú z tých sektorov, ktoré spotrebovávajú najviac energie a na síru bohatých palív, kam patria hlavne pevné palivá a ťažký vykurovací olej. Pevné palivá sú dnes najviac znečisťujúcimi palivami tak z hľadiska lokálneho ako aj globálneho. Medzi tieto palivá patria všetky druhy uhlia od čierneho až po hnedé a lignín, ktoré majú najväčší obsah škodlivín ako sú síra, ťažké kovy a spaľovaním sa produkuje tiež značné množstvo popola a iného odpadu.

Jedným z najdôležitejších problémov spojených s kyslými dažďami je, že dažde prenášajú kontamináciu veľmi ľahko a rýchlo z oblastí zdroja znečistenia do oblastí kde žiadne emisie nie sú. Vysoké komíny elektrární a tovární majú zabezpečiť, aby sa znečistenie nedostávalo do okolitých miest, ale bolo rozptýlené v atmosfére. Keď sú tieto škodliviny absorbované vzdušnou vlhkosťou, okysľujú ju a následne sa dostávajú do ovzdušia, kde sú súčasťou oblakov. Oblaky sú unášané vetrom a kyslé dažde sa tak dostávajú do veľmi vzdialených oblastí od zdroja. Švédsko je jednou z takto postihnutých krajín, kde obrovské emisie síry z východoeurópskych elektrární prakticky zničili život v mnohých jazerách. Dôsledkom spaľovania uhlia v Európe bolo, že v období rokov 1950 a 1980 sa zvýšila kyslosť dažďov až desaťnásobne. Začiatkom 80-tych rokov sa však kyslosť začala znižovať v dôsledku opatrení, ktoré boli prijaté na medzinárodnej úrovni. Napriek tejto snahe však problém kyslých dažďov naďalej pretrváva.

POŠKODENIE STROMOV A PÔDY

Dopadajúci kyslý dážď ovplyvňuje lesy a iné živé organizmy, jazerá i vodné toky. V mnohých krajinách sveta došlo k poškodeniu stromov práve následkom kyslých dažďov. Postihnuté stromy strácajú listy resp. ihličie a stenčujú sa pri vrchole. Niektoré stromy sú tak vážne zasiahnuté kyslými dažďami, že postupne odumierajú. Stromy tiež pre svoj rast potrebujú zdravú pôdu. Kyslé dažde sú však pôdou absorbované a na mnohých miestach je okyslenie pôdy tak významné, že pre stromy je prakticky nemožný ich ďalší vývoj. Následkom toho sú stromy citlivejšie na vonkajšie vplyvy ako sú vírusy, huby alebo hmyz, ktorým nie sú schopné vzdorovať a umierajú.



POŠKODZOVANIE BUDOV

Kyslé dažde môžu mať vážny vplyv aj na stavby. Materiály ako sú kameň, rôzne nátery a malby alebo iné štruktúry, vrátane kovov, sú nimi poškodzované alebo často úplne zničené. Kyslé dažde doslova pomaly "požierajú" materiál až pokiaľ sa úplne nerozpadne. Stavebné materiály sa tak začínajú rozdrobovať, kovové konštrukcie korodujú, farby v malbách miznú a na skle sa usadzujú inkrusty. Na mnohých miestach sveta boli takto zničené stavebné pamiatky, ktoré v minulosti prežili stáročia, ale neprežili posledné desaťročia. Príkladom môže byť katedrála Sv. Pavla v Londýne, ktorej kamenné múry boli "rozožraté" kys-

lými dažďami. V Ríme bola Michelangelova socha Marka Aurélia odstránená z verejného priestranstva, aby bola uchránená pred pôsobením vzdušného znečistenia.



JAZERÁ

Kyslé dažde po tom ako dopadnú na pôdu, sú odnášané vodou do jazier a vodných tokov. Väčšina živých vodných organizmov - zvierat i rastlín - nie je schopná tolerovať zvýšené úrovně kyslosti vody. Postupne sú otravované škodlivými látkami, ktoré kyslé dažde vymývajú z pôdy. Na mnohých miestach sveta je dnes pozorované viditeľné odumieranie živých organizmov vo vodách riek a jazier. Príkladom sú tisíce jazier v Škandinávii bez akejkoľvek známky života, či už rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Počas niekoľkých desaťročí boli tieto jazerá systematicky okysľované kyslými dažďami, ktoré pochádzali z Anglicka, Škótska a Východnej Európy. Za posledných asi 70 rokov sa zvýšila úroveň kyslosti švédskych jazier až 1000-násobne.

Pôsobenie životného prostredia na vodné organizmy je veľmi komplexné. Ak vyhynie jeden organizmus, iné sú ohrozené tiež, pretože sú vzájomne na seba viazané v rámci potravinového reťazca. Najskôr dochádza k okysleniu vody, takmer bez vplyvu na organizmy, avšak potom keď kyslosť klesne po pH 6,0, začnú odumierať niektoré druhy hmyzu a planktónu. Pri kyslosti vody pH = 5,0 sú pozorovateľné väčšie zmeny v spoločenstve planktónu a presadzovať sa začínajú menej žiadúce druhy machov a planktónu. To má za následok zníženie populácie niektorých druhov rýb. Zvyčajne najzraniteľnejšími sú najhodnotnejšie druhy rýb. Pod úrovňou pH 5,0 sa ryby vo vode prakticky nevyskytujú, dno je pokryté nerozpadnutým materiálom a na brehoch prevládajú machy. Pozemné živočíchy bývajú taktiež postihnuté, nakoľko ich život závisí na vodnom systéme. Mnoho vtákov sa živí rybami. Po tom, čo ryby vymiznú, strácajú sa aj niektoré populácie vtákov, a kyslé dažde vedú k poškodzovaniu tak živočíšnych ako aj rastlinných druhov.

ĽUDSKÉ ZDRAVIE

Ľudia sú závislí na potrave, vode a vzduchu, ktorý dýchajú. Všetky tieto zložky sú ovplyvňované kyslým spádom a vplývajú tak na kvalitu ľudského zdravia. Väčšina medzinárodných štúdií poukazuje na to, že existuje závislosť medzi znečistením a dýchacími problémami v citlivej časti ľudskej populácie, kam patria napr. deti, starší a chorí ľudia. Kyslé dažde taktiež robia niektoré toxické prvky ako sú hliník, meď a ortuť rozpustnejšími, čím sa tieto škodliviny ľahšie dostávajú do ľudského organizmu. Kyslý spád zvyšuje koncentráciu týchto látok v neupravenej pitnej vode. Bolo preukázané, že vysoké koncentrácie hliníka v pôde zabráňujú rastlinám prijímať živiny zo zeme, a tým vedú k ich poškodzovaniu až odumieraniu.

ZNEČISTENIE OVZDUŠIA

Popri skleníkových plynoch a kyslých dažďoch má spaľovanie fosílnych palív za následok aj znečistenie ovzdušia inými škodlivinami ako sú napr. prchavé organické látky (VOCs) alebo tuhé častice (prach).

Veľkou mierou sa na emisiách týchto škodlivín podieľa automobilová doprava. Emisie NO_x prispievajú k tvorbe prízemného ozónu. Ozón (O₃) je jedným z najdôležitejších stopových prvkov v atmosfére. Koncentrácie ozónu vznikajúceho v prízemnej vrstve v dôsledku fotochemickej reakcie oxidov dusíka alebo VOCs, podľa svetovej zdravotnej organizácie WHO vysoko prevyšujú prípustné koncentrácie na mnohých miestach sveta - hlavne vo veľkých mestách s veľmi rozvinutou dopravou. V prízemnej vrstve atmosféry je ozón silný oxidant, ktorý pri vyšších koncentráciách je škodlivý pre ľudské zdravie, rastliny alebo materiály. Vo vyšších vrstvách atmosféry ozón je dôležitým skleníkovým plynom.



Existuje viacero štúdií o nepriaznivých účinkoch ozónu na ľudské zdravie. Prevláda názor, že vyššie koncentrácie vdychovaného ozónu môžu spôsobiť predčasné starnutie pľúcneho tkaniva, a tiež môžu viesť k iným ochoreniam dýchacích ciest ako sú napr. vyšší výskyt astmy. Postihnutými orgánmi môžu byť aj oči (podráždenie až zákal), nos alebo hrtan. Ozón však prispieva aj k poškodzovaniu takých materiálov ako sú farby, textil, guma a plasty. V prípade rastlín a niektorých citlivých druhov vegetácie môže expozícia ozónu viesť k poškodeniu listov a zníženiu produkcie (obilie). V dôsledku zvýšených emisií stopových prvkov sa očakáva, že príde k zníženiu samočistiacej schopnosti atmosféry. Toto povedie v dlhšej dobe, po ktorú sa stopové prvky v atmosfére nachádzajú a následne k zosilneniu skleníkového efektu a zvýšeniu toku stopových prvkov ničiacich ozón v stratosfére (ozónová diera).

Pri spaľovaní fosílnych palív dochádza aj k emisiám ťažkých kovov ako sú arzén (As), kadmium (Cd), ortuť (Hg), olovo (Pb) a zinok (Zn). Znečistenie životného prostredia olovom ako jedným z najnebezpečnejších ťažkých kovov súčasnosti, má za následok hlavne doprava. Zavádzaním katalyzátorov a používaním bezolovnatých benzínov tieto emisie postupne klesajú.



ZNEČISTENIE MORÍ A OCEÁNOV

Ľudia majú často predstavu, že moria a oceány sú schopné pohltiť obrovské množstvá čohokoľvek, čo sa do nich vypustí. Skutočnosťou však je, že znečistenie týchto vôd je viditeľné takmer na všetkých miestach. Transport ropy je významným zdrojom znečistenia svetových morí. Po tom, čo sa výrazne zvýšila ťažba ropy v 20. storočí, zvýšil sa aj objem transportovanej ropy po celom svete (hlavne po mori). Aby bola doprava čo najlacnejšia, postupne sa zväčšovali aj ropné tankery, ktoré sú v súčasnosti zďaleka najväčšími komerčnými plavidlami. Napriek všetkým bezpečnostným opatreniam vo svete stále dochádza k nehodám tankerov, pri ktorých unikajú do mora obrovské objemy ropy s katastrofálnymi dôsledkami na životné prostredie. V období od roku 1970 do 1985 došlo k 186 veľkým nehodám, pri ktorých uniklo v priemere viac ako 1300 ton ropy. Najväčšou nehodou bolo stroskotanie tankeru Exxon Valdez v roku 1989 pri pobreží Aljašky. Pri nehode uniklo 39.000 ton ropy a bolo znečistené územie s rozlohou 3000 štvorcových kilometrov. Ropa z tankerov neuniká len pri nehodách, ale aj pri bežnej prevádzke. Tankery sú totiž z hľadiska účinnosti prepravy naplnené pri ceste naspäť vodou, ktorú vypúšťajú do mora pri ich plnení ropou v prístavoch.

SOCIÁLNE PROBLÉMY SPOJENÉ S VYUŽÍVANÍM ENERGIE

Sociálne problémy, ktoré so sebou prináša spaľovanie fosílnych palív resp. jadrová energetika, sú nemenej dôležité ako vyššie uvedené environmentálne problémy.

POLITICKÉ A EKONOMICKÉ PROBLÉMY

V minulosti až do začiatku priemyselnej revolúcie, boli využívané hlavne lokálne palivové zdroje. Rast

priemyselnej aktivity sa obmedzoval na oblasti s ložiskami uhlia. Po tom, čo sa začala rozširovať doprava ako sprievodný jav priemyselnej produkcie, začali byť aj palivá dopravované na stále väčšie vzdialenosti. Dnes, keď je väčšina ľahko dostupných zdrojov ropy a plynu už vyčerpaná, sú palivá prepravované z niekoľko málo miest do celého sveta. Výsledkom je, že väčšina priemyselne vyspelých krajín sa stala závislými na dodávkach z exportujúcich krajinách hlavne z oblasti Blízkeho Východu. Tým sa stali veľmi zraniteľnými z hľadiska ich budúceho vývoja, ktorý nevyhnutne povedie k vyššiemu tlaku na stále sa znižujúce celosvetové zásoby palív. Táto závislosť a zraniteľnosť sú dôležitými prvkami formujúcimi svetovú politiku. Svet zažil niekoľko veľkých ekonomických a politických kríz, na začiatku ktorých boli palivá. Takými bola napr. Suezská kríza v roku 1956 súvisiaca s bezpečnosťou transportu ropy, alebo ropné krízy v 70-tych rokoch súvisiace s nárastom cien v dôsledku koordinovaného postupu krajín vyvážajúcich ropu (OPEC) a tiež vojna v Perzskom zálive a trvalé napätie na Blízkom Východe. Nakoľko krajiny exportujúce ropu sú vo všeobecnosti vojensky slabšie ako krajiny ropu dovážajúce, majú importujúce krajiny (hlavne vyspelé štáty) snahu zabezpečiť si dodávky ekonomickým, politickým a v prípade nutnosti aj vojenským tlakom. Táto skutočnosť bude trvalým zdrojom napätia vo svete závislom na fosílnych palivách.

Napriek tomu, že takmer v každej krajine sveta sa nachádzajú nejaké zásoby palív, veľká väčšina vyspelých krajín je dnes závislá na ich dovoze. Slovensko je jednou z nich, pričom náš dovoz predstavuje až 90 % spotreby. Táto situácia kladie vysoké nároky na obchodnú bilanciu. Objem dovozu palív a energie (hlavne z Ruskej federácie) u nás predstavuje ročne asi 40 miliárd Sk. Túto obrovskú položku, ktorá sa pri raste cien palív na svetových trhoch zvyšuje, je pre niektoré krajiny len veľmi ťažké vyrovnať zvýšeným vývozom. Rozvojové krajiny závislé na dovoze palív, hlavne ropy, zvyčajne nie sú schopné čeliť prudkému nárastu ceny a ich platobná situácia sa dostáva do neriešiteľných problémov s dopadom na ich ďalší rozvoj i sociálnu sféru.

PROBLÉM CENTRALIZÁCIE

Centralizovaný charakter výroby energie, distribúcie i spracovania palív je napriek istým ekonomickým výhodám ďalším prvkom vedúcim k väčšej zraniteľnosti vyspelých krajín. Elektrina sa dnes vyrába v malom počte veľkých elektrární, ktoré zásobujú zvyčajne celú krajinu. Ropa sa dováža vo veľkých tankeroch a spracúva sa vo veľkých rafinériách. Zemný plyn je medzi exportérmi a importérmi transportovaný obmedzeným počtom veľkých potrubných trás. Je zjavné, že takáto infraštruktúra je výhodná len v mierovej situácii. Akýkoľvek vojenský konflikt medzi krajinami alebo akcie teroristických skupín znamenajú životné ohrozenie strategických cieľov, kam všetky veľké centralizované energetické články patria. Toto ohrozenie sa veľmi zreteľne prejavilo počas vojny v Perzskom zálive, kde následkom irackých útokov na kuwaitské ropné polia nedošlo len k obrovskému znečisteniu životného prostredia, ale malo za následok aj ekonomickú devastáciu (zvýšenie cien ropy, ekonomické sankcie). Hoci vďaka vojenskému zásahu vyspelých krajín sa podarilo dostať situáciu pod kontrolu, nemusí to tak byť v budúcnosti a hlavne nie na každom mieste.

Bežnou odozvou na takúto energetickú zraniteľnosť krajín je, že vyspelé krajiny zvyšujú investície do bezpečnosti a ochrany (vojenské výdavky). Vysoká centralizácia sa tak stáva jedným z prvkov nerovnováhy a nestability vo svete. Prirodzené by však bolo, keby krajiny zvyšovali investície do zásobami neohraničených a v každej krajine dostupných energetických zdrojov - obnoviteľných zdrojov energie. Ich povaha je predurčená na decentralizované využívanie, ktoré nielenže odstraňuje vyššie uvedené riziká, ale vedie aj k oveľa väčšiemu počtu pracovných príležitostí ako v prípade centralizovanej energetiky, čo má mimoriadny celospoločenský význam.

ŠÍRENIE JADROVÝCH ZBRANÍ

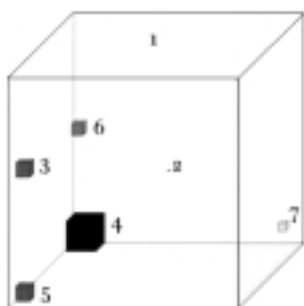
Šírenie jadrových zbraní je jednou z najväčších hrozieb svetového mieru. Niekoľko málo krajín dnes vlastní jadrové zbrane avšak viacero iných krajín sa k nim snaží dostať. Táto hrozba je veľmi úzko spätá s rozvojom jadrovej energetiky vo svete. Jadrové elektrárne sú totiž priamym dôsledkom využitia poznatkov z vývoja atómových zbraní v civilnom sektore. Prvé jadrové reaktory boli postavené na výrobu materiálu pre atómové bomby, až následne došlo k využitiu energie štiepenia uránu na výrobu elektriny.

V minulosti vždy existovalo spojenie medzi vojenským a civilným uplatnením jadrových technológií. Investície do vojenského výskumu sa takto prejavili ako dotácie do civilného sektora jadrovej energetiky.

Jadrové palivo nie je priamo použiteľné pre výrobu atómových zbraní a vyžaduje si isté spracovanie. Avšak pre krajiny majúce záujem o vyvinutie atómových zbraní je jadrová energetika prvým krokom na tejto ceste. Iným nebezpečenstvom spojeným s rozvojom jadrovej energetiky je možnosť havárie s vážnymi následkami pre ľudí a životné prostredie ako sa to stalo napr. v Černobyle (1986) a likvidácia rádioaktívnych odpadov. Praktické vyriešenie problému bezpečného uloženia vysoko rádioaktívnych odpadov (vyhorené palivo) vznikajúcich pri prevádzke atómových reaktorov nebolo doposiaľ uspokojivo preukázané v žiadnej krajine na svete.

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Našťastie dnes existuje riešenie environmentálnych, sociálnych i ekonomicko-politických problémov vychádzajúcich zo súčasného spôsobu využívania energie. Prechod od fosílnych palív k obnoviteľným zdrojom a presmerovanie investícií týmto smerom je práve takýmto riešením. Technológie využívajúce obnoviteľné energetické zdroje sú vo všeobecnosti čistejšie, menej riskantné a hlavne založené na neobmedzenom palivovom zdroji - Slnku. S výnimkou geotermálnej energie majú všetky obnoviteľné zdroje - slnečná, veterná, vodná energia alebo biomasa svoj pôvod v aktivite Slnka. Geotermálna energia má svoj pôvod v horúcom jadre Zeme, avšak vzhľadom na svoj prakticky nevyčerpatelný potenciál sa zaraďuje medzi obnoviteľné zdroje. Obnoviteľné zdroje sú z pohľadu národných ekonomík domácimi zdrojmi, ktoré majú potenciál nahrádzať a v budúcnosti úplne vytesniť fosílna palivá. Tieto zdroje už v súčasnosti ponúkajú možnosť významne diverzifikovať energetické zdroje v každej krajine. Ich rozvoj je tiež považovaný za dôležitý nástroj na ochranu národnej ekonomiky pred budúcimi šokmi z nárastu cien dovážaných palív a nákladov na likvidáciu environmentálnych škôd.



- 1. Množstvo slnečnej energie dopadajúcej na Zem za rok**
- 2. Súčasná využitie slnečnej energie**
- 3. Celosvetové rezervy plynu**
- 4. Celosvetové rezervy uhlia**
- 5. Celosvetové rezervy ropy**
- 6. Celosvetové rezervy uránu**
- 7. Celosvetová spotreba energie**

Využívanie obnoviteľných zdrojov má aj ďalšie ekonomické výhody napr. nie je ovplyvňované zmenami devízových kurzov, čo má význam hlavne pre krajiny odkázané na dovoz palív. Prípadná 10%-ná devalvácia by v súčasnosti pre Slovensko znamenala ročné zvýšenie nákladov za dovoz fosílnych palív o 4 mld. Sk. Je len prirodzené, že tieto náklady by sa preniesli na spotrebiteľa. Z pohľadu obnoviteľných zdrojov sú to však náklady úplne bezpredmetné. Technológie založené na obnoviteľných zdrojoch sú zväčša bezodpadové so zanedbateľným resp. žiadnym vplyvom na životné prostredie. Neprodukujú rádioaktívne odpady ani nevytvárajú riziká veľkých havárií pre svoje okolie. V oblasti energetiky je možné na nich založiť udržateľný vývoj spoločnosti a tak zaistiť lepšiu perspektívu pre nasledujúce generácie.

Svojou povahou sú obnoviteľné zdroje všadeprítomné. Táto skutočnosť preto volá po ich decentralizovanom použití. Prechod od tradičných fosílnych palív na obnoviteľné preto znamená prechod od malého počtu veľkých zdrojov k miliónom malých nezávislých zdrojov, kde v princípe každý dom môže byť zdrojom energie. Pri takejto obrovskej zmene energetiky sa tradičné chápanie zdrojov veľmi mení. Táto zmena však nie je možná bez zmeny myslenia ľudí a spôsobu chápania energetiky. Pochopenie, že ide nielen o energiu, ale predovšetkým o životné prostredie, udržateľný rozvoj spoločnosti, bezpečnosť, oživenie miestnej výroby, tvorbu nových pracovných príležitostí i celých priemyselných odvetví, je preto prvoradé.

O tom, že takýto čiastočný prechod je možné uskutočniť, svedčí príklad rozvoja veternej energie v Dánsku. Trh s veternými elektrárnami tu bol vytvorený vďaka iniciatíve malých výrobcov pod-

porovaných aktivistami z radov verejnosti. Výsledkom je v súčasnosti už cenovo konkurencieschopná technológia, ktorá má stále rastúci podiel na trhu s energiou. V Nemecku bolo za 6 rokov inštalovaných viac ako 4000 MW (kapacita štyroch atómových elektrární) vo veterných elektrárnach. Je zrejmé že veterné elektrárne potrebujú vhodné poveternostné podmienky. Nie je však pravdou, že tieto sú pre jej rozvoj rozhodujúce. Príkladom môže byť napr. Írsko, kde pri najlepších podmienkach v Európe bolo inštalovaných len 70 MW. V Dánsku (s porovnateľnou rozlohou) vďaka politike štátu to bolo až 1700 MW.



Podobný agresívny vývoj obnoviteľných zdrojov bol zaznamenaný aj v oblasti výroby tepla slnečnými kolektormi. Hoci teplo z nich vyrobené je niekedy drahšie ako z tradičných zdrojov, len v susednom Rakúsku je inštalovaných viac ako 200.000 m² kolektorov. Aj tu bol rozvoj založený na iniciatíve jednotlivcov, ktorí začali s ich výstavbou po všeludovom referende, ktoré odmietlo jadrovú energetiku ako budúci zdroj energie v Rakúsku. Na Slovensku je počet inštalovaných kolektorov prakticky zanedbateľný.



Slnečné články používané na výrobu elektriny sú dnes tak tiež na vzostupe. Hoci elektrina z nich vyrobená je niekoľkonásobne drahšia ako z klasických zdrojov, niektoré rozvinuté krajiny ich presadzovanie sa na trhu silne podporujú. Takýmto iniciatívami sú napr. programy 50.000 solárnych striech v Japonsku alebo 100.000 solárnych striech v Nemecku. Vládny program podpory spolu s istou prestížou majiteľov budov so slnečnými článkami znamená, že tento zdroj je zaujímavý nielen pre jednotlivcov ale aj pre inštitúcie. Príkladom je budova Reichstagu v Berlíne vybavená slnečnými článkami na streche. Takéto príklady

vyvolávajú nielen pozornosť, ale stimulujú aj výrobcov. Rastúci odfyt a produkcia znamená klesajúce ceny a prechod na masovú výrobu, nevyhnutnú pre budúci ďalší rozvoj.



To ako bude naša budúcnosť vyzeráť, bude do značnej miery závislé na tom ako budeme využívať moderné technológie. V nadchádzajúcich desaťročiach môžu mať obnoviteľné energetické zdroje, využívané inovovanými technológiami, silný transformačný efekt na celú spoločnosť. Experti sa zhodujú v tom, že biomasa a vodná energia budú v najbližšej dobe dominovať medzi týmito zdrojmi, avšak postupom nadobudne stále väčší význam veterná energia a priame využívanie slnečnej energie na výrobu elektrickej energie.

Veterné elektrárne boli v roku 1999 najrýchlejšie rastúcim sektorom elektro-energetiky. Elektrina z nich vyrobená je už cenovo konkurencieschopná na mnohých miestach aj bez štátnej podpory (Dánsko, Nemecko). Celkový inštalovaný výkon veterných agregátov presiahol vo svete 11.000 MW. Aj napriek tomu, že v porovnaní s inými zdrojmi je elektrina vyrábaná slnečnými článkami v súčasnosti asi 3 až 10-krát drahšia (v závislosti na slnečných podmienkach), zaznamenáva tiež obrovský nárast. Slnečné články sú obzvlášť zaujímavé v aplikáciách a na miestach, kde nie je k dispozícii elektrická distribučná sieť (vedenie), a kde by si vybudovanie takéhoto vedenia vyžiadalo značné investície. Moderné slnečné technológie, ako napr. nanášanie tenkého filmu na rozdiel od drahšieho kryštálického kremíka, sú na ceste ku širokému komerčnému využitiu.

Veľkým prísľubom sa javí aj angažovanie sa nadnárodných ropných a iných energetických spoločností ako sú napr. Enron, Shell, a British Petroleum vo vývoji a výrobe slnečných a veterných technológií v posledných rokoch. Tieto spoločnosti významne investovali nielen do uvedených technológií ale plánujú rozšíriť svoje investície aj na iné obnoviteľné energetické zdroje.

Energetika v rozvojových krajinách je považovaná za najperspektívnejšiu oblasť investícií v najbližších 20-tich rokoch. Práve v týchto krajinách s výhodnými prírodnými podmienkami pre ich využívanie by mohli obnoviteľné zdroje zohrať významnú úlohu. Príťažlivou sa javí hlavne stavebníkový charakter technológií založených na obnoviteľných zdrojoch, ktoré môžu byť stavané aj rozširované podľa potreby v blízkosti užívateľa. Tieto technológie sú často lacnejšie a rýchlejšie vybudovateľné ako klasické veľké elektrárne alebo predĺženie elektrického vedenia.

Obnoviteľné zdroje energie získavajú na význame aj u spotrebiteľov vo vyspelých krajinách. V USA sa viac ako polovica opýtaných vyjadrila že sú ochotní platiť za "zelenú energiu" viac. Dnes mnohé elektrárenské spoločnosti budujú tieto zdroje a ponúkajú svojim odberateľom možnosť voľby medzi elektrinou vyrobenou z fosílnych resp. obnoviteľných zdrojov. V Európe existuje silný verejný záujem o čistotu životného prostredia a podporu obnoviteľných zdrojov, ktoré sa stále viac presadzujú na trhu. V roku 1997 Európska komisia vydala dokument o rozvoji obnoviteľných zdrojov (White Paper), v ktorom sa vyjadrila, že tieto zdroje sú v EÚ nedostatočne a nerovnomerne rozvinuté. Na energetickej spotrebe EÚ sa podieľajú len menej ako 6%. EÚ vyzvala členské štáty, aby tento podiel zvýšili na dvojnásobok do roku 2010, a tak zvýšili exportný potenciál Únie a prispeli k zníženiu emisií skleníkových plynov. Podiel obnoviteľných zdrojov na výrobe elektriny by sa mal zvýšiť zo súčasných 14 % na 23 %. V pozadí tejto snahy stojí skutočnosť, že dnes sa do krajín EÚ dováža viac ako polovica spotrebovávaných energetických zdrojov a pokiaľ by sa súčasnému vývoju ponechal voľný priebeh tento podiel by sa mohol zvýšiť až na 70% v roku 2020.

V EÚ existuje viacero scenárov o možnom príspevku obnoviteľných zdrojov k celkovej energetickej bilancii. Dvanásťpercentný podiel do budúcnosti bol však zvolený ako realistický. V oblasti elektro-energetiky by mal byť dosiahnutý inštaláciou slnečných článkov s celkovým výkonom 3000 MW (3 veľké atómové elektrárne) na viac ako 1 milión stried, inštalovaním 40.000 MW vo veterných elektrárňach, 1000 MW v elektrárňach na biomasu a ďalších 1000 MW v geotermálnych elektrárňach. V súčasnosti využívané obnoviteľné zdroje zahŕňujú hlavne veľké vodné elektrárne, u ktorých sa vzhľadom na negatívne dôsledky na životné prostredie, do budúcnosti v EÚ nepredpokladá ďalší rozvoj. V oblasti výroby tepla sa nárast očakáva hlavne z biomasy a inštaláciou asi 100 milión m² slnečných kolektorov. Inštalovaný výkon v tepelných čerpadlách by mal dosiahnuť 2 milióny MW. Tento program by si mal do roku 2010 vyžadovať investície asi 165 miliárd Eur. Jeho prínosom však bude aj vytvorenie približne 900.000 nových pracovných miest a zníženie emisií CO₂ o 402 miliónov ton ročne.

Z odhadovaného počtu nových pracovných príležitostí pripadá podľa Európskej asociácie pre veternú energiu asi 320.000 na vybudovanie cieľových 40.000 MW vo veterných elektrárňach. Asociácia pre fotovoltaiku (výroba elektriny zo slnečnej energie) predpokladá, že 3000 MW znamená asi 100.000 pracovných miest a Federácia výrobcov slnečných kolektorov predpokladá prírastok asi 250.000 pracovných miest. Zvyšok predstavuje tvorba nových pracovných miest v oblasti využívania biomasy (asi 230.000). Zabezpečenie domáceho cieľa by však nebolo jediným prínosom k tvorbe pracovných príležitostí. Experti odhadujú, že pri takomto rozvoji by významne vzrástla aj exportná schopnosť krajín EÚ, čo by viedlo k tvorbe ďalších asi 350.000 pracovných miest viazaných na zabezpečenie exportu. Dokument EÚ "White Paper" tiež prináša návrh opatrení na zabezpečenie realizácie tohto cieľa, ktoré zahŕňujú daňové a iné finančné zvýhodnenia. Tvorba pracovných príležitostí je jednou z najdôležitejších hybných síl rozvoja obnoviteľných zdrojov.

Potenciál tvorby pracovných miest z využívania obnoviteľných zdrojov energie.

ZDROJ	POTENCIÁL
Vietor	1 miesto / 5 MW
Voda	1 miesto / 0,66 MW
Bioplyn zo skládok odpadu	1 miesto / 0,77 MW
Spaľovanie odpadov	1 miesto / 0,33 MW
Biomasa	1 miesto / 0,5 MW

Pre ilustráciu podiel obnoviteľných zdrojov na Slovenskej energetickej bilancii je v súčasnosti asi 23 PJ t.j. 3% z celkovej spotreby primárnych energetických zdrojov. Tento príspevok navyše takmer celý pochádza z veľkých vodných elektrární. Podiel obnoviteľných zdrojov v energetickej bilancii je v SR skutočne veľmi nízky a nezodpovedá našim podmienkam. Veď len podiel biomasy (drevo, slama, bioplyn, bionafta) na celkovej spotrebe energie, ktorý u nás predstavuje 0,16 %, je vo Švédsku až 18 % a v susednom Rakúsku 12 %, pričom tento výsledok bol dosiahnutý za menej ako 10 rokov a navyše má stále rastúci charakter.

EXTERNÉ NÁKLADY A FOSILNÉ PALIVÁ

Pri porovnávaní rôznych energetických zdrojov je cena často kľúčovým prvkom v rozhodovaní sa pre tú ktorú technológiu. V diskusii o obnoviteľných energetických zdrojoch sa veľmi často argumentuje ich vysokou cenou v porovnaní s cenou energie získanej z fosílnych palív. Je však evidentné, že takéto porovnávanie nie je jednoduché a často v ňom dochádza ku skresľovaniu skutočnosti v neprospech obnoviteľných zdrojov. V situácii keď platíme účet za elektrickú energiu, teplo alebo palivo na benzínovom čerpadle, platíme len špecifickú cenu, ktorá nezahrňuje úplné náklady na získanie tejto energie. To čo neplatíme sú náklady, ktoré nevyhnutne s energiou pochádzajúcou z fosílnych zdrojov súvisia, t.j. poškodzovanie životného prostredia, sociálne i ekonomické náklady spojené s jej využívaním. Nezahrnutie externých alebo skrytých sociálnych a environmentálnych nákladov a riziká spojeného s využívaním fosílnych palív do ceny, je základnou bariérou v komerčnom rozvoji obnoviteľných zdrojov. Je známou skutočnosťou, že súčasné trhové ceny energie tieto náklady zväčša ignorujú. Škodlivé technológie s vysokými emisiami napr. sýry (uholné elektrárne) požívajú na trhu s energiou isté výhody v porovnaní s obnoviteľnými energetickými zdrojmi. Súvisí to s tým, že konvenčné fosílné technológie jednoducho prenášajú náklady spojené s výrobou energie na celú spoločnosť. Náklady na revitalizáciu životného prostredia alebo náklady na zdravotníctvo, ktoré musí liečiť ľudí s poškodením zdravia v dôsledku emisií škodlivín z takýchto technológií v cene energie zahrnuté nie sú. Takisto ako v cene energie z obnoviteľných zdrojov nie sú zahrnuté ich pozitívne efekty napr. na tvorbu pracovných príležitostí (znižovanie výdavkov na nezamestnanosť), zvyšovanie energetickej bezpečnosti krajiny, zlepšovanie ekonomickej bilancie štátu v dôsledku zníženého dovozu palív, rozvoj vidieka a i. Až keď ceny budú zahŕňať externé náklady a pristúpi sa k ich internacionalizácii, bude možné vytvoriť spravodlivé podmienky na porovnávanie jednotlivých zdrojov. Dovtedy dokiaľ sa toto nestane skutočnosťou, je akékoľvek porovnávanie len iluzórne a na tejto skutočnosti nič nemôže zmeniť ani fakt, že v mnohých krajinách existujú tzv. ekologické dane, zaražujúce emisie z fosílnych zdrojov, ktorých výška sa však neodvíja od skutočných externých nákladov.

Hoci stanoviť externé náklady je mimoriadne zložité, čo súvisí s tým, že je len veľmi ťažké určiť cenu dôsledkov znečistenia životného prostredia a v mnohých prípadoch to ani nie je možné (napr. cenu dôsledkov globálnych klimatických zmien), vo svete existuje viacero štúdií, ktoré poukazujú na to, že tieto náklady sú značné. Napríklad nemecká štúdia uvádza, že externé náklady na výrobu elektriny, bez započítania dôsledkov klimatických zmien, sa pohybujú v rozsahu od 0,024 - 0,055 USD za kilowatthodinu (1,05 - 2,45 Sk/kWh) a v prípade jadrových elektrární je to až 2,7 Sk/kWh.

Podľa inej americkej štúdie len emisie oxidu siričitého z amerických uhoľných elektrární spôsobujú škody na zdraví obyvateľov USA na úrovni 82 miliárd dolárov za rok. Náklady na zníženie poľnohospodárskej produkcie v dôsledku týchto emisií prinášajú americkým farmárom dodatočnú škodu na úrovni 7,5 miliardy dolárov ročne. Celkové externé náklady, ktoré platí americký občan (nezahrnuté v cene energie) z emisií oxidu siričitého dosahujú ročne 109 až 260 miliárd dolárov ročne. V ostatných krajinách je možné očakávať porovnateľne vysoké náklady.

Ak by boli tieto náklady zahrnuté do cien energie, obnoviteľné zdroje by boli na mnohých miestach sveta v oveľa lepšej pozícii, ako sú dnes a ich presadzovanie sa na trhu s energiou by bolo podstatne jednoduchšie. V tejto súvislosti je nutné poznamenať, že situácia nie je nemenná a pomaly sa vyvíja v prospech obnoviteľných zdrojov. Niektoré z týchto palív ako napr. drevo, bioplyn, veterná energia sú už dnes schopné vo viacerých rozvinutých krajinách (SRN, Rakúsko, Švédsko a i.) konkurovať klasic-

kým palivám. Ukazuje sa, že aj tie najdrahšie spôsoby výroby energie, napr. fotovoltaiickými článkami, by sa po započítaní externých nákladov do cien a pri ich masovej výrobe stali cenovo porovnateľné s tými palivami, ktoré využívame dnes.

DOTÁCIE DO ENERGETIKY

Hoci ceny energie z fosílnych palív nezohľadňujú škody na životnom prostredí, sú často nereálne nízke aj v dôsledku rôznych priamych či nepriamych dotácií. Pritom je pozoruhodné, že veľmi často technológie s najhorším dopadom na zdravie človeka a životné prostredie získavajú najväčšiu podporu zo strany štátu (uholné baníctvo). Napríklad v USA fosílna palivá a jadrová energetika dostávajú až 90 % štátnych peňazí investovaných ročne do energetiky (výskum a vývoj), pričom obnoviteľné zdroje alebo technológie na úspory energie dostávajú len minimum (solárne technológie len asi 3 % štátnych zdrojov). Podobná - a v mnohých prípadoch ešte horšia situácia - je v iných krajinách. U nás ako príklad môže slúžiť dlhodobá štátna podpora a snaha o záchranu ekonomicky neefektívneho hnedo-uholného baníctva, ktorého energetický zisk by bolo možné nahradiť napr. biomasou. Podpora rozvoja biomasy u nás je však v porovnaní s uhlím takmer zanedbateľná.

VÝDAVKY NA VOJENSKÚ OCHRANU ZDROJOV

Prakticky celosvetová závislosť na dovozoch ropy alebo zemného plynu si vyžaduje, aby medzinárodné prepravné cesty boli otvorené a to aj za cenu nasadenia armády. Vojskové výdavky USA len na ochranu dodávok ropy z Perzského zálivu predstavujú ročne 14,6 až 54 miliárd dolárov. Dolná hranica výdavkov pochádza zo štúdie National Defence Council a horná z Rocky Mountain Institute. Existujú však aj iné skryté náklady na národnú bezpečnosť. Sem patria aj výdavky na podporu spojeneckých armád v krajinách produkujúcich ropu. Inou formou podpory sú aj diplomatické a zahranično-politické rozhodnutia prijímané na základe zabezpečenia dodávok ropy.



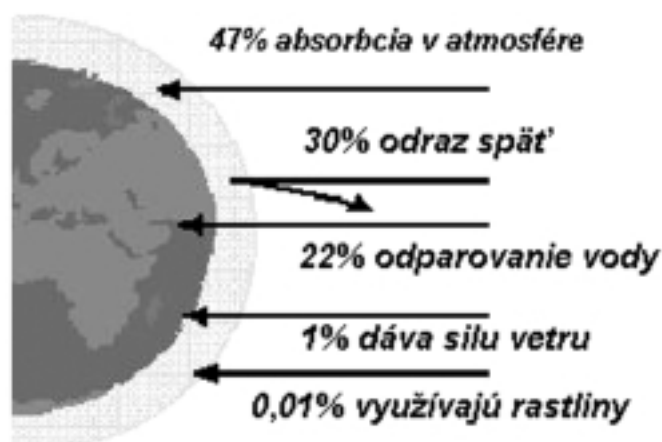
Vojna v Perzskom zálive.

v USA 1,44 až 8,61 miliárd dolárov ročne. V súčasnosti sa často prijíma rozhodnutie prenechať riešenie tohto problému na neskôr (ďalšie generácie), čo je málo etické, nakoľko výhody (vyrobená elektrina) sú požívané jednou generáciou avšak problémy vrátane finančného zataženia sú prenášané na nasledujúce generácie.

RADIOAKTÍVNY ODPAD

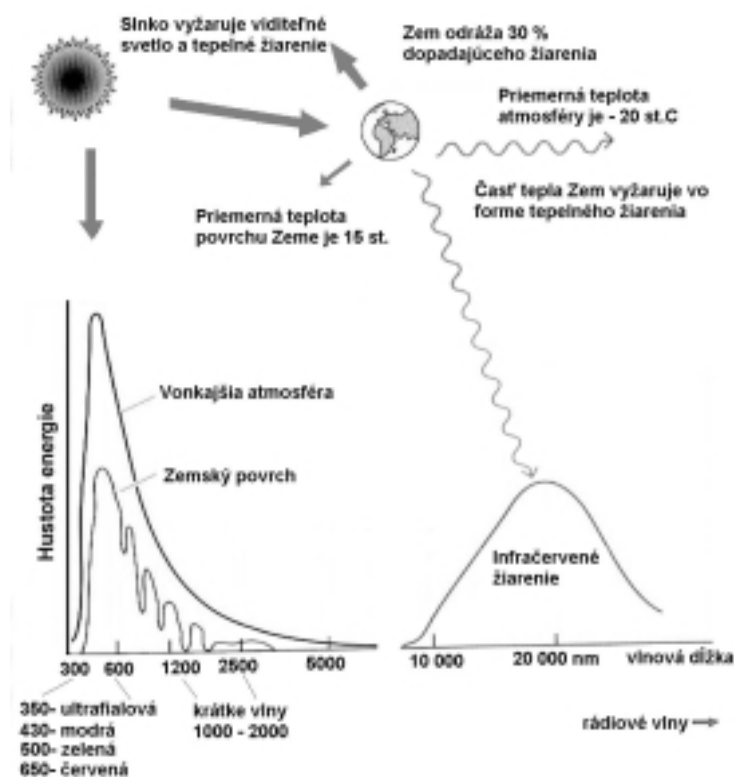
Jedným z najzávažnejších problémov spojeným s jadrovou energetikou je riešenie problému rádioaktívneho odpadu. V žiadnej krajine na svete doposiaľ nebol definitívne uložený vysoko rádioaktívny odpad z jadrových elektrární. Na celom svete však dnes existujú tisíce ton takéhoto vysoko nebezpečného odpadu, ktorý bude predstavovať riziko pre obyvateľov po mnoho tisíc rokov. Napríklad plutónium (Pu-239) s polčasom rozpadu 24 tisíc rokov bude pre svoje okolie nebezpečné niekoľko sto tisíc rokov. Americký The World Watch Institute odhaduje, že náklady na definitívne uloženie jadrového odpadu predstavujú

SLNEČNÁ ENERGIA



Každý rok dopadá zo Slnka na Zem asi 10 000 krát viac energie, ako ľudstvo za toto obdobie spotrebuje. Množstvo dopadajúcej slnečnej energie na územie Slovenska je asi 200-násobne väčšie, ako je súčasná spotreba primárnych energetických zdrojov u nás. Je to obrovský, doposiaľ takmer úplne nevyužitý potenciál. Využívanie slnečnej energie je dnes najčistejším spôsobom využívania energie vôbec a na rozdiel od iných zdrojov (aj obnoviteľných) sú dopady na okolité životné prostredie zanedbateľné.

Slnečná energia je hnacím strojom života na Zemi. Zohrieva atmosféru a Zem, vytvára vietor, zohrieva oceány, spôsobuje odparovanie vody dáva silu vodným tokom, rastlinám aby mohli rásť a z dlhodobého



hľadiska vytvára aj fosílna palivá. Slnečná energia a z nej pochádzajúce obnoviteľné zdroje energie - veterná, vodná a biomasa môžu byť využité na výrobu všetkých foriem energie, ktoré dnes ľudstvo využíva.

SLNEČNÉ ŽIARENIE

Slnečné žiarenie je elektromagnetické žiarenie s vlnovými dĺžkami v rozsahu od 0,28 do 3,0 μm . Slnečné spektrum zahŕňa malý podiel ultrafialového žiarenia (0,28 - 0,38 μm), ktoré je pre ľudské oko neviditeľné a predstavuje asi 2% solárneho spektra. Viditeľné svetlo má vlnové dĺžky od 0,38 do 0,78 μm a predstavuje asi 49% spektra. Zvyšok tvorí infračervené žiarenie s vlnovými dĺžkami 0,78 - 3,0 μm .

Slnko neustále produkuje obrovské množstvo energie - približne $1,1 \times 10^{20}$ kWh každú sekundu (jedna kilowatthodina je množstvo energie,

ktoré spotrebuje 100 W žiarovka po dobu desať hodín). Vrchná vrstva atmosféry prijíma asi dve miliardy Slnkom vytvorenej energie, čo je asi $1,5 \times 10^{18}$ kWh za rok. V dôsledku odrazu, rozptylu a absorpcie plynmi a aerosólmi v atmosfére dopadá na zemský povrch len asi 47% z tejto energie (7×10^{17} kWh). Okamžitý výkon slnečného zdroja predstavuje v atmosfére $1,7 \times 10^{17}$ W. V našich zemepisných podmienkach to znamená, že energia dopadajúca na plochu 1 m^2 dosahuje hodnotu 1000 až 1250 kWh/rok (cca 5 GJ). Z uvedenej intenzity žiarenia vyplýva, že teoreticky pri 100% účinnosti využitia tejto energie by sme z plochy 3 x 3,3 metra mohli získať dostatok energie na pokrytie celoročnej spotreby tepla a teplej vody pre priemernú domácnosť na Slovensku. Bariéru pre takéto využitie nepredstavuje len nerealizovateľná 100%-ná účinnosť zariadenia, ale aj odchýlky v množstve dopadajúceho žiarenia v priebehu roka a jeho energetickej hustote. Hustota slnečného žiarenia je totiž mnohonásobne nižšia ako v prípade fosílnych palív, na druhej strane je však toto žiarenie homogénnejšie rozložené ako zásoby klasických palív na Zemi.

Porovnanie hustoty energie pre rôzne zdroje.

HUSTOTA ENERGIE	kW/m ²
Slnčné žiarenie nad zemskou atmosférou	1,35
Slnčné žiarenie na povrchu Zeme (Slovensko - priemer)	0,1
Uhlie (spaľovacia pec veľkej elektrárne)	500
Jadrová energia (palivový článok vo veľkej atómovej elektrárni)	650
Elektrický kábel	1.000.000

Zemská atmosféra sa otepluje v dôsledku priameho slnečného žiarenia priamo a nepriamo rozptýlom žiarenia vo vzduchu (tzv. difúzne žiarenie). Súčet oboch týchto zložiek predstavuje globálne žiarenie. Množstvo dopadajúceho žiarenia na konkrétnom mieste však závisí na viacerých faktoroch ako sú napr.:

- zemepisná poloha
- miestna klíma
- ročné obdobie
- sklon povrchu k dopadajúcemu žiareniu.

ČAS A MIESTO

Množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia sa mení v dôsledku relatívneho pohybu Slnka. Tieto zmeny závisia na dennom a ročnom období. Vo všeobecnosti platí, že najviac žiarenia dopadá na Zem na poludnie, kedy poloha Slnka na oblohe je najvyššia a cesta prechádzajúceho slnečného žiarenia cez atmosféru je najkratšia. Tým dochádza k najmenšiemu rozptylu a absorpcii žiarenia v atmosfére.

Množstvo dopadajúcej energie sa mení počas roka a predstavuje napr. menej ako 0,8 kWh/m² za deň počas zimy v Severnej Európe až po viac ako 4 kWh/m² za deň počas leta v tomto regióne. Tento rozdiel sa znižuje pre regióny, ktoré ležia bližšie k rovníku, kde je intenzita žiarenia najvyššia. Tak napr. priemerná hustota dopadajúceho žiarenia dosahuje v Strednej Európe 1100 kWh/m² v Strednej Ázii asi 1700 kWh/m² a v niektorých afrických krajinách asi 2200 kWh/m² za rok. Je evidentné, že geografické a sezónne rozdiely sú značné a musia byť brané do úvahy pri navrhovaní solárnych aplikácií (pozri tabuľku).

Zmeny intenzity dopadajúceho slnečného žiarenia v niektorých oblastiach sveta (sklon povrchu 30 stupňov).

	Európa			Karibská oblasť
	Južná	Stredná	Severná	
	kWh/m ² .deň			
Január	2,6	1,7	0,8	5,1
Február	3,9	3,2	1,5	5,6
Marec	4,6	3,6	2,6	6,0
Apríl	5,9	4,7	3,4	6,2
Máj	6,3	5,3	4,2	6,1
Jún	6,9	5,9	5,0	5,9
Júl	7,5	6,0	4,4	6,0
August	6,6	5,3	4,0	6,1
September	5,5	4,4	3,3	5,7
Október	4,5	3,3	2,1	5,3
November	3,0	2,1	1,2	5,1
December	2,7	1,7	0,8	4,8
ROK	5,0	3,9	2,8	5,7

Z hľadiska používaných technológií nižšia energetická hustota znamená väčšie nároky na plochu zariadení. To spolu s problémom časovo meniacej sa intenzity dopadajúceho žiarenia predstavuje hlavnú nevýhodu v porovnaní s fosílnymi palivami, kde je energia uskladnená vo vysoko koncentrovanej forme.

OBLAKY

Meniace sa atmosférické podmienky majú výrazný vplyv na množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia na Zem. Je evidentné, že množstvo energie klesá s narastajúcou oblačnosťou a najlepšie slnečné podmienky sa nachádzajú v púštnych oblastiach s minimálnou oblačnosťou v priebehu roka. Miestne geografické pomery tiež ovplyvňujú tvorbu oblačnosti. Tak prítomnosť kopcov, oceánov a veľkých jazier znamená, že intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia sa môže líšiť od susedných miest. Napríklad kopcovité oblasti vykazujú nižšiu úroveň slnečného žiarenia ako rovinaté oblasti. Súvisí to s tým, že v kopcoch sa tvorí väčšia oblačnosť ako na rovinách. Prímorské oblasti sa taktiež líšia z hľadiska intenzity žiarenia od oblastí položených ďalej od pobrežia. V našich podmienkach sa intenzita globálneho slnečného žiarenia môže napoludnie meniť od asi 1000 W/m^2 počas jasného dňa (za mimoriadne výhodných podmienok to môže byť ešte viac) po menej ako 100 W/m^2 počas zamračeného dňa.

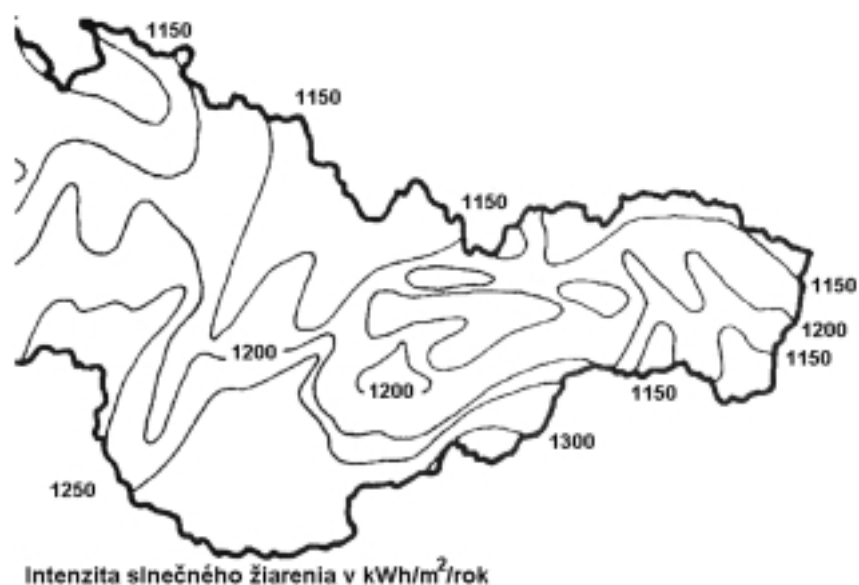
ZNEČISTENIE OVZDUŠIA

Tak prírodné ako aj človekom spôsobené javy môžu ovplyvňovať intenzitu dopadajúceho žiarenia. Znečistenie vzduchu v mestách, dym z lesných požiarov, čiastočky popola z vulkanickej činnosti a iné javy znižujú túto intenzitu v dôsledku absorpcie a rozptylu. Tieto faktory majú veľký vplyv hlavne na priamu zložku slnečného žiarenia. Intenzita priameho slnečného žiarenia v oblasti silne znečisteného ovzdušia napr. smogom môže byť znížená až o 40 %, kým globálna intenzita žiarenia sa zníži o 15% to 25%. Silné vulkanické erupcie dokážu znížiť intenzitu priameho žiarenia aj vo veľmi vzdialených oblastiach o 2 % a globálneho žiarenia o takmer 10% počas 6 mesiacov po erupcii. Hoci vulkanický popol z atmosféry postupne vypadáva, jeho úplné odstránenie môže trvať niekoľko rokov.

POTENCIÁL

Potenciál slnečného žiarenia je z celosvetového pohľadu obrovský a pri nulových nákladoch na palivo poskytuje až 10.000-krát viac energie, ako sa je každoročne vo svete spotrebuje. Všetci obyvatelia Zeme ročne spotrebujú asi $8,5 \times 10^{13} \text{ kWh}$ komerčnej energie. Okrem toho tiež spotrebávajú energiu, ktorá sa neobjavuje v energetických štatistikách (hlavne biomasa používaná v rozvojových krajinách). Podľa niektorých expertov táto nekomerčná energia sa môže na celkovej spotrebe podieľať až jednou pätinou. Ale aj keby bol tento príspevok započítaný do spotreby energie, aj tak by celková spotreba predstavovala jednu sedem tisícinu energie dopadajúcej na Zem zo Slnka. Aj v takých vysoko energeticky náročných krajinách ako je napr. USA (ročná spotreba $2,5 \times 10^{13} \text{ kWh}$) je množstvo dopadajúcej slnečnej energie niekoľko stonásobne väčšie ako spotreba. V mnohých krajinách by stačilo pokryť menej ako 1 % územia (napr. strechy budov, nevyužívané plochy) slnečnými technológiami, aby bol zabezpečený dostatok energie pre celú krajinu. Z praktického hľadiska však nie je logické, aby pri existencii iných obnoviteľných zdrojov energií bola energetická spotreba výlučne pokrývaná takýmito technológiami.

Podstatné je, že aj v našich klimatických podmienkach je potenciál slnečnej energie obrovský, veď len energia dopadajúca na strechu budovy vo väčšine prípadov presahuje spotrebu energie v nej. Intenzita slnečného žiarenia u nás predstavuje asi 1100 kWh/m^2 za rok, kým priemerná spotreba v obytných domoch je len asi 150 kWh/m^2 na vykurovanie a $25\text{--}50 \text{ kWh/m}^2$ na chod elektrospotrebičov a na varenie. Z uvedeného vyplýva, že množstvo dopadajúcej slnečnej energie je až 5-krát väčšie alebo vyjadrené inak je postačujúce na pokrytie spotreby až 5-poschodovej obytnej budovy (merané v hodnotách na m^2 horizontálneho povrchu). Hoci slnečná energia je z hľadiska celoročného priemeru dostatočná na pokrytie spotreby energie v mnohých domácnostiach, jej praktické využitie je obmedzené premenlivosťou intenzity žiarenia v priebehu roka a obmedzenou možnosťou skladovania energie. Bez ohľadu na nevýhody, dnes existuje dostatok možností a technických zariadení, ktoré sú schopné veľmi účinne premieňať slnečnú energiu tak na teplo ako aj elektrinu a to aj pri relatívne nízkych investičných nákladoch. Napr. pre jednoduché solárne systémy (kolektory) vychádza, že v našich podmienkach sú schopné bežne pokryť 60-80% spotreby teplej vody a 25 - 50% spotreby energie na kúrenie pre priemerný dom.



VYUŽÍVANIE SLNEČNEJ ENERGIE

Rozlišujeme tri základné spôsoby využitia slnečnej energie :

- Pasívne využitie vhodnou architektúrou kde tvar a výstavba budov je navrhnutá tak, aby dopadajúce žiarenie a následne jeho skladovanie a distribúcia po budove viedli k maximálnemu efektu.
- Využitie slnečných kolektorov na prípravu teplej úžitkovej vody resp. vykurovanie priestorov.
- Výroba elektrickej energie slnečnými (fotovoltaickými) článkami alebo inými systémami koncentrujúcimi slnečné žiarenie.

PASÍVNE VYUŽÍVANIE SLNEČNÉHO ŽIARENIA

Pasívna slnečná architektúra (dizajn) je v súčasnosti využívaná v budovách pomocou existujúcich technológií a materiálov s cieľom zohrievať (resp. chladiť) a osvetľovať priestory budov. Takáto architektúra v sebe zahŕňa integrovanie tradičných stavebných elementov ako je kvalitná izolácia alebo energeticky účinné okná a umiestnenie budovy resp. rozmiestnenie vnútorných priestorov budov tak, aby bol dosiahnutý maximálny energetický účinok.

Architektúra bola v minulosti inšpirovaná, tradíciou, miestnymi podmienkami a tiež dostupnosťou stavebných materiálov. Hoci solárna architektúra nebola v minulosti chápaná tak ako je to dnes, niektoré jej prvky sa objavili už veľmi dávno. Už v roku 100 pred Kristom spisovateľ Plinius si postavil letný dom v Severnom Taliansku, ktorý mal tenké plátky sludy použité ako okná. Miestnosť takto vybavená sa stala teplejšou a ušetrilo sa na nedostatkovom palivovom dreve. Známe rímske kúpele v 1. až 4. st. pred Kristom mali veľké na juh orientované okná, aby do miestnosti mohol prúdiť teplý vzduch z vonku. V 6. storočí nášho letopočtu boli "slnečné miestnosti" natoľko populárne, že Justiniánsky kódex hovoril o "práve na Slnko", aby bol zabezpečený prístup každého jednotlivca k slnečnému žiareniu. Veľké presklenné priestory boli veľmi populárne už okolo roku 1800 a na mnohých miestach vytvárali promenádu podobnú dnešným skleníkom.

Pasívne slnečné budovy sa stavali vo veľkom počte v USA v roku 1947, kedy sa v dôsledku 2. svetovej vojny prejavil nedostatok energetických zdrojov. V tomto období vydala Libbey-Owens-Ford Glass Company knihu nazvanú "Tvoj slnečný dom", v ktorej boli prezentované diela 49 najznámejších amerických solárnych architektov. V polovici 50-tych rokov architekt Frank Bridgers navrhol prvú komerčnú budovu na svete, využívajúcu solárne ohrievanie vody a pasívnu solárnu architektúru. Tento solárny dom nazývaný Bridgers-Paxton Building bol trvalo využívaný až do obdobia, kedy bol zaradený do Amerického Národného Historického Registra ako prvá solárna budova na svete. Nízke ceny ropy sa na konci 50-tych rokov prejavili aj tým, že záujem o solárne budovy a úspory energie opadol. Po ropných krízach a hlavne začiatkom 90-tych rokov, kedy bolo jasné, že nízke ceny ropy sú v nenávratne, ceny energie a tržné sily sa stali hlavným motívom opätovného záujmu o solárnu architektúru.

Dnešná solárna architektúra využíva konštrukciu budovy ako kolektor, akumulátor a zariadenie na transport tepelného žiarenia. Takáto definícia vyhovuje väčšine systémov, kde je slnečné tepelné žiarenie absorbované v stenách alebo podlahách budov. Existujú však aj systémy, ktoré využívajú niektoré špeciálne stavebné prvky ako nádrže s vodou alebo betónové bloky na akumuláciu tepla. Najjednoduchšou formou pasívneho využívania slnečnej energie je navrhovanie a stavba domov tak, aby množstvo dopadajúcej energie bolo čo najvyššie. Pre typickú budovu môže príspevok pasívneho slnečného dizajnu predstavovať až 15%-nú úsporu energie na vykurovanie. Keď si uvedomíme, že na Slovensku sa až 40% spotrebovanej energie (v prípade domácností až 78 %) využíva na vykurovanie budov zistíme, že v slnečnej architektúre sa skrýva obrovský potenciál úspor.

Vo vyspelých krajinách začína princípy slnečnej architektúry využívať stále viac architektov, a to nielen pri navrhovaní nových domov, ale aj pri rekonštrukcii starších budov. Najväčší zisk z pasívneho využitia slnečného žiarenia, a to pri najnižších nákladoch, sa dá doceliť už pri projektovaní budovy. Zásadou býva, že všetky veľké okná by mali byť orientované na juh. Dom s takto orientovanými oknami potrebuje až o 10-20 % menej tepelnej energie ako podobný dom so severnou resp. východo-západnou orientáciou okien. Ak je takáto orientácia okien kombinovaná s efektívnym rozložením obytných a neobytných (nevyskurovaných) priestorov domu, tak úspory bez vynaloženia dodatočných nákladov môžu dosiahnuť až 50 %. Pod efektívnym rozložením sa rozumie umiestňovanie obytných miestností v južnej časti domu a neobytných resp. miestností s nižším nárokom na vykurovanie v severných častiach domu (kuchyňa, predsieň, chodba). Veľké okná sa kombinujú s prístreškami a tienením, ktoré zabraňujú prehriatiu miestností v lete. Úspory energie sú najväčšie, ak je vnútorná časť domu vybudovaná z teplo absorbujúcich materiálov a pri použití okien s dvojítm sklom.



K pasívnemu využitiu slnečnej energie a úsporám energie taktiež prispievajú aj zimné záhrady alebo presklenné balkóny tie si však často vyžadujú dodatočné náklady. Tepelné úspory sú v týchto priestoroch dosahované trojakým spôsobom :

- dodatočnou izolačnou vrstvou, ktorú tieto priestory predstavujú,
- tým, že slnečné žiarenie vyhrieva presklenný priestor znižujú sa tepelné straty cez stenu budovy
- vzduch z tohto priestoru môže byť ventilovaný do vnútorných priestorov domu.

Ukazuje sa, že presklenné priestory znižujú straty energie cez steny budovy asi na polovicu. Celkové úspory však závisia na spôsobe, ako sa dom a jeho presklenná prístavba využívajú. Ak napr. dvere a okná medzi týmto priestorom a domom sú otvorené alebo je tento priestor osobitne vykurovaný, výsledkom môže byť vyššia spotreba energie ako bez použitia týchto priestorov.

PRVKY SLNEČNEJ ARCHITEKTÚRY

Existuje niekoľko základných princípov využívania pasívnej solárnej architektúry s cieľom úspory energie na vykurovanie budovy. Tieto princípy, tak ako sú definované nižšie, môžu mať mnoho variácií, a tak obohatiť tradičnú architektúru.

Podstatným prvkom pasívneho solárneho domu je umiestnenie budovy vrátane kvalitnej izolácie, orientácia okien a tepelná kapacita. Všetky tieto prvky by mali byť navrhované súčasne. Pre dosiahnutie malých zmien vnútornej teploty by mala byť izolácia umiestňovaná zvonku teplo absorbujúcich materiálov (tepelná kapacita). Avšak v priestoroch, kde sa vyžaduje rýchly nárast vnútornej teploty, by mala byť istá časť izolácie a materiálov s nízkou tepelnou kapacitou umiestňovaná na vnútorné povrchy budovy. Optimálny výber materiálov a izolácie pre každý objekt znamená nielen úsporu energie, ale aj finančnú úsporu za materiál. Solárnu architektúru je tiež vhodné kombinovať s aktívnymi slnečnými systémami ako sú slnečné kolektory alebo slnečné články (pozri nižšie).

MIESTO

Podľa štúdie amerického ministerstva energetiky "Landscaping for Energy Efficiency", rozumné umiestnenie budovy v teréne môže znamenať až 25%-nú úsporu energie na vykurovanie a klimatizáciu. Mimoriadny význam sa prikladá rozmiestneniu stromov, vrhajúcich tieň v okolí budovy v lete a chrániacich budovu pred zimnými vetrami. Popri tieni stromov má význam zaoberať sa aj povrchom okolia napr. trávnikom, ktorý v dôsledku odparovania vlhkosti z vegetácie môže znížiť teplotu vzduchu v okolí až o 5 stupňov, a tak ochladzovať budovu. Stromy sú síce vynikajúcim prírodným tienidlom, avšak musia byť rozumné umiestnené, aby poskytovali tieň v lete a netienili slnečné žiarenie v zime. Je treba si uvedomiť, že aj listnaté stromy, ktoré už v zime lístie nemajú, tienia časť slnečného žiarenia v tomto období. Niekoľko takýchto stromov dokáže odtieniť až 50 % potrebného slnečného svitu v zime, čo je potrebné vyvážiť zvýšeným vykurovaním.

OKNÁ

Všetky budovy s aplikovanou pasívnou solárnou architektúrou závisia na účinnosti okien. Sklo a iné transparentné materiály dovoľujú prenikať krátko-vlnovému slnečnému žiareniu do budovy a zabráňujú unikaniu dlho-vlnového (tepelného) žiarenia z budovy do jej okolia. Okná regulujú tok tepelnej energie v princípe dvoma spôsobmi:

- umožňujú ohrievanie vnútorného priestoru miestnosti slnečným žiarením na teplotu vyššiu, ako je vonkajšia teplota a
- zamedzením vstupu slnečného žiarenia do miestnosti (orientáciou a tienením) tiež ochladzovať vnútorný priestor v lete.

Keď sa využíva slnečné žiarenie na ohrev budovy, je účelné, aby orientáciou okien bolo využité maximum slnečného žiarenia, ktoré v zime dopadá na budovu od 9 hod. do 15 hod. Z tohto hľadiska je treba zvážiť umiestnenie stromov, ktoré môžu vrhať na budovu tieň. Je však potrebné zdôrazniť, že je možné navrhnuť budovu tak, aby bol výhľad do každého smeru a súčasne bola energicky úspornou budovou so slnečnou architektúrou. Dobré izolované steny, podlahy a strecha budovy sú dôležitejšie ako rozmiestnenie miestností, a keď je nutné umiestniť okná na západ, je potrebné aby boli dobre izolované a menších rozmerov.

Pre dobrý výber skla okien je nevyhnutné poznať vzťah svetla a tepla. Slnečné žiarenie sa skladá z viacerých vlnových dĺžok, a preto rôzne typy skla budú rôzne selektívne prepúšťať, absorbovať alebo odrážať rôzne zložky slnečného spektra. Bežné sklo prepúšťa slnečné žiarenie s vlnovými dĺžkami od 0,4 do 2,5 μm . Keď táto tepelná energia dopadá na nepriehľadné predmety za sklom, jej vlnová dĺžka vzrastie na 11 μm . Sklo pôsobí ako nepriepustná bariéra pre túto vlnovú dĺžku, a tým zachytáva slnečnú energiu, ktorá by inak unikla von. Množstvo žiarenia prenikajúce sklom závisí na uhle dopadu. Optimálny uhol je 90 stupňov. Keď svetlo dopadá na sklo pod uhlom menším ako 30 st. väčšina žiarenia sa odrazí.

Popri svetelnej pohode je z hľadiska výberu skla najdôležitejším parametrom priepustnosť infračerveného tepelného žiarenia. Špecifikáciou správneho typu skla je možné zachytávať tepelné žiarenie v miestnosti, a tým ju ohrievať a tiež odrážať infračervené žiarenie, aby v prípade potreby nedošlo k ohrievaniu vnútorných priestorov.

Existujú tri spôsoby, ktorými teplo prechádza cez sklo:

Vedením (kondukcia), pri ktorom teplo prechádza materiálom priamym kontaktom s ním. Teplo môže byť pociťované napr. dotykom skla.

Žiarením (radiácia), pri ktorom sa teplo šíri cez materiál vďaka prechádzajúcemu elektromagnetickému žiareniu. Tento jav spôsobuje pocit tepla vychádzajúceho z povrchu skla.

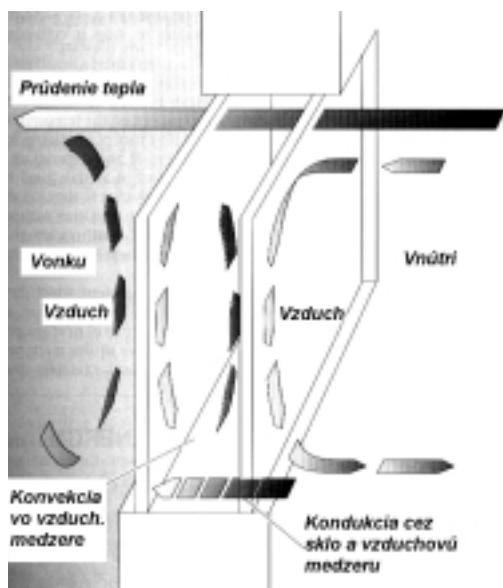
Pohybom (konvekcia) tepla, ktorý je zabezpečovaný pohybom vzduchu. Prírodné prúdenie vzduchu s tendenciou pohybu teplejšieho vzduchu smerom k chladnejšiemu, znamená že teplo je možné získať alebo stratiť.

Parameter, ktorý v odbornej literatúre vyjadruje izolačné vlastnosti skla sa nazýva R-faktor. Je určený stupňom vodivosti, žiarenia a pohybu tepla cez sklo. Je potrebné zdôrazniť, že infiltrácia vzduchu má tiež

vplyv na výsledný R-faktor skla. Množstvo tepla, ktoré prechádza v okolí skla, je rovnako dôležité ako množstvo tepla prechádzajúce cez sklo. Vzduch môže unikať alebo vnikáť do budovy v okolí presklených priestorov cez rámy a iné konštrukcie. Kvalita práce a inštalácie celého okenného systému vrátane rámu má vplyv na infiltráciu vzduchu.

Pokroky v technológii výroby skla okien sa od roku 1970 stali najväčším prínosom k úsporám energie v budovách a hrajú významnú úlohu v slnečnej architektúre. Hlavnými prínosmi vo vývoji okien sú:

- Dvojité a trojité sklá okien s vysokým R-faktorom.
- Sklá s nízkym vyžarovaním alebo pokrytím, ktoré umožňujú zachytávať viac tepla vnútri a prepúšťať menej von.
- Okná plnené argónom (alebo inými vzácnymi plynmi), ktoré zvyšujú tepelno-izolačné vlastnosti v porovnaní s oknami s normálnym vzduchom.
- Technológie so zmenenou fázou, ktoré umožňujú meniť sklo na priesvitné a nepriesvitné podľa napätia, ktoré je na ne priložené.



Okná sa robia z rôznych typov skla, plexiskla a iných materiálov. Hoci jednotlivé materiály sa uplatňujú v rôznych aplikáciách, použitie obyčajného skla sa ukázalo ako najužitočnejšie a preto je tiež najrozšírenejšie. Iné typy skla umožňujú solárnemu architektovi navrhnuť stavbu najviac vyhovujúcu požiadavkám klienta. Okno s jednou sklennou tabuľou je najjednoduchším typom okna. Jednoduché okná majú vysokú priepustnosť svetla, ale tiež slabé izolačné vlastnosti. Ich R-faktor je približne 1,0. Jednoduché sklá sú účinné ako ochrana v teplom klimatickom prostredí (pokiaľ sa nepoužíva klimatizácia), používajú sa ako pokrytie slnečných kolektorov alebo skleníkov. Budovy s jedno-tabuľovými oknami vykazujú veľké teplotné výkyvy, zvýšenú kondenzáciu vlhkosti a poskytujú minimálnu ochrannú vrstvu pred vonkajším prostredím. Najrozšírenejším typom okna je okno s dvoma sklami. Dvojitabuľové okná sú v podstate dve sklá zmontované do jedného okna s vnútorným tepelno-izolačným priestorom.

Izolované okná majú niekedy vnútorný priestor medzi sklami vyplnený materiálom pohlcujúcim vlhkosť a bežne bývajú utesnené silikónom. Vnútorný priestor okien zvyšuje odpor pre prenos tepla a ich celkový R-faktor je asi 1,8-2,1. Veľké priestory medzi sklami nevedú k zvyšovaniu R-faktora. V skutočnosti veľké medzery zvyšujú vedenie tepla vo vnútri a vedú k tepelným stratám. Pravidlom býva, že vnútorný priestor medzi sklami okna je 2 až 4 centimetre. Je však možné túto vzdialenosť predĺžiť až na 10-12 centimetrov bez toho, aby dochádzalo k tepelným stratám. Pri tak veľkých vzdialenostiach skiel sa však okná stávajú veľmi veľkými a ťažkými. Vo vyspelých krajinách sa dvojité okná s izolovanými sklami stali štandardom a jednoduché sklá sa v bežných oknách budov prakticky nepoužívajú.

Okná s vysoko účinnými tepelno-izolačnými vlastnosťami vykazujú ešte lepšie hodnoty R-faktora. Takéto typy okien tiež poskytujú väčšie možnosti architektovi budovy nakoľko tam kde by mali byť steny alebo strecha z klasického materiálu, môžu byť presklenné slnečné priestory. Tmavé priestory sa tak stanú svetlými, môžu získať viac tepelného žiarenia a znížiť nároky na vykurovanie. Pri relatívne nízkych nákladoch je možné zvýšiť tepelnú účinnosť budovy, znížiť vlhkosť a zlepšiť flexibilitu dizajnu. Dnes existuje na trhu niekoľko vysoko-účinných okien. Nízke tepelné vyžarovanie skiel znamená, že žiarenie je pohlcované v miestnosti. R-faktor takýchto okien sa pohybuje na úrovni 2,6 až 3,2. Plynom plnené okná majú ešte lepšie tepelno-izolačné vlastnosti. Použitím vzácneho plynu ako je kryptón alebo argón sa ich R-faktor zvyšuje asi o 1,0. Inertné plyny nemajú žiadne negatívne účinky na organizmus avšak okná nimi plnené sú podstatne drahšie.

Význam má aj tienenie okien napr. záclonami. Popri dekoratívnom význame majú záclony na oknách aj tepelno-izolačné vlastnosti. Znižujú tepelné straty počas chladného obdobia a zvyšujú tepelný zisk počas

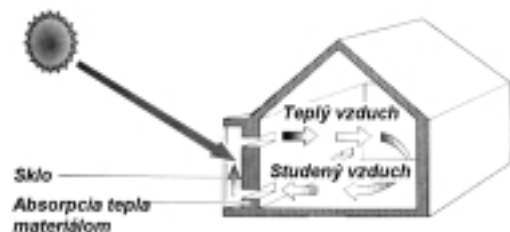
teplého obdobia roka. Drevená garníza nad záclonou zabraňuje tomu, aby teplý vzduch prúdil medzi oknom a záclonou. Aby bol dosiahnutý maximálny efekt, záclona by mala siahať minimálne 30 cm pod spodnú hranu okna. Optimálne je, keď siaha až po zem.

TEPELNÁ KAPACITA - AKUMULÁCIA TEPLA V BUDOVE

Slnčné žiarenie dopadajúce na povrchy stien, okien a iných štruktúr je budovou absorbované a skladované v závislosti na tepelnej kapacite materiálov. Takto uskladnená energia je potom vyžarovaná do vnútorných priestorov budovy. Tepelná kapacita použitých materiálov pôsobí podobne ako batérie v systémoch so slnečnými článkami alebo ako zásobník teplej vody v systémoch so slnečnými kolektormi. Všetky tieto zariadenia skladujú slnečnú energiu pre neskoršie využitie. Tepelná kapacita môže byť využitá v pasívnej slnečnej architektúre viacerými spôsobmi siahajúcimi od pokrytia podlahy až po vodou plnené nádrže. Je potrebné vedieť, že tmavé povrchy odrážajú menej slnečného žiarenia, a preto pohlcujú viac tepla. Tmavá podlaha pohlcuje teplo počas celého dňa a opätovne teplo vyžaruje do miestnosti v noci. Rýchlosť prestupu tepla závisí na rozdieli teplôt medzi zdrojom tepla a objektom kam teplo uniká. Všetky povrchy budov strácajú teplo vedením, žiarením a pohybom. Dobre navrhnutá budova minimalizuje straty a maximalizuje účinnosť rozvodu tepla v budove. Vhodne aplikovať tepelnú kapacitu (teplo-absorbujúce materiály) vo vnútri budovy znamená tiež zväžiť okolitú klímu. Ťažké budovy s vysokou tepelnou kapacitou sú zvyčajne príjemnejšie v horúcom (suchom) a tiež chladnom podnebí. V teplom ale vlhkom podnebí majú len málo predností. V chladnom prostredí vyššia tepelná kapacita budovy pôsobí ako tepelný sklad a znižuje nároky na vykurovanie s výnimkou veľmi chladných dní so zatiahnutou oblohou. V ťažkých budovách, kde sa kúri nepravidelne, však zabezpečenie príjemnej mikroklímy, znamená vyššie nároky na vykurovanie.

Navrhnutie vhodnej tepelnej kapacity budovy je zvyčajne jednou z najťažších úloh, pred ktorou stojí architekt navrhujúci budovu so solárnou architektúrou. Množstvo potrebného materiálu závisí na veľkosti presklennej južne orientovanej steny a rozmiestnení materiálu. Niektoré základné pravidlá súvisiace s tepelnou kapacitou sú :

- Materiály s vyššou tepelnou kapacitou sa umiestňujú do miest priameho dopadu slnečných lúčov. Takto sa stávajú tepelne účinnejšie ako materiály ktoré získavajú teplo len nepriamo. Domy, ktoré závisia na tepelnej kapacite materiálov nepriamo získavajúcich teplo, si vyžadujú 3 až 4-krát viac materiálu ako domy s priamym dopadom svetla a absorpciou tepla.
- Pasívne solárne domy majú lepšie vlastnosti, keď sú teplo pohlcujúce materiály rozmiestnené na väčšej ploche. Povrch týchto materiálov by mal byť minimálne 3 až 6-krát väčší ako plocha na juh orientovaných okien. Podlaha, ktorá je 8 až 10 cm hrubá, je tepelne účinnejšia ako podlaha s dvojnásobnou hrúbkou.
- Teplo pohlcujúce materiály by sa nemali prekryvať. Koberce prakticky eliminujú úspory získané z pasívnych solárnych prvkov.
- Dôležitá je aj farba materiálov pohlcujúcich teplo. Najlepšie pohlcujú teplo tmavé farby. Hoci stredné odtiene môžu pohlcovať až o 30 % menej slnečného žiarenia ako farby tmavé, sú tiež vhodným prvkom v solárnom dizajne. Farba vnútorných stien budovy výrazne neovplyvňuje účinnosť solárneho dizajnu.
- Materiály pohlcujúce teplo by mali byť izolované. Izolácia podláh a iných plôch výrazne znižuje straty energie.



Pri navrhovaní tepelnej kapacity budov alebo pri porovnávaní rôznych materiálov je potrebné poznať tepelnú kapacitu týchto materiálov, ktorá sa udáva v $J/m^3 \cdot \text{stupeň Celzia}$. Keďže táto charakteristika vyjadruje schopnosť materiálu pohlcovať a skladovať teplo je vyššia hodnota znakom lepších tepelno-akumulačných vlastností.

Tepelná kapacita pre vybrané materiály.

Materiál	Hustota (kg/m³)	Tepelná kapacita (J/m³. stupeň C)
Voda	1000	4186
Kameň	2500	2250
Betón	2100	1764
Tehla	1700	1360
Materiály, ktoré nie sú vhodné ako tepelný akumulátor		
Drevo	610	866
Plasty	950	798
Sklo	25	25

V minulosti existovali pokusy architektov využiť ako tepelný akumulátor domu vodu skladovanú v objemných nádržiach alebo kamenné bloky. Teplo takto naakumulované bolo potom rozvádzané po budove systémom čerpadiel a ventilátorov. Tieto akumulátory sa však ukázali ako veľmi nepraktické, drahé, vyžadovali komplikovaný systém regulácie, navyše predstavovali živnú pôdu pre rôzne huby a mikroorganizmy, a preto sa od ich používania upustilo. Iným dôvodom ich odmietnutia bolo aj to, že záviseli na elektrine, vyžadovali si údržbu a nefungovali tak, ako sa od nich očakávalo.

TEPELNÁ IZOLÁCIA

Izolačné materiály sú pre solárnu architektúru nesmierne dôležité. Tepelný zisk môže byť veľmi rýchlo vykompenzovaný únikmi tepla z budovy v dôsledku slabej izolácie. Kľúčovou úlohou je teda kontrolovanie toku tepla cez vonkajší materiál budovy. Na trhu existuje viacero izolačných materiálov. Niektoré, hlavne porózne materiály, fungujú na princípe odporu vzduchu zachytenom v drobných medzerách medzi vláknami alebo medzi bunkami vytvorenými v rôznych plastových resp. penových štruktúrach (polystyrén, polyuretán). Inými typmi izolačných materiálov sú rôzne reflexné fólie, ktoré odrážajú energiu (žiarenie) mimo objektu alebo povrchu.

CHLADENIE

V mnohých častiach sveta je pasívna solárna architektúra využívaná nielen na ohrievanie budovy ale aj na chladenie. Jednou z najosvedčenejších metód ako je možné budovu účinne chladiť, je tepelne ju prepojiť so zemou, ktorá má konštantnú teplotu. Umiestnenie prízemí minimálne jeden meter pod zem poskytuje rovnomernejšiu vonkajšiu teplotu, ktorá pomáha tak chladeniu ako aj vykurovaniu. Primeraná izolácia a kvalita stavebných prác sú však nevyhnutnou podmienkou pre kvalitu podzemnej stavby. Tepelná izolácia je najlepšia a tiež najekonomickejšia cesta ako temperovať budovu. Využitie tepelnej kapacity zeme a dobrej izolácie udržuje dom na primeranej teplote. Objekty vrhajúce tiež zvonku i zvnútra okien (žalúzie, záclony), ventilácia a rôzne reflexné filmy sú tiež veľmi dôležitými prvkami na udržanie vnútornej teploty budovy.

Z hľadiska chladenia budovy je vnútorné tienenie okien (záclony) menej účinné ako vonkajšie, nakoľko k blokovaniu slnečného žiarenia dochádza až v miestnosti, kde sa časť tepelného žiarenia absorbovala. V prípade, keď nie sú k dispozícii vonkajšie žalúzie alebo rolety, je vnútorné tienenie nevyhnutné. Reflexné filmy a nátery, ktoré sa nanášajú na sklo a často je možné sa s nimi stretnúť na administratívnych budovách, sú schopné odraziť až 85 % dopadajúceho žiarenia. Takýto film blokuje žiarenie počas celého roka, a je preto pre solárny dizajn nevhodný hlavne na oknách orientovaných na juh. Môže však byť účinný na netienených na východ a západ orientovaných oknách. Tieto filmy sa odporúčajú používať na oknách s čiastočným tienením, pretože absorbujú slnečné žiarenie a zohrievajú sklo nerovnomerne. Nerovnomerné ohrievanie skla môže spôsobiť jeho prasknutie alebo môže poškodiť tesnenie medzi tabuľami skla.

SLNEČNÉ KOLEKTORY

Zohrievanie vody Slnkom je jedným z najstarších spôsobov využívania slnečnej energie. Zariadenia, ktoré sa pre takéto účely v súčasnosti používajú, sa nazývajú slnečné kolektory. Kolektory pohlcujú slnečné žiarenie a premieňajú ho na teplo. Toto teplo je skladované vo vode alebo vo vzduchu a používa sa na prípravu teplej vody v budovách. Môže sa však využiť aj na ohrievanie bazénov, varenie alebo sušenie poľnohospodárskych plodín. Slnečné kolektory sa dajú využiť prakticky všade tam, kde sa vyžaduje teplo. Príprava teplej vody je po vykurovaní druhou najvyššou položkou, ktorú platí priemerná rodina u nás za energiu spotrebovanú v domácnosti. Pre niektoré domy predstavuje dokonca najväčšiu položku. Ohrievanie vody slnečnými kolektormi môže výrazne znížiť náklady za teplo a to často až o 70%. Slnečný kolektor, ktorý je možné tiež využiť na predohrev vody, je jednoduché zariadenie a nevyžaduje si takmer žiadnu údržbu. Kolektor zohrieva vodu na veľmi jednoduchom princípe, s ktorým sa väčšina ľudí stretla napr. v automobile alebo v záhradnej hadici, na ktorú dlhší čas svieti Slnko. Voda alebo predmety vo vnútri automobilu sa v nich môžu zohriať na veľmi vysokú teplotu. Slnečný kolektor sa zohrieva rovnako, pričom využíva absorbátor umiestnený v tepelno-izolovanom ráme, ktorý umožňuje podstatne zvýšiť účinnosť prestupu tepla. Aj keď sa dnes kolektory uplatňujú hlavne pri príprave teplej úžitkovej vody, je energiu nimi vyrobenú možné využívať aj na vykurovanie (prikurovanie) v objektoch. V takomto prípade sa však používajú kolektory s väčšou plochou resp. vákuové kolektory napojené na systém podlahového kúrenia. Často je však potrebné mať aj zálohový systém kúrenia, čo zvyšuje investičné náklady a cenu energie. Vykurovanie objektov slnečnými kolektormi je takto v našich podmienkach (poznačených zvýhodňovaním klasických fosílnych palív) dnes zväčša neekonomické. Príprava teplej úžitkovej vody sa i napriek pretrvávajúcim dotáciám do klasickej energetiky ukazuje ako podstatne ekonomickejšia. Kvalitné slnečné kolektory sú schopné ročne pokryť 60-75% energie potrebnej na prípravu teplej vody pre priemerný rodinný dom, pričom v období od apríla do októbra je možné úplne spoľahnúť sa na slnečnú energiu. Veľmi sľubným sa ukazuje aj využitie solárnych kolektorov na ohrev vzduchu pre poľnohospodárske a potravinárske účely. Tieto kolektory, v ktorých namiesto vody sa ohrieva vzduch (ďalej rozvádzaný ventilátorom), je možné využiť napr. na sušenie dreva, sena alebo iných plodín. Príklady využitia vzdušných kolektorov existujú vo viacerých krajinách, pričom len vo Švédsku ich bolo inštalovaných viac ako 200.000 m². Umiestnené bývajú na strechách stodôl a využívajú sa hlavne na sušenie sena. Dnes sú slnečné kolektory inštalované tak na rodinných domoch ako aj na poľnohospodárskych farmách, umývačkách áut, reštauráciách alebo priemyselných budovách. Tento pestrý zoznam miest má jedno spoločné - všade je potrebná teplá voda. Tým, že si kolektory našli cestu prakticky do všetkých kútov sveta, sa ukázala ich životaschopnosť a prínos nielen pre užívateľa ale aj pre ochranu životného prostredia.

HISTÓRIA

Slnkom ohrievaná voda sa využívala dávno pred tým, ako fosílna palivá začali určovať smer našej energetickej spotreby. Základné princípy ohrevu sú známe od nepamäti. Čierny povrch sa zohrieva na Slnku rýchlejšie ako biely alebo svetlý. A práve tento princíp využívajú dnešné slnečné kolektory. Prvý známy plochý kolektor bol vyvinutý v roku 1767 švajčiarskym vedcom Horacom de Saussurom a neskôr bol zdokonalený Johnom Herschelom, ktorý ho využíval na varenie jedla počas svojej expedície v Južnej Afrike v roku 1830.

Technológia slnečných kolektorov sa vyvinula do približne súčasnej podoby v roku 1908, kedy William J. Bailey z americkej oceliarne Carnegie Steel Company vyrobil kolektor s izolovaným rámom a medenými trúbkami. Kolektor bol veľmi podobný termosifónu (pozri nižšie). Bailey predal asi 4000 kusov kolektorov do konca 1. svetovej vojny a podnikateľ z Floridy, ktorý jeho patent kúpil, predal ďalších približne 60.000 kusov do roku 1941. Obmedzenie predaja medi v USA počas 2. svetovej vojny viedlo k prudkému poklesu výroby a predaja kolektorov. Záujem o tieto zariadenia sa objavil až po vypuknutí ropnej krízy a obrovskom náraste cien energie v roku 1973. Táto kríza významne pomohla technológiám využívajúcim obnoviteľné zdroje energie na celom svete. Narastajúca podpora a investície do vývoja nových technológií znamenali, že od 70-tych rokov 20. storočia sa účinnosť solárnych systémov veľmi zvýšila. Nové sklá a materiály pokrývajúce kolektory, selektívne farby nanášané na absorbátor, zlepšená izolácia to všetko viedlo k vyšším energetickým ziskom.

TRH SO SLNEČNÝMI KOLEKTORMI

Slnečné kolektory sú dnes už vyspelou technológiou, ktorá sa uplatňuje prakticky po celom svete. Trh s plochými kolektormi predstavuje významnú položku v krajinách ako sú Izrael, Čína, Cyprus, Japonsko, Austrália, Rakúsko, Nemecko, Grécko, Turecko alebo USA. Predaj v Európe sa orientuje hlavne na domácnosti, kde okrem prípravy teplej úžitkovej vody sa využíva aj solárne vykurovanie budov a vyhrievanie bazénov. Svetová produkcia slnečných kolektorov v roku 1995 dosiahla 1,3 milión m², pričom Európsky trh vrátane stredomorských štátov predstavoval asi 40% produkcie. Celková plocha inštalovaných kolektorov presiahla 30 milión m² z toho v EÚ 8 mil. m². Predaj má od roku 1980 stále rastúci trend, pričom celosvetový nárast výroby predstavuje asi o 20 % za rok.

Medzi európskymi krajinami je na čele výroby Nemecko a Grécko, ktoré exportuje až 40 % svojej produkcie. Cieľom gréckeho priemyslu je zvýšiť ročnú výrobu do roku 2005 na 1,3 milión solárnych systémov s celkovou plochou kolektorov 5 milión m². Projekt realizovaný na Kréte si vyžiada inštaláciu 20.000 kolektorov počas dvoch rokov. Na gréckom trhu je v súčasnosti inštalovaných 70.000 kolektorových systémov ročne, čo prispieva k zníženiu emisií CO₂ o 1,5 miliónov ton. Z pohľadu celkovej inštalovanej plochy kolektorov je z krajín EÚ najlepšie Nemecko so 450.000 m² (1997) pred Rakúskom s 210.000 m². Predaj slnečných kolektorov v EÚ v roku 1996 predstavoval viac ako 700.000 m² plochých kolektorov so skleneným pokrytím a asi 150.000 m² bez pokrytia. Ukazuje sa, že nárast predaja bude pokračovať aj naďalej, nakoľko EÚ prijala významné opatrenia na podporu obnoviteľných zdrojov energie. Výroba slnečných kolektorov významne prispela aj k tvorbe nových pracovných miest. V roku 1999 v tomto sektore pracovalo asi 10.000 ľudí.

Výroba plochých presklenných kolektorov v niektorých krajinách v roku 1994.

	Výroba v m²
Nemecko	170.000
Grécko	165.000
Rakúsko	100.000
Veľká Británia	40.000
Dánsko	20.000
Ostatní	55.000
EÚ	550.000

Plocha slnečných kolektorov inštalovaných v niektorých krajinách a regiónoch.

	Plocha kolektorov v m²
Stredomorské krajiny	8,5 milión
USA	6,5 milión
Japonsko	6 milión
EÚ	5,6 milión
Austrália	2,5 milión
Čína	1,5 milión

Plocha slnečných kolektorov na jedného obyvateľa bola v roku 1992 najväčšia na Cypre a v Izraeli - 0,5 m², za ktorým nasledovalo Grécko a Rakúsko. Analýza štatistik predaja slnečných kolektorov na jedného obyvateľa ukazuje, že nie klimatické, ale politicko-ekonomické podmienky v krajine určujú objem výroby a predaja. Úspech tejto technológie na Cypre nie je len výsledkom toho, že tu nie sú fosílné zdroje energie, ale aj cielenej vládnej politiky. Silné legislatívne zázemie v prospech využívania slnečnej energie existuje aj v Izraeli. Izrael a Cyprus sú jedinými krajinami, kde existuje povinnosť inštalovať solárne systémy na prípravu teplej vody na všetkých nových budovách. Toto opatrenie bolo zavedené postupne. V Izraeli sa najskôr vyžadovalo aby všetky budovy vyššie ako 8 poschodí boli vybavené solárnym systémom s dostatočným zásobníkom. Toto bolo neskôr rozšírené na všetky nové obytné budovy v krajine. V roku 1983 bol prijatý zákon, podľa ktorého všetky nové hotely, školy a nemocnice musia mať inštalované solárne systémy. Tieto opatrenia boli sprevádzané finančnou podporou zo strany štátu. Podobný vývoj prebehol aj na Cypre, kde je v súčasnosti 90% individuálnych rodinných domov a 15% viac bytových objektov vybavených slnečnými kolektormi.



Slnečné kolektory na strechách domov v Izraeli.

Na Slovensku bolo do roku 1997 inštalovaných asi 20.000 m² slnečných kolektorov, ktoré sa využívajú prevažne v rodinných domoch. Výnimkou nie sú však ani kolektory v priemyselných resp. poľnohospodárskych podnikoch. Medziročný prírastok novo-inštalovaných kolektorov je u nás veľmi malý a v roku 1994 bol len 0,25 m² na 1000 obyvateľov. Za zmienku stojí, že v Rakúsku je tento prírastok 15,4 m²/1000 obyvateľov, pričom medziročný nárast predstavuje 20-25%. V súčasnosti v tejto alpskej krajine pripadá 73 m² slnečných kolektorov na 1000 obyvateľov. Na Slovensku je to takmer 20-krát menej - 3,6 m²/1000 obyvateľov. Je evidentné, že množstvo energie, ktorú je zo slnečných kolektorov možné získať, je v oboch krajinách zhruba rovnaké. Uvedené rozdiely vo využívaní sú však výsledkom cieleného úsilia, na ktorom sa v Rakúsku podieľa veľká časť obyvateľstva. Situácia u nás je o to smutnejšia, že na Slovensku dnes existuje dostatočná materiálna základňa pre širšie uplatnenie týchto technológií, veď v Žiari nad Hronom sídli jedna z najväčších svetových firiem vyrábajúcich kolektory (zn. HELIOSOLAR) špičkovej kvality. Dnes však len 3% z produkcie Thermo/Solaru končí na našom trhu, čo je výsledkom nielen vysokej konkurencie schopnosti kolektorov na zahraničných trhoch, ale aj nepriaznivých podmienok na domácom trhu. Hlavné bariéry u nás predstavuje nízka cena energie, malá informovanosť verejnosti, dlhá doba návratnosti vložených investícií, nedostatok kapitálu, vysoké úroky a relatívne vysoké investície pre domácnosti.

POTENCIÁL

Celkový potenciál ročnej výroby slnečných kolektorov v Európe sa odhaduje na 360 milión m², čo predstavuje finančný objem asi 50 miliárd dolárov USD pri ročnom náraste 23%. Očakáva sa, že do roku 2005 by plocha inštalovaných kolektorov s pokrytím v EÚ mohla dosiahnuť 28 miliónov m². Plocha kolektorov bez skleneného pokrytia (plastové kolektory na vyhrievanie bazénov) by mala dosiahnuť 20 milión m².

TYPY SLNEČNÝCH KOLEKTOROV

Typický slnečný kolektor pracuje ako miniatúrny skleník, ktorý zachytáva teplo pod skleneným (alebo iným priesvitným) krytom. Keďže slnečné žiarenie má difúznú povahu a jeho intenzita je relatívne nízka, kolektorová plocha býva zvyčajne dosť veľká (niekoľko m²). Kolektory sú vyrábané v rôznych veľkostiach a tvaroch v závislosti na požiadavkách ich využitia. Na trhu existuje viacero typov, ktoré možno rozdeliť do niekoľkých kategórií. Jedno z takýchto rozdelení je v závislosti na teplote, ktorú v pracovnom médiu (voda alebo vzduch) kolektory dosahujú.

- Nízkoteplotné kolektory zohrievajú vodu na menej ako 50 st. Celzia. Zvyčajne bývajú tvorené len absorbátorom (kovovým alebo plastovým) a používajú sa hlavne na ohrev vody v bazénoch.
- Stredoteplotné kolektory dosahujú teploty približne 60 až 80 st. Celzia a najčastejšie sa používajú na prípravu teplej vody v budovách. Sem patria aj u nás najrozšírenejšie ploché presklenné kolektory. Teplotným médiom môže byť aj vzduch prechádzajúci cez trubky kolektora. Osobitnú skupinu tvoria tzv. vákuové kolektory, ktoré koncentrujú žiarenie do ohniska, v ktorom prechádza trubka s teplotnosným médiom. Koncentráciou slnečného žiarenia sa dosahuje vyšší teplotný zisk (viac ako "jedno slnko"), čo dáva možnosť využiť takéto kolektory aj na vykurovanie budov.
- Vysokoteplotné kolektory predstavujú hlavne parabolické zrkadlá alebo iné fokusujúce konštrukcie, ktoré zohrievajú teplotnosné médium na viac ako 100 st. Celzia. Takéto solárne termické zariadenia sa používajú hlavne na výrobu elektriny. Uplatňujú sa predovšetkým v oblastiach s vysokou intenzitou slnečného žiarenia.

Takéto rozdelenie kolektorov je však len orientačné a častejšie je možné sa stretnúť s rozdelením podľa konštrukcie kolektorov, kde tiež existuje značná rôznorodosť.

KOLEKTORY S INTEGROVANÝM ZÁSOBNÍKOM

Najjednoduchšou formou solárneho kolektora je tzv. "zásobníkový typ" alebo termosifón. Toto označenie vychádza z toho, že kolektor je súčasne absorbér a zásobník teplej vody súčasne. Zásobníkové kolektory sa využívajú na predohrev alebo ohrev vody. Predohrev vody je výhodný, pretože znižuje náklady na energiu potrebnú na vlastný ohrev vody v domácnosti. Zásobníkové kolektory sú lacnou alternatívou bežných plochých kolektorov. Vyznačujú sa tým, že nemajú žiadne pohyblivé časti, nevyžadujú

takmer žiadnu údržbu a majú nulové prevádzkové náklady. Kolektory s integrovaným zásobníkom využívajú zvyčajne jednu čiernu nádrž naplnenú vodou a umiestnenú do tepelno-izolovaného boxu nad absorbérom. Niektoré boxy majú tiež reflektory, ktoré zvyšujú zisk tepelného žiarenia. Nevýhodou týchto kolektorov je, že musia byť chránené pred mrazom a ich použitie v zime prakticky nie je možné.

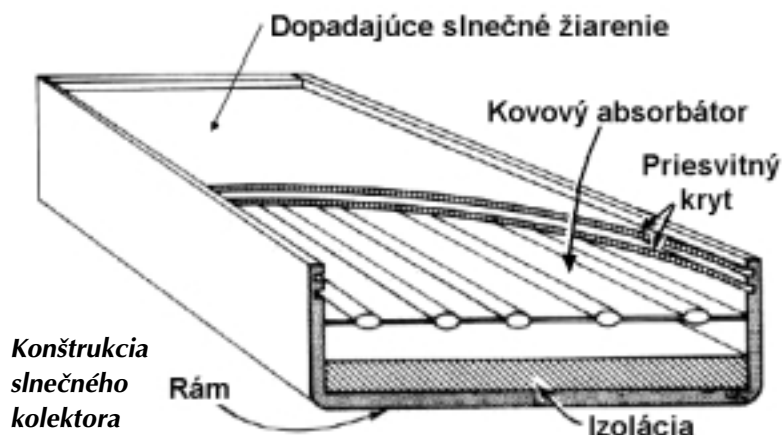
PLOCHÉ KOLEKTORY

Ploché kolektory sú najčastejšie používanými kolektormi na prípravu teplej vody. Typický kolektor predstavuje izolovaný box so skleneným alebo iným pokrytím z priesvitného materiálu a čierny plochý absorbátor. Bočné strany kolektora sú izolované podobne ako spodná strana, čím sa znižujú straty energie. Použitý transparentný materiál je dôležitý z hľadiska strát energie. Sklo s nízkym obsahom železa sa vyznačuje vysokou priepustnosťou pre dopadajúce svetelné žiarenie a malou priepustnosťou pre unikajúce tepelné žiarenie z kolektora. Slnéčné žiarenie prechádza transparentným krytom a dopadá na absorbátor, ktorý sa zohrieva, a tak premieňa toto žiarenie na teplo. Absorbátor býva najčastejšie čierny, nakoľko tmavá farba absorbuje viac slnečného žiarenia ako farba svetlá. Teplo sa v absorbátore odovzdáva teplotonosnému médiu, ktorým môže byť tak voda ako aj vzduch, prechádzajúci v trubkách absorbátora. Pretože väčšina čiernych farieb odráža asi 10% dopadajúceho žiarenia, niektoré kolektory bývajú pokryté tzv. "selektívnym náterom", ktorý zvyšuje absorpciu tepla v kolektore (znižuje úniky), a tiež býva trvanlivejším ako bežná čierna farba. Selektívny náter predstavuje veľmi tenkú vrstvu amorfného polovodiča naneseného na kovový substrát. Tieto nátery majú vysokú absorpciu v oblasti viditeľného svetla a malú emisivitu v oblasti dlhovlnového infračerveného žiarenia. Absorbátory bývajú vyrobené z kovov, najčastejšie medi alebo hliníka, ktoré sa vyznačujú veľmi dobrou tepelnou vodivosťou. Med je drahšia ako hliník, avšak vyznačuje sa vyššou vodivosťou a lepšou odolnosťou proti korózii.

KVAPALINOVÉ KOLEKTORY

V kolektoroch s kvapalinou ako teplotonosným médiom slnečná energia zohrieva vodu alebo nemrznúcu zmes prechádzajúcu trubkami v absorbátore. V takomto kolektore sú trubky pripevnené (privarené) k absorbátoru tak, aby teplo pohltené absorbátorom preniklo s najnižšími stratami do kvapaliny. Trubky prechádzajú absorbátorom buď paralelne s osobitnými vstupmi a výstupmi na hornej a dolnej strane alebo serpentinovite. Serpentinovité rozloženie znižuje možné úniky kvapaliny na vstupe resp. výstupe a zaisťuje rovnaký prietok. Takýto tvar však môže predstavovať problém v systémoch, ktoré sa musia na zimu vypustiť, pretože v ohyboch trubky môže zostávať voda. Najjednoduchšie ploché kolektory využívajú úžitkovú vodu, ktorá sa po prechode kolektorom zohrieva, potrubím prechádza do domu, kde sa využíva. Takýto systém sa nazýva samotiažny. V miestach, kde sa vyskytujú mrazy, sa však voda z takýchto systémov musí na zimu vypúšťať, alebo sa musí do vody primiešavať nemrznúca zmes.

Ploché kolektory sa v našich podmienkach najčastejšie využívajú spolu so zásobníkom vody, kde sa teplá voda z kolektora skladuje. Takýto zásobník slúži hlavne ako tepelný výmenník, do ktorého z jednej strany priteká studená voda a z druhej strany sa odoberá teplá voda vyrobená kolektorom. Zásobník býva umiestnený mimo kolektora v budove. Takéto systémy využívajú obehové čerpadlo a niektoré regulačné prvky. Ploché kolektory s kvapalinovým teplotonosičom sa okrem prípravy úžitkovej teplej vody využívajú niekedy aj na vykurovanie priestorov. Kolektory bez transparentného pokrytia sa najčastejšie využívajú na ohrev vody v bazénoch. Pretože takéto kolektory nepracujú s vysokou teplotou vody, používajú sa na ich výrobu lacné materiály najčastejšie plasty alebo guma. Taktiež ich použitie hlavne v letných mesiacoch znamená, že nepotrebnú nemrznúcu zmes a pracujú s obvyčajnou vodou.



VZDUCHOVÉ KOLEKTORY

Ploché kolektory, ktorých teplonosným médiom je vzduch, majú výhodu v tom, že v zime nezamrznú a v horúcom lete nemôže dôjsť k varu vody ako v nesprávne prevádzkovaných kvapalinových kolektoroch. Hoci úniky tepla z kolektora sa tu ťažšie zisťujú, dôsledok takýchto únikov nepredstavuje taký vážny problém ako u kvapalinových kolektorov. Na konštrukciu vzduchových systémov sa tiež využívajú lacnejšie materiály ako napr. plasty, pretože ich pracovná teplota je zvyčajne nižšia ako v kvapalinových kolektoroch.

Vzduchové kolektory sú jednoduché zariadenia využívané hlavne na vykurovanie priestorov a sušenie poľnohospodárskych rastlín. Absorbátorom býva kovový materiál (plech), cez ktorý prúdi vzduch vháňaný ventilátorom. Pretože vzduch vedie teplo oveľa menej ako voda, výsledkom je, že prestup tepla medzi absorbátorom a vzduchom je nižší, čo znamená menší tepelný zisk ako v prípade kvapalinových kolektorov. V niektorých vzduchových kolektoroch sa používajú aj ventilátory umiestnené na absorbátore, aby sa zvýšila turbulencia vzduchu a zlepšil prenos tepla. Nevýhodou takýchto systémov je vyššia spotreba elektrickej energie na pohon ventilátorov, a tým aj vyššie prevádzkové náklady. V oblastiach s chladnejšou klímou býva vzduch vháňaný medzi absorbátor a spodnú stenu izolácie, aby sa znížili straty tepla cez sklo. Pri prechode vzduchu medzi absorbátorom a spodnou časťou kolektora (najjednoduchší typ kolektora) dochádza k zohriatiu vzduchu o 3 až 5 st. Celzia v dôsledku vysokých strát tepla vyžarovaním a vedením. Straty tepla cez povrch kolektora je možné čiastočne znížiť pokrytím kolektora priehľadným materiálom s nízkou priepustnosťou infračerveného žiarenia. Toto pokrytie však podstatne znižuje intenzitu dopadajúceho žiarenia na povrch, avšak v dôsledku znížených strát teplota ohriateho vzduchu môže vzrásť na 20 až 50 stupňov Celzia podľa kvality izolácie a prietoku vzduchu. Ďalšie zníženie strát tepla (a zvýšenie zisku) je možné dosiahnuť tým, že sa vzduch vháňa do kolektora nad i pod absorbátorom čím sa zdvojnásobí plocha prenosu tepla. Straty tepla vyžarovaním sú znížené v dôsledku nižšej teploty absorbátora.

Niektoré typy vzduchových kolektorov nevyužívajú priehľadné pokrytie alebo izolačný box, v ktorom sa nachádza absorbátor. Takéto kolektory sú vyrobené len z čierneho perforovaného kovového materiálu, ktorý predstavuje vlastný absorbátor. Slnčné žiarenie zohrieva kov a ventilátor vháňa vzduch do jeho otvorov. Typický kolektor s rozmermi 2,4x0,8 metra je schopný zohriať 0,002 m³ vzduchu za sekundu. Dokonca aj počas zimného slnečného dňa dokáže takýto kolektor zohriať vzduch až o 28°C nad okolitú teplotu. Perforované kolektory sa vyznačujú relatívne vysokou účinnosťou - viac ako 70% pre niektoré komerčné zariadenia. Prednosťami vzduchových kolektorov sú jednoduchosť a spoľahlivosť, pričom ich životnosť býva 10 až 20 rokov.

Súčasnité použitie vzduchových kolektorov sa dnes obmedzuje len na prípravu horúceho vzduchu, na vykurovanie a sušenie poľnohospodárskych produktov hlavne v rozvojových krajinách. Hlavným obmedzením brániacim širšiemu využitiu týchto kolektorov sú:

- vysoké náklady komerčných zariadení,
- veľká plocha kolektorov, ktorá je potrebná vzhľadom na nízku hustotu energie a nízku špecifickú tepelnú kapacitu vzduchu,
- veľký počet trúbiek rozvádžajúci horúci vzduch,
- vysoké nároky na ventilačný systém
- ťažkosti so skladovaním vyrobenej energie.

V krajinách s nízkou intenzitou slnečného žiarenia a dlhšími obdobiami zlého počasia je použitie vzduchových kolektorov na vykurovanie problematické, pretože býva často nevyhnutné inštalovať dodatočný vykurovací systém, čo zvyšuje náklady až na hranicu kedy sa solárny systém stáva neekonomický. Sľubnou cestou znižovania finančných nákladov je zabudovanie vzduchových kolektorov do stien a striech budov a výroba kolektorov z prefabrikovaných prvkov.

VÁKUOVÉ KOLEKTORY

Ploché kolektory sa uplatňujú predovšetkým v oblastiach s dostatkom slnečného svitu a ich hlavné využitie sa obmedzuje na letné a čiastočne jesenné a jarné obdobie. Ich výhody sa rýchlo strácajú

v chladnejšom období so zatiahnutou oblohou. Navyše vlhkosť časom spôsobuje koróziu vnútorných materiálov, čím sa znižuje účinnosť zariadenia. Všetky tieto nevýhody odstraňujú tzv. vákuové kolektory. Tieto kolektory zohrievajú vodu pre také aplikácie, ktoré si vyžadujú vyššie teploty. Vo vákuovom kolektore slnečné žiarenie dopadá cez vonkajšiu sklenenú trubicu na trubicu absorbátora, umiestnenú vo vnútri a zohrieva kvapalinu pretekajúcu cez absorbátor. Obe trubice sú vákuovo izolované, čo výrazne znižuje tepelné straty vedením. Hoci straty vyžarovaním nie je možné úplne odstrániť, sú oveľa nižšie ako v plochom kvapalinovom kolektore. Vlastný kolektor pozostáva z viacerých paralelne umiestnených sklenených trubíc, pričom v každej z nich sa nachádza samostatný absorbátor pokrytý selektívnym náterom. Ohriata kvapalina ďalej prúdi do tepelného výmenníka (zásobníka), z ktorého sa potom odoberá pre ďalšie použitie. Vákuové kolektory majú modulárny charakter a trubice môžu byť pridávané alebo odoberané s ohľadom na množstvo potrebnej teplej vody. Vákuum v sklenenej trubici je považované za najlepší izoláciu, ktorá súčasne chráni absorbátor pred vonkajšími vplyvmi.

Na trhu existuje viacero typov vákuových kolektorov. Niektoré využívajú dokonca tretiu sklenenú trubicu vo vnútri absorbátora alebo iné konfigurácie trubíc. Jeden typ vákuového kolektora pozostáva z vnútorných trubíc, z ktorých každá je súčasne zásobníkom pre 19 litrov vody, čím odpadá potreba osobitného zásobníka mimo kolektora. Reflektory umiestnené pod vákuovou trubicou sú schopné dodatočne zvýšiť množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia na trubicu absorbátora. Vonkajší atmosférický tlak a problémy spojené s utesnením však robia z vákuových kolektorov technicky mimoriadne náročné zariadenie. Aby kolektor vydržal značný atmosférický tlak, je vybavený viacerými vnútornými podporami. Avšak problémy s dlhodobým udrжанím vákua a dosiahnutie prijateľných výrobných nákladov sú doposiaľ hlavnou prekážkou ich rozšírenia.



Vákuové kolektory sú však účinnejšie a dosahujú vyššie teploty ako ploché kolektory z viacerých dôvodov. Jednak sú schopné využívať tak priame ako aj rozptýlené slnečné žiarenie, čo spolu s minimálnymi stratami ich predurčuje pre chladnejšie oblasti. Navyše kruhový tvar trubice znamená, že slnečné žiarenie dopadá kolmo na absorbátor väčšinu dňa. Pre porovnanie: plochý kolektor s fixovanou polohou využíva maximum slnečného svitu len na poludnie. Hoci vákuové kolektory sú s hľadiska svojich technických parametrov výhodnejšie ako ploché, ich cena je oveľa vyššia. Pre bežného užívateľa, ktorý nepožaduje vysoké teploty je preto často výhodnejšie nahradiť menší zisk väčšou plochou klasického plochého kolektora, čo v mnohých prípadoch nebýva problém.

KONCENTRUJÚCE KOLEKTORY

Koncentrujúce kolektory využívajú zrkadliace povrchy, ktoré koncentrujú slnečné žiarenie do ohniska, v ktorom sa nachádza absorbátor. Tieto zariadenia dosahujú oveľa vyššie teploty ako ostatné kolektory, na

druhej strane sú schopné využívať len priame slnečné žiarenie, čo znamená, že počas oblačných dní ich tepelný zisk je prakticky zanedbateľný. Vysoké teploty sa v koncentrujúcich kolektoroch dosahujú tým, že veľká zrkadliaca plocha koncentruje žiarenie do malej plochy absorbátora. Niektoré typy koncentrujú žiarenie do jedného bodu (ohniska), kým iné do jednej ohniskovej čiary. Absorbátorom prechádza kvapalina, ktorá vedie vytvorené teplo do osobitného zariadenia, kde sa môže meniť napr. i na elektrickú energiu (pozri kap. Solárna termálna výroba elektriny). Koncentrujúce kolektory sú prakticky využiteľné v oblastiach s veľmi vysokou intenzitou slnečného žiarenia blízko rovníka resp. v púštyných oblastiach s minimom oblačných dní. Keďže najväčší zisk sa dosahuje pri kolmom dopade žiarenia na zrkadlá, sú tieto zariadenia vybavené natáčacím mechanizmom, ktorý mení ich polohu v priebehu dňa tak, aby boli stále nasmerované k slnku. Jednoduché natáčacie zariadenia menia polohu v smere od východu na západ. Natáčacie zariadenia s dvoma osami navyše sledujú pohyb slnka aj od severu na juh a optimálne sledujú jeho polohu počas celého roka. Vzhľadom na to, že koncentračné kolektory sú drahé a natáčacie zariadenia si vyžadujú častú údržbu, ich použitie sa obmedzuje len na niektoré komerčné aplikácie.

SLNEČNÉ VARIČE A DESTILÁTORY

Okrem klasických kolektorov je možné slnečné žiarenie využívať aj v relatívne veľmi jednoduchých a lacných zariadeniach - solárnych boxoch používaných na varenie alebo destiláciu vody. Slnečné variče (pozri nižšie) sú nenáročné zariadenia z hľadiska ich výroby i použitia. Často pozostávajú len z izolovanej krabice na vnútornej strane pokrytej reflexným materiálom a prikrytej skleneným krytom. Vybavené bývajú aj vonkajším reflektorom, ktorý odráža slnečné žiarenie do vnútorného priestoru, v ktorom sa nachádza nádoba s potravinami určenými na varenie. Takéto zariadenia dosahujú vo vnútri až bod varu, čo umožňuje ich využívanie aj na sterilizáciu a ničenie baktérií. Slnečné destilačné zariadenia (pozri nižšie) sú zariadenia používané na prípravu destilovanej vody zo slanej morskej vody alebo kontaminovanej nepitnej vody. Pracujú na princípe vyparovania vody v uzatvorenom kontajneri, ktorého konštrukcia urýchľuje normálny proces vyparovania. Destilátor sa skladá z izolovaného na čierne natreného boxu, pokrytého priehľadným materiálom skloneným tak, aby skondenovaná čistá voda stekala do skladovacej nádrže.

POUŽITIE SLNEČNÝCH KOLEKTOROV

Slnečnú energiu premieňanú slnečnými kolektormi na užitočnú energiu je dnes možné využiť viacerými spôsobmi, z ktorých mnohé sú cenovo výhodné. Najčastejšie sa s nimi môžeme stretnúť pri:

- príprave teplej vody v domácnostiach, priemysle a komerčných budovách,
- ohreve vody pre bazény,
- vykurovaní budov,
- sušení rastlín,
- vykurovaní i chladení priestorov,
- destilácii vody a slnečnom varení.

Technológie pre uvedené aplikácie sa považujú za dostatočne vyvinuté a pre prvé dve aplikácie (príprava teplej vody a vyhrievanie bazénov) aj cenovo výhodné v porovnaní s inými technológiami prípravy teplej vody. Osobitnú kategóriu tvoria koncentrujúce kolektory, ktoré sú v niektorých oblastiach (púšte) ekonomicky výhodnými aj na výrobu elektrickej energie (pozri kapitolu o slnečnej výrobe elektriny).

PRÍPRAVA TEPLEJ VODY

Dnes vo svete pracuje niekoľko miliónov slnečných kolektorov vyrábajúcich teplú vodu. Tieto systémy poskytujú užívateľom často rovnaký komfort ako systémy s klasickými palivami, sú však z hľadiska ochrany prírody oveľa prijateľnejšie. Jeden kolektor je schopný zamedziť emisiám jednej až dvoch ton oxidu uhličitého počas jedného roka, ktoré by vznikli pri ohreve vody fosílnymi palivami. Emisie iných škodlivín ako sú oxidy síry dusíka alebo prachových častíc počas činnosti kolektora taktiež nevznikajú. Umývanie riadu alebo sprchovanie sa teplou vodou zohriatou slnečným žiarením v lete je prirodzenou a jednoduchou metódou ochrany prírody a úspory energie. Keď sú slnečné kolektory správne navrhnuté a inštalované, môžu byť aj estetickými prvkami na budove priťahujúcimi pozornosť a zvyšujúcimi úžitkovú hodnotu budovy. Na nových budovách však môžu byť kolektory zabudované do strechy tak, že sú pre vonkajšieho pozorovateľa prakticky neviditeľné.

Príprava teplej vody je v súčasnosti najrozšírenejším spôsobom využitia slnečných kolektorov. Aj v takých oblastiach ako je Severná Európa sú kolektory schopné pokryť energetické nároky na teplú vodu na 50 až 70%. Väčšie pokrytie je možné získať využitím tzv. sezónneho skladovania teplej vody (pozri kapitolu nižšie). V Južnej Európe sú kolektory schopné pokryť 70 až 90% energetických potrieb na prípravu teplej vody.

Zohrievanie vody kolektormi je veľmi účinnou metódou premeny slnečného žiarenia na energiu. Kým slnečné (fotovoltaické) články dosahujú účinnosť výroby elektriny asi 10-15%, slnečné kolektory majú účinnosť prípravy teplej vody 50 až 90%. Hoci slnečná energia nedokáže úplne pokryť celoročné nároky na prípravu teplej vody, slnečné kolektory v kombinácii s inými obnoviteľnými zdrojmi napr. drevom, štiepkami alebo peletami spaľovanými v kotloch na biomasu, sú schopné pokryť takúto potrebu počas roka bez nárokov na fosílna palivá.

FINANČNÉ NÁKLADY

Slnečné kolektory spolu s ostatnými nevyhnutnými zariadeniami (zásobník, čerpadlo, potrubie atď.) sa vyznačujú relatívne vysokou cenou celého zariadenia, ktorá v našich podmienkach môže pre jeden rodinný dom dosiahnuť i 100 tisíc korún. Nevýhodou je, že celú investíciu, ktorá je vyššia, ako v prípade plynového alebo elektrického boileru, je potrebné realizovať na začiatku. Fakt, že počas životnosti solárneho zariadenia nie je potrebné platiť za palivo znamená, že celkové náklady počas životnosti zariadenia sú zvyčajne nižšie ako v prípade plynového alebo elektrického boileru. Návratnosť vložených investícií závisí hlavne na cene fosílnych palív nahradených slnečným žiarením a v Európe sa pohybuje na úrovni 10 rokov. Životnosť solárnych zariadení však býva 20 i viac rokov. Veľkou výhodou je, že majiteľ takéhoto zariadenia nebude ohrozený rastom cien klasických palív v budúcnosti. Dôležitou črtou solárneho zariadenia je tzv. energetická návratnosť t.j. doba po ktorú zariadenie vyrobí toľko energie, koľko sa spotrebovalo na jeho výrobu. V Severnej Európe s minimom slnečného žiarenia je táto doba približne 3 roky.

KOLKO ENERGIE KOLEKTOR VYROBÍ?

Množstvo energie vyrobenej slnečným kolektorom závisí od dopadajúceho žiarenia a od účinnosti celého systému. Intenzita slnečného žiarenia sa často mení a je kľúčovým parametrom solárneho zariadenia. Účinnosť solárneho systému závisí na účinnosti kolektorov a stratách v obehovom systéme teplej vody (kolektor-zásobník). Keďže účinnosť obehového systému je závislá na viacerých špecifických parametroch v ďalšom je rozoberaná len účinnosť solárnych kolektorov. Účinnosť kolektora je definovaná ako podiel vyrobenej energie a energie dopadajúcej na kolektor. Je evidentné, že účinnosti sa pre rôzne typy kolektorov líšia a okrem intenzity dopadajúceho žiarenia závisia aj od tepelných a optických strát - väčšie straty znamenajú nižšiu účinnosť. Tepelné straty sú minimálne, keď je teplota vody kolektora rovnaká ako okolitá teplota vzduchu. Z tohto dôvodu vykazujú jednoduché absorbátory bez skleneného pokrytia pracujúce s nízkymi prevádzkovými teplotami a používané na vyhrievanie bazénov najvyššie účinnosti - až 90%. Avšak keby sa tieto kolektory použili na prípravu teplej vody, ktorá má zvyčajne teplotu asi 40 stupňov Celzia nad okolitou teplotou, ich účinnosť klesne na menej ako 20%. V takomto prípade sa najlepšie výsledky dosahujú s vákuovými a plochými kolektormi so selektívnym pokrytím. Keď sa vyžadujú ešte vyššie teploty vody napr. na vykurovanie, najlepšie výsledky sa dosahujú s vákuovými kolektormi.

Účinnosť slnečných kolektorov v Strednej Európe na poludnie v letnom dni (pre intenzitu žiarenia - 800 W/m²).

* Rozdiel medzi okolitou teplotou vzduchu a teplotou vody vo vnútri kolektora.

** Hodnoty pre nižšiu intenzitu žiarenia začiatkom jari (400 W/m²).

Typ kolektora	Účinnosť pri teplotnom rozdieli (*)		
	0 st. C (vyhrievanie bazénov)	40 st. C (príprava teplej vody pre domácnosti)	50 st. C (**) (vykurovanie priestorov)
Absorbátor bez pokrytia	90 %	20 %	0%
Plochý kolektor (neselektívne pokrytie)	75 %	35 %	0%
Plochý kolektor (selektívne pokrytie)	80 %	55 %	25 %
Vákuový kolektor	60 %	55 %	50 %

Pozn. Nízka účinnosť vákuových kolektorov v oblasti nízkych teplôt je spôsobená vysokými optickými stratami na zakrivenom povrchu skla.

Je evidentné, že kľúčovým parametrom pri výbere kolektora je popri jeho cene spôsob jeho využitia.

Porovnanie rôznych typov kolektorov na nemeckom trhu a ich ekonomické parametre sú uvedené v tabuľke.

Využitie	Typ kolektora	Prevádz. teplota °C	Výroba energie kWh/m ² /rok	Cena v DM	DM/kWh (*)
Vyhrievanie bazénu	Absorbátor	20-40	250-300	100-250	0,02-0,04
Príprava teplej vody	Plochý kolektor	20-70	250-450	800-1900	0,16-0,21
	Vákuový kolekt.	20-100	350-450	1500-2500	0,21-0,28
Sušenie	Vzduchový kolektor	20-50	300-400	400-1000	0,06-0,13

* na m² pri dobe životnosti 20 rokov.

NAVRHOVANIE SOLÁRNEHO SYSTÉMU NA PRÍPRAVU TEPLEJ VODY

Solárny systém môže byť navrhnutý ako jediný zdroj teplej vody, alebo môže byť doplnený iným zálohovým systémom pokrývajúcim nároky na energiu počas nepriaznivého počasia. Veľkosť celého systému závisí na počte miestností v budove, počte ľudí a spotrebe vody. Existuje niekoľko konfigurácií, vo všeobecnosti ich však je možné rozdeliť na aktívne systémy s čerpadlami a regulačnými prvkami na prenos teplej vody do zásobníka a pasívne systémy, ktoré využívajú prirodzenú cirkuláciu teplej vody.

Pri navrhovaní systému je najdôležitejšie určiť spotrebu teplej vody počas priemerného dňa. Ak je známa spotreba vody, je ďalej potrebné vypočítať veľkosť systému (plocha kolektorov, objem zásobníka). V nasledujúcej časti je uvedených niekoľko všeobecných pravidiel pri navrhovaní solárneho systému na prípravu teplej vody.

SLNEČNÝ KOLEKTOR

Slnečný kolektor je hlavnou časťou solárneho zariadenia. Najčastejšie sa využívajú ploché kolektory s priehľadným pokrytím absorbátora umiestneným v izolovanom boxe, ktorý drží celý kolektor pohromade. Keď je použité sklo ako pokrytie kolektora, je dôležité, aby malo nízky obsah železa a aby prepustilo aspoň 95% dopadajúceho slnečného žiarenia. V praxi sa nepoužíva viac ako jedna vrstva pokrytia. Ak sa používa priehľadný plastový materiál je dôležité, aby tento nepodliehal negatívnemu účinku ultrafialového žiarenia. Ako najlepšie sa v tomto smere ukázali polykarbonátové plasty. Absorbátor môže byť vyrobený z plechu s navarenými trúbkami, v ktorých preteká kvapalina. Absorbátor sa zvyčajne vyrába z medi alebo nehrdzavejúcej ocele. Bežné oceľové trubky spôsobujú značné problémy v dôsledku ich korózie. Je dôležité, aby absorbátor vydržal vysoké teploty, ktoré dosahujú 100-140°C pre kolektory s neselektívnym pokrytím a 150-200°C so selektívnym pokrytím.

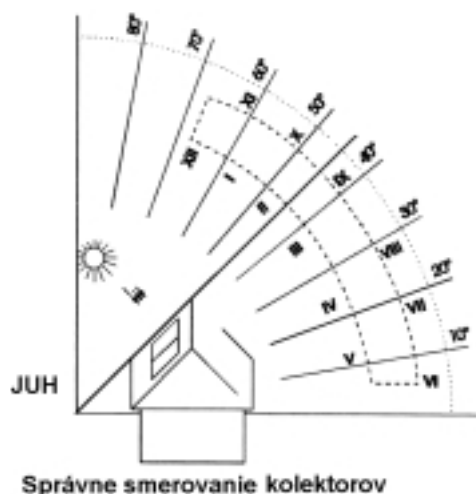
Výroba plochého kolektora si vyžaduje ohýbanie trúbok a ich privarovanie k plechu absorbátora. Čím väčší je kontakt medzi trúbkami a plechom, tým viac energie prenikne do kvapaliny prechádzajúcej kolektorom. Selektívne pokrytie špeciálnym náterom znamená nielen vyšší teplotný zisk ale odstraňuje aj problémy s "odplyňovaním" klasickej čiernej farby pri vysokej teplote. Pri normálnych podmienkach klasická čierna farba vyžaruje teplo viac do okolia ako ho odovzdáva kvapaline v trúbkách absorbátora. Materiál, z ktorého je vyrobená vonkajšia konštrukcia kolektora môže byť drevo, plast, oceľ alebo hliník. Najlepším z nich však je hliník. Tento kov si vyžaduje najmenšiu údržbu a nie je potrebné ho natierať. Plasty sa ukázali ako veľmi problematické materiály pre výrobu kolektorov, pretože majú vlastnosť degradovať pri dlhodobom pôsobení ultrafialového žiarenia. Menia farbu, postupom času sa stávajú krehkými a vznikajú v nich trhliny. Plasty majú tiež vysoký koeficient expanzie - často sa roztahujú

a sťahujú, čím vzniká problém utesnenia spojov. Použitie ocele na vonkajšiu konštrukciu má tiež nevýhody. Jednou z nich je že oceľ si vyžaduje pravidelné natieranie a že chemicky reaguje s meďou, keď je použitá ako materiál absorbátora.

Slnčné kolektory sa zvyčajne montujú na strechu budovy alebo na konštrukciu pri budove. Ich zabudovanie do strechy však môže spôsobovať problémy s utesnením strechy. Veľkosť slnečných kolektorov závisí od dennej spotreby teplej vody. Vo všeobecnosti platí, že jeden človek denne spotrebuje asi 50 litrov vody s teplotou 55 až 60 stupňov Celzia (umývanie, kúpanie, bez prania). V našich podmienkach je na výrobu 50 litrov teplej vody denne potrebných asi 1-1,5 m² slnečných kolektorov. Výber veľkosti kolektora však závisí aj na ponuke výrobkov na trhu a nie vždy je možné nájsť veľkosť, ktorá by presne spĺňala túto požiadavku, preto býva lepšie zvoliť väčší kolektor, ktorý poskytne istú rezervu.

ORIENTÁCIA SLNEČNÝCH KOLEKTOROV

Orientácia (sklon) slnečných kolektorov je veľmi dôležitá z hľadiska optimálneho zisku energie. Zemská atmosféra pohlcuje a odráža značnú časť slnečného žiarenia, pričom najväčší zisk je možné dosiahnuť na poludnie, keď je priame žiarenie najmenej ovplyvnené atmosférou. Slnčné kolektory sa v našich podmienkach orientujú priamo na juh. Odchýlka o 20 stupňov na východ resp. západ však nemá veľký vplyv na zisk kolektora. Slnčné kolektory vybavené natáčacím zariadením, ktoré sleduje pohyb Slnka po oblohe, získajú asi o 20 % viac energie ako tie, ktoré sú pevne nasmerované na juh. Tento dodatočný zisk však zvyčajne nevykompenzuje vyššie náklady na celé zariadenie, a preto je lacnejšie inštalovať o 20 % väčšie slnečné kolektory, ako investovať do natáčacieho zariadenia.



Miestne poveternostné podmienky (ranné hmly, oblačnosť) je tiež potrebné zohľadniť pri orientácii slnečných kolektorov. Ak miestne podmienky nepredstavujú problém, ale stavba budovy neumožňuje orientovať kolektory priamo na juh, orientácia smerom na západ je výhodnejšia (vzhľadom na poobedňajšie vyššie teploty) ako orientácia smerom na východ, pretože kolektor bude mať nižšie tepelné straty pri vyššej vonkajšej teplote. Keďže poloha Slnka sa na oblohe počas roka mení, kolektory by mali mať taký sklon, aby zisk energie najviac vyhovoval potrebám. Sezónne zmeny intenzity slnečného žiarenia sú značné, a preto musia byť zohľadnené pre všetky aplikácie kolektorov. Sklon (uhol ktorý kolektor zvierá so zemou) napr. 50 stupňov znamená o niečo lepšie výsledky v zime, avšak tiež nižší zisk v lete. Preto sú systémy kolektorov určených na vykurovanie miest-

ností smerované predovšetkým s ohľadom na polohu Slnka na oblohe v zime. Kolektory určené napr. na ohrev vody v bazéne dosahujú najvyšší zisk, keď ich sklon je nižší a sleduje vysokú polohu Slnka na oblohe v lete. Aj v týchto prípadoch však platí, že straty v dôsledku odchýlky od optimálneho sklonu kolektora na ktorúkoľvek stranu je najlepšie možné vykompenzovať väčšou plochou kolektora.

ZÁSOBNÍK

Pre väčšinu kolektorových systémov na prípravu teplej vody je nevyhnutné používať zásobník vody. Do zásobníka priteká potrubím studená voda a v prípade potreby sa z neho iným potrubím odoberá voda ohriata kolektormi. Veľkosť zásobníka je daná spotrebou vody. Platí, že objem zásobníka asi 80 litrov stačí pre jednu osobu so spotrebou 50 litrov teplej vody za deň. To je však len orientačná hodnota. Ak sa v domácnosti nachádza napr. práčka, umývačka riadu, alebo osoby zvyknuté sprchovať sa niekoľkokrát denne, potom je potrebné objem úmerne zväčšiť. Zásobníky sa bežne umiestňujú do vertikálnej polohy, ktorá zaisťuje rozloženie studenej a teplej vody vo vnútri s najnižšími tepelnými stratami. Prítok studenej vody býva vedený zo spodu a odvod teplej vody z vrchu. Umiestnenie zásobníka do horizontálnej polohy máva za následok straty tepla asi 10-20%. Teplo zo slnečných kolektorov je v zásobníku odovzdávané prostredníctvom tepelného výmenníka. Takýmto výmenníkom býva

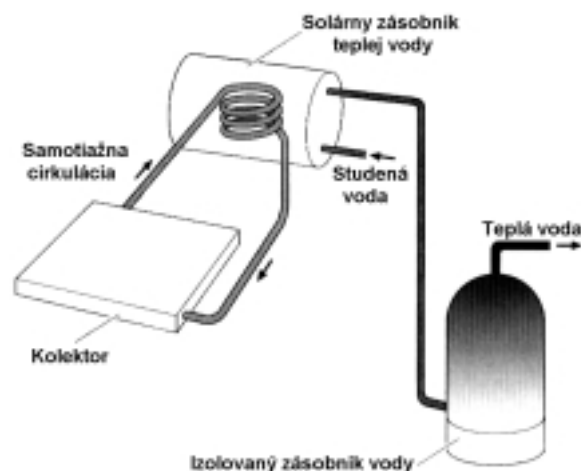
potrubná slučka na dne zásobníka alebo potrubie vedené okolo zásobníka. Potrubie umiestnené okolo zásobníka sa zvyčajne používa v systémoch s nízkym prietokom vody alebo so samotiažou vody. Všetky zásobníky vody musia byť dobre izolované, aby udržali vodu dostatočne teplú po dosť dlhú dobu. Tepelné straty závisia na mnohých parametroch (okolitá teplota, vietor, ročné obdobie atď.) a vo všeobecnosti predstavujú asi 0,5 až 1 stupeň Celzia za hodinu v noci. Izolácia by mala byť tak dobrá, aby zaručila, že teplá voda vyprodukovaná kolektorom bude teplá ešte aj po nasledujúce dva dni. Obzvlášť vrch zásobníka musí byť dobre izolovaný a bez tepelných mostíkov. Skúsenosť ukazuje, že minimálna hrúbka izolácie by mala byť asi 100 mm. Tiež by malo byť zaručené, aby nedošlo k samo-cirkulácii, t.j. aby teplá voda zo zásobníka neprechádzala späť do kolektora počas obdobia, kedy sa zo zásobníka teplá voda neodoberá.

OKRUH SO SLNEČNÝM KOLEKTOROM

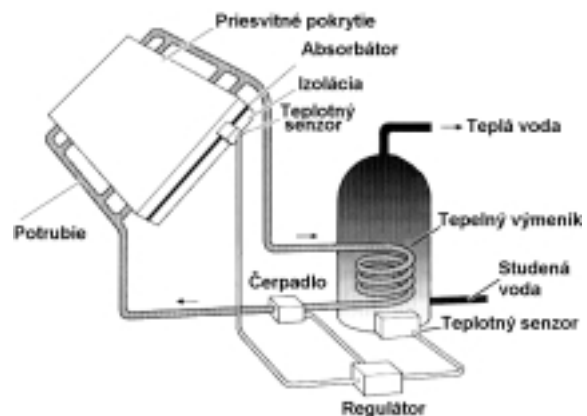
Okruh, v ktorom sa nachádza slnečný kolektor a zásobník teplej vody, sa ďalej skladá z nasledujúcich zariadení:

- Čerpadlo, ktoré zabezpečuje cirkuláciu vody v potrubí (nie je potrebné v systémoch so samotiažou). Čerpadlo je zvyčajne riadené diferenčným termostatom, ktorý zabezpečí cirkuláciu vody v prípade, keď je slnečný kolektor teplejší ako voda v zásobníku.
- Potrubné trasy spájajúce zásobník a kolektor. Rozmiestnenie potrubí by malo zaručiť čo najkratšiu vzdialenosť. Potrubie by pri tom nemalo byť vystavené priamemu vplyvu počasia. Najlepšie býva umiestniť ho do budovy.
- Jednocestný ventil zabezpečiť, že teplá voda nebude v noci prúdiť späť zo zásobníka do kolektora, kde by sa ochladzovala.
- Expanzná nádrž je buď otvorená nádoba na vrchu celého systému alebo tlaková nádoba, ktorá obsahuje asi 5% kvapaliny solárneho okruhu.
- Pretlaková ochrana (len v prípade použitia tlakovej expanznej nádrže) musí zaistiť celý systém pre prípad, kedy by došlo k varu kvapaliny vo vnútri. Tento systém by mal byť vždy vybavený akumulácnou nádržou. Použitý býva zväčša normálny tlakový ventil, ktorý uvoľní pretlak pri náraste objemu kvapaliny.
- Odvzdušňovacie ventily by mali byť umiestnené na všetkých vrcholových bodoch systému, aby bolo možné dostať vzduch z okruhu.
- Plniaci otvor pre kvapalinu solárneho systému.
- Filter zachytávajúci nečistoty z čerpadla (nie je nutný v niektorých systémoch).
- Tlakomery a teplomery podľa potreby.
- Kvapalina solárneho systému musí byť nemrznúca a netoxická. Zvyčajne sa používa kvapalina obsahujúca vodu so 40%-nou prímесou propylén glykolu (vydrží teplotu do mínus 20 °C) a farbiaca látka, ktorá môže byť viditeľná resp. cítiťelná v prípade, keď kvapalina prenikne do okruhu s pitnou vodou.

Okruh so solárnym kolektorom využívajúci samotiaž vody.



Okruh so solárnym kolektorom s núteným obehom vody.



ÚDRŽBA SYSTÉMU

Jednoduchosť solárnych systémov znamená, že ich údržba býva minimálna. Nevyhnutná údržba závisí na použitom systéme. Skúsenosti ukazujú, že jeden až dvakrát do roka by mal byť skontrolovaný stav a tlak kvapaliny v okruhu. V prípade, že došlo k varu, kvapalina by mala byť vymenená, pretože mohlo pri tom dôjsť k jej znehodnoteniu.

NÁVRH SOLÁRNEHO SYSTÉMU

Pre typický solárny systém na prípravu teplej vody (ohrev o 8 až 45°C) so selektívnym pokrytím absorbéra platia nasledujúce pravidlá:

- priemerná spotreba teplej vody na osobu a deň je asi 50 litrov.
- 1-1,5 m² solárnych kolektorov je potrebných na prípravu 50 litrov teplej vody denne.
- zásobník by mal mať objem asi 40-70 litrov na každý m² solárnych kolektorov alebo asi 80 litrov na osobu.

Pri zabezpečení týchto hodnôt je typický systém so slnečnými kolektormi schopný pokryť asi 60-70% ročnej spotreby teplej vody a vyprodukuje 350-500 kWh na jeden m² kolektora za rok. Pre väčšie budovy (napr. hotely, nemocnice, viacpodlažné budovy) sú plochy kolektorov aj objem zásobníkov na jednu osobu nižšie avšak primerané dimenzovanie si vyžaduje väčšiu pozornosť s ohľadom na spotrebu a miestne klimatické podmienky. Skúsenosť ukazuje, že tieto systémy by mali byť navrhnuté čo najjednoduchšie a bez zbytočnej rezervy.

Pre rodinu so 4 osobami, ktorá spotrebuje v priemere 200 litrov teplej vody denne, stačí plocha kolektorov 6 m². Počas roka tieto vyprodukujú až 3000 kWh čistej energie, čo v prípade ohrevu vody vykurovacím olejom znamená náhradu asi 300 litrov oleja ročne.

THERMOSIFÓN - SOLÁRNY SYSTÉM S PRIRODZENOU CÍRKULÁCIU

Solárne systémy využívajúce prirodzenú cirkuláciu vody (samotiaž) sa tiež nazývajú termosifóny. Tieto systémy sú vhodné najmä na miestach, kde sa nevyskytujú mrazy. Vyznačujú sa relatívne nízkou účinnosťou, ale na druhej strane poskytujú aj niekoľko výhod. Sú jednoduché a tým, že nepotrebujú žiadne čerpadlá, nie sú ani závislé na elektrickej energii. Celý okruh s termosifónom pozostáva len z kolektora zásobníka a potrubnej trasy. Cirkulácia vody v nich nastáva v dôsledku rozdielu hustoty teplej a studenej vody. Pri ohreve vody v kolektore teplá voda stúpa hore, odkiaľ sa odvádza potrubím do zásobníka a súčasne je nahrádzaná chladnejšou vodou, privádzanou do spodu kolektora potrubím zo zásobníka. Z uvedeného princípu je zrejmé, že kolektory je nutné umiestniť pod úroveň zásobníka a izolovať obidve potrubné trasy.

Termosifóny majú problémy už pri miernych mrazoch. Stačí jedna mrazivá noc a nechránený kolektor môže byť vážne poškodený. Niektoré systémy obchádzajú tento problém tým, že využívajú medené trubky v absorbátore s priemerom až 10 cm s dvojitém skleneným pokrytím kolektora. Objem vody v tak hrubej trubke je príliš veľký na to, aby zamrzol počas miernej zimy. Termosifóny sa bežne používajú v subtropických a tropických oblastiach.

SOLÁRNE VYHRIEVANIE BAZÉNOV

Vyhrievanie bazénov slnečnou energiou je mimoriadne logickým riešením. V letných mesiacoch resp. v čase, kedy Slnko svieti najviac a teplota vzduchu je najvyššia, je nezmyselné spaľovať fosílna palivá na ohrev vody. Slnko ju dokáže zohriať na vyššiu teplotu, ako potrebujeme a to bezplatne. Solárne systémy na ohrev vody v bazénoch sú veľmi populárne hlavne v USA. Americké ministerstvo energetiky označilo vyhrievanie bazénov slnečnou energiou za jeden z najúčinnějších spôsobov znižovania spotreby energie v rodinných domoch. Dnes v USA existuje viac ako 200.000 bazénov vyhrievaných slnečnými kolektormi. Najstaršie systémy sú využívané už

Termosifón.



viac ako 25 rokov, sú cenovo výhodné v porovnaní s klasickými palivami a vyžadujú minimálnu údržbu. Zaujímavé je, že tieto výhody platia aj pre systémy umiestnené v severnej časti USA. Solárne vyhrievanie bazénov je vhodné aj pre bazény vo vnútri budov alebo pre väčšie komerčné kúpaliská.

Napriek skutočnosti, že existujú značné rozdiely v cenách v závislosti na veľkosti alebo na miestnych podmienkach, ak sú solárne systémy navrhnuté s cieľom nahradiť klasický ohrev elektrickou energiou, doba návratnosti vložených investícií býva zväčša dva až štyri roky. Navyše solárne vyhrievanie môže predĺžiť sezónu o niekoľko týždňov bez dodatočných nákladov. Väčšina bazénov so solárnym vykurovaním je veľmi jednoduchá. Ako solárny kolektor môže poslúžiť už obyčajná čierna gumená hadica. Pre bazény umiestnené v budovách, ktoré sú využívané aj v zimných mesiacoch, je však nutné použiť klasické kolektory.

Hoci solárne kolektory sa zvyčajne nachádzajú na strechách budov, môžu byť umiestňované kdekoľvek na zemi, kde dopadá slnečné žiarenie väčšinu dňa. Typ strechy alebo materiálu strechy nie je dôležitý. Podstatná je plocha kolektorov, ktorá je závislá na veľkosti bazénu. Pomer plochy kolektorov k ploche bazénu však nie je konštantný, ale závisí na miestnych podmienkach, orientácii kolektorov, tienení bazénu a kolektorov a sezóne. Vo všeobecnosti však platí, že plocha kolektorov by mala predstavovať 50 % až 100 % plochy bazénu.



AKO PRACUJÚ SYSTÉMY SOLÁRNEHO OHREVU BAZÉNOV?

Dostatočný ohrev vody v bazéne môžu zaručiť už nízko-teplotné kolektory priamo pripojené na filter cirkulácie vody. V niektorých prípadoch je však nutné dodatočné čerpadlo vody. Najúčinnnejšie systémy využívajú automaticky riadenú cirkuláciu vody. Čerpadlo na filtri vody je nastavené tak, aby pracovalo počas najväčšej intenzity slnečného žiarenia. Počas tohto obdobia, t.j. keď senzory zaregistrujú vyššiu teplotu vody v kolektoroch, spustí sa chod čerpadla vháňajúceho vodu z bazénu do kolektorov, kde sa voda zohrieva. Zohriatá voda sa potom vracia do bazénu. Keď teplá voda nie je potrebná, zvyčajne prechádza obchvatom okolo kolektorov. Keďže celý systém má len veľmi málo pohyblivých častí znižujú sa náklady na prevádzku a údržbu. Údržba spočíva len v pravidelnej kontrole filtrov a vo vypustení vody v zimnom období. Kolektory slnečného ohrevu bazénu bývajú zvyčajne uložené na streche budovy. Zásadou tiež býva, že ich sklon k horizontálnej rovine je menší ako 30°.

SOLÁRNE KÚRENIE

Vyššie uvedené systémy využívajú ploché slnečné kolektory na prípravu teplej vody. Na to, aby mohli byť kolektory využívané aj na vykurovanie miestností, je často potrebné vybudovať v budove tzv. nízko-

teplotné vykurovanie (najčastejšie podlahové pracujúce s teplotou približne 50°C) a celý systém musí byť doplnený skladovaním teplej vody. Podlahové kúrenie má výhodu v tom, že trubky v podlahe môžu slúžiť tiež aj ako zásobník tepla.

Solárne vykurovanie však zvyčajne prináša užívateľovi menší zisk ako systémy na prípravu teplej vody, a to tak z hľadiska energie ako i ceny. Súvisí to s tým, že vykurovanie je potrebné hlavne v zimnom období, kedy je účinnosť výroby tepla kolektormi najnižšia. A naopak v lete je celý systém vo väčšine prípadov nevyužívaný. Avšak v miestach, kde je potrebné vykurovanie aj v lete napr. na horských chatách, môže byť solárne kúrenie vhodným riešením.

V našich klimatických podmienkach je možné slnečným kúrením inštalovaným v typickom dome pokryť asi 20% celkovej spotreby tepla a pre tzv. nízkoenergetické domy (s veľmi dobrou izoláciou) to môže byť až 50%. Zvýšiť tento podiel je možné napr. zväčšením zásobníkov teplej vody. Ak by mal solárny systém pokryť 100 % energie na vykurovanie, potom by dom mal byť vybavený kolektormi s plochou 25 m² a zásobníkom (s objemom 85 m³) s izoláciou až 100 cm. Hoci solárne vykurovanie domov je technicky možné, zvyčajne býva oveľa ekonomickejšie investovať do lepšej izolácie domu, a tak znížiť spotrebu energie a náklady na vykurovanie.

SEZÓNNE SKLADOVANIE TEPLEJ VODY

V prípade, že sa spojí viac solárnych kolektorov napr. na viacerých domoch spolu s veľkým zásobníkom vody do jedného systému, je možné účinnejšie skladovať teplo a následne v zime vykurovať tieto domy. Vo svete existuje niekoľko takýchto systémov, ktoré pracujú na princípe výroby teplej vody kolektormi v lete a jej celoročnom skladovaní v obrovskom zásobníku, z ktorého sa teplá voda odoberá v zimnom období. Takéto sezónne skladovanie teplej vody však znamená, že objem vody potrebnej na vykúrenie jedného domu je porovnateľný s objemom celého domu a spoločný zásobník okrem toho, že musí byť veľký, musí byť tiež veľmi dobre izolovaný. Väčší zásobník má však relatívne nižšie straty tepla na jednotku objemu ako malý zásobník, a preto aj izolácia môže byť relatívne tenšia.

Veľké zariadenia sezónneho skladovania teplej vody napojené na systém centrálného kúrenia pre viacero domov dnes pracujú napr. v Dánsku, Švédsku, Švajčiarsku, Francúzsku alebo USA. Solárne kolektory sú zvyčajne umiestnené na zemi a vytvárajú veľké kolektorové polia. Bez skladovania teplej vody by takýto systém dokázal pokryť približne 5% celoročnej spotreby tepla, v čom sú zahrnuté aj straty tepla v rozvodoch na úrovni asi 20%.

Ak by takýto systém mal zásobník s jednodňovou kapacitou (deň-noc), potom by sa podiel slnečnej energie na spotrebe energie zvýšil na 10-12%. S veľkým zásobníkom skladujúcim teplú vodu celoročne však takýto systém dokáže pokryť až 100% spotreby tepla na vykurovanie domov. Taktiež existuje možnosť kombinovať klasický centrálny systém vykurovania s individuálnymi solárnymi systémami. Potom centrálny systém môže byť odstavený v lete, kedy je nadbytok slnečnej energie a spustený v zime, kedy jej je nedostatok.

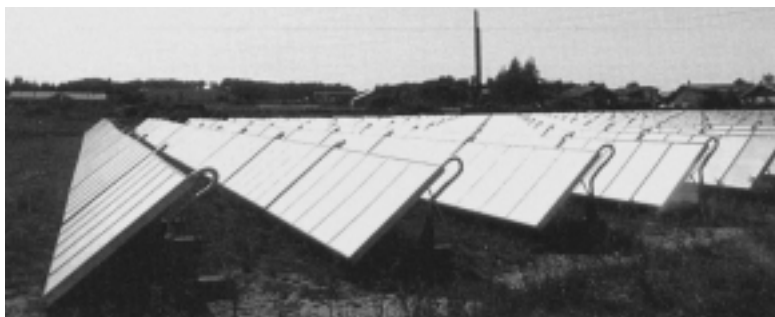
Veľké solárne systémy so sezónnym skladovaním teplej vody boli síce inštalované vo viacerých krajinách, avšak ich nevýhodou je, že náklady na výrobu tepla sú ešte stále o niečo vyššie ako náklady pri výrobe z klasických palív. Objemy zásobníkov teplej vody týchto systémov sa pohybujú od niekoľko tisíc m³ až do niekoľko sto tisíc m³. Jedno z najväčších zariadení tohoto typu bolo postavené vo fínskom Oulu. Ako zásobník sa využíva veľká kamenná jaskyňa s objemom 200.000 m³ pripojená okrem solárnych kolektorov aj na systém kombinovanej výroby elektriny a tepla spaľujúci biomasu.

Iný projekt využívajúci tiež skalnú jaskyňu ako zásobník je zariadenie postavené vo švédskom Lyckebo. Objem zásobníka vody je 105.000 m³ a plocha kolektorov 28.800 m². Toto zariadenie pokrýva 100% spotreby energie (8500 MWh/rok) na vykurovanie a prípravu teplej vody pre 550 obytných jednotiek. Všetky domy sú napojené na centrálny systém zásobovania teplom. Teplota dodávanej vody je 70 st. Celzia a teplota vratnej vody je 55 stupňov.

Dnes len v Európe existuje 21 väčších systémov so sezónnym skladovaním teplej vody. Parametre niektorých z nich sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Miesto	Štát	Od roku	Objekty zásobované teplom
Groningen	Holandsko	1984	96 radových domov
Kullavik	Švédsko	1983	40 bytov
Lyckebo	Švédsko	1983	550 obytných jednotiek
Scarborough	Kanada	1985	30.000 m ² v úradoch
Stuttgart	SRN	1986	1.375 m ² v úradoch
Sunclay	Švédsko	1981	15.000 m ² , škola
Treviglio	Taliansko	1982	100 bytov
Vaulruz	Švajčiarsko	1983	3.200 m ² , účelová budova

Systém slnečného vykurovania inštalovaný vo švédskom meste Kunglöv má nasledujúce parametre: voda zohriatá vysoko-teplotnými slnečnými kolektormi s plochou 126.000 m² sa celoročne skladuje v izolovanej veľkoobjemovej nádrži o objeme 400.000 m³ umiestnenej v podzemnom skalnom masíve. Úspory v porovnaní s klasickým systémom vykurovania dosahujú až 75 % spotreby energie, čo predstavuje približne 42 miliónov kWh ročne. Teplota skladovanej vody je v závislosti na ročnom období 40 až 90 st. Celzia. Tento projekt sa vyznačuje aj finančnou výhodnosťou, nakoľko cena takto získaného tepla je len 0,09 DM/kWh (asi 1,8 Sk/kWh), čo je o málo viac ako pri konvenčnom vykurovaní. Celkové investičné náklady boli 59.000 DM (1,18 mil. Sk). Z toho 53 % predstavovali slnečné kolektory, 19 % podzemná skladovacia nádrž a 18 % systém diaľkového kúrenia. Predpokladaná životnosť systému skladovania je 40 rokov, slnečných kolektorov 20 rokov a 15 rokov pre ostatné časti. Podľa švédskych údajov by 150 až 200 veľkých slnečných zariadení so sezónnym skladovaním teplej vody mohlo v tejto škandinávskej krajine pokryť až 10 % ročnej spotreby energie v systémoch diaľkového kúrenia.



Skúsenosti ukazujú, že návratnosť vložených investícií do systémov sezónneho skladovania tepla je často veľmi dlhá. Je preto výhodnejšie najskôr investovať do úspor energie (izolácie), potom do pasívneho solárneho dizajnu a až potom do solárnych kolektorov zabezpečujúcich zvyšok zníženej spotreby energie.

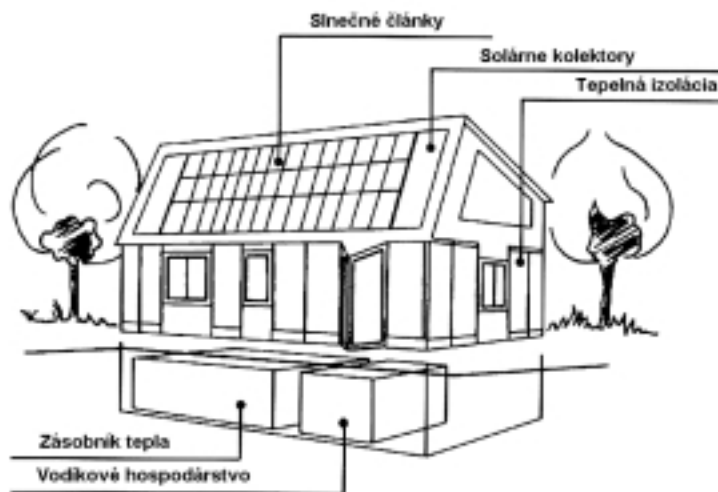
KOMBINÁCIA SLNEČNÝCH KLEKTOROV S INÝMI OBNOVITELNÝMI TECHNOLOGIAMI

Kombinácia slnečnej energie s inými technológiami využívajúcimi obnoviteľné zdroje napr. s biomasou môže byť často ideálnym riešením problémov so skladovaním slnečnej energie. Solárne kúrenie doplnené záložným systémom na spaľovanie biomasy napr. dreva alebo peletov je jedným z takýchto riešení. Využívanie kotlov na biomasu v letných mesiacoch je poznačené nižšou účinnosťou pri malej záťaži a relatívne veľkých stratách v potrubí. Slnečné žiarenie je schopné poskytnúť 100% energie na teplo v letných mesiacoch. V zime, keď je zisk zo slnečného žiarenia najnižší, je to práve biomasa ako zakonzervovaná slnečná energia, ktorá dokáže pokryť celú spotrebu energie v bežnom dome (pozri kapitolu Biomasa). Skúsenosti zo strednej Európy ukazujú, že takéto kombinované systémy sú veľmi praktické. Približne 20-30% spotreby energie býva pokrytých slnečnými kolektormi a zvyšných 70-80% biomasou. Spotreba biomasy (napr. dreva) na vykurovanie jedného domu za rok predstavuje asi 15 m³ za rok, pričom približne 3 až 4 m³ dreva môže nahradiť solárny systém.

SOLÁRNE DOMY

Budovy, ktoré využívajú len slnečnú energiu a sú nezávislé na iných zdrojoch energie sa nazývajú solárne domy. Charakteristické pre ne sú nielen veľké kolektory a dobre izolované zásobníky teplej vody s objemom 5 až 30 m³, ale aj slnečné články na výrobu elektriny alebo kvalita konštrukcie (izolácia).

Nevýhodou však sú veľmi vysoké investičné náklady. Taktiež skladovanie veľkých objemov vody sa ukázalo ako málo praktické. Existuje viacero typov týchto nízko energetických domov. Všetky sa vyznačujú pozoruhodným využívaním slnečnej energie. Jeden z nich stojí vo švajčiarskom Oberburg-Burgdorfe a nazýva sa Jaenni-Solarhaus. V tejto budove je celá energetická spotreba tepla aj elektriny pokrytá z "vlastných zdrojov". Na prípravu teplej vody sa využívajú slnečné kolektory s plochou 84 m² a výroba elektrickej energie je zabezpečená fotovoltaičnými článkami s veľkosťou 43 m². Zásobník teplej vody má objem 93 m³. Takéto domy sa okrem využitia slnečných



Energeticky sebestačný solárny dom vyvinutý Frauenhofe-rovým inštitútom v Nemecku.

ných technológií vyznačujú aj extrémne kvalitnou izoláciou stien, okien a striech, čo umožňuje znížiť straty energie na minimum. Iný solárny, energeticky sebestačný, dom bol postavený v Nemeckom Badem-Wurtembegrsku. V dome je okrem pasívneho slnečného designu a slnečných článkov zabudovaných do strechy budovy, inštalovaný aj systém tzv. vodíkového hospodárstva. Vodík, vyrábaný slnečnými článkami (elektrolýzou vody) sa používa tak na varenie na špeciálnom sporáku ako aj na vykurovanie miestností.

SLNEČNÉ VARIČE

Slnečné variče sú zväčša jednoduché krabicové solárne kolektory určené na varenie potravín. Prvé takéto zariadenia sa v Európe ale aj Indii objavili už začiatkom 18. storočia. Variče pracujú na princípe absorpcie slnečného žiarenia v malom priestore a jeho premeny na užitočnú tepelnú energiu využívanú na varenie potravín. Slnečné variče dokážu vyprodukovať teploty vyššie ako 200 st. Celzia, čo je dostatočné pre väčšinu kuchárskych aktivít. Vo svete existuje množstvo rôznych typov slnečných varičov líšiacich sa tvarom i veľkosťou. Najrozšírenejšími sú tzv. krabicové a koncentračné variče.

KRABICOVÉ VARIČE

Dobre izolovaná krabica s čiernym vnútorným pokrytím a presklenným vrchom môže slúžiť ako jednoduchý slnečný varič, do ktorého sa umiestňujú nádoby s potravinami. Sklené pokrytie môže byť aj dvojité, čím sa dosahujú vyššie vnútorné teploty. Takýto varič môže byť doplnený aj zrkadliacou plochou odrážajúcou slnečné lúče do vnútra krabice.

Hlavnými výhodami krabicových varičov sú:

- využitie priameho aj nepriameho (rozptýleného) slnečného žiarenia
- možnosť varenia vo viacerých nádobách súčasne
- nízka hmotnosť a prenosnosť
- jednoduchá obsluha
- nenáročná výroba a nízka cena.

Nevýhody spočívajú v tom, že:

- varenie sa obmedzuje len na časť dňa so slnečným svetlom
- mierne teploty okolia značne predlžujú dobu varenia
- nie je ich možné využiť na pečenie alebo grilovanie.

Vďaka ich jednoduchej konštrukcii sú krabicové variče v súčasnosti najrozšírenejšie solárne variče na svete. Vyrábajú sa vo veľkom počte nielen komerčne ale aj svojpomocne. Bežné typy majú plochu asi 0,25 m². Takýto varič umožňuje variť asi 4 kg potravín súčasne a v tropických krajinách postačuje pre asi 5-člennú rodinu. Na trhu však existujú aj väčšie variče s plochou 1 m². Najlepším materiálom na stavbu takéhoto variča je hliník, pretože je to dobrý vodič tepla a navyše nehrdzavie. Izolácia

býva zvyčajne z prírodných materiálov alebo sklenej vlny. Zrkadliacou plochou môže byť aj hliníková fólia. Vonkajší kryt krabicového variča býva vyrobený z dreva, tvrdého plastu alebo kovu.

V tropických oblastiach vnútorná teplota prázdneho variča dosahuje viac ako 150 °C počas slnečného dňa. Teplota variča s potravinami je však nižšia ako 100 °C, pretože obsah vody v potravinách neumožňuje, aby teplota vystúpila nad bod varu. Priemerná doba varenia potravín v takomto variči sa pohybuje od jednej do troch hodín v miestach s dobrou intenzitou slnečného žiarenia. Doba varenia však závisí aj na veľkosti a množstve potravín vo vnútri variča.

REFLEXNÉ VARIČE

Najjednoduchším typom reflexného solárneho variča je konštrukcia pozostávajúca z držiaka varnej nádoby umiestnená do ohniska, do ktorého sú nasmerované slnečné lúče odrážané parabolickým zrkadlom (zrkadlami). Zrkadliacu plochu môže tvoriť kovová (hliníková) parabola alebo tiež viacero malých plochých zrkadiel pripevnených na parabolickom povrchu. V závislosti na požadovanej vzdialenosti medzi ohniskom reflektora a hrncom, môže mať tiež tvar hlbokéj nádoby obopínajúcej hrniec s potravinami.



Krabicový varič.

Charakteristickou vlastnosťou všetkých reflexných varičov je, že využívajú len priame slnečné žiarenie, a preto musia sledovať pohyb Slnka po oblohe. Nasmerovanie zariadenia k Slnku je istou nevýhodou týchto varičov, avšak na druhej strane využívanie priameho slnečného žiarenia prináša aj isté výhody v porovnaní s krabicovým typom variča. Hlavnou výhodou je možnosť dosiahnutia vyšších teplôt, a tým skrátenie doby varenia. Ďalšou výhodou je, že niektoré typy reflexných varičov umožňujú aj pečenie potravín.

Nevýhodami reflexných varičov sú:

- potreba nastavovať varič smerom k Slnku približne každých 15 minút
- kuchár musí stáť na horúcom Slnku počas varenia
- nemožnosť využiť rozptýlené slnečné žiarenie
- aj malá oblačnosť spôsobuje značné tepelné straty
- zaobchádzanie s reflexným varičom si vyžaduje istú skúsenosť
- odrazené priame slnečné žiarenie môže byť nebezpečné pri manipulácii s varnou nádobou (oslepenie, popálenie)
- varenie je obmedzené na niekoľko málo hodín počas dňa
- každé jedlo uvarené počas obeda je večer už vychladnuté.

Uvedené nevýhody sú síce vážnou bariérou využívania reflexných varičov avšak v krajine ako je napr. Čína, kde sa pri varení vyžadujú vysoké teploty, sú tieto typy varičov veľmi rozšírené.



Reflexný varič.

POROVNANIE SLNEČNÝCH VARIČOV

Tepelný zisk slnečného variča je daný množstvom dopadajúceho slnečného žiarenia, plochou na ktorú dopadá slnečné žiarenie a ktorú varič využíva (zvyčajne 0,25 m² až 2 m²) a tepelnou účinnosťou variča. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hlavné charakteristiky krabicového a reflexného typu slnečného variča.

	Plocha v m ²	Účinnosť	Výkon pri ožiarení 850 W/m ²	Čas potrebný na varenie 1 litra vody
Krabicový varič	0,25	40 %	85 W	64 min.
Reflexný varič	1,25	30 %	320 W	17 min.

Reflexné variče majú zvyčajne oveľa väčšiu reflexnú plochu ako krabicové variče, čo má za následok väčší výkon a možnosť varenia väčšieho množstva potravín. Na druhej strane ich tepelná účinnosť je nižšia, pretože varná nádoba je úplne vystavená chladiacemu účinku vonkajšieho prostredia. Výkon variča až 350 W pri slnečnom ožiarení 1000 W/m² (bežná intenzita v tropických a subtropických oblastiach, ale aj u nás na poludnie počas slnečného letného dňa) je relatívne veľký. Pre porovnanie spálenie 1 kg suchého dreva počas jednej hodiny vedie k energetickému zisku 5000 W. Keď sa varí na otvorenom ohni, bežná účinnosť využitia energie dreva je asi 15 % a výsledný výkon, ktorý sa pri takomto varení dosahuje je asi 750 W, čo je len asi dvakrát viac ako so slnečným reflexným varičom.

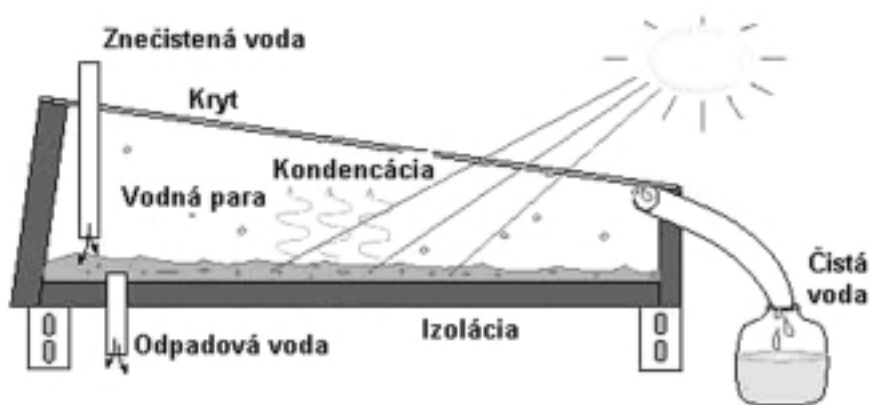
Najdôležitejšou podmienkou pre využívanie slnečných varičov je dostatok slnečného žiarenia. Vzhľadom k tomu, že intenzita slnečného žiarenia v letných mesiacoch v našich klimatických podmienkach je relatívne vysoká v priemere 6 kWh/m² (čo je porovnateľné s podmienkami v Indii alebo Keni), je možné slnečné variče využívať aj u nás. Podstatné však je, aby slnečné žiarenie bolo spoľahlivé a neprerušované počas dňa. Aj napriek istým obmedzeniam trh so slnečnými varičmi existuje aj v našich klimatických podmienkach. V krajine ako je napr. Švajčiarsko bolo v posledných rokoch predaných niekoľko tisíc veľmi účinných krabicových slnečných žiaričov. Využívanie slnečných varičov sa však presadzuje hlavne v rozvojových krajinách, kde tieto zariadenia môžu značne uľahčiť prácu miestnym obyvateľom hlavne ženám. Získavanie dreva na varenie je totiž v mnohých krajinách obtiažné a mnohé ženy v rozvojových krajinách strávia hľadáním dreva značnú časť dňa. Priemerná 15-členná rodina v Mali spotrebuje denne až 15 kg dreva, rodina v Indii približne 7-10 kg. Výsledkom býva tiež odlesňovanie územia, čo má za následok šírenie púští a znižovanie kvality pôdy. Navyše varenie na otvorenom ohni a často v uzatvorených miestnostiach môže spôsobiť poškodenie dýchacích ciest u ľudí zúčastňujúcich sa na varení (neustále vdychovanie dymu). Väčšina ľudí žijúcich v rozvojových krajinách je chudobná a nemôže si dovoliť nakupovanie komerčných palív, čo ďalej zhoršuje ich postavenie. Pre túto skupinu ľudí sú slnečné variče, ktoré môžu byť vyrobené jednoducho a relatívne lacno z miestnych surovín, vhodným riešením.

SLNEČNÁ DESTILÁCIA VODY

Veľká väčšina ľudí v rozvojových krajinách nemá prístup k čistej a zdravotne nezávadnej vode. Podľa údajov OSN z 2,4 miliárd ľudí žijúcich v týchto krajinách má prístup k nezávadnej vode len 500 miliónov. Jedným z riešení tohto problému je aj využívanie slnečných zariadení na destiláciu vody. Solárne destilačné zariadenie, ktoré zo slanej morskej alebo znečistenej vody dokáže vyrobiť čistú destilovanú vodu, je v podstate veľmi jednoduché a princíp takejto destilácie je známy už niekoľko storočí. Už v 4. storočí n.l. Aristoteles navrhol metódu odparovania morskej vody za účelom získavania pitnej vody. Avšak prvý solárny destilátor bol vyrobený až v roku 1874 J. Hardingom a C. Wilsonom v Chile, kde sa využíval pri výrobe čistej vody v podniku na výrobu dusíkatých hnojív. Tento 4700 m² veľký destilátor vyrobil 24.000 litrov čistej vody denne. V súčasnosti pracuje viacero takýchto veľkých destilátorov v Austrálii, Grécku, Španielsku alebo Tunisku. Menšie solárne destilačné zariadenia sa využívajú v mnohých ďalších krajinách.

Ukazuje sa, že mnoho púštnych oblastí s prístupom k morskej vode môže byť obývateľná vďaka využívaniu slnečnej energie. Táto dokáže poskytnúť tak elektrickú energiu na čerpanie vody (fotovoltaika) ako aj energiu na jej čistenie.

Najjednoduchší solárny destilátor predstavuje izolovaná nádrž prikrytá sklom alebo priesvitným plastom, v ktorej sa nachádza znečistená alebo morská voda. Priesvitné pokrytie umožňuje slnečnému žiareniu preniknúť do vnútra nádrže, a tým vodu odparovať. Voda potom kondenzuje na vnútornej strane pokrytia, ktoré je ochladzované vonkajším vzduchom a steká do pripravenej osobitnej nádoby mimo nádrže. Spodok nádrže je natretý na čierno, čo umožňuje vyššiu absorpciu dopadajúceho slnečného žiarenia. Nádrž býva vyrobená z cementu, plastu alebo iného vodotesného materiálu. Ak sa používajú plasty, je nutné dbať na to, aby nádrž bola vždy naplnená vodou a nedošlo k poškodeniu materiálu v dôsledku jeho roztavenia. Izolácia nádrže má tiež veľký význam a výrazne zvyšuje účinnosť odparovania.



Proces solárnej destilácie kopíruje spôsob akým v prírode vzniká čistá voda v oblakoch v dôsledku odparovania vodných tokov, morí a oceánov. Všetka voda, ktorú sme v živote spotrebovali vznikla práve slnečnou destiláciou. Výhodou solárneho destilátora je, že si nevyžaduje prakticky žiadnu údržbu. Množstvo získanej čistej vody však závisí od intenzity slnečného žiarenia.

Princíp solárnej destilácie.

Destilátory preto vyrobia viac vody v teplých tropických a subtropických oblastiach ako v podmienkach miernej klímy. Vo všeobecnosti však solárny destilátor je schopný vyrobiť počas teplého slnečného dňa jeden liter čistej destilovanej vody za deň z každého metra štvorcového plochy, ktorú zaberá. Nádrž sa plní raz za deň zvyčajne v noci alebo ráno.

Cena takéhoto zariadenia sa vo svete značne líši v závislosti na veľkosti a konštrukcii. V USA sa destilátory so skleneným pokrytím predávajú za 25 dolárov resp. za 18 dolárov s plastovým pokrytím (má menší zisk). Cena vyrobenej čistej vody vychádza v USA v priemere na 0,1 USD za liter. Solárne destilovaná voda má veľmi dobrú kvalitu - zvyčajne lepšiu ako voda, ktorá je bežne v predaji. Hoci v dôsledku neprítomnosti minerálnych látok je jej chuť trochu odlišná od normálnej vody, obsah baktérií, pesticídov a hnojív, ktoré sa bežne vo vode vyskytujú, je v solárne destilovanej vode znížený až o 99,5%. Toto má veľký význam pre obyvateľov v mnohých krajinách, kde cholera alebo iné vodou prenášané choroby sú príčinou smrti veľkého počtu ľudí každý deň.

SOLÁRNA TERMÁLNA VÝROBA ELEKTRINY

Popri priamom využívaní tepelného žiarenia je možné slnečné žiarenie využiť (hlavne v oblastiach v dostatočnou intenzitou) aj nepriamo na výrobu pary, z ktorej je možné v parnej turbíne vyrobiť elektrickú energiu. Ak sa tento proces využije vo veľkom rozsahu, môže byť dokonca cenovo konkurencie schopný s klasickými postupmi výroby elektriny. Prvé komerčné zariadenie tohto druhu sa objavilo v USA na začiatku 80-tych rokov a dalo podnet k rozvoju relatívne veľkého priemyselného odvetvia. V súčasnosti je v solárnych termálnych zariadeniach inštalovaný elektrický výkon viac ako 400 MW (výkon jedného atómového reaktora v Jasli Bohuniciach alebo Mochovciach). Tieto zariadenia zásobujú elektrickou energiou približne 350 tisíc ľudí. Deväť solárnych termálnych elektrární bolo postavených v kalifornskej púšti Mojave a ich celkový elektrický výkon je 354 MW. Technológia je vhodná aj pre mnohé ďalšie oblasti sveta a v krajinách ako sú India, Egypt, Maroko, Grécko, Španielsko alebo Mexiko existujú projekty na ich výstavbu.

Ukazuje sa, že ak by sa využilo len 1% rozlohy svetových púští na výrobu elektriny cestou solárnych termálnych elektrární, bolo by možné vyrobiť viac elektriny, ako je súčasná celosvetová spotreba. Výstavba

týchto zariadení však dnes prebieha relatívne pomaly vzhľadom na nízke ceny fosílnych palív. Do roku 2003 sa predpokladá inštalovať v týchto zariadeniach len asi 700 MW a v roku 2010 by inštalovaný výkon mal dosiahnuť viac ako 5000 MW, čo stačí na zásobovanie elektrinou pre 7 milión ľudí a vedie k nahradeniu asi 46 milión barelov ropy za rok.

Solárne termálne zariadenia je možné rozdeliť na niekoľko typov. Podľa svojej konštrukcie sa rozdeľujú na koncentrátor slnečného žiarenia alebo solárne absorbčné nádrže.

SLNEČNÉ KONCENTRÁTORY

Slnečné koncentrátor vyrábajú teplo využitím sústavy reflektorov, šošoviek alebo zrkadiel, ktoré koncentrujú slnečné žiarenie do ohniska, v ktorom sa nachádza teplotnosné médium. Keďže takto vyrobené teplo je možné skladovať, zariadenia sú schopné vyrábať elektrickú energiu aj v noci alebo pri zatiahnutej oblohe. Zrkadlá pokrývajúce obrovskú plochu dokážu koncentrovať slnečné žiarenie do takej intenzity, že voda nachádzajúca sa v ohnisku (bodovom alebo čiarovom) sa mení na paru poháňajúcu turbínu elektrického generátora. Účinnosť premeny energie dosahuje asi 15 %. Typický koncentračný systém pozostáva z koncentrátora, teplotnosného média, ohniskovej jednotky, potrubí, generátorov elektrického prúdu a skladovacieho systému. Slnečné žiarenie môže byť koncentrované viacerými technológiami ako sú napr. parabolické korytá, parabolické taniere alebo solárne veže. Keďže všetky tieto systémy obsahujú teplotnosné médiá môžu byť kombinované aj s inými fosílnymi palivami (záložný systém). Výhodou takýchto hybridných systémov je, že elektrina môže byť vyrábaná nielen v čase keď svieti Slnko, ale hlavne vtedy keď je to potrebné, čo zvyšuje ekonomickú hodnotu vyrábanej elektrickej energie a znižuje priemerné výrobné náklady.

SOLÁRNE PARABOLICKÉ KORYTÁ

Tieto systémy využívajú parabolické zrkadlá v tvare koryta, ktoré koncentruje slnečné žiarenie do potrubia umiestneného do ohniska zariadenia. V potrubí prúdi kvapalina, ktorá sa ohrieva na takmer 400 stupňov Celzia a je prečerpávaná cez sústavu tepelných výmenníkov tak, že na konci vzniká para s veľmi vysokou teplotou, ktorá poháňa turbínu generátora vyrábajúcu elektrinu. Potrubia v ohnisku solárnych parabolických koryt sú zo skla a celý systém býva počas dňa natáčaný jedno alebo dvoj osovým natáčacím zariadením smerom ku Slnku.

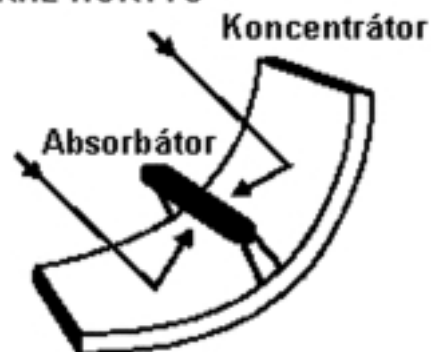
Najväčší takýto solárny systém na svete postavila firma Luz International začiatkom 80-tych rokov v púšti Mojave. Vyrobená elektrická energia je dodávaná do verejnej siete. Prvé z deviatich zariadení (SEGS I) s výkonom 13,8 MW bolo uvedené do prevádzky v roku 1984. Ako teplotnosné médium bol použitý olej, ktorý sa zohrieva v potrubí na 343 stupňov Celzia. SEGS I bol doplnený zásobníkom tepla s kapacitou 6 hodín a ako záložný systém výroby elektriny bol použitý generátor spaľujúci zemný plyn. Firma Luz neskôr postavila ďalšie takéto zariadenia SEGS II až VII, každé s výkonom 30 MW. V roku 1990 boli dokončené zariadenia SEGS VIII a IX v Harper Lake, každé s výkonom 80 MW.

Cenové náklady na výrobu elektriny by mali byť vďaka nižšej účinnosti a tým aj nižšej prevádzkovej teplote zariadenia o niečo vyššie, ako v prípade systémov solárnych veží alebo solárnych tanierov (pozri nižšie), avšak v dôsledku nízkych nákladov na prevádzku a údržbu a tiež inováciu technológie sa solárne parabolické korytá stali najlacnejšími a najspoľahlivejšími zariadeniami solárnej termálnej výroby elektriny.

SOLÁRNE PARABOLICKÉ TANIERY

Tieto systémy využívajú sústavu parabolických zrkadiel v tvare tanierov (podobných satelitným anténam), ktoré koncentrujú slnečné žiarenie do absorbátora umiestneného v ohnisku taniera. Kvapalina v absorbátore sa zohrieva až na 1000 stupňov Celzia a je využívaná priamo na výrobu elektriny v malej turbíne

SOLÁRNE KORYTO





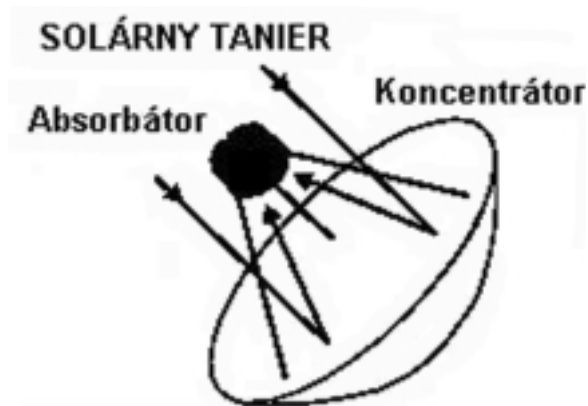
Solárna termálna výroba elektriny v púšti Mojave. Systém firmy Luz International.

(napr. v Stirlingovom motore) pripojenej k absorbátoru. Výhodou týchto zariadení je aj ich stavebnicový charakter, ktorý umožňuje ich použitie na odľahlých miestach. V USA bolo skonštruovaných viacero prototypov s výkonmi od 7 do 25 kW. Vysoká optická účinnosť a nízke straty energie robia z parabolických tanierov najúčinnnejšie solárne zariadenia na výrobu elektriny. Systém inštalovaný v roku 1984 v americkom Rancho Mirage (Kalifornia), ktorý využíval Stirlingov motor, dosiahol najvyššiu účinnosť premeny slnečného žiarenia na elektrinu na svete - 29%.

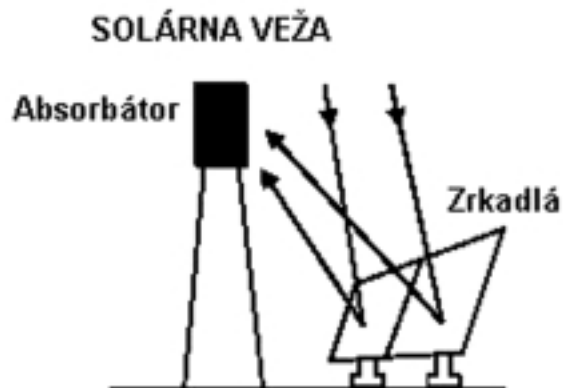
Jedno z úspešných zariadení (STEP) bolo postavené americkom štáte Georgia. Pozostávalo zo 114 solárnych tanierov, každý s priemerom 7 metrov a pracovalo od roku 1982 do 1989. Systém vyrábal vysokotlakovú paru na výrobu elektriny, strednotlakovú paru na pohon textilných strojov a nízkotlakovú paru na pohon klimatizačného zariadenia pre blízku textilnú fabriku. V roku 1989 bola prevádzka tohto zariadenia zastavená v dôsledku zlyhania hlavnej turbíny a nedostatku financií na opravu. Sandia National Lab. a Cummins Power Generation sa v súčasnosti snaží vyvinúť prvé komerčné zariadenie tohto druhu s výkonom 7,5 kW. Obe spoločnosti predpokladajú, že v roku 2004 by mohli predáť až 10.000 takýchto jednotiek.

SOLÁRNE VEŽE

Solárne veže využívajú kruhové pole osadené veľkými zrkadlami natáčanými smerom k Slnku a koncentrujúcimi lúče do ohniska centrálnej veže. Absorbované teplo sa odovzdáva kvapaline, z ktorej sa v parogenerátore vyrába para poháňajúca turbínu vyrábajúcu elektrinu. Natáčanie je riadené počítačom a dvojsové zariadenie zaisťuje, že zrkadlá neustále smerujú lúče do ohniska veže. Kvapalina cirkulujúca v absorbátore odovzdáva teplo tiež termálnemu zásobníku, z ktorého sa odoberá nielen na výrobu elektriny ale aj pre potreby priemyselných aplikácií. Teploty, ktoré sú dosahované v absorbátore sa pohybujú od 538 stupňov Celzia do 1482 stupňov Celzia.



Prvá solárna veža "Solar One" bola postavená v americkom Barstow v južnej Kalifornii a úspešne demonštrovala túto technológiu výroby elektriny. Zariadenie s výkonom 10 MW pracovalo od polovice 80-tych rokov a využívalo vodu a paru pod vysokým tlakom ako teplonosné médium. V roku 1992 bola voda nahradená roztokom roztavených solí a zariadenie bolo doplnené o nový skladovací systém tepla. Tento roztok je prečerpávaný z "chladnejšej" nádrže s teplotou 288 stupňov Celzia do absorbátora vo veži, kde sa zohrieva na 565 stupňov Celzia a vracia sa do horúcej nádrže, z ktorej sa odoberá na výrobu elektriny. Tento nový zásobník, ktorý v súčasnosti umožňuje skladovať solárne teplo po dobu 3 až 13 hodín, výrazne zlepšil parametre celého zariadenia, nakoľko výroba elektriny je možná vtedy, keď si to vyžaduje potreba elektrickej siete.



Vyťaženosť zariadenia tak stúpila na 65%. Ďalšia solárna veža "Solar Two" postavená v roku 1996 s výkonom 10 MW je v súčasnosti testovaná s cieľom overiť technológiu pre komerčné využívanie. Očakáva sa, že prvé komerčné zariadenia tohto typu by mali mať inštalovaný výkon v rozsahu 30 až 200 MW.

POROVNANIE TECHNOLOGIÍ

Ako vyplýva z tabuľky porovnania troch termálnych solárnych systémov na výrobu elektrickej energie najvýhodnejšími pre pripojenie do verejnej elektrickej siete sú technológie solárnych veží a solárnych parabolických koryt. Výkony týchto zariadení sa pohybujú od 30 do 200 MW, kým systémy solárnych parabolických tanierov sú vhodné pre izolované a menšie aplikácie. Najrozvinutejšou technológiou v súčasnosti sú parabolické korytá, u ktorých sa v blízkej budúcnosti predpokladá ich širšie komerčné využívanie. Solárne veže však majú perspektívu uplatniť sa vo výrobe elektriny práve vďaka prepracovanému systému skladovania tepla umožňujúcemu výrobu elektriny počas celého dňa. Solárne veže aj tanieri poskytujú možnosť dosiahnuť vyššie účinnosti premeny slnečnej energie na elektrinu ako solárne korytá, avšak otázkou zostáva či sa pri týchto technológiách podarí znížiť investičné náklady, ktoré súvisia hlavne s výrobou zrkadiel. Solárne tanieri si vyžadujú vývoj špeciálneho motora na výrobu elektriny a lacnejších koncentrátorov žiarenia (tanierov).



Solárna veža Solar One.

Charakteristiky solárnych termálnych zariadení na výrobu elektriny.

	Parabolické korytá	Solárne taniere	Solárne veže
Elektrický výkon	30-320 MW	5-25 kW	10-200 MW
Prevádzková teplota (°C)	390	750	565
Vyťaženosť počas roka	23-50%	25%	20-77%
Maximálna účinnosť	20%(d)	29,4%(d)	23%(p)
Priemerná účinnosť	11(d)-16%	12-25%(p)	7(d)-20%
Stav vývoja	Komerčný prototyp	Demonštračné zariadenie	Demonštračné zariadenie
Riziká technológie	Nízke	Vysoké	Stredné
Možnosť skladovania energie	Obmedzená	Batérie	Áno
Hybridný typ (solar/fosil)	Áno	Áno	Áno
Použitie	Výroba elektriny do verejnej siete; výroba tepla pre priemysel	Izolované malé elektrárne	Výroba elektriny do verejnej siete; výroba tepla pre priemysel
Investičné náklady USD/W	2,7 – 4,0	1,3 - 12,6	2,5 - 4,4

Cena elektriny vyrobenej solárnymi termálnymi elektrárnami závisí na viacerých faktoroch ako sú investičné náklady, náklady na prevádzku a údržbu a účinnosť zariadenia. Ukazuje sa, že cena je relatívne vysoká hlavne pre menšie zariadenia a konkurencie schopnosť v porovnaní s klasickými palivami sa objavuje až pri väčších zariadeniach. Veľkou výhodou však je, že sú schopné vyrábať elektrickú energiu v čase jej potreby (vo dne v noci) a to buď cestou skladovania energie alebo použitím hybridných systémov kombinujúcich výhody slnečnej energie zálohovanej fosílnym palivom.

SOLÁRNE ABSORBČNÉ NÁDRŽE

Vyššie opísané solárne koncentračné technológie majú nevýhodu v tom, že bez zariadení na skladovanie energie alebo zálohových systémov na klasické palivá nedokážu vyrábať elektrinu v noci. Skladovanie tepla je však možné aj v prírodných nádržiach, ktoré sa pre tento účel využívajú na výrobu elektriny. Niektoré prírodné vodné nádrže (napr. Mŕtve more) majú relatívne veľmi vysoký obsah solí, pričom ich koncentrácia rastie smerom od povrchu ku dnu. Charakteristické pre takéto nádrže je, že tu nedochádza k výraznému premiešavaniu a koncentrácia solí zostáva nerovnomerne rozložená. V dôsledku toho dochádza k vyššej absorpcii slnečného žiarenia pri dne nádrže, kde je vysoká koncentrácia solí. Voda s vyššou koncentráciou solí je totiž hustejšia, a preto sa nepremiešava s vyššie položenou vodou. Zohrieva sa natoľko, že dochádza takmer k varu, pričom povrch nádrže je relatívne chladný. Táto horúca spodná voda môže byť využitá ako zásobník, z ktorého sa teplo odvádza cirkulačným potrubím s kvapalinou do turbíny vyrábajúcej elektrickú energiu. Teplotný rozdiel medzi hornou a spodnou vrstvou nádrže je na mnohých miestach dostatočný na výrobu elektrickej energie.

Takéto zariadenie bolo inštalované v Beit Ha'Arava (Izrael) blízko Mŕtveho mora. Izrael je krajinou, kde je technológia solárnych absorbčných nádrží v súčasnosti najviac rozvinutá. Firma Ormat Systems Inc. do dnešnej doby postavila viacero takýchto zariadení v blízkosti Mŕtveho mora. Najväčšie z nich malo inštalovaný elektrický výkon 5 MW a rozkladalo sa na ploche 20 hektárov. Účinnosť premeny slnečnej energie na elektrickú bola však len 1 %. Hoci zariadenie pracovalo úspešne niekoľko rokov, bolo v roku 1989 z ekonomických dôvodov zatvorené. Najväčšia solárna absorbčná nádrž v USA je inštalovaná v texaskom El Paso, kde sa rozkladá na ploche 0,3 hektára a úspešne pracuje od roku 1986. Zariadenie má elektrický výkon 70 kW a okrem elektriny vyrába aj 20.000 litrov odsolenej vody za deň pre miestny potravinársky podnik. Pri dne tejto prírodnej vodnej nádrže sa neustále udržiava teplota okolo 90 °C. Umelé jazero s gradientom (rozdielne koncentrácie) obsahu soli vo vode bolo postavené aj v americkom Miamisburgu (Ohio) a v súčasnosti sa využíva na ohrev vody pre miestne kúpalisko a rekreačné budovy.

FOTOVOLTAIKA

Fotovoltaika (FV) je výraz odvodený z gréckeho slova "photos" (svetlo) a názvu jednotky napätia - volt. Fotovoltaika znamená priamu premenu slnečnej energie na elektrinu. Tento jav sa využíva v tzv. slnečných (fotovoltaických) článkoch. Slnečné články sa vyrábajú z polovodičových materiálov ako je napr. kremík. Účinnosť premeny slnečnej energie na elektrinu je v komerčne dostupných článkoch okolo 10% avšak v laboratórnych článkoch presiahla 20 %. Slnečné články majú výhodu v tom, že ich spojením je možné vytvárať solárne moduly, z ktorých je možné postaviť celú veľkú slnečnú elektrárňu. Najväčšia takáto elektrárňu bola postavená v americkom Carrisa Plain (Kalifornia) a jej inštalovaný výkon je 5 MW.

Vývoj slnečných článkov má za sebou relatívne dlhú históriu siahajúcu až do roku 1839, kedy francúzsky fyzik Edmund Becquerel objavil fotovoltaický jav. Míľniky vo vývoji predstavovali nasledujúce roky:

- V roku 1883 americký elektrikár Charles Edgar Fritts skonštruoval selénový solárny článok. Článok mal účinnosť premeny svetla na elektrinu 1 až 2 % (takéto selénové články sa používajú ešte aj dnes v senzoch rôznych kamier).
- V roku 1950 bol Czochralskim vyvinutý spôsob výroby vysoko čistého - polovodičového kremíka.
- V roku 1954 Bell Telephone Laboratories vyrobili kremíkový slnečný článok s účinnosťou 4 %, ktorá neskôr vzrástla na 11%.
- V roku 1958 bol v americkom vesmírnom satelite Vanguard inštalovaný malý rádiový vysielač s výkonom 1 Watt napájaný kremíkovým solárnym článkom. Od tohoto obdobia vesmírny program zohral mimoriadnu úlohu vo vývoji solárnych článkov.
- V období prvej veľkej ropnej krízy



Slnečné články inštalované na hoteli Corinthia Panorama v Prahe majú celkový výkon 6 kW. Články boli vyrobené českou firmou v Rožňove pod Radhoštěm.

(1973-74) viacero krajín začalo investovať do vývoja a výroby fotovoltaiických článkov, čo malo za následok inštalovanie viac ako 3100 systémov na výrobu elektriny len v USA. Viaceré z týchto systémov pracujú dodnes.

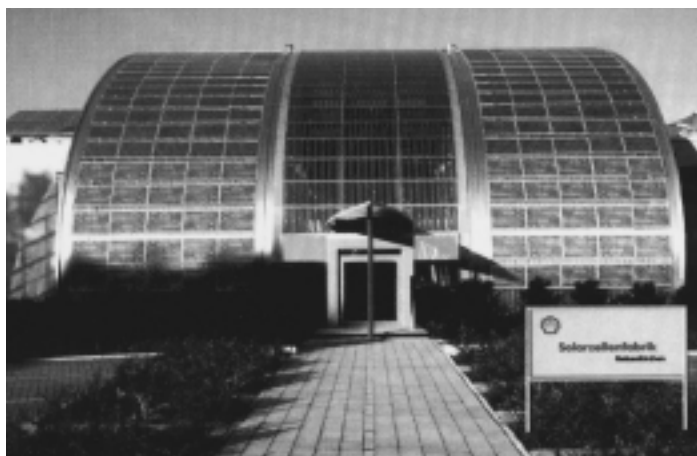
Súčasný stav na trhu solárnych článkov je charakterizovaný stálym nárastom výroby približne o 20% každý rok, avšak celková produkcia je stále relatívne malá. V roku 1998 predstavovala výroba výkon 125 MW, pričom cena článkov klesla z 50 USD/W v roku 1976 na 3 USD/W v roku 1999. Napriek tomuto pozitívnemu vývoju cena vyrobenej elektrickej energie je ešte stále relatívne vysoká a pohybuje sa na úrovni 3 až 10-násobku ceny elektriny vyrobenej z klasických palív (v závislosti na mieste a použitom systéme). Solárna výroba elektriny preto dnes predstavuje len zanedbateľný podiel na celkovej výrobe elektriny vo svete. Napriek tomu však tento podiel neustále narastá hlavne na odľahlých miestach a v aplikáciách s tzv. izolovanými systémami (nepripojené na verejnú elektrickú sieť), kde už dnes je elektrina zo solárnych článkov často lacnejšia a nahrádza tak rôzne naftové a iné generátory.

Pokrok je viditeľný na mnohých miestach sveta. Japonská vláda investuje ročne 250 miliónov dolárov s cieľom zvýšiť objem výroby v tejto krajine zo 40 MW v roku 1997 na 190 MW v roku 2000. Podobné programy prebiehajú aj vo viacerých európskych krajinách a v USA. Hnacou silou tohoto vývoja je snaha o budúcu nezávislosť na dovážaných fosílnych palivách a zlepšenie životného prostredia. Ukazuje sa, že problematika klimatických zmien môže výrazne ovplyvniť rýchlosť rozvoja priemyslu slnečných článkov. Obnoviteľné energetické zdroje sú totiž riešením, ako znížiť emisie uhlíka do atmosféry, a tak zastaviť globálne otepľovanie. Túto výzvu pochopili aj veľké ropné spoločnosti ako napr. Shell, ktorý prostredníctvom svojej dcérskej spoločnosti Shell Solar vybudoval v roku 1999 v Nemecku najväčší závod na výrobu solárnych článkov na svete. Dnes tu produkujú články s celkovou kapacitou 20 MW ročne s výhľadom na zvýšenie výroby až na 25 MW ročne. Investičné náklady vložené do tohoto podniku dosiahli 50 milión mariek.



VYUŽÍVANIE SLNEČNÝCH ČLÁNKOV

Pre mnoho aplikácií sú slnečné články už dnes výhodnou alternatívou ku klasickým palivám. Slnečný článok premieňajúci svetlo na elektrinu totiž neobsahuje žiadne pohyblivé časti, čo zvyšuje jeho spoľahlivosť a nekladie nároky na údržbu a prevádzku. Solárne články sú schopné vyrábať elektrinu v každom počasí. Pri čiastočne zatiahnutej oblohe výkon dosahuje 80% ich potenciálu a aj pri úplne zatiahnutej oblohe počas dňa je tento výkon ešte 30%.



Závod na výrobu slnečných článkov firmy Shell Solar v nemeckom Gelsenkirchene. Strecha je pokrytá článkami.

Fotovoltaičné (FV) systémy sa stali najlepším riešením v takých aplikáciách, ako je napájanie vesmírnych satelitov elektrickou energiou, kde sú takmer výlučným energetickým zdrojom už od roku 1960. Na odľahlých miestach sa presadzujú slnečné články už do 70-tych rokov

a v komerčných spotrebiteľských produktoch ako sú kalkulačky, rádiá alebo hodinky sa presadzujú od 80-tych rokov. V 90-tych rokoch sa o slnečné články začali vážne zaujímať aj elektrárenské spoločnosti a nastala éra ich využívania v malých elektrárnach.

Rozdelenie dodávok slnečných článkov podľa využitia vo svete v roku 1998.

Systémy prepojené na sieť	36 MW
Izolované systémy	34 MW
Telekomunikácie	31 MW
Spotrebná elektronika	30 MW
FV/naftové hybridné systémy	20 MW
Iné	2 MW
Spolu	153 MW

Skúsenosti z USA ukazujú, že čerpadlá vody napájané solárnymi článkami sú ekonomicky výhodné všade tam, kde by inak bolo potrebné predĺžiť sieť elektrického vedenia. Dnes viacero elektrárenských spoločností ponúka svojim zákazníkom solárne články pre takéto účely. V aplikáciách ako je napr. napájanie plotov elektrickým prúdom (ochrana zvierat na farmách), pohon cirkulačných zariadení vody alebo klimatizačných jednotiek, si slnečné články už našli svoje uplatnenie.

Články sa dnes nevyrábajú len vo forme osobitných panelov, ale viacero firiem ich montuje do strešných krytín (šindľov) alebo vonkajších materiálov na stavbu fasád budov. Inštalovanie slnečných článkov do stavebných prvkov výrazne znižuje náklady, pričom slnečné články pôsobia na budovách tiež veľmi esteticky.

Zaujímavosťou je, že tieto články dodávali elektrinu aj balónu Breitling Orbiter 3 počas jeho letu bez pristátia okolo sveta. Po tri týždne napájalo 20 slnečných modulov, umiestnených pod košom, navigačné, komunikačné a osvetľovacie zariadenia balóna. Každý modul bol sklonený tak, aby dokázal dodávať prúd na dobíjanie piatich olovených batérií aj počas otáčania balóna. Slnečné články pracovali bez problémov počas celej cesty.

Zaujímavosťou je, že tieto články dodávali elektrinu aj balónu Breitling Orbiter 3 počas jeho letu bez pristátia okolo sveta. Po tri týždne napájalo 20 slnečných modulov, umiestnených pod košom, navigačné, komunikačné a osvetľovacie zariadenia balóna. Každý modul bol sklonený tak, aby dokázal dodávať prúd na dobíjanie piatich olovených batérií aj počas otáčania balóna. Slnečné články pracovali bez problémov počas celej cesty.

Fotovoltaika sa presadzuje aj v rozvojových krajinách pri elektrifikácii dedín. Dnes je na svete viac ako 2 miliardy ľudí bez prístupu k elektrickej energii. Väčšina z nich žije v rozvojových krajinách, kde až 75% populácie je bez elektriny. V mnohých oblastiach je elektrické vedenie prakticky nedostupné a slnečné články sa stávajú jediným ekonomickým riešením pre zaistenie osvetlenia, čerpania vody, telekomunikačných a zdravotníckych služieb ale aj pri rozvoji podnikania. Ľudia v rozvojových krajinách často využívajú na pohon



Satelit napájaný energiou zo slnečných článkov.



Strecha so slnečnými šindľami.

generátorov prúdu palivá ako sú kerozín alebo nafta. Toto však so sebou prináša viacero nevýhod:

- dovážané fosílné palivá vedú k vyššej zadĺženosti rozvojových krajín
- doprava týchto palív je často obtiažna v dôsledku nedostatočnej infraštruktúry
- údržba generátorov je zložitá a vyžaduje si dovážať nedostatkové náhradné diely
- generátory znečisťujú okolité prostredie výfukmi a sú hlučné.

Slnčné články uvedené nevýhody z veľkej časti odstraňujú. Ukazuje sa, že svietenie pomocou slnečných článkov je v rozvojových krajinách efektívnejšie ako svietenie kerozínovými lampami. Intenzita slnečného žiarenia je vo väčšine týchto krajín značná a poskytuje dostatok čistej energie, ktorá je zadarmo. Využívanie solárnych článkov sa preto stalo jednoduchým a dnes už osvedčeným spôsobom v desiatkach tisícok aplikácií po celom svete.

Navyše perspektíva využívania slnečných článkov je veľmi dobrá. Stály pokles cien v dôsledku zvyšujúcej sa výroby a zlepšovania účinnosti znamenajú, že na trhu s elektrickou energiou sa pre slnečné články otvoria nové možnosti. Okrem už uvedenej integrácie do stavebných materiálov sa predpokladá výstavba väčších solárnych elektrární a širšie uplatnenie v spotrebnej elektronike. Európska Únia má v úmysle zdvojnásobiť podiel obnoviteľných zdrojov na spotrebe energie do roku 2010, pričom v oblasti využívania slnečných článkov sa predpokladá inštalovať jeden milión fotovoltických systémov s celkovým výkonom 1000 MW. BP Amoco (jedna z najväčších ropných spoločností na svete) v súčasnosti inštaluje na 200 benzínových čerpacích staniciach vo Veľkej Británii, Austrálii, Rakúsku, Švajčiarsku, Holandsku, Japonsku, Portugalsku, Španielsku, Francúzsku a USA solárne systémy vlastnej výroby s celkovým výkonom 3,5 MW. Články budú týmto staniciam dodávať elektrickú energiu. Investičné náklady na tento program dosiahli 50 miliónov dolárov a výsledkom bude zníženie emisií CO₂ o 3500 ton ročne. BP Amoco sa tak stane jedným najväčších užívateľov solárnych článkov na svete a súčasne i jedným z najväčších výrobcov týchto článkov. Všetky články budú napojené na verejnú elektrickú sieť, nakoľko budú vyrábať viac elektriny, ako je spotreba týchto čerpacích staníc. Podľa predstaviteľov BP Amoco by trh so slnečnými článkami mal dosiahnuť 1000 MW v roku 2010 a 5 milión MW v roku 2050.



Breitling Orbiter

TECHNOLÓGIA

Hoci sa solárne články, tým že neobsahujú žiadne pohyblivé časti, javia navonok ako jednoduché zariadenia, ukrývajú v sebe veľmi čisté polovodičové materiály, ktoré sú podobné tým, ktoré sa používajú v mikroprocesoroch počítačov. Slnčný článok pracuje na fyzikálnom princípe toku elektrického prúdu medzi dvoma prepojenými polovodičmi s rozdielnymi elektrickými vlastnosťami, na ktoré dopadá svetelné žiarenie.

Sústava článkov vytvára modul alebo panel, ktorý vzhľadom na svoje elektrické vlastnosti je zdrojom jednosmerného prúdu. Jednosmerný prúd na rozdiel od striedavého tečie len jedným smerom. Tento prúd využíva mnoho jednoduchých elektrických zariadení ako sú napr. prenosné elektrospotrebiče na batérie. Striedavý prúd na rozdiel od jednosmerného neustále mení smer toku v pravidelných intervaloch. Tento typ prúdu je dodávaný verejnou elektrickou sieťou a využíva ho väčšina bežných elektrospotrebičov. V najjednoduchších solárnych aplikáciách je jednosmerný prúd vyrábaný slnečnými článkami využívaný elektrospotrebičmi priamo. V aplikáciách, kde je potrebný striedavý prúd je potrebné použiť tzv. menič, ktorý z jednosmerného vyrába prúd striedavý.

Dnešné slnečné články sa takmer výlučne vyrábajú z kremíka. Približne 80% všetkých článkov je vyrobených z kryštalického kremíka (multikryštalického alebo monokryštalického) a asi 20% sú tzv. amorfné (nekryštalické) kremíkové články nanosené na podklad vo forme tenkého filmu o hrúbke tisíce milimetrov. Kryštalické články sú zvyčajne tmavo modré a pripomínajú ľadové štruktúry. Amorfné

Región	1992	1998
USA	18,1	53,7
Japonsko	18,8	49,0
Európa	16,4	31,0
Ostatní	4,6	18,7
Spolu	57,9	152,4

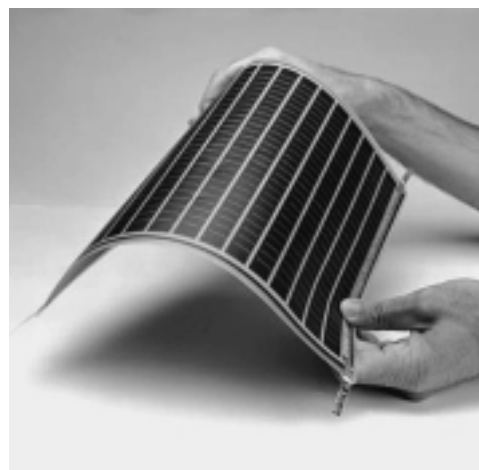
Výroba slnečných článkov vo svete v MW.

články vypadajú hladko a menia farbu v závislosti na tom ako ich držíme. Monokryštalické články majú najvyššiu účinnosť premeny svetla na elektrinu avšak sú drahšie ako multikryštalické články. Amorfne články sa najčastejšie využívajú v malých zariadeniach ako sú kalkulačky alebo hodinky, ale ich účinnosť a dlhodobá stabilita je nižšia ako u kryštalických článkov, preto sa nepoužívajú vo väčších systémoch ako sú napr. solárne elektrárne. V laboratórnych podmienkach sú dnes vyvíjané články, ktoré sú založené i na iných materiáloch ako je kremík. Sem patria napr. kadmium sulfát teluridové články, články na báze meďi, india a gália a iné.

Účinnosť vyrábaných slnečných článkov s predpokladaným vývojom v budúcnosti (v %).

Technológia	1998	2000	2010
Monokryštalické články	14-16	18	22
Multikryštalické články	13-15	16	20
Tenký kremíkový film	8-10	12	15
Amorfne články	6-8	10	14
Meď-Indium diselenidové články	7-8	12	14
Kadmium teluridové články	7-8	12	14

O tom, že v blízkej budúcnosti je možné očakávať nárast účinnosti článkov svedčia aj hodnoty dosiahnuté pri výrobe článkov v laboratórnych podmienkach.



Flexibilné slnečné články.

Účinnosť článkov vyrobených v laboratórnych podmienkach.

Technológia	Účinnosť v %
Monokryštalické články	25
Multikryštalické články	21
Tenký kremíkový film	16
Amorfne články	12-16

V našich klimatických podmienkach je pri použití rôznych typov článkov možné získať približne nasledujúce množstvo elektrickej energie.

Kremíkové články	Zisk v kWh/m ² /rok
Monokryštalické	176
Multikryštalické	154
Amorfne	88

Bežný fotovoltaický článok veľkosti 100 cm² s účinnosťou 10 % dokáže za jasného dňa vyrobiť 1 Watt elektrickej energie. Možno sa to zdá málo, ale v skutočnosti sa v kremíku ukrýva obrovská energia. Pozoruhodné pre amorfne kremíkové články, vyrobené z tenkého filmu je, že tým že sa vyžaduje len tak málo aktívneho materiálu, je jeden gram kremíka schopný počas svojej životnosti vyrobiť porovnateľné množstvo elektriny ako jeden gram uránu v atómovej elektrárni ! Navyše kremík sa v zemskej kôre vyskytuje 5000-krát častejšie ako urán a pri jeho využití sa neprodukuje rádioaktívny odpad. Kremíka je na zemi viac ako dosť veď predstavuje až polovicu hmotnosti obyčajného piesku.

KREMÍK vs. URÁN

Jeden gram uránu je schopný počas svojho štiepenia v atómovom reaktore uvoľniť energiu, z ktorej sa dá získať 3800 kWh elektrickej energie - t.j. asi toľko elektriny, koľko jej spotrebuje jedna domácnosť ročne. Tento potenciál je tak veľký, že viedol k ťažbe uránu, ktorého zastúpenie v zemskej kôre je len 5 : 100 000. Množstvo energie, ktoré je však možné získať z jednej tony uránovej rudy, sa rovná spáleniu 70 ton uhlia. Ako teda môže amorfny kremík vo fotovoltaickom článku konkurovať tejto obrovskej energii? Obzvlášť, keď energia uvoľnená pri jednom štiepení jadra uránu je 100 miliónkrát väčšia ako energia uvoľnená fotónom slnečného žiarenia v kremíkovom článku. Odpoveď je v tom, že jadro uránu sa môže štiepiť len raz, kým fotovoltaický článok môže absorbovať fotóny a premieňať ich na elektrinu až 30 rokov. V Kalifornii, kde intenzita slnečného žiarenia dosahuje až 250 W na meter štvorcový dokáže slnečný článok s účinnosťou premeny 15 % vyrobiť počas svojej životnosti asi 3300 kWh elektrickej energie, čo je približne toľko, koľko jej vyrobí jeden gram uránu v atómovom reaktore.

ŠTRUKTÚRA SLNEČNÉHO ČLÁNKU

Elektrická energia sa v slnečnom článku vyrába na spoji dvoch kremíkových vrstiev, ktoré sa líšia svojimi vlastnosťami. Jedna vrstva kremíka sa vďaka prímеси atómov fosforu vyznačuje nadbytkom elektrónov (záporných nábojov) a označuje sa ako "N - vrstva". Druhá vrstva kremíka je obohatená atómami bóru, čím v nej vzniká nedostatok elektrónov, označuje sa ako "P - vrstva" a má kladný náboj. Medzi oboma vrstvami vzniká tzv. P-N prechod, ktorý je pri dopade slnečného žiarenia aktivovaný a pripojenými vodičmi tečie medzi oboma vrstvami elektrický prúd. P-N prechod je polovodič, pretože na rozdiel od striedavých elektrických zariadení prúd tečie len jedným smerom - od záporného pólu ku kladnému. Keď na tento polovodič dopadá slnečné žiarenie (alebo žiarenie z iného svetelného zdroja), napätie medzi oboma pólmi má hodnotu asi 0,5 Voltu a pretekajúci prúd je úmerný intenzite svetelného žiarenia (množstvu dopadajúcich fotónov). V každom slnečnom článku je napätie takmer konštantné a prúd je závislý na veľkosti článku a intenzite žiarenia. Napätie solárneho panelu skladajúceho sa z viacerých článkov býva zvyčajne 12 resp. 24 V.

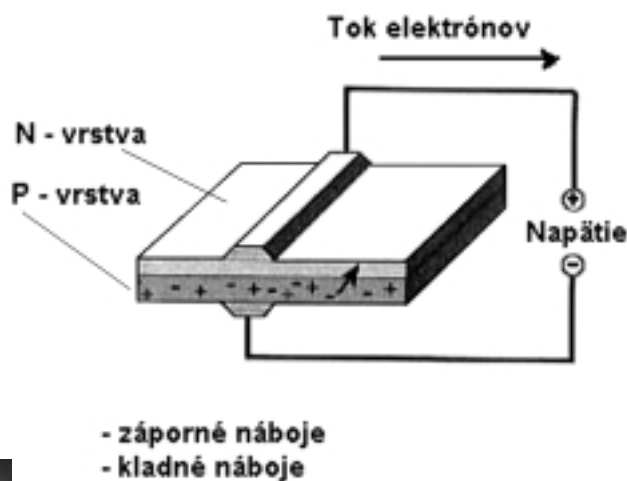
Slnečné články sú vyrábané z extrémne čistého kremíka zbaveného akýchkoľvek prímеси. Výroba článkov je preto veľmi drahá. Pre porovnanie množstvo kremíka použité v jednom 50 W článku (paneli) je úmerné množstvu kremíka v integrovaných obvodoch asi 2000 počítačov, v ktorých sa využívajú polovodiče rovnakej čistoty. Zvyšný materiál v slnečnom paneli predstavuje hliník, sklo a plasty - všetko lacné a ľahko recyklovateľné materiály.



Slnečné panely.

slnečného žiarenia 1000 W/m^2 dopadajúceho na článok pri nominálnej teplote 25°C . Tieto podmienky sú dosiahnuté pri dobrom počasí v čase, keď sa Slnko nachádza v najvyššom bode na oblohe. Na dosiahnutie výkonu 1 Wp pri takýchto podmienkach je potrebný článok asi $10 \times 10 \text{ cm}$. Väčšie slnečné panely s rozmermi napr. $1 \text{ m} \times 40 \text{ cm}$ majú bežný špičkový výkon 40-50 Wp. Veľkú časť dňa je však intenzita slnečného žiarenia nižšia ako 1000 W/m^2 , navyše slnečný panel sa tiež zohrieva nad nominálnu teplotu. Obidve tieto skutočnosti znižujú výkon panelu. Pre typické podmienky strednej Európy sa dá očakávať priemerný denný zisk 6 Wh (2000 Wh za rok) z každého Wp. Pre porovnanie napr. 5 Wh je energia spotrebovaná 50 W žiarovkou za 6 minút ($50\text{W} \times 0,1\text{hod.} = 5\text{Wh}$) alebo malým prenosným rádiom so spotrebou 5 W za jednu hodinu ($5\text{W} \times 1\text{h} = 5\text{Wh}$).

Pre zhodnotenie množstva energie, ktorú môžeme v našich podmienkach článkami získať je nutné poznať množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia a výkon článku. Úrovne slnečného žiarenia dopadajúceho na plochu 1 m^2 (pri sklone 30°) v závislosti na ročnej dobe sú v tabuľke v úvode kapitoly o slnečnej energii. Množstvo elektrickej energie (M), ktorú článok v priebehu jedného dňa vyrobí, je možné určiť



P-N prechod v slnečnom článku.

Slnečné články sa montujú do panelov, v ktorých sú navzájom poprepájané a chránené skleneným pokrytím. Čím väčšia je plocha panelu a intenzita žiarenia, tým väčší prúd nimi tečie. Výkon panelov sa vyjadruje hodnotou tzv. špičkového výkonu (Wp). Watt je jednotka používaná na vyjadrenie schopnosti zariadenia generovať prúd alebo tiež vyjadruje schopnosť spotrebovávať prúd nejakým elektrickým zariadením. 1 Wp je výkon zariadenia pri špecifických podmienkach napr. pri intenzite

na základe nasledujúceho vzťahu:

$$M \text{ (kWh/deň)} = P \text{ (kWp)} \cdot I \text{ (kWh/m}^2\text{/deň)} \cdot E$$

P - je špičkový výkon článku udaný v kW.

I - je intenzita slnečného žiarenia dopadajúceho na plochu 1 m²/deň (udaná v kWh/m²/deň)

E - je účinnosť celého systému.

Ročná výroba elektrickej energie závisí na spôsobe využitia slnečných článkov. Typická účinnosť (E) solárneho systému býva:

0,8 pre systémy pripojené na sieť

0,5 - 0,7 pre hybridné systémy

0,2 - 0,3 pre samostatne pracujúce systémy.

Hoci vyrábané články sa líšia svojou kvalitou, väčšina svetových výrobcov udáva životnosť článkov na úrovni 20 a viac rokov. V súčasnosti dodávatelia garantujú špecifický výkon článkov po dobu asi 10 rokov. Rozhodujúcim kritériom pri kúpe slnečných článkov je v prípade rôznych výrobkov porovnanie pomeru ich cien na jednotku výkonu. Z článku s výkonom 120 Wp a cenou 569 dolárov (4,74 USD/Wp) na americkom trhu je možné získať viac energie ako z "lacnejšieho" 90 Wp článku, ktorý stojí napr. 489 dolárov (5,43 USD/Wp). Vzhľadom na malé rozdiely je účinnosť bežne dostupných článkov pri kúpe zvyčajne menej dôležitá.

VÝHODY SLNEČNÝCH ČLÁKOV

Slnečné články využívajú energiu, ktorá je zadarmo, preto sa vyznačujú nízkymi prevádzkovými nákladmi a navyše aj vysokou spoľahlivosťou. Pôvodne boli vyvinuté pre použitie v kozme, kde ich údržba resp. oprava je prakticky vylúčená. Dnes takmer všetky vesmírne satelity sú napájané týmto zdrojom. Mnohé z nich pracujú veľmi dlhú dobu a bez nárokov na výmenu článkov.

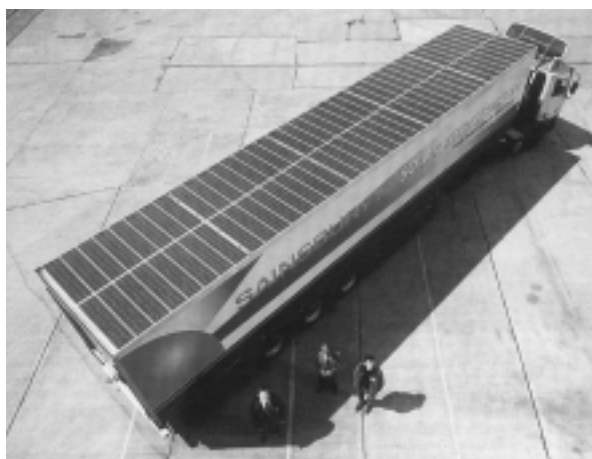
Výhodou slnečných článkov a systémov z nich vytvorených je, že panely sa dajú jednoducho pridávať, a tak zväčšovať výkon celého zariadenia. Majiteľ takéhoto zariadenia môže zväčšovať jeho výkon, v závislosti na narastajúcej spotrebe energie. Panely sú prenosné podobne ako ostatné súčasti solárnych zariadení, a tak je ich možné bez problémov inštalovať na akomkoľvek mieste.

Slnečné systémy sa zvyčajne umiestňujú v blízkosti miesta spotreby elektrickej energie, čo znamená, že si vyžadujú kratšiu kabeľáž v porovnaní s predĺžením bežného elektrického vedenia k užívateľovi. Navyše slnečné články si nevyžadujú použitie transformátorov vysokého napätia na nižšie, tak ako je to potrebné pri napojení sa na verejnú elektrickú sieť. Tieto výhody prispievajú k zníženiu relatívne vysokých nákladov na kúpu slnečných článkov.

KOLKO STOJÍ ELEKTRINA VYROBENÁ SLNEČNÝMI ČLÁNKAMI?

Na otázku, aké sú výrobné náklady elektriny zo slnečných článkov, neexistuje jednoduchá odpoveď. Mnoho malých solárnych zariadení dodávajúcich elektrinu pre izolované systémy (obydlia na odľahlých miestach), vyrába elektrickú energiu dnes lacnejšie ako iné dostupné alternatívy napr. predĺženie elektrického vedenia alebo používanie dieselového generátora prúdu spaľujúceho naftu.

Cena solárne vyrobenej elektriny z väčších systémov použitých napr. v plne elektricky vybavených domácnostiach závisí na počiatkových investičných nákladoch, úrokovej miere, nákla-



Slnečné články na chladiarenskom vozidle. Najviac elektriny na chladenie dodávajú články v čase kedy Slnko najviac zohrieva povrch vozidla.

doch na prevádzku, očakávanej životnosti zariadenia a množstve vyrobenej elektriny. V podmienkach USA a cenách zariadení a komponentov v tejto krajine sa cena vyrobenej elektrickej energie pohybovala v roku 1998 od 0,20 USD/kWh do 0,50 USD/kWh (10 Sk/kWh až 25 Sk/kWh pri kurze 50 Sk=1 USD).

KOLKO MIESTA ZABERAJÚ SLNEČNÉ SYSTÉMY?

Bežné slnečné články z kryštalického kremíka produkujú dnes 100-120 W z každého štvorcového metra plochy, ktorú zaberajú. Jeden meter štvorcový článkov je orientačne potrebný na napájanie jednej 100 Wattovej žiarovky. Pre väčšie systémy zabraná plocha samozrejme narastá a teoreticky v prípade veľkých slnečných elektrární by mohla dosiahnuť i niekoľko štvorcových kilometrov. Je možné spočítať, že na vyrobenie elektrickej energie, ktorá sa ročne spotrebuje na Slovensku (27 miliárd kWh/rok), pri výlučnom použití slnečných elektrární, by ich plocha predstavovala asi 150 km² (výroba 176 kWh/m²/rok). Plocha 150 km² (12,5 x 12 km) zabraná slnečnými článkami by sa mohla zdať veľká, avšak jednoduchším a lacnejším riešením by bolo umiestnenie článkov do striech a fasád budov, tak ako sa to dnes vo svete bežne robí. Nahradenie tradičných stavebných materiálov, ktoré by boli na budove nutné v každom prípade, slnečnými článkami totiž výrazne znižuje investičné náklady. Dnes neexistuje žiadne fyzikálne obmedzenie, ktoré by limitovalo množstvo vyrobenej elektrickej energie slnečnými článkami. Keďže slnečné články nevyrábajú elektrinu v noci praktická realizácia elektro-energetiky založenej výlučne na solárnych elektrárnach by si vyžiadala vytvorenie osobitného hospodárstva na skladovanie energie založeného napr. na výrobe a použití vodíka. Takto vybudovaný energetický systém však nie je potrebný, nakoľko iné obnoviteľné zdroje (vietor, voda, biomasa, geotermálna energia) sú schopné vhodne slnečnú energiu dopĺňať.

SOLÁRNE SYSTÉMY

Solárne systémy sa zvyčajne zaraďujú do nasledujúcich skupín:

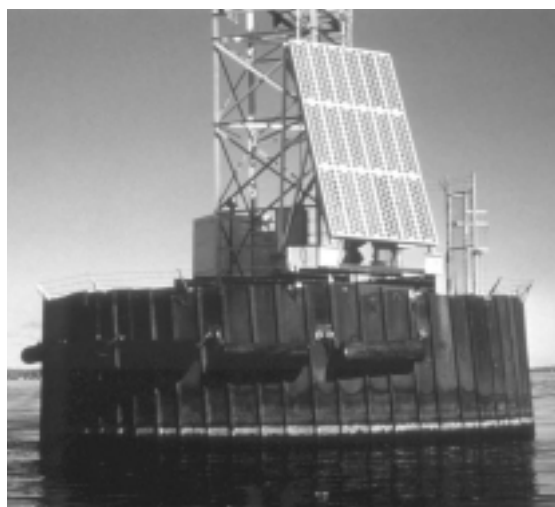
- Samostatné (jednoduché) zariadenia, ktoré závisia len na energii slnečných článkov resp. batérií s regulátormi dobíjania.
- Hybridné systémy ktoré sa skladajú z kombinácie slnečných článkov a iných zdrojov energie napr. dieselových alebo veterných generátorov prúdu.
- Solárne články pripojené na sieť elektrického vedenia pracujúce ako samostatné elektrárne dodávajúce energiu do siete.



Slnečné články vyrábajúce elektrickú energiu popri diaľnici vo Švajčiarsku.

SAMOSTATNÉ SOLÁRNE SYSTÉMY

Malé a jednoduché solárne zariadenia sa dnes veľmi často používajú na mnohých miestach sveta na čerpanie vody, napájanie klimatizačných zariadení a ventilátorov alebo rôznych meteorologických staníc. Malé systémy majú niekoľko výhod v porovnaní s tradičnými zdrojmi energie. Okrem uvedených nízkych prevádzkových a stavebných nákladov existuje aj výhoda ich mobility. Malé zariadenie s výkonom 500 W váži menej ako 70 kg a jeho inštalácia je hotová v priebehu pár hodín. Hoci čerpadlá alebo ventilátory napojené na slnečné panely si vyžadujú istú údržbu, články je nutné len príležitostne skontrolovať a očistiť.



Samostatne pracujúce solárne systémy napájajúce energiou jednotlivé domy však majú malý zisk energie na jednotku špičkového výkonu. Súvisí to s tým, že ich výkon sa zvyčajne navrhuje pre podmienky pokrytia spotreby v zimnom období a energia nimi vyrobená letnom období je takmer nevyužitá. Typické profesionálne systémy inštalované v Európe vykazujú ročný zisk 200 - 550 kWh/kWp.

SOLÁRNE ČERPANIE VODY

Solárne systémy poháňajúce čerpadlá vody sú vhodnou alternatívou k dieselovým generátorom alebo ručným čerpadlám, ktoré sa na tieto účely tiež používajú. Zariadenia na slnečný pohon dodávajú najviac vody v čase, keď je jej potreba najväčšia - keď Slnko svieti najviac. Solárne čerpadlá sú spoľahlivé zariadenia, jednoduché z hľadiska inštalácie a údržby. Pozostávajú z jedného alebo viacerých solárnych panelov priamo napojených na ponorné čerpadlo. Hlavný rozdiel v porovnaní s klasickými čerpadlami spočíva v tom, že solárne napájané čerpadlá pracujú na jednosmerný prúd. Navyše intenzita čerpania vody závisí na intenzite slnečného žiarenia. Nakoľko je lacnejšie skladovať vyčerpanú vodu ako energiu, slnečné čerpadlá zvyčajne nepotrebujú batérie ale nádrže na skladovanie vyčerpanej vody s kapacitou 3-10 dní. Na rozdiel od klasických čerpadiel založených na využití výkonu motora a rýchlosti čerpania, solárne zariadenia majú nižší výkon s pomalým čerpaním vody. Pritom využívajú energiu Slnka od jeho východu až po západ.

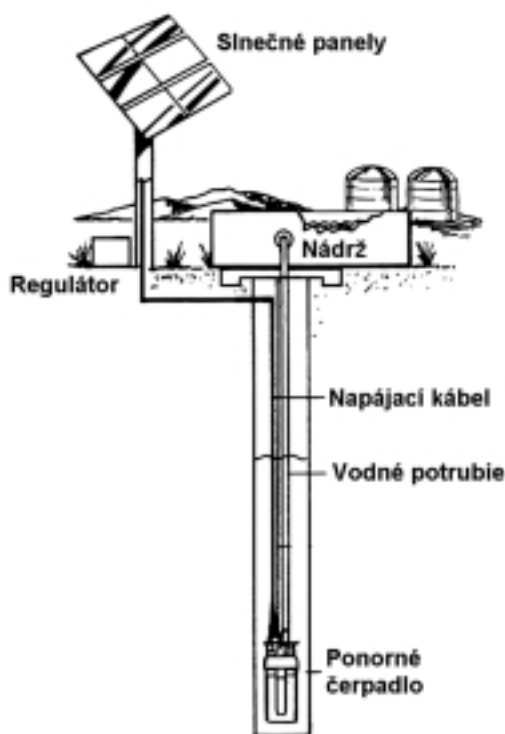
Moderné jednosmerné elektromotory v solárnych čerpadlách pracujú spoľahlivo pri rôznych napätiach a rýchlostiach. Tieto motory si vyžadujú len minimálnu údržbu ako napr. výmenu niektorých častí približne po 5-tich rokoch. V oblastiach, kde sú solárne čerpadlá nasadzované ako konkurencia k naftovým motorovým čerpadlám, sa ukazuje, že nevýhoda ich vysokých vstupných nákladov je rýchlo vykompenzovaná úsporami na palive a údržbe.

SOLÁRNE SYSTÉMY S BATÉRIAMI

Najjednoduchšie solárne systémy ako napr. čerpanie vody alebo poháňanie ventilátorov solárnou energiou má nevýhodu v tom, že pracujú počas dňa len keď svieti Slnko. Aby bolo možné túto nevýhodu vykompenzovať, hlavne v prípadoch keď je energia potrebná nepretržite, používajú sa na uskladnenie solárne vyrobenej energie batérie. Batérie sa cez deň dobíjajú energiou zo slnečných článkov a následne sa z nich energia odoberá v noci alebo podľa potreby. Takto zabezpečená energia sa využíva pre napájanie pouličného osvetlenia, telekomunikačných zariadení, obydľí a veľkého počtu iných aplikácií, ktoré sa nezaobídu bez energie.

Bežný solárny panel vyrába jednosmerný prúd zvyčajne s napätím 12 V. Dnes je na trhu viacero elektrospotrebičov ako sú napr. žiarovky, televízne a rozhlasové prístroje ale aj chladničky, ktoré sú stavané na takéto nízke napätie. Väčšina elektrospotrebičov, s ktorými sa stretávame v domácnostiach však pracuje so striedavým prúdom a napätím 220 V. Na to, aby bolo možné využiť v solárnych systémoch aj takéto elektrospotrebiče, sa do systému vkladá tzv. menič, ktorý mení jednosmerný prúd na striedavý. Hoci menič spotrebováva istú časť energie na svoju prevádzku, takto vyrobená elektrina má rovnaké vlastnosti ako elektrina z verejnej elektrickej siete.

Pri dobíjaní batérií solárnymi panelmi sa využíva nabíjačka, ktorá súčasne kontroluje celý proces tak, aby nedošlo k prebitiu batérie alebo jej úplnému vybitiu, čo by ju mohlo poškodiť. Batérie poskytujú solárnym systémom viacero výhod, na druhej strane však vyžadujú istú údržbu a časom aj výmenu. Solárne batérie sú podobné automobilovým, rozdiel však je v tom, že umožňujú čerpať z nich viac energie. Na rozdiel od



automobilových nezničia sa ani pri častom vybití na minimálnu úroveň. Sú to batérie s tzv. hlbokým cyklom vybíjania. Ich údržba spočíva v pravidelnej kontrole elektrolytu. Taktiež by mali byť chránené pred vysokými a extrémne nízkymi teplotami.

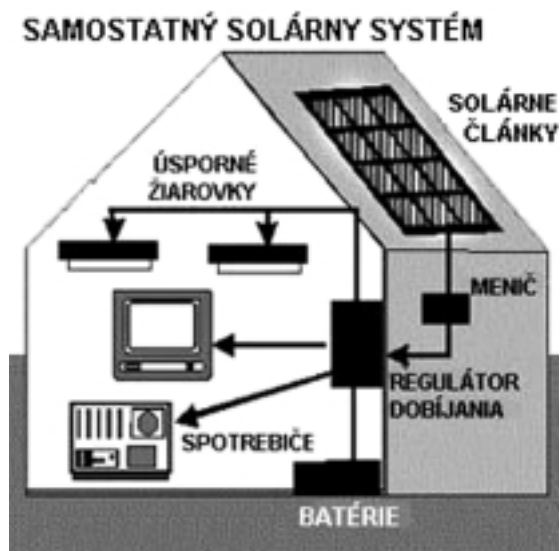
Solárny systém s batériami dodáva energiu vždy, keď je potrebné počas dňa i noci. Koľko energie je možné z batérie v noci alebo počas zatiahnutej oblohy čerpať závisí na kapacite batérií a množstve použitých solárnych panelov. Zväčšenie počtu batérií a panelov znamená aj značné zvýšenie nákladov celého systému, preto musí byť spotreba energie spoľahlivo zhodnotená, aby bolo možné navrhnúť optimálnu kapacitu všetkých použitých komponentov.

NAVRHOVANIE DOMÁCEHO SOLÁRNEHO SYSTÉMU S BATÉRIAMI

Solárny systém so skladovaním energie v batériách dokáže napájať energiou veľký počet domácich elektrospotrebičov avšak len za predpokladu, že je z hľadiska svojho výkonu a spotreby správne navrhnutý. Prvým krokom pri navrhovaní veľkosti systému napr. pre rodinný dom je zhodnotenie spotreby energie.

Pre učenie spotreby energie v domácnosti je potrebné poznať počet elektrospotrebičov, ich spotrebu (W) a dobu, počas ktorej sa tieto spotrebiče využívajú napr. počas dňa alebo mesiaca.

Orientačná spotreba energie niektorých elektrospotrebičov a výpočet spotrebovanej energie za jeden deň je uvedená v tabuľke.



Zariadenie	Okamžitá spotreba	Počet hod./deň	Denná spotreba energie
Úsporná žiarovka	27 W	4	108 Wh
Úsporná žiarovka	27 W	1	27 Wh
Úsporná žiarovka	27 W	0,5	13,5 Wh
Rádio 6V	4 W	10	40 Wh
TV	15 W	2	30 Wh
Ventilátor	12 W	3	36 Wh
SPOLU			254,5 Wh

Ďalším krokom je zhodnotenie intenzity slnečného žiarenia v danom mieste. Tieto hodnoty je v našich podmienkach možné zistiť prostredníctvom hydrometeorologických staníc. Dôležitou veličinou je priemerné ročné (a tiež mesačné) ožiarenie konkrétneho miesta.

Navrhnutie veľkosti systému (panelov) na základe intenzity slnečného žiarenia v zimných resp. letných mesiacoch v sebe skrýva isté riziko. Využitie hodnôt intenzity žiarenia počas zimných mesiacov znamená, že celý systém by síce po celý rok pokrýval spotrebu, avšak v letných mesiacoch by vykazoval nadbytok vyrobenej energie a navyše i jeho veľkosť a tým aj cena by bola väčšia. Na druhej strane dimenzovanie systému na základe väčšej intenzity žiarenia v lete by znamenalo jeho poddimenzovanie v zimných mesiacoch.

Pre veľmi jednoduchý výpočet veľkosti slnečných panelov je potrebné poznať dennú spotrebu energie (Wh/d), prenásobiť túto hodnotu faktorom 1,7, ktorý v sebe zahŕňa straty energie v systéme a predeliť výslednú hodnotu intenzitou slnečného žiarenia napr. $280 \text{ (Wh/d)} \times 1,7 / 5 \text{ (kWh/m}^2\text{/d)} = 96,2 \text{ W}$. Tento výkon je možné pokryť jedným 100 Wattovým resp. dvoma 50 Wattovými panelmi.

Určenie kapacity alebo počtu batérií závisí na spotrebe energie a počte panelov. Pre vyššie uvedený príklad je vhodným riešením kapacita batérie 100 Ah, ktorá umožní skladovať energiu 1200 Wh pri 12 V. Táto kapacita pokryje spotrebu počas 4 dní bez Slnka pri dennej spotrebe asi 280 Wh.

NAPÄTIE SYSTÉMU

V minulosti takmer všetky solárne systémy pracovali s jednosmerným napätím 12 V. Súviselo to s tým, že systémy boli relatívne malé a využívali 12 V elektrospotrebiče napájané priamo z batérie. S príchodom účinných a spoľahlivých meničov napätia sa začali presadzovať 24 V systémy (napätie batérií aj panelov). Orientačne platí, že pre systémy navrhnuté na nižšiu spotrebu ako 2000 Wh denne je najlepšie napätie 12 V. Pre systémy so spotrebou 2000 až 6000 Wh denne je ideálne napätie 24 V a pre systémy s vyššou spotrebou ako 6000 Wh sa využíva napätie 48 V.

Napätie systému je veľmi dôležité, pričom určuje výber meniča, regulačných prvkov, nabíjačky batérií a vodičov. Zvyčajne, keď sa raz uvedené komponenty zakúpia, nedá sa celý systém veľmi meniť. Hoci niektoré časti, ako sú slnečné panely, môžu byť prepojené z 12 V na vyššie napätie, iné komponenty ako sú napr. menič alebo regulačné prvky pracujú len s jedným špecifickým napätím.

BATÉRIE

Batéria skladuje energiu vyrobenú slnečnými panelmi a následne dodáva túto energiu rôznym elektrospotrebičom. Batérie musia pokrývať špičkovú spotrebu, ktorú solárne články nie sú schopné pokryť vlastným výkonom a tiež musia zabezpečovať energiu v noci alebo počas nepriaznivého počasia. Automobilové batérie, ktoré sú dostupné takmer všade na svete, nie sú pre solárne systémy vhodné. Ich hlavnou nevýhodou je, že nevydržia dlho neustále úplné vyvíjanie a následné nabíjanie v krátkych intervaloch. Na trhu sa preto objavili tzv. solárne batérie, ktoré vyhovujú takýmto podmienkam nabíjania a vybíjania a sú malo citlivé na cyklickú prevádzku. Pre bežné solárne systémy sa zvyčajne využíva viacero batérií zapojených paralelne t.j. všetky kladné póly (označené ako +) a všetky záporné póly (-) sú navzájom prepojené. Na ich prepojenie sa používajú bežné hrubé medené vodiče nie dlhšie ako 30 cm. V blízkosti batérií by sa nemalo manipulovať s otvoreným ohňom, nakoľko pri ich dobíjaní vznikajú potenciálne výbušné plyny. Batérie by tiež mali byť vetrané a nemali by sa uzatvárať do krabíc, alebo prikrývať krytmi.

Kapacita batérie sa udáva v ampér-hodinách (Ah). Batéria s kapacitou 100 Ah a napätím 12 V dokáže uskladniť 1200 Wh ($12\text{ V} \times 100\text{ Ah}$). Avšak kapacita batérie sa mení v závislosti na trvaní nabíjania a je schopná dodať napr. viac energie počas 100 hodinového vybíjania ako počas 10 hod. obdobia. Keď sa skladuje energia v batériách, časť z nej sa stráca samo-vybíjaním. Automobilové batérie majú bežne účinnosť asi 75%, kým solárne batérie o niečo vyššiu. Istá časť kapacity automobilovej batérie sa postupne stráca pri každom nabíjaní resp. vybíjaní a to až na úroveň keď batéria musí byť vymenená. Solárne batérie majú dlhšiu životnosť ako automobilové, ktoré vydržia asi 2 až 3 roky.

Pri navrhovaní solárneho systému s batériami je nutné uvažovať so skladovacou kapacitou potrebnej energie asi na 4 dni. Keď berieme do úvahy väčší systém so spotrebou napr. 2480 Wh denne potom vydelením tejto hodnoty napätím systému 12 V dostaneme dennú spotrebu z batérie 206 Ah. Pre štyri dni to znamená $4 \times 206\text{ Ah}$ alebo 826 Ah. V prípade použitia olovených batérií je potrebné pridať asi 20% k tejto hodnote, pretože batériu nie je možné nikdy úplne vybiť. Z toho nám vyplynie kapacita 991 Ah.

REGULÁTOR NABÍJANIA

Batéria dokáže vydržať niekoľko rokov len za predpokladu, že sa používa dobrá nabíjačka s elektronickou reguláciou. Táto regulácia chráni batériu pred prebitím alebo hlbokým vybitím, čo by ju mohlo poškodiť. Ak je batéria úplne nabitá, regulátor znižuje prúd dodávaný solárnymi článkami až na úroveň vlastných strát zariadenia. Na druhej strane regulátor prerušuje dodávku energie z batérie elektrospotrebičom, keď kapacita batérie klesne pod kritickú úroveň. Preto náhly výpadok energie v solárnom systéme nie je poruchou ale len bezpečnostným opatrením. Regulátory nabíjania sú elektronické zariadenia a ako také sa môžu nesprávnym zaobchádzaním pokaziť. Lepšie regulátory sú vybavené ochranou pred takýmto

vplyvom z vonku. Ochrana zamedzí poškodeniu vplyvom skratu alebo prepólovaniu batérií (mylné prepojenie kladných a záporných pólov). Mnoho regulátorov je tiež vybavených ukazovateľmi stavu batérie.

MENIČ

Menič je zariadenie, ktoré mení jednosmerný prúd z batérie na striedavý (220 V, 50 Hz resp. iné hodnoty). Meniče sú dodávané v rôznych veľkostiach podľa svojho výkonu od asi 250 W (cena asi 300 USD) až po viac ako 8000 W (6000 USD). Moderné meniče sú schopné dodávať elektrickú energiu oveľa lepšej kvality ako bežné elektrárne a prenosová sústava. Menej kvalitné meniče však môžu spôsobovať šum v niektorých elektronických prístrojoch. Meniče sú tiež schopné pracovať ako "bufer" medzi solárnym (domácim) systémom a rozvodnou sieťou, a tak umožniť predávanie nadbytočnej elektriny do siete.

VODIČE

Jednoduchou cestou, ako zamedziť stratám energie, je použitie vhodných elektrických vodičov (káblov). Vodiče by mali byť vždy tak krátke ako je len možné. Tie, ktoré spájajú rôzne elektrospotrebiče by mali mať minimálny prierez 1,6 mm². Na zabezpečenie napäťových strát nižších ako 3% by vodiče medzi solárnymi panelmi a batériami mali mať prierez 0,35 mm² (12 V systém) alebo 0,17 mm² (24 V systém) na každý m² solárneho panelu. Preto 10 m kábel pre 2 panely si vyžaduje minimálny prierez $10 \times 2 \times 0,35 \text{ mm}^2 = 7 \text{ mm}^2$. Nakoľko s káblami o priereze viac ako 10 mm² sa ťažko pracuje a ťažko sa zháňajú, je často potrebné tolerovať vyššie straty v systéme. Ak je časť vodiča vystavená vonkajšiemu prostrediu, mala byť odolná proti poveternostným vplyvom.

NATÁČACIE ZARIADENIA

Solárne články pracujú najúčinnnejšie keď sú natočené priamo k Slnku. Natáčacie zariadenia umožňujú pomocou pohyblivej platformy nastaviť optimálnu polohu článkov k Slnku v priebehu dňa. Takéto smerovanie dokáže zvýšiť zisk energie v zime o 10% a v lete až o 40%. Pri navrhovaní celého systému však musí byť zhodnotená aj spotreba energie natáčacím zariadením a tiež i jeho cena, pretože v mnohých prípadoch zisk z natáčania nevyváži vyššiu spotrebu. Na mnohých miestach je výhodnejšie inštalovať viac článkov, ako investovať do natáčacieho zariadenia. V USA napr. vychádza natáčacie zariadenie výhodnejšie len v prípade inštalácie viac ako 8 solárnych panelov s celkovým výkonom 800 W.

SPOTREBA ENERGIE

Keďže náklady na výstavbu solárneho systému sú relatívne vysoké, je pri využívaní slnečnej energie rovnako dôležité sústrediť sa aj na spotrebu energie zariadeniami napr. v dome vybavenom takýmto systémom. Významnú položku tu má osvetlenie a použitie vhodných typov žiaroviek. Ukazuje sa, že v solárnych aplikáciách je takmer vždy výhodné investovať do úsporných kompaktných fluorescenčných žiaroviek, ktoré sa vyznačujú nízkou spotrebou (menej ako 20 % spotreby klasickej žiarovky) a dlhou životnosťou (často až 10 rokov). Úsporná 18 W žiarivka dokáže nahradiť tradičnú 100 W žiarovku. Nevýhodou je, že na trhu (aj to len v zahraničí) existuje len veľmi málo žiaroviek na jednosmerný prúd, a preto býva nevyhnutné používať menič napätia.

ŽIVOTNOSŤ A CENA KOMPONENTOV

Dôležitým parametrom v ekonomickej analýze solárneho systému je životnosť a cena komponentov, z ktorých sa systém skladá. Výrobcomi udávaná životnosť jednotlivých zariadení je nasledovná:

Solárne panely vydržia pracovať asi 20 rokov. Dobré upevnenie a kryt zo skla s nízkym obsahom železa sú schopné zaručiť aj dlhšiu životnosť. Galvanizovaná kovová konštrukcia a ukotvenie panelov vydržia asi tak dlho ako panely samotné. Vyžaduje si však istú údržbu podobne ako iné kovové materiály. Solárne batérie vydržia v závislosti v závislosti na charaktere nabíjania a vybíjania v priemere asi 4 roky. Elektronický regulátor má životnosť minimálne 10 rokov podobne ako meniče napätia.

Orientačné ceny komponentov solárneho systému v USA (1999).

Solárne články	5 USD/W _p
Menič	0,5 USD/W
Galvanizovaná konštrukcia	0,3 USD/W _p
Regulačné zariadenie	0,5 USD/W _p
Vodiče	0,7 USD/m
Batérie	100 USD/kWh kapacity

HYBRIDNÉ SOLÁRNE SYSTÉMY

Solárne články spoločne s iným typom elektrického zdroja (elektromotory na iné palivá) dokážu veľmi dobre pokrývať meniace sa nároky spotreby energie a to pri nižších nákladoch, ako by to bolo pre systémy založené len na jednom zdroji. V prípadoch, keď je potrebné mať nepretržite spoľahlivý zdroj energie alebo keď sa vyžaduje vyšší výkon ako je schopný dodať solárny systém, je pripojenie ďalšieho elektrického zdroja vhodným riešením. Solárne články v priebehu dňa pokrývajú spotrebu energie a súčasne dobíjajú batérie. Keď sú batérie vybité, energiu do systému dodáva iný zdroj až pokiaľ sa batérie nedobijú. Takéto systémy sú schopné dodávať energiu kedykoľvek, pričom dodatočný elektrický generátor pôsobí tiež ako záložný zdroj. Výhodou je, že prevádzka solárnych článkov je tichá a neznečisťuje okolité prostredie. Takýto systém môže byť aj cenovo výhodný, nakoľko záložný elektrický generátor znamená menšie nároky na články a menej batérií. Hoci pripojenie dodatočného elektrického zdroja sa môže zdať komplikované, moderné elektronické regulačné zariadenia umožňujú, aby takýto systém pracoval úplne automaticky. Regulačné prvky pripájajú zdroje a menia jednosmerné napätie na striedavé podľa okamžitej spotreby. Popri tradičných generátoroch prúdu je možné do systému pripojiť aj malé vodné elektrárne alebo malé veterné generátory prúdu a vytvoriť tak väčší hybridný systém.

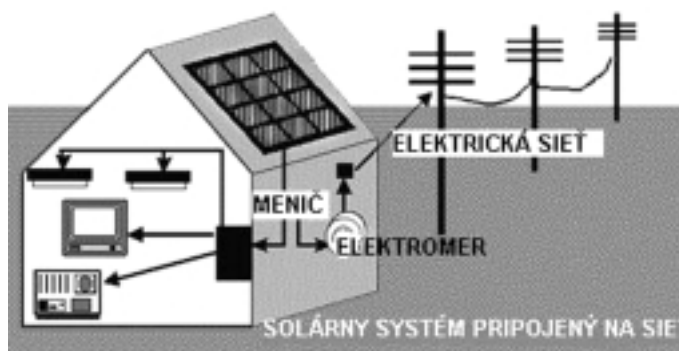
Hybridné systémy majú zvyčajne vyšší zisk energie ako samostatne pracujúce systémy, nakoľko ich veľkosť je navrhovaná na pokrývanie spotreby energie v lete s využitím záložného zdroja v zime. Typický ročný zisk solárneho zariadenia sa v závislosti na stratách spôsobených regulátorom dobíjania a batériou, pohybuje na úrovni 500 - 1250 kWh/kWp.

SOLÁRNE ČLÁNKY PRIPOJENÉ NA SIŤ

Tam, kde je dostupná elektrická rozvodná sieť, je možné prepojiť solárny systém, napr. inštalovaný na streche domu, so sieťou a tak nahradiť použitie batérií. Na sieť pripojené solárne systémy sa vyznačujú najvyššou účinnosťou - ziskom energie na jednotku inštalovaného výkonu, pretože všetka vyrobená energia sa buď spotrebuje v mieste výroby, alebo sa dodáva do rozvodnej siete. Typický ročný zisk v našich klimatických podmienkach predstavuje 800 - 1400 kWh/kWp.

Dnes existuje vo svete niekoľko tisíc takto pripojených solárnych systémov na verejnú elektrickú sieť. Hlavným motívom majiteľov býva, že solárnym systémom je možné znížiť vlastnú spotrebu energie kúpenej zo siete. Navyše majiteľovi toto pripojenie umožňuje predávať nadbytočnú energiu v prípade, keď ju nie je schopný využiť sám. Bežne to funguje tak, že merač spotreby elektriny sa točí naopak, keď solárny systém dodáva elektrinu do siete. V čase keď je domáca spotreba vyššia ako výroba solárnym systémom, odoberá elektrinu zo siete podobne ako iní užívatelia. Sieť takto funguje ako záložný zdroj (batérie) pre jeho potreby.

Pre takéto pripojenie však elektrárenské (rozvodné) spoločnosti vyžadujú použitie kvalitných meničov napätia a regulačných obvodov, ktoré presne spĺňajú napäťové a frekvenčné podmienky siete a tiež vyhovujú bezpečnostným požiadavkám. V prípade poruchy vo vonkajšom vedení musia bezpečnostné prvky solárny systém okamžite od siete odstaviť. To zamedzí zraneniu opravárov elektrickej siete elektrinou dodávanou solárnymi článkami. Vzhľadom na to, že elektrina zo solárnych článkov je ešte stále drahšia ako z fosílnych palív v niektorých krajinách existuje podpora budovania solárnych systémov cestou osobitných taríf, čím sa slnečná energia stáva ekonomickejšou. Napríklad v USA elektrárenské spoločnosti nakupujú od nezávislých výrobcov elektrinu za vyššiu cenu počas špičkového odberu v priebehu dňa. V niektorých častiach USA sa cena špičkovej elektriny pohybuje takmer na úrovni ceny elektriny vyrobenej solárnym systémom. Podobne je to aj v Nemecku, kde rozvodné závody sú zo zákona povinné vykupovať solárnu elektrinu až za 0,99 DM/kWh (20 Sk/kWh). Počet solárnych systémov pripojených na sieť v USA ako aj v Európe preto rastie veľmi rýchlo.



Elektrárenské spoločnosti v rôznych krajinách sveta využívajú solárne systémy už dlhšiu dobu. Väčšina týchto systémov má menší výkon ako 1 kW a využíva batérie na skladovanie energie. Takéto zdroje napájajú napr. stožiare elektrického vedenia alebo iné výstražné objekty a počas svojej dlhoročnej činnosti preukázali spoľahlivosť a pripravili cestu pre výstavbu väčších zariadení. Elektrárenské spoločnosti sa zaujímajú o solárne články hlavne z dôvodu stále narastajúcich nárokov na znižovanie emisií pri výrobe elektriny. Veľké solárne elektrárne pozostávajúce z mnohých solárnych panelov sú vhodným riešením pre tieto spoločnosti, nakoľko ich výstavba je oveľa rýchlejšia ako výstavba klasických elektrární. Elektrárne tiež môžu budovať solárne systémy v miestach, kde sú najviac potrebné a navyše je ich možné ľahko zväčšovať, keď spotreba energie vzrastie. Nevýhodou solárnych elektrární je, že pri súčasnom stanovovaní cien elektriny, je energia z nich vyrobená stále drahšia ako v elektrárnach na fosílné palivá. Navyše ich výroba je ovplyvňovaná počasím a obmedzuje sa len na časť dňa. Integrovanie solárnych elektrární do siete si preto vyžaduje isté obmedzenia. Na druhej strane však prináša výhody v oblastiach, kde budovanie tradičného elektrického vedenia je spojené s istými obmedzeniami. Solárna elektrárňa v odľahlom mieste znižuje prenosové straty vo vedení na dlhých vzdialenostiach od zdroja k spotrebiteľovi. Tým sa solárny zdroj stáva hodnotnejším aj pre elektrárenské spoločnosti, pretože sa dostávajú bližšie k potenciálnym spotrebiteľom napr. tiež v oblastiach s rýchlo narastajúcim počtom obyvateľov. Výstavba solárnych elektrární je pre elektrárenské spoločnosti úplne novým typom podnikania. Na rozdiel od klasických elektrární solárne si vyžadujú vysoké počiatkové investičné náklady, majú však nulové náklady na palivo. Uhoľné alebo plynové elektrárne majú nižšie náklady na výstavbu (vzhľadom na jednotku výkonu), avšak cena paliva hrá veľmi významnú úlohu v ich ekonomike. Ceny klasických palív sa často menia a ich vývoj v budúcnosti je ťažké predpokladať v čase budovania klasickej elektrárne. Takisto je ťažké vedieť aké náklady si vyžadujú klasické elektrárne v súvislosti s ochranou životného prostredia a sprísňujúcich sa limitov emisií v budúcnosti. Tieto skutočnosti významne ovplyvňujú rozhodovanie sa viacerých elektrárenských spoločností. Je totiž evidentné, že ceny klasických palív budú len rásť (hlavne ropy a zemného plynu) rovnako ako budú zavádzané nové resp. prísnejšie ekologické dane. Solárne elektrárne majú z tohoto pohľadu bezkonkurenčnú výhodu, pretože dnes ani v budúcnosti ich prevádzka nebude zviazaná s palivovými ani ekologickými nákladmi.

AKUMULÁCIA SLNEČNEJ ENERGIE - VODÍKOVÉ HOSPODÁRSTVO

Jedným z riešení problému skladovania slnečnej energie pre budúcnosť môže byť využívanie tzv. vodíkoveho hospodárstva. Podstatou tohoto hospodárstva je výroba vodíka elektrolýzou vody pomocou elektriny generovanej slnečnými článkami. Účinnosť rozkladu vody elektrickým prúdom dosahuje až 90%. Voda sa pri tomto procese rozkladá na vodík a kyslík. Vodík sa zachytáva v tlakových nádržiach a ako palivo sa potom spaľuje za prítomnosti kyslíka. Pri tomto procese sa uvoľňuje užitočná energia a celý cyklus sa uzatvorí za vzniku malého množstva dusíka a vody. Voda predstavuje odpad a súčasne surovinu, z ktorej je možné opätovne vodík získavať. Je evidentné, že vodík je možné vyrábať z akýchkoľvek zdrojov energie vrátane elektriny vyrobenej z fosílnych palív resp. z uránu. Ak by sa vodík vyrábala z nefosílnych zdrojov napr. slnečnými článkami, nedochádzalo by k žiadnej emisii škodlivín resp. skleníkových plynov, pretože na jeho výrobu sú potrebné len obnoviteľné suroviny (voda, slnečné žiarenie) a v hojnej miere sa vyskytujúce prvky v zemskej kôre (v prípade slnečných článkov - kremík). Vodík sa takto môže stať palivom budúcnosti s neobmedzenými zásobami pre celé ľudstvo. Vodík ako energetický zdroj je :

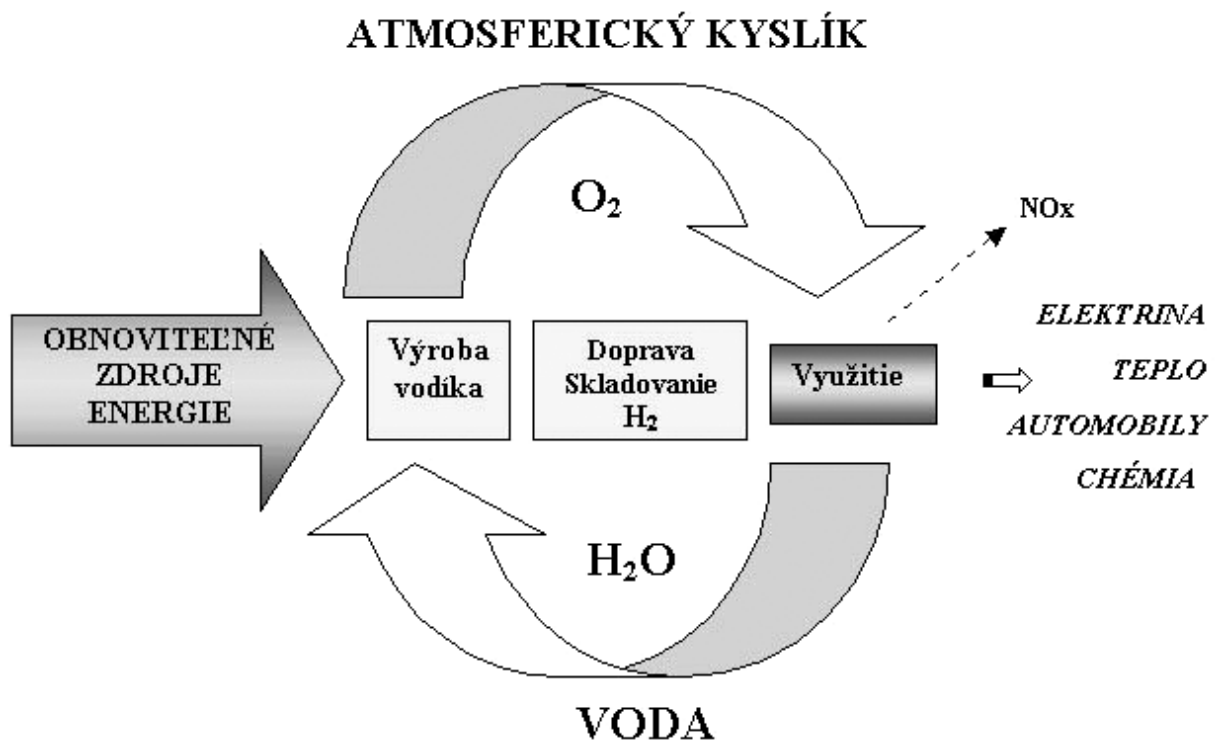
- univerzálne použiteľný na výrobu tepla alebo elektriny
- mnohými spôsobmi vyrobiteľný (aj z obnoviteľných zdrojov)
- vysoko účinný (jeden diel vodíka obsahuje energiu troch dielov zemného plynu, potrebuje ale 3-krát väčší objem)
- netoxický
- plynovodmi ľahko transportovateľný
- dlhodobo skladovateľný.

Vodík je možné pri teplote -253 st. Celzia skvapalniť (zhustiť) tak, že sa dá použiť ako palivo na výrobu tepla, elektriny alebo v motorových vozidlách. Ako nevýhoda sa často uvádza jeho výbušnosť, avšak

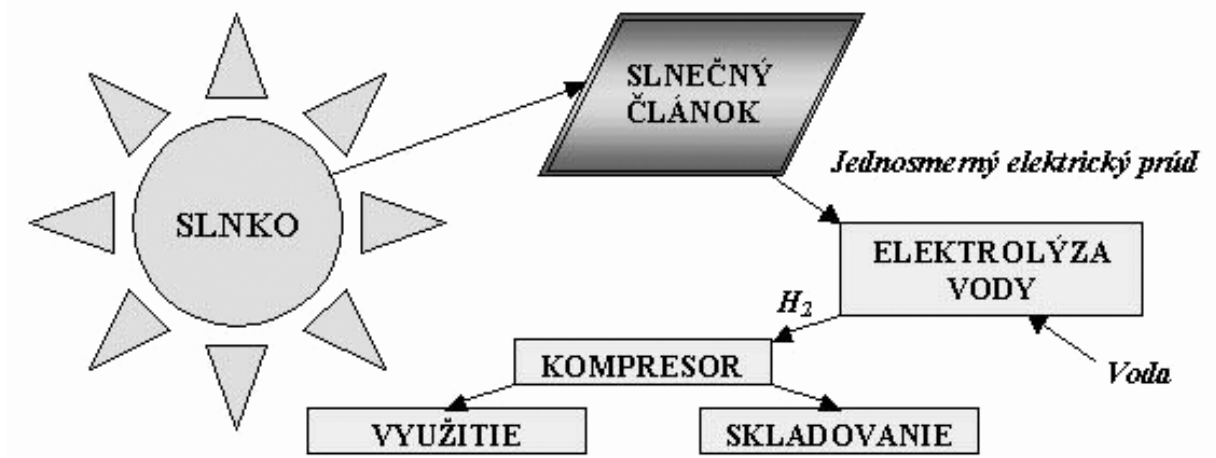
priemyselné skúsenosti ukazujú, že vodík je možné bezpečne transportovať napr. plynovodmi. V Porúří existuje už viac ako 50 rokov 210 km sieť, ktorou sa vodík transportuje - do dnešnej doby bez akejkoľvek nehody.

Počiatočná aplikácia vodíkoveho hospodárstva v praxi bude pravdepodobne v sektore dopravy. Prvé pokusy s autami spaľujúcimi vodík prebehli v mnohých krajinách (Nemecko, Japonsko, USA, Švédsko). Vyhliadky pre túto aplikáciu sú veľmi dobré, nakoľko fosílna palivá používané v doprave patria k najdrahším a súčasne najznečisťujúcejším palivám v súčasnosti. Prechod na vodíkové hospodárstvo by si však predovšetkým s ohľadom na vysoké kapitálové nároky spojené so zavedením takéhoto systému, vyžadoval niekoľko desaťročí.

Princíp vodíkoveho hospodárstva založeného na obnoviteľných zdrojoch energie.



Princíp vodíkoveho hospodárstva založený na výrobe energie slnečnými článkami.



BIOMASA

Biomasa v podobe rastlín je chemicky zakonzervovaná slnečná energia. Je to súčasne jeden z najuniverzálnejších a najrozšírenejších zdrojov energie na Zemi. Okrem toho, že poskytuje výživu, používa sa ako stavebný materiál, vyrába sa z nej papier, lieky alebo chemikálie, je tiež výborným palivom.



BIOMASA – ZÁKLADNÉ ÚDAJE

• Celková hmota biomasy na Zemi (vrátane vlhkosti) - 2000 miliárd ton
• Hmotnosť rastlín na súši – 1800 miliárd ton
• Hmotnosť lesov na Zemi – 1600 miliárd ton
• Hmotnosť biomasy na jedného obyvateľa Zeme - 400 ton
• Energia uskladnená v biomase na súši 25 000 EJ
• Čistý ročný prírastok hmotnosti biomasy na súši - 400 miliárd ton
• Ročný prírastok energie uskladnenej v biomase na súši - 3000 EJ/rok (95 TW)
• Celková spotreba všetkých foriem energie na Zemi za rok - 400 EJ/rok (12 TW)
• Spotreba energie biomasy - 55 EJ/rok (1,7 TW)

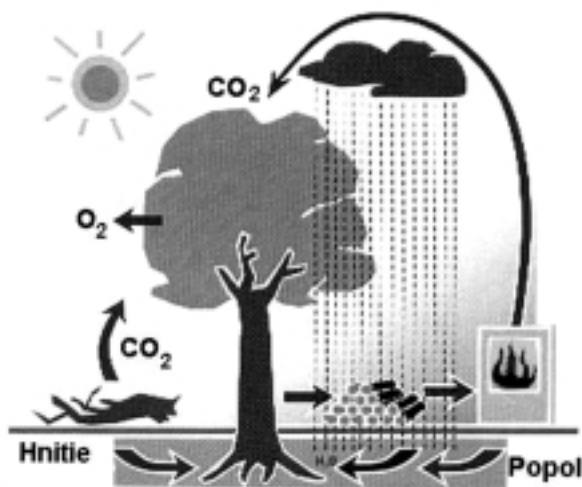
Biomasa sa ako palivový zdroj využíva od objavenia ohňa. Jej výhodou je, že ponúka nielen veľkú rôznorodosť vstupných surovín, ale aj univerzálne využitie v energetike. Je ju možné využiť nielen na výrobu tepla ale aj na výrobu elektriny v moderných spaľovacích zariadeniach. Kvapalné a plyné formy biomasy (etanol, metanol, drevoplyn, bioplyn) je tiež možné použiť na pohon motorových vozidiel. Dnes sa však často považuje za nízko kvalitné palivo a v mnohých krajinách sa ani neobjavuje v energetických štatistikách.

CHEMICKÉ ZLOŽENIE BIOMASY

Hoci chemické zloženie biomasy sa medzi jednotlivými rastlinnými druhmi líši, v priemere rastliny obsahujú asi 25% lignínu a 75% uhľovodíkov alebo cukrov. Uhľovodíková zložka pozostáva z mnohých molekúl cukrov spojených do dlhých reťazcov polymérov. Dve významné zložky uhľovodíkov sú celulóza a hemicelulóza. Príroda využíva dlhé polyméry celulózy na stavbu vlákien, ktoré dávajú rastlinám potrebnú pevnosť. Lignínová zložka pôsobí ako "lepidlo", ktoré drží spolu celulózové vlákna.

AKO VZNIKÁ BIOMASA?

Rastliny na svoj rast využívajú oxid uhličitý z atmosféry a vodu zo zeme, ktoré vďaka fotosyntéze pretvárajú na uhľovodíky - stavebné články biomasy. Slnečná energia, ktorá je hybnou silou fotosyntézy je v skutočnosti uskladnená v chemických väzbách tohto organického materiálu.



Kolobeh CO₂ v prírode.

Pri spaľovaní biomasy opätovne získavame energiu uskladnenú v chemických väzbách. Kyslík zo vzduchu sa spája s uhlíkom v rastline, pričom vzniká oxid uhličitý a voda. Tento proces je cyklicky uzatvorený, pretože vznikajúci oxid uhličitý je vstupnou látkou pre novú biomasu.

BIOMASA AKO PALIVO

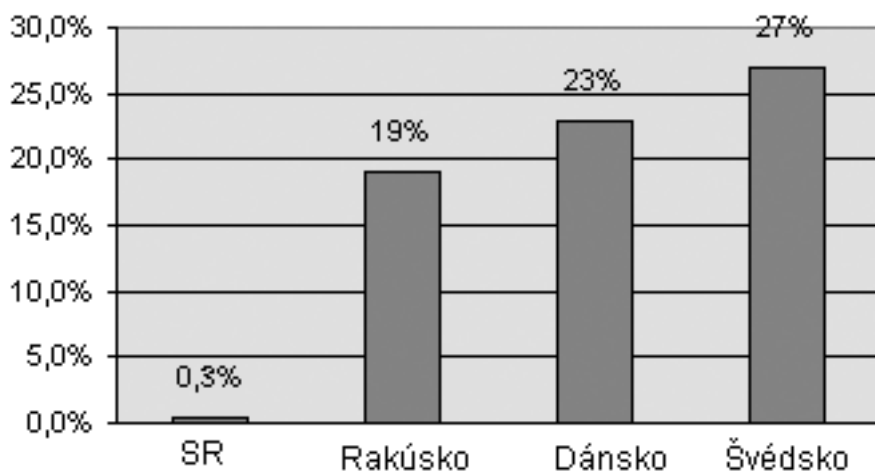
Na rozdiel od dreva, ktoré sa od nepamäti využíva na varenie i kúrenie, v posledných niekoľkých storočiach ľudstvo využíva hlavne fosílnu formu biomasy - uhlie. Toto palivo vzniklo ako výsledok veľmi pomalých chemických procesov, ktoré menili polyméry cukrov na chemickú zložku, ktorá nahradila lignín. Tým sa dodatočné chemické väzby v uhlí stali koncentrovaným zdrojom energie. Všetky fosílné palivá, ktoré dnes spotrebujeme (uhlie, ropa, zemný plyn) sú v podstate pradávnu biomasou. Počas miliónov rokov sa prírodnými procesmi dostala pôvodná biomasu pod zem, kde sa postupne menila na tieto palivá. Hoci fosílné palivá obsahujú rovnaké stavebné prvky (uhlíka a vodík) ako čerstvá biomasu, nie sú považované za zdroj obnoviteľné, pretože ich vznik trval tak dlhú dobu.

Z hľadiska vplyvu na životné prostredie je veľký rozdiel medzi fosílnou a obnoviteľnou (čerstvou) biomasou. Pri fosílnych palivách dochádza k ovplyvňovaniu životného prostredia tým, že pri ich spálení sa do atmosféry dostávajú látky, ktoré boli po mnoho miliónov rokov uložené pod zemským povrchom. Na rozdiel od nich je spaľovanie čerstvej biomasy z hľadiska emisií skleníkových plynov neutrálne.

Najrozšírenejším palivom z kategórie biomasy je drevo. Drevo ako palivo môže mať rôznu podobu - môže byť využívané ako kusové, ako drevný odpad (napr. vo forme štiepok, alebo peliet) alebo môže byť špeciálne pestované ako energetická rastlina napr. vrbu. Existujú však aj iné zdroje, ktoré hrajú významnú úlohu v energetickej bilancii mnohých krajín. Sem patria napr. organické zvyšky z poľnohospodárskej výroby ako je napr. slama. Biomasou je aj bioplyn získavaný zo skládok komunálneho odpadu, čističiek odpadových vôd alebo hnojovice zo živočíšnej výroby.

Z hľadiska svojej perspektívy je biomasu považovaná za kľúčový obnoviteľný zdroj energie a to tak na úrovni malých ako i veľkých technologických celkov. Už dnes sa podieľa asi 14 % na celosvetovej spotrebe primárnych energetických zdrojov. Avšak pre tri štvrtiny obyvateľstva Zeme, žijúcich prevažne v rozvojových krajinách, je najdôležitejším palivovým zdrojom. V priemere jej podiel na spotrebe energie v týchto krajinách predstavuje asi 38% (v niektorých krajinách až 90%). Je možné predpokladať, že pri raste populácie a znižovaní rezerv fosílnych palív bude jej význam vo svete ďalej narastať.

Biomasa je významným zdrojom aj v niektorých rozvinutých krajinách. Vo Švédsku alebo v susednom Rakúsku sa podieľa asi 15 % na spotrebe energie (u nás je to menej ako 1 %). Vo Švédsku existujú plány na podstatne vyššie využívanie biomasy, ktorá by mala v budúcnosti nahradiť energiu získavanú v súčasnosti v jadrových elektrárňach. V USA je podiel biomasy na primárnych zdrojoch asi 4 %, čo je asi toľko energie, koľko sa jej získava v jadrových elektrárňach. Väčšina energie biomasy pokrýva spotrebu tepla, avšak významne sa podieľa aj na výrobe elektriny. Dnes v USA pracujú elektrárne spaľujúce biomasu s celkovým elektrickým výkonom viac ako 9000 MW. Podľa niektorých analýz neexistuje žiadna bariéra, aby podiel biomasy na spotrebe energie v USA



Podiel biomasy na výrobe tepla v niektorých krajinách v roku 2000.

vzrástol na viac ako 20 %. Biomasa pestovaná na poľnohospodárskej pôde by napr. dokázala bez problémov nahradiť energiu vyrábanú jadrovými reaktormi, a to i bez dôsledkov na ceny poľnohospodárskych plodín. Navyše biomasa pestovaná na výrobu etanolu by dokázala nahradiť viac ako 50 % dovážanej ropy.

PRODUKCIA BIOMASY

Biomasa sa podstatne líši od iných zdrojov energie, pretože potrebuje pre svoj rast pôdu. Vo všeobecnosti je možné povedať, že prirodzená produkcia biomasy je asi 5 ton na každý hektár za rok pre drevité rastliny. Túto hodnotu je však možné podstatne zvýšiť zlepšeným hospodárením a výberom rastlín. Napr. pestovanie rýchlorastúcich drevín vedie k 2 až 10-násobnému nárastu produkcie. Vhodným výberom pôdy a pestovaného druhu je v našich klimatických podmienkach bežná produkcia biomasy (sušiny) na úrovni 10 až 15 t/ha/rok. V tropických oblastiach je to 15 až 25 t/ha/rok. Veľmi vysoká produkcia suchej rastlinnej hmoty bola získaná v Brazílii a Etiópii z eukalyptu a to až 40 t/ha/rok. Vysoké výťažky sú tiež možné z bezdrevných rastlín napr. priemerná produkcia cukrovej trstiny vzrástla za posledných niekoľko rokov z 47 na 65 t/ha/rok (vrátane vlhkosti). Rekordná produkcia až 100t/ha/rok bola dosiahnutá v niektorých oblastiach ako sú Južná Afrika, Hawaii alebo Queensland v Austrálii.

ENERGETICKÁ HODNOTA

Vzhľadom na rôzne formy biomasy je aj energia v nej obsiahnutá rôzna. Energetický obsah suchých rastlín (obsah vlhkosti 15-20%) sa pohybuje okolo 14 MJ/kg. Úplne suchá biomasa preto môže byť z pohľadu energetického obsahu porovnávaná s uhlím, ktoré má výhrevnosť 10 až 20 MJ/kg pre hnedé uhlie a okolo 30 MJ/kg pre čierne uhlie. V čase zberu však biomasa obsahuje značné množstvo vody, ktoré sa pohybuje od 8 do 20 % pre slamu, po 30 až 60 % pre drevo. Obsah vody v hnojovici, z ktorej sa získava bioplyn je 75 až 90 % a v niektorých vodných rastlinách ako je napr. hyacint až 95 %. Na druhej strane obsah vody v uhlí sa pohybuje na úrovni 2 až 12 %. Z tohto dôvodu je energia biomasy v čase zberu zvyčajne nižšia ako v prípade uhlia. Chemické zloženie biomasy však z nej robí podstatne ekologickejšie palivo ako je uhlie. Súvisí to s tým, že biomasa má nižší obsah síry ako uhlie. Obsah popola pri spálení je tiež nižší ako v prípade uhlia, navyše tento popol neobsahuje toxické kovy a iné kontaminanty a pre jeho obsah živín je ho možné využiť ako hnojivo.

Energetický obsah niektorých surovín.

	Obsah vody v %	MJ/kg	kW/kg
Drevo - Dub	20	14,1	3,9
Drevo - Smrek	20	13,8	3,8
Slama	15	14,3	4,0
Obilie	15	14,2	3,9
Repkový olej	-	37,1	10,3
Čierne uhlie	4	30,0-35,0	8,3
Hnedé uhlie	20	10,0-20,0	5,5
Vykurovací olej	-	42,7	11,9
Bio metanol	-	19,5	5,4

	MJ/m ³	kWh/m ³
Skládkový plyn	16,0	4,4
Drevoplyn	5,0	1,4
Bioplyn z hnojovice	22,0	6,1
Zemný plyn	31,7	8,8
Vodík	10,8	3,0

VÝHODY VYUŽÍVANIA BIOMASY AKO PALIVA

Ekonomický rozvoj vidieka tak v rozvojových ako aj v rozvinutých krajinách je jednou z hlavných výhod používania biomasy ako zdroja energie. Výsledkom prechodu na produkciu biopalív býva zvýšenie príjmov poľnohospodárov, diverzifikácia poľnohospodárskej produkcie, revitalizácia

pôdy, znižovanie emisií z energetiky, znižovanie nadprodukcie potravín a odbúravanie dotácií napr. za neobrábanie pôdy sú. Zvyšovanie príjmov vedie aj k ďalším - nepriamym výhodám - ako je napr. oživenie miestneho hospodárstva. Táto skutočnosť môže v konečnom dôsledku viesť k obmedzeniu

migrácie obyvateľstva z vidieka do miest, čo je vážny problém v mnohých krajinách sveta. Tvorba nových pracovných príležitostí pri využívaní biomasy (zber, spracovanie a využitie) a priemyselný rozvoj viažuci sa na vývoj technológií môže byť obrovský.

EÚ už niekoľko rokov pracuje na reforme poľnohospodárstva a efektívnejšom využívaní pôdy. Európske poľnohospodárstvo dnes spočíva na obmedzenom počte plodín určených na obživu ľudí a zvierat, ktoré sú v súčasnosti veľmi silne dotované. Navyše pokles cien týchto plodín vedie k nízkym a často veľmi

nestálym príjmom poľnohospodárov v mnohých európskych krajinách. Prechod na pestovanie tzv. technických surovín sa často uvádza ako jedno z dôležitých riešení problémov poľnohospodárstva. Pestovanie nových plodín môže otvoriť nové trhy a efektívne využiť pôdny fond, ktorý je v súčasnosti málo využitý. V roku 1991 bolo obrábaných asi 128 milión hektárov pôdy, z nich bolo postupne asi 0,8 milión hektárov vyňatých z poľnohospodárskej produkcie v dôsledku nadprodukcie potravín. V budúcnosti sa plánuje na vyradenie oveľa väčšia rozloha. Je zrejmé, že preorientovanie sa na nepotravinové plodiny, kam patrí aj biomasa pestovaná pre energetické účely môže významne pomôcť poľnohospodárstvu i ekonomike, nakoľko bude možné znížiť dotácie do tohoto sektora.

Z pohľadu znižovania emisií skleníkových vplyvov a klimatických zmien majú všetky biotechnológie mimoriadny význam. Nielen rastliny, ktoré počas svojho rastu absorbujú z atmosféry CO₂, ale aj využívanie bioplynu pozostávajúceho hlavne z metánu (CH₄), zo skládok odpadu alebo hnojovice, významne prispievajú k znižovaniu emisií. Metán má v atmosfére až 20 násobne vyšší účinok na uvedený jav ako CO₂.

Z hľadiska znižovania emisií síry a obmedzovania kyslého spádu (kyslé dažde) má využívanie biomasy taktiež veľký význam, nakoľko obsah síry v nej je podstatne nižší ako v prípade uhlia alebo ropy. Navyše biomasu je možné primiešavať do uhlia, a tak ďalej znižovať emisie síry v klasických elektrárnach alebo kotolniciach.

Využívanie biomasy na energetické účely poskytuje aj ďalšie ekologické výhody. Medzi najdôležitejšie patrí zlepšenie kvality lesov, vôd alebo zamedzenie erózie pôdy. Nevýhodou biomasy ako paliva je, že takmer všetky druhy surovej biomasy podliehajú v normálnych podmienkach rýchlemu rozkladu. Z tohto dôvodu len málo z nich je vhodných na dlhodobé skladovanie a vzhľadom na ich relatívne nízku energetickú hustotu sú tiež náklady na ich dopravu relatívne vysoké. V súčasnej dobe sa preto hľadajú cesty, ako čo najužitočnejšie využiť tento zdroj energie.

VÝROBA ENERGIE Z BIOMASY

Z hľadiska metódy výroby energie z biomasy sa dnes v praxi presadzujú nasledovné procesy:

- **Priame spaľovanie.**
- Termochemické spracovanie s cieľom zvýšenia kvality biopaliva. Sem patrí napr. **pyrolýza** alebo **splyňovanie**.
- Biologické procesy ako sú **anerobické hnitie** alebo **fermentácia**, ktoré vedú k produkcii plyných a kvapalných biopalív.

Bezprostredným produktom týchto procesov je teplo využívané v mieste výroby alebo v jej blízkosti. Teplo sa využíva buď priamo na prípravu teplej vody alebo na výrobu pary s následným pohonom elektro-generátora a výrobou elektriny. Inými produktmi sú napr. drevné uhlie alebo kvapalné biopalivá na pohon motorových vozidiel.

SPAĽOVANIE

Technológia priameho spaľovania biomasy je najbežnejším spôsobom jej energetického využitia. Je to metóda v praxi overená a komerčne dostupná na vysokej úrovni. Spaľovacie zariadenia sa dodávajú v rôznych prevedeniach a výkonoch, pričom sú schopné spaľovať prakticky akékoľvek palivo od dreva cez baly slamy až po slepačí trus alebo komunálny odpad. Význam má predovšetkým spaľovanie odpadového dreva a odpadov z poľnohospodárskej produkcie (slama). Vznikajúce teplo sa využíva na vykurovanie, v technologických procesoch (procesné teplo) alebo na výrobu elektrickej energie.

Spaľovací proces v dreve prebieha v nasledujúcich fázach:

- Voda vo vnútri dreva začne vriť (aj veľmi staré a relatívne suché drevo obsahuje až 15% vody vo svojich bunkových štruktúrach).
- Z dreva sa postupne uvoľňuje plyn, pričom pre správne spaľovanie je potrebné, aby tento plyn horel a neunikal do komína.
- Vznikajúci plyn sa mieša s atmosférickým vzduchom a horí pri vysokej teplote.
- Zvyšok dreva (zväčša uhlík) horí tiež, pričom ako odpad vzniká popol.

Pre účinné spaľovanie je potrebné zabezpečiť:

- dostatočne vysokú teplotu;
- dostatok vzduchu
- dostatok času, aby mohlo prebehnúť úplné spálenie biomasy.

Ak pri horení nie je zabezpečený prívod dostatočného množstva vzduchu, horenie je neúplné a vznikajúci dym obsahujúci nespálený uhlík je čierny. Tento proces je sprevádzaný aj charakteristickým zápachom a značným množstvom usadenín v komíne, ktoré môžu hroziť znovu zapálením. Na druhej strane ak je pri horení veľké množstvo vzduchu, klesá teplota a plyny unikajú z dreva nespálené, pričom odnášajú so sebou aj užitočnú energiu. Správne množstvo vzduchu je preto kritické pre dokonalé horenie. Výsledkom je neprítomnosť dymu a zápachu. Regulácia prívodu vzduchu zväčša závisí na použitom komíne a ceste, ktorou sa vzduch do miesta spaľovania dostáva.

Hoci priame spaľovanie je najjednoduchšou a najbežnejšou metódou využitia energie biomasy, nie vždy je to proces účinný. Príkladom môže zohriatie vody nad ohňom. Energetický obsah 1 m³ suchého dreva je asi 10 GJ, alebo 10 milión kJ. Na zvýšenie teploty jedného litra vody o jeden stupeň je potrebných 4,2 kJ tepla. Na zovretie litra vody by preto malo postačiť asi 400 kJ, čo zodpovedá približne 40 kubických centimetrov dreva. V praxi však pri otvorenom ohni potrebujeme oveľa viac dreva často až 50-krát viac, čo znamená že účinnosť spaľovacieho procesu pri otvorenom ohni je asi 2 %. Súvisí to s tým, že väčšia časť energie dreva uniká bez úžitku. Navrhnutie spaľovacieho kotla, ktorý by sa vyznačoval podstatne vyššou účinnosťou si preto vyžaduje pochopenie celého spaľovacieho procesu. Dôležitým krokom je pochopenie odparovania vody z dreva, teda procesu ktorý energiu spotrebováva. Spotrebovaná energia však predstavuje len malé percento z celkovej využiteľnej energie. Moderné spaľovacie systémy sú veľmi podobné tým, ktoré sa využívajú na spaľovanie uhlia a vyznačujú sa účinnosťou spaľovania až 90%.

PYROLÝZA

Pyrolýza je jednoduchý a pravdepodobne najstarší spôsob úpravy biomasy na palivo vyššej kvality - tzv. drevné uhlie. Na jeho výrobu je okrem dreva možné využiť aj iné suroviny napr. slamu. Pyrolýza spočíva v zohrievaní biomasy (ktorá je často rozdrvená a dodávaná do reaktora) v neprítomnosti vzduchu na teplotu 300 - 500 st. Celzia, až do doby pokiaľ všetky prchavé látky z nej neuniknú. Zvyšok - drevné uhlie je palivo, ktoré má takmer dvojnásobnú energetickú hustotu v porovnaní so vstupnou surovinou a navyše lepšie horí (horí pri vyššej teplote). V mnohých krajinách sveta sa dnes vyrába drevené uhlie pyrolýzou dreva. V závislosti na obsahu vlhkosti a účinnosti procesu je potrebných asi 4-10 ton dreva na výrobu jednej tony drevného uhlia.

Pyrolýza môže prebiehať aj v prítomnosti malého množstva vzduchu (splyňovanie), vody (parné splyňovanie) alebo vodíka (hydrogenácia). Nielen drevné uhlie, ale aj iné produkty pyrolýzy majú značný energetický význam. Moderné pyrolytické systémy sú schopné zhromažďovať prchavé produkty vznikajúce pri tomto procese. Jedným z veľmi užitočných produktov môže byť napr. metán, vhodný na výrobu elektriny v plynových turbínach. Kvapalné produkty pyrolýzy majú potenciál podobný rope avšak obsahujú niektoré kyseliny, a musia byť preto pred použitím upravené. Rýchla pyrolýza dreva pri teplote 800-900 st. Celzia vedie k produkcii len 10% drevného uhlia a až 60% materiálu sa mení na energeticky hodnotné palivo - plyn bohatý na vodík a oxid uhoľnatý. Tým sa rýchla pyrolýza stáva aj konkurentom bežnému splyňovaciemu procesu (pozri nižšie), avšak na rozdiel od splyňovania nie je v súčasnosti dostupná na komerčnej úrovni. V súčasnosti je pyrolýza považovaná za príťažlivú technológiu. Súvisí to aj s tým, že prebieha pri relatívne nízkych teplotách, čo vedie k nižšej emisii potenciálnych škodlivín v porovnaní s úplným spaľovaním biomasy. Nižšie emisie pri tomto procese viedli aj k pokusom o pyrolýzu takých materiálov ako sú plasty alebo pneumatiky.

SPLYŇOVANIE

Základné princípy splyňovania biomasy sú známe od začiatku 19.storočia. Táto technológia bolo natoľko univerzálna a spoľahlivá, že počas 2.svetovej vojny sa na európskych cestách pohybovalo

niekoľko miliónov vozidiel so splyňovacím agregátom vyrábajúcim drevoplyn spaľovaný v motore vozidla. Nástupom širokého využívania ropných produktov záujem o túto technológiu postupne opadol. Oživenie nastalo až po ropnej kríze v 70-tych rokoch.

Spľňovanie je proces, pri ktorom sú produkované horľavé plyny ako vodík, oxid uhoľnatý, metán a niektoré nehorľavé produkty. Celý proces prebieha pri nedokonalom (čiastočnom) horení a ohrievaní biomasy teplom vznikajúcim pri horení. Vznikajúca zmes plynov má vysokú energetickú hodnotu a môže byť použitá ako iné plynné palivá tak pri výrobe tepla a elektriny ako aj v motorových vozidlách. Vo vozidlách však tento plyn vedie k nižšiemu výkonu motora asi o 40 %.

Spľňovanie prebieha v kotli s obmedzeným prístupom vzduchu. Nedostatok kyslíka spôsobuje nedokonalé horenie. Pri úplnom horení uhľovodíkov (z ktorých sa drevo skladá) sa kyslík spája s uhlíkom pričom vzniká CO_2 a H_2O . Obmedzený prístup vzduchu ešte stále umožňuje mierne horenie, pri ktorom vzniká CO avšak vodík sa nespája len s kyslíkom za vzniku molekuly vody, ale uvoľňuje sa ako čistý plyn - H_2 . Pri procese sa uvoľňujú aj iné zložky ako napr. uhlík, ktorý tvorí dym. Teplo vznikajúce pri nedokonalom spaľovaní sa využíva na to, aby sa porušovali väzby medzi uhľovodíkovými atómami. Vznikajúce uhlíkové a vodíkové atómy sa však spájajú s inými, pričom sa uvoľňuje teplo, ktoré udržuje celý proces bez dodávania energie zvonku. Výsledkom je vznik plynov, ktoré sa ďalej môžu spaľovať. Zloženie plynov je nasledujúce:

H_2	18-20 %
CO	18-20 %
CH_4	2-3%
CO_2	8-10 %
N_2	47-54 %

V závislosti na konštrukcii splyňovacieho zariadenia je možné zvýšiť podiel produkovaného metánu alebo iných plynov. Spľňovanie je teda jednoduchý proces výroby plynných palív z palív pevných.

SYNTETICKÉ PALIVÁ

Spľňovacie zariadenie, ktoré namiesto vzduchu používa čistý kyslík, vyrába zmes plynov skladujúcu sa hlavne z H_2 , CO a CO_2 . Výhodou tohto procesu je, že po odstránení CO_2 vzniká tzv. syntetický plyn, z ktorého je možné vyrobiť takmer akýkoľvek uhľovodík. Reakciou H_2 s CO je možné získať čistý metán (CH_4). Iným vedľajším produktom je metanol (CH_3OH), ktorý môže slúžiť ako priama náhrada za benzín v spaľovacích motoroch. Tento postup výroby metanolu je však relatívne drahý a v súčasnosti na komerčnej báze neprebieha. Technológia je overená a okrem biomasy sa môže na výrobu syntetického plynu (a následne metanolu) využívať aj uhlie.

FERMENTÁCIA

Fermentácia roztokov cukrov je spôsob výroby etanolu (etylalkoholu) z biomasy. Je to anerobický biologický proces, pri ktorom sa cukry menia pôsobením mikroorganizmov (kvasnice) na alkohol - etanol resp. metanol. Etanol je veľmi kvalitné kvapalné palivo, ktoré podobne ako metanol je možné využiť ako náhradu za benzín v motorových vozidlách. Toto palivo je v súčasnosti vo veľkom rozsahu využívané hlavne v Brazílii. Ročne sa v tejto krajine vyrobí asi 12 miliárd litrov etanolu, ktorý využíva viac ako 5 miliónov automobilov jazdiacich na čistý etanol a približne 9 miliónov automobilov jazdiacich na zmes 20 - 22 % alkoholu a asi 80 % benzínu. Na výrobu etanolu ale aj metanolu sa ako vhodné suroviny dajú využiť viaceré rastliny napr. obilie, zemiaky, kukurica, cukrová trstina, cukrová repa, ovocie a iné plodiny. Hodnota ktorejkoľvek vstupnej suroviny pre fermentačný proces závisí na jednoduchosti s akou je možné z nej získať cukry. Najlepšou surovinou sa ukazuje cukrová trstina resp. melasa vznikajúca po extrakcii šťavy z nej. Inými vhodnými surovinami sú zemiaky alebo obilniny. Cukry je možné vyrobiť aj z celulózy (dreva), avšak proces je komplikovanejší. Celulóza sa najskôr pomelie a potom zmieša s horúcou kyselinou. Po 30 hodinách kaša obsahuje asi 6-10 % alkoholu, ktorý je možné získať destiláciou. Vzhľadom na to, že použitá surovina sa nepremení celá na biopalivo, vznikajú pri tomto procese cenné vedľajšie produkty, ktoré môžu nahradiť bielkovinové krmivá.

Energetický obsah etanolu je asi 30 GJ/t, alebo 24 GJ/m³. Celý proces fermentácie si vyžaduje značný prísun tepla, ktoré sa zvyčajne vyrába spaľovaním rastlinných zvyškov. Hoci strata energie je pri výrobe etanolu veľká, býva zvyčajne vykompenzovaná kvalitou paliva a jeho transportovateľnosťou.

ANEROBICKÉ VYHNÍVANIE

Príroda má schopnosť postarať sa o likvidáciu organických zvyškov cestou ich rozkladu. Anerobické hnitie podobne ako pyrolýza prebieha v prostredí bez prítomnosti vzduchu, avšak proces hnitia prebieha pomocou baktérií kým pyrolýza pri pôsobení vysokej teploty. Hnitie organických zvyškov prebieha všade v teplom a vlhkom prostredí a dokonca aj pod vodou, kde vedie k tvorbe plynov vystupujúcich na hladinu. Keďže vznikajúce plyny sú horľavé, môže dochádzať k ich samozapáleniu, čo v minulosti viedlo k tajomným úkazom nad hladinou jazier. Tento jav bol vysvetlený len v 18. storočí, keď sa podarilo pochopiť proces anerobického hnitia, ktorý prebieha bez prítomnosti vzduchu (kyslíka). V roku 1776 ho opísal Alessandro Volta a v roku 1800 Humphrey Davy ako prvý pozoroval prítomnosť horľavého metánu v hnojivici. Plyn vznikajúci nad hladinou jazier podobne ako plyn vznikajúci pri hnití organických látok v inom prostredí sa nazýva bioplyn a skladá sa hlavne z metánu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2).

Získavanie bioplynu z odpadov a jeho spaľovanie plynovými turbínami je proces nenáročný a technologické prvky sú bežne dostupné trhu. Nenáročnosť získavania bioplynu a jeho premeny na užitočnú energiu je evidentná aj tým, že v rozvojových krajinách ako je India alebo Čína existuje niekoľko miliónov veľmi jednoduchých rodinných zariadení, využívajúcich bioplyn len na výrobu tepla na varenie v domácnostiach.

BIOPALIVÁ - TECHNOLOGIE

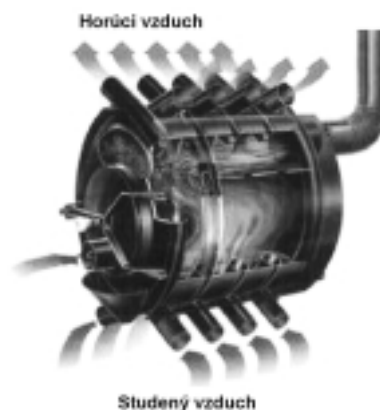
Pod pojmom biopalivá sa ukrýva veľký počet zdrojov energie organického pôvodu od dreva až po organický materiál na skládkach komunálneho odpadu. Biopalivá sú v podstate všetky tuhé, kvapalné a plynné palivá vyrobené z organických látok buď priamo z rastlín alebo nepriamo z priemyselných, poľnohospodárskych alebo domácich odpadov. Rastliny okrem toho, že ich môžeme získavať priamo z prírody, je možné aj špeciálne pestovať pre energetické účely.

PEVNÉ PALIVÁ

Drevo je po mnoho milión rokov pre človeka jedným z najdôležitejších palivových zdrojov. Podstatné pri jeho využívaní je, že sa dá energeticky zhodnocovať trvalo udržateľným spôsobom. Ročný prírastok celosvetovej drevnej hmoty sa odhaduje na 12,5 mld. m^3 s energetickým obsahom 182 EJ, čo je asi 1,3 násobok celosvetovej ročnej spotreby uhlia. Priemerná spotreba dreva pre všetky účely predstavuje asi 3,4 mld. m^3/rok (ekvivalent 40 EJ/rok). Z uvedeného vyplýva, že vo svete existuje značný potenciál využitia dreva pre energetické účely. Väčšinu lesov v Európe by bolo možné takto využívať bez toho, aby bola ohrozená existencia prírodných ekosystémov. Súvisí to s tým, že pri ťažbe a spracovaní dreva pre iné ako energetické účely vzniká veľké množstvo odpadu, ktorý často zostáva nevyužitý. Drevné štiepky resp. piliny, z ktorých sa vyrábajú tzv. pelety sú cenným palivom. Len v susednom Rakúsku pracuje niekoľko tisíc menších domácich zariadení a viacero väčších obecných spaľovní drevného odpadu. Celkový výkon týchto zariadení je viac ako 1250 MW.

Zhodnotenie využiteľného energetického potenciálu lesov (odpadového dreva) je možné urobiť na základe štatistík udávajúcich ročný prírastok a ťažbu dreva. Zo skúseností z Dánska vyplýva, že pri ťažbe predstavuje odpad (hlavne vetvy), ktorý by bolo možné využiť bez ovplyvnenia stavu lesov, až 30 % objemu vyťaženého dreva.

Aj pri využívaní dreva ako energetickej suroviny by mala byť účinnosť technológie jeho spaľovania na prvom mieste. Vyššia účinnosť zariadenia znamená menej paliva na zabezpečenie rovnakého množstva energie. Tradičné pece majú účinnosť využitia energie obsiahnutej v dreve často nižšiu ako 30%, čo je v porovnaní napr. s modernými splyňovacími kotlami s účinnosťou okolo 90% veľmi málo. Z uvedeného vyplýva, že moderné zariadenia často spotrebujú až 3-krát menej paliva na vykúrenie rovnakého priestoru.



Aj klasická pec na drevo sa môže vyznačovať veľmi vysokou účinnosťou spaľovania. Táto pec využíva dômyselný systém vnútorných potrubí, čím zvyšuje využitie energie dreva až o 200 %.

DREVO - VÝROBA TEPLA

Využívanie dreva pre energetické účely je možné považovať za lokálny zdroj, ktorý si vyžaduje len minimálne nároky na dopravu a preto je relatívne lacný v porovnaní s klasickými fosílnymi palivami. Dnes existuje na trhu veľký počet malých domácich kotlov na drevo, ktoré sú určené na vykurovanie objektov ako sú napr. rodinné domy. Len v Dánsku, ktoré má približne rovnaký počet obyvateľov ako Slovensko, je ich inštalovaných viac ako 70.000. Tieto kotle väčšinou spaľujú kusové drevo, pelety alebo štiepky. Vyrobené teplo je rozvádzané do radiátorov podobne ako pri kotloch na iné palivá. Moderné kotle na drevo sa líšia od klasických pecí, ktoré vykurovali len priestor miestnosti, v ktorej boli umiestnené. Okrem vykurovania priestorov sa moderné kotle na drevo používajú aj na prípravu teplej vody. Takéto vykurovanie a ohrev vody je zvyčajne najekonomickejším riešením pre rodinné domy. Nahradenie uhlia alebo vykurovacieho oleja drevom je cestou ako dosiahnuť výrazné úspory na palive, ktoré môžu dosiahnuť vo vyspelých krajinách 20 až 60 % . Táto skutočnosť vyplýva z toho, že drevo je lacnejšie ako iné palivá. Príkladom môže byť aj situácia u nás. Z dôvodovej správy k Štátnej politike zásobovania teplom vypracovanej Ministerstvom hospodárstva vychádzali náklady na vykurovanie fiktívneho bytu pri spotrebe 50 GJ/rok v roku 1999 nasledovne:

Palivo	Palivové náklady	Ostatné náklady	Fixné náklady	Anuita	Celkové náklady
CZT bez dotácie	7100	3100		2500	12.700
Zemný plyn	4156	800	65.000	8064	13.020
Elektrina	7872	100	55.000	6823	14.695
Hnedé uhlie	7563	1800	40.000	4962	14.325
Čierne uhlie	8345	1300	40.000	4962	14.607
Koks	9277	1100	40.000	4962	15.339
Propán-bután	16.102	500	65.000	8064	24.666
Drevo	0-2000	0-1500	30.000	3721	max. 7221

Ostatné náklady: pre elektrinu a plyn sú to revízie zariadení, náklady na dovoz a odvoz paliva (uhlie). Fixné náklady sú investičné náklady a anuita pri 9% diskontnej sadzbe a dobe životnosti 15 rokov. Vo fixných nákladoch sa počíta s cenou kotla na drevo - 30.000 Sk.

Pozn. údaje pre drevo boli dopočítané autorom. Energetická hodnota dreva je 15 MJ/kg, ročná spotreba cca 10 m³, cena max. 200 Sk/m³. Cena za vykurovanie zemným plynom vzrástla v roku 2000 o 30% a v súčasnosti len náklady na palivo predstavujú viac ako 3-násobok ceny za vykurovanie drevom pre typický rodinný dom. Do roku 2005 sa predpokladá nárast ceny plynu až o 200 %. Výrazný nárast sa predpokladá aj v cene elektriny pre domácnosti.

Väčšina malých kotlov na drevo je vybavená zásobníkom a palivo do kotla je potrebné dodávať ručne (približne 1 až 2 krát denne). Na trhu však existujú aj kotly s automatickým podávaním paliva, ktorým sú zvyčajne drevné štiepky alebo pelety, pričom palivo sa skladuje v osobitnom priestore. Automatické kotle si regulujú dodávku paliva samostatne s ohľadom na spotrebu domu. V prípade väčších kotlov na drevo vykurovajúcich objekty ako sú napr. poľnohospodárske farmy sú úspory na energii zvyčajne dostatočné na to, aby bol inštalovaný automatický zásobník s podávačom dreva.

Za posledných 10 rokov prekonal kotle na drevo značný technologický vývoj a ich účinnosť spaľovania je veľmi vysoká. Zlepšenie bolo dosiahnuté hlavne v stavbe spaľovacej komory, dodávke vzduchu a automatickej regulácii spaľovania. Výsledkom nie je len vysoká účinnosť (75-90%) ale aj nízke emisie.

KOTLY S PREHORIEVANÍM DREVA

Najjednoduchšie kotly na drevo tzv. prehoriavacie kotle pracujú na podobnom princípe ako klasické pece na drevo. Ich usporiadanie je také, že vzduch vnika zo spodu kotla a prechádza hore cez palivo. V takomto prípade drevo prehoriava veľmi rýchlo a plyny nezhoria úplne, pretože teplota kotla

je relatívne nízka. Väčšina plynov uniká do komína a spolu s ňou aj užitočná energia. Plyny majú tiež veľmi malý priestor na odovzdanie svojej energie inému médiu napr. vode. Takéto kotle zväčša nie sú vhodné na spaľovanie dreva, pretože ich účinnosť je nízka - približne 50%.

KOTLY SO SPODNÝM HORENÍM

Kotly so spodným horením sa líšia od prehoriavacích kotlov. Vzduch sa totiž neprivádza naraz k celému objemu paliva, ale len k jeho časti, pričom horí len spodná vrstva dreva. Zvyšok dreva sa vysušuje a pomaly sa z neho uvoľňujú plyny. Pridaním dodatočného vzduchu priamo do plameňa dochádza k horeniu plynov. V moderných kotloch tohto typu je spaľovacia komora z keramiky, ktorá je dobrým izolátorom a udržuje teplo vo vnútri komory. Tým sa dosahuje vysoká teplota spaľovania a účinnejšie horenie. Bežná účinnosť takýchto kotlov je asi 65-75%.

KOTLY SO SPLYŇOVANÍM DREVA

Splyňovacie kotly sú najúčinnnejšie zariadenia a sú konštruované tak, aby pri horení paliva dochádzalo k pyrolytickej destilácii, pri ktorej sa všetky spáliteľné zložky paliva splyňujú. Spaľovanie prebieha trojstupňovým procesom v jednotlivých zónach kotla:

- 1. zóna** - vysušovanie a splyňovanie drevnej hmoty,
- 2. zóna** - horenie drevného plynu na tryske s prívodom predohriateho sekundárneho vzduchu,
- 3. zóna** - dohorievanie v nechladenom spaľovacom priestore.

Takto riadený systém spaľovania zaručuje vysokú účinnosť - často až 90 %. Pri tom býva výkon kotla plynulo regulovateľný od 40% do 100%. Spaľovací priestor vrátane trysky býva vyrobený zo špeciálnych žiaruvzdorných materiálov. Riadenie prevádzky kotla zabezpečuje elektronický regulátor v závislosti na prevádzkovej teplote a jej predvolby.

Vzhľadom na vysoký stupeň automatizácie splyňovacích kotlov, prevádzka takýchto zariadení kladie minimálne nároky na obsluhu. Obsah násypky dreva postačí minimálne na 8-12 hodín prevádzky pri strednom výkone. Väčšina splyňovacích kotlov umožňuje prevádzku v tzv. "tepelnej rezerve", kedy kotol vydrží v útlme až 24 hodín bez zásahu obsluhy. Aj po uplynutí tejto doby zaistia spínacie hodiny nábeh kotla na plný výkon. Pri výpadku elektrického prúdu prejde kotol automaticky do tepelnej rezervy. Odstraňovanie popola sa vykonáva približne raz za 3-5 dní. Pri automatickej prevádzke s dodávaním paliva zo zásobníka pracuje kotol bezobslužne podobne ako kotol na plyn alebo elektrický bojler. Osobitný režim zaisťuje potrebnú dodávku tepla počas denných aj nočných hodín, kedy stačí vykurovaný objekt len temperovať. Kotly sú určené pre montáž do systému s núteným obehom aj samotiažnou cirkuláciou. Kotol zvyčajne musí mať samostatný komín, ktorý by mal byť dostatočne tepelne izolovaný.

V splyňovacích kotloch je možné spaľovať suchú drevnú hmotu, prírodné drevné odpadky v celej škále podob od štiepkov cez polená s dĺžkou až 80 cm a priemerom až 30 cm až po drevené brikety alebo pelety. V kotloch by sa však nikdy nemalo spaľovať drevo natreté farbou alebo lepené lepidlom, nakoľko prímiesy vedú pri spaľovaní k tvorbe toxických látok.



Kotol so splyňovaním dreva.

DREVO AKO PALIVO

1000 kg suchej drevnej hmoty sa svojou energiou vyrovná :

- 450 kg čierneho uhlia
- 520 kg koksu
- 340 kg vykurovacieho oleja
- 320 kg butánu

Veľkou výhodou dreva je, že pri dobrom uložení si uchováva svoj energetický obsah - dokonca ho v prvých dvoch až troch rokoch relatívne zvyšuje. Je to tým, že v tomto období vysychá. To je dôležitý fakt, pretože vlhkosť v dreve sa uvoľňuje až v kotli a to na úkor výhrevnosti. Súčasne pri spaľovaní vlhkého dreva klesá aj teplota spaľovania, čo vedie k nesprávnemu zoxidovaniu všetkých spáliteľných zložiek, dochádza k dymeniu, zanášanju dymových potrubí a k znížovaniu životnosti kotla.

Pri správnom spaľovaní a pri správnej vlhkosti drevo horí prakticky bez dymu, ľahko sa zapáľuje, nešpiní pri manipulácii a tvorí málo popola asi 1% pôvodnej hmotnosti. Drevný popol je nespekavý a výborne sa hodí ako prírodné hnojivo. Obsahuje totiž dusík, vápnik, horčík, hydroxid draselný, oxid kremičitý, kyselinu fosforečnú a stopové prvky.

Najdlhšie sa oheň udrží tvrdými drevami, najľahšie zase horia ľahké listnaté a ihličnaté drevá. Výborne však horí každé drevo, ktoré má nízky obsah vlhkosti t.j. 15-20%. Všeobecne sa požaduje doba sušenia 18 až 24 mesiacov. Túto dobu je možné účinne skrátiť na 12 až 15 mesiacov, keď sa rozreže na potrebnú dĺžku. Lepšie je drevo rozštiepané na štvrtky ako celá guľatina. Pokiaľ je guľatina príliš tenká na štiepanie, mala by z nej byť odstránená kôra.

Doba sušenia a priemerná vlhkosť dreva v %.

Doba sušenia	Spôsob skladovania							
	A		B		C		D	
	Š	G	Š	G	Š	G	Š	G
0	75	78	76	78	75	78	73	76
3 mesiace	48	62	48	61	44	61	36	40
6 mesiacov	37	46	32	45	29	35	25	29
9 mesiacov	33	38	27	37	26	28	23	28
1 rok	36	35	26	33	25	27	24	27
1,5 roka	18	27	18	21	17	17	15	16
2 roky	16	24	16	17	16	14	14	13
2,5 roka	15	24	15	18	15	14	13	13

A - Metráž skladovaná volne.

B - Metráž uskladnená 3 mesiace po vyrúbaní pod ochrannou strechou.

C - Polená 33 cm dlhé, uskladnené 3 mesiace po rozštiepaní pod ochrannou strechou.

D - Polená 33 cm dlhé, uskladnené ihneď po rozštiepaní pod ochrannou strechou.

G - guľatina, **Š** - štvrtky.

BRIKETY

Brikety sú valcovité telesá s dĺžkou asi 15-25 cm vyrobené z odpadovej biomasy drtением, sušením a lisovaním bez akýchkoľvek chemických prísad. Lisovaním sa dosahuje vysoká hustota (1200 kg/m³), čo je dôležité pre objemovú minimalizáciu paliva. Vysoká výhrevnosť (19 MJ/kg) je zárukou nízkych nákladov na vykurovanie. Nízka popolnatosť (0,5%), neobmedzená skladovateľnosť, bezprašnosť a jednoduchá manipulácia sú vlastnosti, ktoré tomuto palivu dávajú špičkové parametre.



ŠTIEPKY

Štiepky sú 2-4 cm dlhé kúsky dreva, ktoré sa vyrábajú štiepkovaním z drevných odpadov napr. tenčiny z preriedovania porastov alebo konárov. Štiepky sú odpadovým produktom drevárskeho priemyslu a ich energetické zužitkovanie sa stalo v mnohých krajinách bežné. V Dánsku aj v Rakúsku existuje viacero väčších obecných kotolní spaľujúcich štiepky. Výhodou štiepkov je, že rýchlejšie schnú, a tiež umožňujú automatickú prevádzku kotlov pri použití zásobníka a dopravníka paliva.

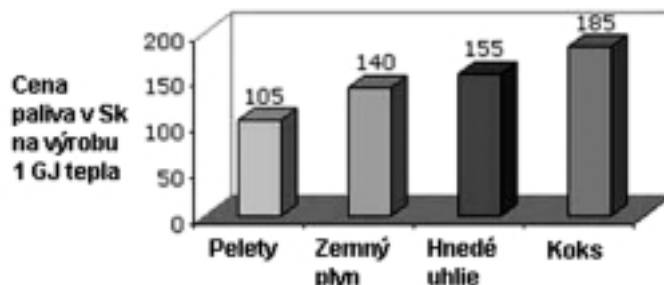


PELETY

Pelety sú relatívne novou formou drevného paliva, ktoré umožnilo kotlom spaľujúcim biomasu ich čiastočnú alebo úplne automatickú prevádzku. Peleta je názov pre granulu kruhového prierezu s priemerom okolo 6-8 mm a dĺžkou 10-30 mm. Pelety sú vyrobené výhradne z odpadového materiálu ako sú piliny alebo hobliny bez akýchkoľvek chemických prísad. Lisovaním pod vysokým tlakom sa dosahuje vysoká hustota paliva. Ich veľkou výhodou je, že majú nízky obsah vlhkosti - asi 8 až 10 %. Relatívne vysoká hustota materiálu (min. 650 kg/m³) znamená aj vysokú energetickú hustotu - až 20 MJ/kg. Týmito parametrami sa pelety vyrovnajú uhlíu.



V poloautomatických kotloch bývajú zásobníky na pelety skonštruované tak, aby objem vsypaného paliva vystačil asi na 1 týždeň. Po tejto dobe je potrebné vybrať popol a doplniť palivo. Dlhší cyklus prikľadania umožňujú zásobníkové silá. Tie môžu mať podobu drevenej ohrady, malej prilahlej miestnosti alebo podzemnej nádrže, z ktorej sú pelety premiestňované do kotla dopravníkom. V prípade vybudovania sila sa užívateľ nemusí starať o palivo celý rok. Spôsob dopĺňovania paliva je veľmi jednoduchý. Do zásobníku sa palivo nasype priamo z transportných vriec (20 alebo 50 kg) alebo z nákladného automobilu.



	Rakúsko	Dánsko	Švédsko
Výroba peletov za rok	29.000 ton	150.000 ton	500.000 ton
Počet systémov s centrálnym vykurovaním	1000	4000	4000
Počet výrobcov kotlov na pelety	27	23	14
Hlavné použitie peletov	vykurovanie jednotlivých domov	systémy s centrálnym vykurovaním	systémy s centrálnym vykurovaním

SPOTREBA PALIVA

Spotreba paliva v splyňovacom kotli na drevo sa pohybuje od asi 4 kg/hod. pre kotol s výkonom 18 kW až po 18 kg/hod. pre 80 kW zariadenie. V našich klimatických podmienkach spotrebuje priemerný dom

(150 m² obytnej plochy) za vykurovaciu sezónu asi 12 m³ dreva (polená).

SPOTREBA PALIVA

Spotreba paliva v splyňovacom kotli na drevo sa pohybuje od asi 4 kg/hod. pre kotol s výkonom 18 kW až po 18 kg/hod. pre 80 kW zariadenie. V našich klimatických podmienkach spotrebuje priemerný dom (150 m² obytnej plochy) za vykurovaciu sezónu asi 12 m³ dreva (polená).



Prevádzka kotlov spalujúcich pelety je automatická. Dodávka paliva sa vykonáva pred vykurovacou sezónou.

Približná spotreba dreva (polená) pre rôzne výkony kotlov:

Výkon (kW)	Spotreba dreva (kg/hod.)	Spotreba dreva za vykurovaciu sezónu (m ³)
18	4	10
25	6	15
32	7	20
50	13	30
80	18	50

Spotreba peletov za vykurovaciu sezónu pre typický rodinný dom sa pohybuje na úrovni 7-8 m³. Pre štiepky je to asi 25 m³.

VÝROBA ELEKTRINY

Tradičný spôsob výroby elektriny z biomasy je vo väčšine prípadov založený na jej priamom spaľovaní a výrobe pary, ktorá poháňa parnú turbínu podobne ako je to v uhoľných elektrárnach. Táto technológia je dnes veľmi prepracovaná a umožňuje použitie viacerých druhov vstupných surovín. Jej nevýhodou je, že si vyžaduje relatívne vysoké investičné náklady na jednotku výkonu, celková účinnosť výroby je nízka a navyše neposkytuje možnosti ďalšieho zlepšenia.

Výroba elektriny splyňovaním biomasy je novou metódou. Namiesto priameho spaľovania biomasy sa využíva proces jej splyňovania a následného spaľovania plynu v plynovej turbíne podobne ako je to pri výrobe elektriny v elektrárnach na plyn. Výhodou tejto technológie je oveľa vyššia účinnosť, nakoľko pri splyňovaní až 65-70% energie obsiahnutej v biomase sa premieňa na horľavý plyn. Investičné náklady na výstavbu plynových turbín sú relatívne nízke a navyše tu existujú značné možnosti zlepšovania technológie. Hoci metóda splyňovania poskytuje viacero výhod ešte nie je dostatočne rozvinutá, na to aby mohla byť bežne používaná.

Elektrárne so splyňovaním biomasy pozostávajú z nasledujúcich komponentov:

- Zariadenie na prípravu a dopravu paliva
- Splyňovacia reaktorová nádoba
- Čistička plynov a zmiešavací systém
- Turbína resp. spaľovací motor.

Pri spaľovaní plynov v motoroch alebo turbínach sa vyžaduje použitie veľmi čistého plynu. Na výrobu takéhoto plynu sú potrebné nielen dodatočné zariadenia ako sú chladiče a zmiešavacie systémy, ale aj špeciálne upravená reaktorová nádoba, čo celú technológiu značne komplikuje. Navyše technológia je dosť citlivá na použitý typ biomasy (rôzne druhy sa správajú odlišne), čo si vyžaduje vyššiu kontrolu vstupných surovín ako v iných typoch elektrární. Najlepším palivom býva drevné uhlie zbavené vlhkosti a iných prchavých látok, to však znamená osobitné zariadenie na jeho výrobu.

V najjednoduchších plynových turbínach sú horúce odpadové plyny vypúšťané priamo do ovzdušia. V moderných technológiách sú však tieto plyny využívané na výrobu pary v osobitných parogenerátoroch. Táto para sa môže použiť buď na vykurovanie objektov (kogeneračná jednotka), alebo je vháňaná

späť do turbíny, čím sa zvyšuje výkon a účinnosť výroby (Steam-injected gas turbine - STIG), alebo sa použije na ďalšiu výrobu elektriny v parnej turbíne (Gas turbine/steam turbine combined cycle - GTCC), čo taktiež vedie k zvýšeniu celkového výkonu a účinnosti zariadenia.

Z uvedeného je zrejmé, že elektrárne so splyňovaním biomasy sú podstatne zložitejšie ako zariadenia (kotle) používané len na výrobu tepla. Napriek tomu sú do vývoja uvedených splyňovacích technológií dnes investované milióny dolárov ročne. V pozadí je snaha o nahradenie zemného plynu, ktorý je dnes uprednostňovaný pri výrobe elektriny uhlím, ktorého zásoby sú oveľa väčšie. Splyňovanie uhlia a následná výroba elektriny nemajú také nežiadúce dopady na životné prostredie ako klasické spaľovanie uhlia, a preto sa táto metóda označuje ako tzv. "čisté spaľovanie uhlia". Vývoj týchto technológií však umožňuje aj používanie biomasy ako paliva, ktoré je dosť podobné uhliu (Biomass integrated gasifier/gas turbines - BIG/GT). Výhodou biomasy v porovnaní s uhlím je, že sa ľahšie splyňuje a má veľmi nízky obsah síry, čo značne znižuje náklady na výrobu elektriny a dáva uvedenej technológii BIG/GT veľkú perspektívu do budúcnosti.

SPOLOČNÉ SPALOVANIE UHLIA A BIOMASY

Spoločné spaľovanie uhlia a biomasy je vzhľadom na podobnosť uvedených palív možné. Je to tiež jedna z ciest znižovania emisií spojených s výrobou elektriny v uhoľných elektrárňach. Vo svete dnes pracuje viacero takýchto elektrární, ktoré sa líšia zastúpením biomasy v zmesnom palive. Bežne sa podiel biomasy pohybuje na úrovni 5 - 20 %, zvyšok tvorí uhlie. Moderná elektráreň so spoločným spaľovaním biomasy a uhlia bola postavená v roku 1999 v rakúskom Zeltwegu. Biomasa tu nie je priamo primiešavaná do paliva, ale je najskôr splyňovaná a tieto plyny sú spoločne spaľované s uhlím v zariadení s celkovým výkonom 10 MW. Spotreba dreva (štiepky) ako paliva predstavuje 16 m³ za hodinu. Tento projekt nazvaný "Biococomb" je demonštračným zariadením financovaným EÚ.

SLAMA AKO PALIVO

Odpady z poľnohospodárskej produkcie sú z hľadiska obsahu energie veľmi významným zdrojom. Do tejto skupiny patrí hlavne slama alebo hnojovica. Tieto zdroje sú dnes intenzívne využívané vo viacerých krajinách vrátane rozvojových. V Indii sa ročná spotreba organických odpadov pre energetické účely pohybuje na úrovni 110 miliónov ton, pričom spotreba dreva predstavuje asi 133 miliónov ton ročne. V Číne je ich podiel je až 2,2 násobný v porovnaní s drevom.

Slama má vyššiu mernú výhrevnosť ako hnedé uhlie a ako palivo na vykurovanie sa dnes využíva v mnohých vyspelých krajinách. Niekoľko stoviek takýchto zariadení na vykurovanie celých obcí alebo poľnohospodárskych podnikov sa nachádza vo Veľkej Británii, Dánsku, Rakúsku a iných krajinách. Budovanie spalovní slamy vo vyspelých krajinách bolo podporované čiastočne z dôvodov ochrany životného prostredia (spaľovanie slamy na poliach je zakázané) a čiastočne aj preto, že je to ekonomicky výhodné a takéto spalovne poskytujú dodatočný zdroj príjmov pre poľnohospodárov. Veľké množstvo slamy vzniká aj u nás a jej energetické využitie by znamenalo zisk v podobe náhrady klasického paliva lacným odpadom. Bohužiaľ, na Slovensku doposiaľ neexistuje žiadne zariadenie na spaľovanie tejto energetickej suroviny.



Pri pohľade na polia je evidentné, že na nich zostávajú milióny ton slamy bez úžitku. Veľká časť je často spaľovaná, zakopávaná alebo ponechaná hnitiu. Snaha odstraňovať z polí odpady vedie k dôležitej otázke: koľko odpadov by malo na poliach zostať, aby bolo možné zaistiť udržateľnú produkciu? Na základe skúseností z vyspelých krajín vyplýva, že z polí je možné bez problémov zozbierať až 35% odpadov bez toho aby to malo nepriaznivý dopad na kvalitu pôdy a budúcu rastlinnú produkciu. Z dánskych údajov vyplýva, že až 59% slamy je nadbytočnej. Približne 1/5 z tohto množstva sa v tejto krajine dnes využíva na energetické účely (vykurovanie obcí).

Energetický obsah ukrytý v slame je pritom značný - 4,9 kWh/kg suchej hmoty resp. 4,0 kWh/kg pre slamu s vlhkosťou asi 15 %. Energia obsiahnutá v 1 m³ stlačenej slamy takto predstavuje asi 500 kWh (hustota 120 kg/m³). Účinnosť spaľovania slamy v kotloch je tiež relatívne vysoká - priemer z 22 dánskych kotolní je 80 až 85%.

Potenciálne množstvo slamy, z ktorej by bolo možné časť využiť na energetické účely, je možné veľmi jednoducho určiť na základe štatistických údajov o produkcii obilnín. V našich klimatických podmienkach je pomer slamy a obilia nasledovný :

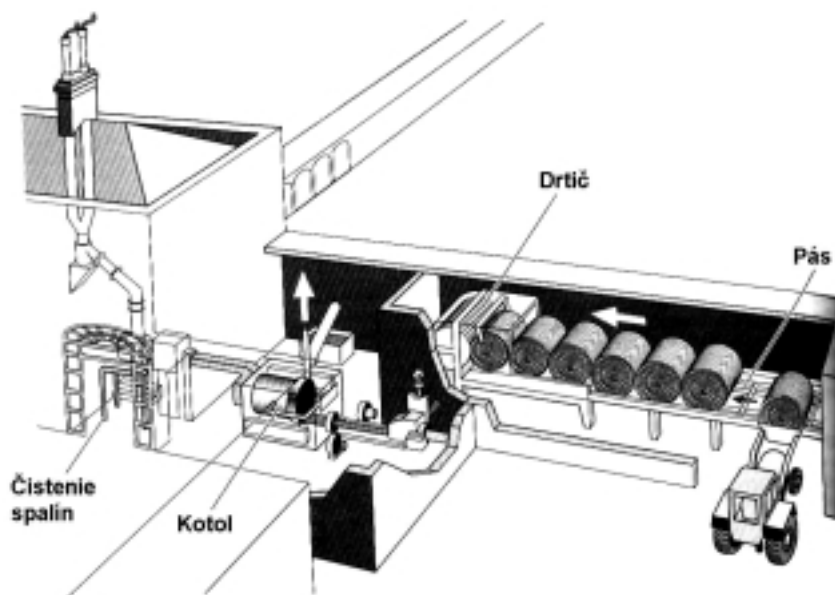
- pšenica 1,3 ton slamy/tonu obilia
- ovos 1,1 ton slamy/tonu obilia
- jačmeň 0,8 ton slamy/tonu obilia

Hrubý odhad o produkcii slamy je tiež možné získať z priemerných výnosov obilia, ktoré sa pohybujú na úrovni 4-7 ton/ha.

Energetické zužitkovanie slamy má viacero pozitívnych dopadov na spoločnosť. Predovšetkým prináša nové pracovné príležitosti a zároveň poskytuje poľnohospodárom možnosť finančných úspor cez úspory energie. Zo skúseností z Dánska vyplýva, že aj pri použití plnej mechanizácie vzniká asi 350 nových pracovných miest na každú TWh vyrobenej energie.

Spaľovanie slamy prináša aj isté obmedzenia a dnes sa jej využitie sústreďuje len na veľké kotolne, zvyčajne napojené na centralizovaný systém zásobovania teplom alebo na poľnohospodárske podniky. Súvisí to s tým, že slama je dosť zložitá palivo - predovšetkým je nehomogénne a z hľadiska energetickej hustoty zaberá veľký objem 10 až 20-krát väčší ako uhlie. Navyše 70% spáliteľných častí slamy je obsiahnutých v plynách unikajúcich počas zohrievania - tzv. prchavé zložky. Tak vysoký obsah prchavých zložiek vytvára problémy pri spaľovaní hlavne pri primiešavaní správneho množstva vzduchu. Slama tiež obsahuje chlóróvé zlúčeniny, ktoré môžu spôsobovať koróziu materiálov, hlavne pri vyšších teplotách. Napriek uvedeným ťažkostiam je spaľovanie slamy technicky zvládnuté a tiež veľmi ekonomické. Počet takýchto zariadení vo svete preto rýchlo rastie. V Dánsku bolo od roku 1980 postavených viac ako 70 spaľovní slamy. Ich výkon sa pohybuje od 0,6 MW do 9 MW. Väčšina z nich spaľuje celé baly slamy s rozmermi 2,4x1,2x1,3 m a hmotnosťou 450 kg. Býva zvykom, že tieto spaľovne sú zálohované osobitným kotlom na vykurovací olej, ktorý pokrýva spotrebu energie počas obdobia maximálneho odberu alebo počas odstávky spaľovne slamy. Kotle na slamu bývajú dimenzované na 60-70 % maximálnej záťaže, čo umožňuje jednoduchšiu a ekonomickejšiu prevádzku počas letných mesiacov s nízkym odberom tepla.

Väčšie spaľovne slamy zvyčajne pozostávajú zo skladu, žeriavu, dopravného pásu, kotla, čistiaceho zariadenia odpadových plynov a komína. Prevádzka celého zariadenia býva plne automatická a bez obslužného personálu. Dopravný pás privádza celé baly slamy do roštu umiestneného v spodnej časti kotla. Na tomto mieste dochádza k spaľovaniu. Rošt je zvyčajne rozčlenený na viacero zón s osobitnými ventilátormi dodávajúcimi



vzduch do spaľovacej komory. Spaľovací proces je elektronicky kontrolovaný individuálne v každej zóne, čím sa dosahuje optimálne horenie. Prchavé zložky sú spaľované v komore nad roštom, kam sa osobitnými prieduchmi privádza vzduch zabezpečujúci horenie. Uvoľnené teplo je následne odovzdávané cez steny kotla vode cirkulujúcej sústavou potrubí. Horúca voda je potom rozvádzaná do miesta spotreby.

Slama dodávaná do spaľovni musí vyhovovať istým požiadavkám. Hlavne obsah vlhkosti je kritickým parametrom. Vlhkosť sa zvyčajne pohybuje na úrovni 10-25% avšak môže byť i vyššia. Problémom je, že rôzne typy slamy sa počas spaľovania správajú odlišne. Niektoré horia výbušne, kým iné veľmi pomaly pričom takmer všetok popol zostáva na rošte. Skúsenosti ukazujú, že prevádzka týchto spaľovni je veľmi špecifická. Menšie spaľovne s výkonom pod 1 MW sa zvyčajne používajú v poľnohospodárskych podnikoch. Väčšina týchto spaľovni je ručne obsluhovaná a v minulosti sa u nich vyskytovali aj problémy s unikajúcim dymom. V súčasnosti sa presadzujú na trhu automatizované zariadenia s dopĺňovaním slamy 1 až 2-krát denne a bez problémov s emisiami.



Dopravník a drvič v automatickom zariadení na spaľovanie slamy.

RÝCHLORASTÚCE DREVINY

Niektoré druhy rastlín vyznačujúce sa rýchlym rastom alebo kvalitou produkovaného oleja je možné pestovať za účelom ich budúceho energetického využitia. Tzv. energetické rastliny sa využívajú podobne ako ostatné druhy biomasy (napr. drevo, slamu) na výrobu tepla, elektriny, ale aj kvapalných palív použiteľných v doprave.

Pre energetické "plantáže" prichádzajú do úvahy rôzne rýchlorastúce dreviny určené na priame spaľovanie, rastliny spracovateľné fermentáciou na výrobu etanolu a rastliny bohaté na olej a vhodné na výrobu bionafty ako napr. repka olejná, ktorá sa na Slovensku už pre tieto účely využíva.

Pestovanie biomasy pre energetické účely je veľmi perspektívne pre mnohé krajiny. Vzhľadom na značnú nadprodukciiu poľnohospodárskych produktov v Európe a USA, často vyvolávajúcu potreby dotácií farmárom za nevyužívanie pôdy, existuje snaha využiť túto pôdu na takéto účely. V Európskej únii sa predpokladá, že až 20-40 miliónov hektárov pôdy bude v blízkej budúcnosti nadbytočnej z hľadiska produkcie potravín. Táto pôda prichádza do úvahy na pestovanie energetických rastlín. Podobnú situáciu je možné očakávať aj v ďalších krajinách vrátane Slovenska. Pre pestovanie energetických rastlín je možné využívať nielen pôdu vyňatú z produkcie poľnohospodárskych plodín, ale aj pôdu menej kvalitnú napr. okolo ciest alebo kontaminovanú.

Istou nevýhodou pestovania rýchlorastúcich drevín je nevyhnutnosť používať hnojivá podobne ako pri iných plodinách. Popol zo spaľovania týchto rastlín



však je možné použiť ako hnojivo. Z hľadiska energetickej produkcie je však podstatné, že aj pri započítaní energetických vstupov je celková energetická bilancia kladná. Pomer získanej a vloženéj energie je zvyčajne 5:1.



Rýchlorastúce dreviny - vrby.

Pre priame spaľovanie v kotloch sú vhodnými rastlinami napr. niektoré druhy vrby alebo tráv. Výhodou týchto rastlín je, že na rozdiel od dreva je ich produkcia (obdobie medzi siatím a zberom) krátka - zvyčajne 3 až 8 rokov. Pre niektoré druhy tráv je to ešte menej - 6 až 12 mesiacov. V súčasnosti sa vo svete využíva asi 100 miliónov hektárov pôdy na pestovanie rýchlorastúcich drevín. Väčšina týchto stromov sa využíva v drevospracujúcom priemysle. Parametre, ktoré sú rozhodujúce pri výbere rýchlorastúcich drevín sú ich dostupnosť, vhodnosť pre daný typ pôdy i podnebia a potenciálny výťažok z hektára za rok (ton/ha/r). Výťažok je najdôležitejším ukazovateľom a pre vrby pestované v našich podmienkach môže dosiahnuť 15 ton suchej hmoty na hektár za rok. Prírastok niektorých vrby sa pohybuje od 2 do 3 metrov za rok (2-3 cm denne v letnom období). Bežná hustota výsadby predstavuje 5.000-20.000 stromov na hektár (vzdialenosť medzi stromami asi 1 meter), žatva prebieha v dvoch až päť ročných cykloch, pričom stromy dokážu zostať produktívne až po dobu 30 rokov.

Prírastky niektorých druhov rýchlorastúcich rastlín.

	Prírastok (ton/ha/rok)	Energetický obsah (GJ/tonu)	Energ. potenciál (GJ/ha/rok)
Salix (vrba)	15	16	240
Miscanthus (slonia tráva)	20	17	340
Sweet Sorghum	25	18	450

Z hľadiska ochrany životného prostredia je veľmi výhodné pestovanie vrby. Je ich totiž možné použiť na čistenie vôd v tzv. biologických čističkách. Na každom hektári je možné každý rok ekologicky zlikvidovať 10-20 ton odpadových vôd a kalov. Spojenie funkcie biologickej čističky a energetickej rastliny robí z vrby unikátny biologický druh. Podstatné je, že spaľovanie týchto drevín, podobne ako aj inej biomasy, neprispieva v emisiách síry ani skleníkových plynov do ovzdušia. Navyše pestovanie týchto rastlín pre energetické účely vedie aj k tvorbe nových pracovných príležitostí. Na základe zahraničných skúseností vyplýva, že jedno pracovné miesto pripadá na produkciu asi 500 ton suchej biomasy. Inou perspektívnou rastlinou je konope, ktoré sa vyznačuje vysokou produkciou živej hmoty až 24 ton/ha za približne 4 mesiace. Pestovanie konope je však vzhľadom na obsah omamných látok nelegálne.

KVAPALNÉ BIOPALIVÁ

Na rozdiel od pevných a plyných biopalív sa kvapalné biopalivá využívajú predovšetkým na pohon motorových vozidiel. Palivo pre motorové vozidlo, ktoré si je možné vypestovať, je snom mnohých ľudí a biomasa je prakticky jediným obnoviteľným zdrojom, ktorý to umožňuje. Kvapalné biopalivá nie sú nové palivá. Skôr naopak, biomasa bola zdrojom energie ešte skôr, ako sa začal používať benzín. Výroba alkoholu (metanolu a etanolu) z biomasy pre technické účely je známa už od začiatku 20. storočia. V súčasnosti sú najdôležitejšími palivami vyrábanými z biomasy etanol, metanol a bionafta. Bionafta, vyrábaná z repky olejnej je jediným kvapalným biopalivom, ktoré sa využíva aj u nás. U našich susedov v Dolnom Rakúsku existuje asi 40 tis. hektárov, ktoré sa určené výlučne na pestovanie plodín, z ktorých sa vyrábajú biopalivá - hlavne bionafta. Ročná produkcia tu predstavuje 120 miliónov litrov.

ALKOHOLOVÉ PALIVÁ

Z celosvetového hľadiska sú najrozšírenejšími kvapalnými biopalivami tzv. alkoholové palivá - etanol a metanol, ktoré sa vo svete vyrábajú hlavne z obilia, kukurice a cukrovej trstiny. Výhodou alkoholových biopalív, okrem toho že ich je možné dopestovať je, že pri ich spaľovaní sa tvorí menej škodlivín. Súvisí to s tým, že tieto palivá majú jednoduchšiu štruktúru ako benzín alebo nafta, lepšie horia a celý proces vedie k menšej tvorbe nespálených zvyškov. Z tohto pohľadu je metanol lepším palivom ako etanol. Vlastnosti etanolu a metanolu a ich porovnanie s ďalšími palivami sú v nasledujúcej tabuľke:

	Etanol	Metanol	Benzín	Nafta
Energetická hodnota (MJ/kg)	26,9	21,3	43,7	42,7
Bod varu (st. Celzia)	78,3	64,5	99,2	140-360
Oktánové číslo	106	105	79-98	-

Biomasa sa vyznačuje relatívne dobrou hustotou energie. Skutočnosť, že 1 milión ton ropy energeticky zodpovedá 2,3 milióna ton suchej

biomasy viedla k tomu, že používanie alkoholových biopalív sa v mnohých krajinách stalo súčasťou národnej stratégie. Najväčším producentom kvapalných biopalívna svete je dnes Brazília. Významnú úlohu tieto palivá hrajú aj v krajine, ktorá je automobilovou veľmocou - v USA.

ETANOL

Etanol je látka, ktorá sa v prírode vyskytuje len sporadicky a jej požívanie (v malom množstve) na rozdiel od metanolu, nie je pre človeka toxické. Etanol sa dnes bežne využíva ako náhrada za benzín v spaľovacích motoroch, pričom je to jedno z najstarších palív. Na toto palivo jazdilo veľké množstvo vozidiel už v 90-tych rokoch 19. storočia. Komerčné skúsenosti s používaním etanolu v doprave majú hlavne v Brazílii (program Proalcool) a v USA (program Gasohol), kde sa toto palivo používa už dlhšiu dobu a vo veľkom množstve. Jedným z dôvodov zavedenia týchto programov bola aj snaha o zlepšenie životného prostredia. Viac ako 20-ročné skúsenosti s etanolom v Brazílii a USA svedčia o tom, že jeho používanie prinieslo viacero výhod nielen v doprave ale aj v priemyselnej a sociálnej sfére. Etanol sa však využíva aj na iné účely ako len v doprave. Veľmi dôležité je jeho uplatnenie v potravinárskom priemysle, a práve táto univerzálnosť je jednou z jeho hlavných výhod.

Istou nevýhodou výroby etanolu z poľnohospodárskych produktov je skutočnosť, že v prípade snahy o nahradenie väčšieho množstva klasických palív, by takáto veľkovýroba v celosvetovom meradle predstavovala konkurenciu k produkcii potravín. V čase, kedy mnoho ľudí vo svete hladuje, by takáto snaha bola asi sotva ospravedlniteľná. Navyše pestovaním monokultúr, ktoré by takúto stratégiu sprevádzalo, by mohli vzniknúť problémy s biodiverzitou. Pri dnešnom charaktere poľnohospodárskej výroby je tiež na dopestovanie východiskovej suroviny nevyhnutné používanie veľkého množstva hnojív a to so sebou prináša ďalšie nevýhody v podobe znečistenia životného prostredia.

Uvedené nevýhody sa však netýkajú výroby etanolu z drevnej biomasy, ktorá sa ukazuje ako veľmi perspektívna. Podobne to platí aj pri výrobe etanolu z odpadovej biomasy z poľnohospodárskej produkcie. Problémom výroby etanolu fermentáciou z celulózy je, že celý proces vedie k malému výťažku pri relatívne vysokých nákladoch. V súčasnosti je zrejme, že etanol pravdepodobne nemôže úplne nahradiť klasické palivá. Pri jeho rozumnej produkcii a použití môže však prispieť k nahradeniu časti ropy a ozdraveniu životného prostredia, hlavne v mestách.

V EÚ sa udáva, že ak by sa na výrobu etanolu použila napr. cukrová repa, tak by týmto palivom bolo možné zásobiť všetky poľnohospodárske stroje, pričom výmera pôdy by predstavovala približne 10 % ornej pôdy v EÚ. Zo skúseností totiž vyplýva, že z jedného hektára osiateho cukrovou repou je možné získať takmer 5 tisíc litrov etanolu. Bilancia takejto výroby je nasledujúca: z jedného hektára je možné ískať v priemere 87.730 kg cukrovej repy. Podiel repy s priemernou cukrnatosťou 16% predstavuje 48.740 kg/ha. Zvyšok tvoria vedľajšie produkty - listy. Zo 48.740 kg repy je možné získať 4.755 litrov etanolu.

Hoci energetická bilancia pri výrobe etanolu (podiel získanej a vlozenej energie) je približne polovičná v porovnaní s bionaftou (MERO) výhodou etanolu je, že z jedného hektára je možné získať viac litrov pali-

va (4755 litrov) ako v prípade MERO (asi 1400 litrov). Bilancia výroby etanolu prepočítaná na kg vstupnej suroviny vychádza lepšie, keď sa použije obilie. Na výrobu jedného litra etanolu je potrebných asi 2,8 kg obilia. V prípade cukrovej repy je to približne 10 kg.

Výrobná cena etanolu spolu s jeho destiláciou sa vo svete pohybuje na úrovni 0,6 USD/l (asi 30 Sk/l). Cena etanolu je dvojnásobná v porovnaní s metanolom, čo platí aj v prípade jeho syntetickej výroby. Pri tejto cene je jeho využívanie ako paliva v doprave problematické. Brazílsky príklad (pozri nižšie) však ukazuje, že je možné vytvoriť podmienky pre jeho širšie uplatnenie.

POUŽITIE ETANOLU V SPALOVACÍCH MOTOROCH

Etanol vyrobený fermentáciou z biomasy je možné použiť buď ako palivo pre špeciálne skonštruované motory, alebo ako prísadu do benzínov v zastúpení 3 až 15%. Chemicky zmenený etanol na etylterbutylén (EBTE) sa vo svete postupne stáva dôležitou prísadou do bezolovnatých benzínov. Zvyšuje oktánové číslo a zlepšuje kvalitu horenia paliva v motore. Motor na etanol sa v princípe vyznačuje asi 300 odlišnosťami od klasického benzínového motora. Najdôležitejšie rozdiely spočívajú v tom, že:

- motor má vyšší kompresný pomer,
- má odlišné valce a tvar spaľovacej komory,
- palivová nádrž býva zvyčajne pocínovaná,
- palivové čerpadlo, karburátor a palivové potrubie sú vyhotovené z nehrdzavejúcich materiálov.

O využití etanolu v doprave sa dnes vážne uvažuje aj v iných krajinách ako je Brazília a USA. Podľa údajov z Českej republiky sa má u našich susedov na tieto účely použiť ročne asi 60 tis. m³ etanolu, na výrobu ktorého bude potrebné asi 200 tis. ton obilia, čo je asi 2% úrody v ČR.

Etanol má v porovnaní s inými palivami niekoľko výhod a nevýhod. Výhodou je, že z hľadiska snahy o nahradenie klasických palív vo svete existujú dostatočné výrobné kapacity s overenou technológiou výroby. Z hľadiska činnosti motora je dôležité, že etanol má vyššie oktánové číslo ako benzín - približne 106. Benzín má toto číslo 91 až 98. Vyššie oktánové číslo umožňuje vyššiu kompresiu a následne lepšiu účinnosť motora. Pre naftové motory je rozhodujúce cetánové číslo paliva. Čím nižšie cetánové číslo, tým dlhší čas je potrebný pre kompresné zapálenie zmesi. Alkohol (metanol aj etanol) má nižšie cetánové číslo ako nafta. Výhody používania etanolu v motorových vozidlách je možné zhrnúť nasledovne:

- etanol je dokonalejšie spaľovaný v motore,
- zaručuje vyšší výkon a otáčky motora,
- vykazuje nižšie emisie v spalínach.

V sociálnej a ekonomickej oblasti výhody zahŕňujú hlavne:

- tvorbu pracovných príležitostí v poľnohospodárstve pri pestovaní vstupnej suroviny,
- zlepšenie príjmov ekonomicky slabších vrstiev obyvateľstva podieľajúcich sa na pestovaní,
- zníženie závislosti na dovoze ropy.

Nevýhodou etanolu je, že spôsobuje rýchlejšiu koróziu kovových materiálov, má detergentný účinok (odstraňuje oleje) a napadá plastické hmoty. Navyše nevýhodou je, že výpary majú negatívny účinok na ľudský organizmus a ovplyvňujú vodičov schopnosť viesť motorové vozidlo. Tieto výpary môžu byť problémom hlavne pri čerpaní pohonných hmôt. Etanol sa taktiež vyznačuje horším štartovaním motora pri nízkych okolitých teplotách.

Iné nevýhody použitia etanolu spočívajú v tom, že v dôsledku nižšej energetickej hustoty v jednom kilograme paliva majú vozidlá vyššiu spotrebu. Navyše pri spaľovaní dochádza k vyššej tvorbe aldehydov vo výfukových plynách. V USA sa na odstránenie týchto škodlivín používajú vo vozidlách katalyzátory, ktoré znižujú tieto emisie o 80%.

Emisie motorových vozidiel spaľujúcich etanol závisia na vstupnej surovine, z ktorej bol etanol vyrobený. Vo všeobecnosti platí, že emisie zo spaľovania etanolu sú nižšie ako v prípade benzínu, pričom

emisie CO, tuhých častíc a organických látok sú približne o polovicu nižšie a emisie N₂O asi o jednu štvrtinu nižšie ako emisie z benzínových motorov. Problémom sú však už vyššie uvedené emisie aldehydov.

Pozitívny prínos pre životné prostredie má aj používanie zmesi napr. 10% etanolu a 90% benzínu. Takéto palivo používané hlavne v USA znižuje tvorbu CO o viac ako 25% v porovnaní s akýmkoľvek iným benzínom. Etanol je málo reaktívny s vysokým oxidačným účinkom (obsah kyslíka), čím sa podieľa aj na znižovaní tvorby ozónu. Etanol je tiež bezpečnou náhradou za toxické prísady na zvyšovanie oktánového čísla benzínu ako sú benzén, toluén a xylén. Navyše etanol, tým že je vyrábaný z biomasy, znižuje tvorbu kyslíčnika uhličitého - najdôležitejšieho skleníkového plynu.

BRAZÍLSKY ETANOLOVÝ PROGRAM

Brazília je významným svetovým producentom cukru. Cukrová trstina, z ktorej sa cukor vyrába, sa tu pestuje vďaka európskym prisťahovalcom už od začiatku 16. st. V dôsledku problémov s klesajúcou cenou cukru na svetových trhoch a narastajúcich cenách ropy sa brazílska vláda rozhodla v roku 1973 vyhlásiť tzv. "Etanolvý program (Proalcool)". Tento program až do súčasnosti zostáva najväčším komerčným využitím biomasy pre potreby výroby energie na svete.

Vďaka tomuto programu vzrástla výroba etanolu v Brazílii z 0,6 miliardy litrov v roku 1975 na 12 miliárd v roku 1991. Okrem toho sa tu z celkového množstva 229 mil. ton cukrovej trstiny zožatej z plochy 4 mil. hektárov ročne vyprodukuje približne 8,6 mil. ton cukru a 73 mil. ton melasy. V rámci tohoto programu bolo v Brazílii postupne vytvorených 400 priemyselných výrobní etanolu, ktorých produkcia dnes predstavuje 50% svetovej výroby etanolu.

Brazílska vláda si na začiatku programu vytýčila úlohu nahradiť ropu tzv. gasoholom, čo je zmes etanolu a benzínu. Táto náhrada sa uskutočnila veľmi jednoducho už počas prvých piatich rokov od zavedenia programu, nakoľko si nevyžadovala žiadnu úpravu benzínových motorov jazdiacich na takéto zmesné palivo. Výrobcom sa podarilo presmerovať nevyužité kapacity vo výrobe cukru na výrobu etanolu. Po vypuknutí druhej ropnej krízy si brazílska vláda vytýčila nový cieľ - úplne nahradiť benzín v motorových vozidlách za etanol. Brazílski výrobcovia automobilov (zväčša pobočky európskych a amerických automobiliek) súhlasili s uskutočnením technických zmien vo vozidlách, ktoré bolo nutné vykonať pri prechode na čistý etanol. Nevyhnutné investície spojené s týmto krokom programu boli hradené pomocou "mäkkých" úverov poskytovaných brazílskou vládou. Podpora sa prejavila aj v daňových úľavách, čo viedlo k tomu, že etanol a etanolom poháňané automobily sa stali pre brazílskych spotrebiteľov cenovo veľmi príťažlivými.

Veľký pokles ceny ropy na svetových trhoch v 80-tych rokoch vážne ovplyvnil ekonomiku etanolového programu v Brazílii. Vláda prestala financovať výstavbu nových závodov, a tým obmedzila výrobnú kapacitu. Spotreba etanolu sa znížila. Daňové úľavy však pretrvávali naďalej. Každoročný priemerný nárast spotreby o 27% v rokoch 1981 až 1986 sa znížil na 1,3% v rokoch 1986 až 1992. Výsledkom bol nedostatok etanolu v rokoch 1989 a 1990, čo značne ovplyvnilo celý etanolvý program. Podiel predaných nových automobilov jazdiacich na čistý etanol sa znížil z takmer 100% v roku 1988 na približne 4% počas tejto krízy. Následne sa však dostal na úroveň 10% až 20% (v roku 1997 to bolo 12%). Etanolvý program sa vďaka poklesu cien ropy dostal do vážnych problémov. Spoločnosť Petrobras (štátny podnik zodpovedný za výrobu a distribúciu kvapalných palív) sa snažila znížiť straty zo skladovania a distribúcie etanolu rôznymi cestami a to aj napriek skutočnosti, že sa vďaka vyššej účinnosti jeho výroby (v roku 1977 sa vyrobilo 2600 litrov z ha, v roku 1987 to bolo 3900 litrov a v roku 1991 to bolo 5400 l/ha) podarilo výrazne znižovať cenu etanolu (približne o 3% ročne).

Najdôležitejším dôvodom pre pokračovanie etanolového programu v Brazílii sa však postupne stala ochrana životného prostredia. Tak napr. mesto Sao Paulo sa zaviazalo udržať podiel etanolu v benzíne na úrovni 22%. Hlavným dôvodom je snaha o obmedzenie výskytu smogu v tomto meste. Aj keď vlastná výroba etanolu nebola zo začiatku úplne čistá a problémom boli úniky odpadových látok a znečistenie

niektorých riek v okolí výrobných závodov, následným vylepšením technológie sa dosiahlo, že úroveň znečistenia prostredia je dnes oveľa nižšia ako pri výrobe benzínu. V oblasti emisií uhlíka (CO₂) tiež došlo k ich výraznému zníženiu, ktoré v ročnej bilancii predstavuje asi 9,5 mil. ton, čo je 13% celkových emisií z energetického sektora.

Brazílsky príklad využitia biomasy mal však aj pozitívny dopad na sociálnu sféru. Etanolový program viedol k vytvoreniu približne 1,2 milióna nových pracovných príležitostí (priame i nepriamo vyvolané pracovné miesta) a to hlavne pre menej kvalifikovaných pracovníkov. Toto číslo je 20-krát vyššie, ako je počet pracovných miest potrebných na spracovanie ropy v objeme, ktorý by nahradil etanol. Len kávové a bavlnené plantáže vykazujú vyššiu potrebu pracovných príležitostí na hektár ako cukrová trstina. Hoci práca súvisiaca so žatvou cukrovej trstiny patrí k slabšie plateným, predtým nezamestnaní obyvatelia majú takto možnosť zvýšiť si svoj príjem. Ukázalo sa, že aj investičné náklady na vytvorenie jedného miesta v etanolovom priemysle sú nižšie a to až o 25% ako v iných priemyselných sektoroch. Tento poznatok je obzvlášť dôležitý pre krajiny s obmedzeným kapitálom a vysokou nezamestnanosťou.

V súčasnosti jazdí v Brazílii 4,2 milióna motorových vozidiel na čistý etanol a jeho ročná spotreba dosiahla 10,5 miliárd litrov. Ostatné vozidlá jazdiace na zmes etanolu a benzínu (22% etanolu a 78% benzínu) spotrebúvajú ďalších asi 1,3 miliardy litrov etanolu ročne. Zaujímavosťou je, že napriek tomu, že všetky dovážané automobily si vyžadujú istú úpravu, aby mohli jazdiť na túto zmes, neexistuje žiaden tlak výrobcov automobilov na brazílsku vládu, aby sa táto situácia zmenila.

Etanolový program je z ekonomického hľadiska pre Brazíliu veľmi výhodný. Podľa mnohých odborníkov by sa bez tohto programu Brazília ocitla v ešte väčších problémoch, ako je v súčasnosti. Tento program totiž ušetril asi 12 miliárd dolárov na dovoze ropy a vytvoril mnoho nových pracovných miest. Aj napriek ekonomickým ťažkostiam, vyvolaným hlavne klesajúcimi cenami ropy, tento program úspešne dokumentoval technickú možnosť nahradenia ropy etanolom vo veľmi širokom meradle.

ETANOL V USA

Etanol vyrábaný hlavne z obilia je veľmi populárnym palivom aj v USA, kde sa používa buď priamo alebo ako prísada do benzínu. V dôsledku priaznivej daňovej politiky sa zmes 10% etanolu a 90% benzínu v USA používa už mnoho rokov. Takéto zmesné palivo nemá žiadny negatívny vplyv na výkon motora. Má však veľmi priaznivý vplyv na znižovanie emisií škodlivých látok. Celkové množstvo predanej zmesi etanolu a benzínu dosahuje ročne asi 50 miliárd litrov, pričom podiel etanolu predstavuje asi 3 miliardy litrov. Celkovo je to však len 0,7% z objemu predaného benzínu v tejto krajine. Vzhľadom na viaceré výhody, ktoré sa na používanie etanolu viažu, by toto množstvo malo v budúcnosti vzrásť až na 6,5 miliardy litrov ročne.

Etanolovému programu sa v USA darí aj vďaka daňovým úľavám, ktoré ročne dosahujú až 200 mil. dolárov. Tieto úľavy sú však z pohľadu štátnej pokladnice vykompenzované dodatočnými príjmami na úrovni 700 miliónov dolárov ročne v dôsledku ekonomických aktivít súvisiacich s etanolovým programom. Na rozbehnutie tohto programu boli v USA doteraz investované asi 3 miliardy dolárov, pričom z tejto sumy bolo vybudovaných 43 výrobní etanolu v 20-tich štátoch.

V sociálnej oblasti etanolový program viedol v USA k vytvoreniu asi 40 tis. priamych a nepriamych nových pracovných príležitostí, čo viedlo k ročnému zvýšeniu príjmov obyvateľstva o 1,3 miliardy dolárov. Celkový dodatočný prínos etanolového priemyslu pre americkú ekonomiku sa odhaduje na 6 miliárd dolárov ročne. Dopyt po obilí, z ktorého sa etanol vyrába, zvýšil príjmy farmárov po zavedení programu o viac ako 12 miliárd dolárov. Očakáva sa, že objem ekonomických aktivít zvýši uvedený zisk do roku 2000 až na 30 miliárd dolárov. Etanolový program priniesol výhody hlavne malým vidieckym sídlam, kde existujú výrobné závody. Ročná produkcia 400 miliónov litrov v priemerne veľkom podniku znamená vytvorenie asi 2250 nových pracovných príležitostí. Z hľadiska poľnohospodárskej výroby sa na výrobu etanolu ročne spotrebuje asi 5% z celkovej úrody obilia v USA. Keďže tu existuje veľká nadprodukcia obilia (USA sú jedným z jeho najväčších exportérov na svete) má pre amerických farmárov

výroba etanolu veľký význam. Ukazuje sa, že ak by neexistoval trh s etanolom, tak by sa ich príjem znížil asi o 11%. Otázne však zostáva, či takéto využitie obilia je ospravedlniteľné v čase, kedy milióny ľudí na svete zomierajú od hladu.

Etanolvý program má pozitívny makroekonomický dopad aj na znižovanie dovozu, na ktorom sa dovoz ropy podieľa až 80% (USA dováža 53% domácej spotreby ropy). Etanol znižuje túto závislosť o 98 tisíc barelov denne, čo predstavuje ročné úspory 1,1 miliardy dolárov. Mimoriadne pozitívny vplyv má etanolvý program tiež na oblasť životného prostredia.

METANOL

Výroba metanolu (metylalkoholu) z dreva je vo svete známa už veľmi dlho. Metanol tu však často vystupoval len ako vedľajší produkt pri výrobe drevného uhlia. Takáto výroba sa však vyznačovala veľmi malým výťažkom. Dnes je situácia iná. Drevné uhlie postupne stratilo na význame a metanol sa stal dôležitým palivom pre motorové vozidlá. Najväčšie množstvo metanolu je dnes produkované v Brazílii, USA a Švédsku.

Metanol je pre človeka jedovatá látka. Je to čistá kvapalina bez zápachu, ktorá sa v prírode vyskytuje len sporadicky. Energetická hodnota jedného litra metanolu je 18 MJ, avšak účinnosť motora na takéto palivo je vyššia ako v prípade benzínu (asi o 20%), čo v podstate zvyšuje energetickú hodnotu litra metanolu na 22,5 MJ. Metanol sa navyše vyznačuje veľkou univerzálnosťou, a tiež sa používa ako východisková surovina v mnohých chemických procesoch.

Metanol je možné vyrobiť nielen z biomasy, ale aj z niektorých fosílnych palív ako napr. zo zemného plynu alebo z uhlia. Nevýhodou výroby metanolu z biomasy je, že jeho cena je asi dvojnásobná v porovnaní so syntetickým metanolom vyrobeným zo zemného plynu. Zaujímavosťou tiež je, že z metanolu je možné vyrobiť aj benzín, avšak celý proces výroby prebieha s energetickou stratou, a preto sa nevyužíva. V niektorých prípadoch však takáto výroba benzínu môže byť výhodná. Inou skutočnosťou je, že benzín sa dá vyrobiť z biomasy priamo bez toho, aby bolo nutné prejsť cez uvedený medzičlánok - výrobu metanolu.

Metanol je možné previesť na vysoko oktánové palivo pri relatívne nízkych nákladoch. Výhodou je, že takéto palivo neobsahuje síru a znečistenie z jeho spaľovania je veľmi nízke. Pre výrobu metanolu sú dôležité dve otázky: aké množstvo biomasy je potrebné na výrobu a aký je pomer získanej a vlozenej energie z takejto výroby. Zo skúseností vyplýva, že z jednej tony suchej biomasy je možné vyrobiť asi 700 litrov metanolu. Na druhú otázku je možné odpovedať, že pomer získanej energie (metanol) a vlozenej energie na jeho produkciu je závislý hlavne na spôsobe výroby. Pri výrobe metanolu z obnoviteľných zdrojov je tento pomer vysoko pozitívny.



Závod v americkom Hastings má dennú kapacitu výroby etanolu 325 tisíc litrov.

POUŽITIE METANOLU V SPALOVACÍCH MOTOROCH

Vozidlá jazdiace na metanol sa z hľadiska výkonu a iných charakteristík (dojazd) podobajú vozidlám na benzín alebo naftu. Metanol je možné použiť ako palivo v čistej forme alebo ako zmes. Motor si však vyžaduje istú úpravu. V prípade naftových motorov je potrebné vozidlá vybaviť pomocným zapalovacím systémom, nakoľko cetánové číslo metanolu je nízke. Tieto motory môžu spaľovať tiež zmes metanolu a nafty. Už pri obsahu niekoľko percent nafty v takejto zmesi nie je potrebné použiť zapalovaciu sviečku.

V USA sa metanol predáva ako zmes označená M85 (85% metanolu a 15% benzínu) resp. M100 (čistý metanol). M85 je vhodný hlavne pre ľahšie vozidlá, kým M100 je určený pre dodávky a nákladné vozidlá. V súčasnosti je na cestách USA asi 15 tis. takýchto vozidiel. Z väčších automobiliek dodávajú metanolové vozidlá na trh Ford (model Taurus) a Chrysler (Dodge Intrepid). Aby mohli vozidlá jazdiť na túto zmes, vyžadujú si špeciálnu úpravu, ktorá stojí asi 250 dolárov. Ford vyvinul špeciálny motor spaľujúci čistý metanol aj pre svoj model Escort. Poslednou novinkou však je tzv. flexibilný model FFV (Flexible Fuel Vehicle), ktorý umožňuje jazdu na akúkoľvek zmes benzínu a metanolu.

Metanol má vysoký pomer vodíkových atómov a oveľa vyššiu energetickú hustotu ako skvapalnený vodík. Z tohto dôvodu sa skúma aj jeho použitie v palivových článkoch, ktoré sú veľmi perspektívnym zdrojom energie pre motorové vozidlá.

Emisie vozidiel na metanol závisia od vstupného materiálu, z ktorého bol vyrobený. Metanol vyrobený z dreva a použitý ako náhrada za benzín sa vyznačuje nižšími emisiami všetkých škodlivín (v priemere o 20% až 70 %). Nahradenie nafty za metanol v naftových motoroch znamená podstatné zníženie emisií tuhých častíc (dymu). Ekologické prednosti metanolu použitého v nákladnom vozidle v porovnaní s naftou sú dokumentované v nasledujúcej tabuľke:

	Zníženie emisií
NO _x	- 65 %
CO	- 95 %
Uhl'ovodíky	- 95 %
Dym	- 100 %

Metanol má v porovnaní s klasickými palivami niekoľko výhod a nevýhod. Výhodou je, že výrobné technológie sú v praxi odskúšané, spoľahlivé a široko využívané (výroba alkoholu!?). Výhodou metanolu v porovnaní s etanolom je, že pre jeho výrobu existuje širší potenciál vstupných surovín. Metanol má v porovnaní s benzínom výhodu aj v tom, že má vyššie oktanové číslo približne 105. Benzín má oktanové

číslo medzi 92 a 98. Vyššie oktanové číslo umožňuje vyššiu kompresiu a následne lepšiu účinnosť motora. Výhodou tiež je, že metanol má vysokú kalorickú hodnotu, umožňuje vyššiu účinnosť spaľovania v motore, má nižšiu teplotu horenia, produkuje menej škodlivín a vo všeobecnosti predstavuje menšie riziko. Navyše v porovnaní s etanolom je metanol lacnejší. S metanolom sa tiež ľahšie zaobchádza ako s benzínom, pretože je menej prchavý, je bezpečnejší pri dopravných nehodách a prípadný požiar sa dá uhasiť aj vodou, pretože metanol je rozpustný vo vode. Požiar je možné veľmi jednoducho zlikvidovať aj na malú vzdialenosť od ohňa, čo je dôsledok nízkej teploty plameňa.

Nevýhodou metanolu je, že spôsobuje rýchlejšiu koróziu kovových materiálov, má detergentný účinok (odstraňuje oleje z miest, kde sú potrebné) a negatívne vplyva na plastické materiály. Tieto nevýhody je možné zmierniť použitím odolnejších materiálov vo vozidlách napr. ocele. Inou nevýhodou je, že metanol má neviditeľný plameň. Pridaním asi 15% benzínu do metanolu sa však plameň stáva viditeľným. Nevýhodou je tiež toxicita metanolu tak pri vdýchnutí ako aj pri pôsobení na kožu (riziko pri čerpaní paliva). V benzínových motoroch metanol spôsobuje väčšie problémy pri štartovaní pri teplote pod bodom mrazu. Predhriatie paliva podobne ako v prípade nafty tento problém pomáha vyriešiť. Nevýhodou metanolu je aj formaldehydový zápach vznikajúci pri studených štartoch a zahrievaní vozidla. Dobu, počas ktorej tento zápach vzniká, sa podarilo skrátiť používaním oksylichovacích katalyzátorov na dve minúty. Definitívne odstránenie týchto emisií by malo priniesť zavedenie systému zohrievania zmesi pred vstupom do katalyzátora.

Energetická hodnota metanolu je asi o polovicu nižšia ako nafty, preto vozidlá na metanol potrebujú zhruba dvakrát toľko paliva na dosiahnutie toho istého dojazdu. Podľa analýzy uskutočnenej v Japonsku

zahrňujúcej 32 nákladných a dodávkových vozidiel s hmotnosťou 2 tony jazdiacich na metanol po cestách Tokya bola priemerná spotreba metanolu 50 l/100 km. Porovnateľné naftové vozidlá mali spotrebu 21 l/100 km. Nevýhodou metanolu je, že je takmer dvojnásobne drahší ako normálny benzín, navyše pre zaobchádzanie s ním sa v niektorých krajinách (napr. USA) vyžaduje osobitný bezpečnostný kurz.

BIONAFTA - RASTLINNÉ OLEJE

Rastlinný olej je možné získať z viac ako 300 druhov rôznych rastlín, medzi ktorými je napr. repka olejnatá, slnečnica, oliva, sója, kokosový orech a i. Olej sa v nich nachádza v semenách alebo plodoch. Napriek tomu, že medzi takýmito olejmi existujú značné rozdiely vo viskozite, všetky je možné použiť v naftových motoroch ako náhradu za naftu. O tom, že R. Diesel, konštruktér naftového motora, sa vážne zaoberal rastlinnými olejmi svedčí aj fakt, že už v roku 1900 predstavil na svetovej výstave v Paríži motor, ktorý bežal na olej z búrskych orieškov. V roku 1912 Diesel napísal, že "hoci je použitie rastlinných olejov v súčasnosti bezvýznamné, v budúcnosti budú tieto oleje tak isto dôležité, ako sú petrolej alebo uhlie". Tieto slová sa však doteraz nenaplnili, pretože benzín a nafta svojimi vlastnosťami predstihli oleje, a preto ich z trhu automobilových palív veľmi skoro vytlačili. Po vypuknutí prvej ropnej krízy v roku 1973 sa problematikou využitia bionafty začali konštruktéri znovu zaoberať. Navyše v dôsledku intenzívneho rastu produkcie poľnohospodárskej výroby a nadprodukcie potravín vlády vyspelých krajín začali podporovať poľnohospodárov v prechode na pestovanie technických plodín, kam patrí aj bionafta - najčastejšie využívaná forma rastlinných olejov v doprave.

Význam bionafty je hlavne v tom, že takmer každý naftový motor je v princípe možné upraviť na spaľovanie bionafty. Pokiaľ sa zoberie do úvahy skutočnosť, že až 90% prepravy tovarov a osôb sa v súčasnosti vykonáva dopravnými prostriedkami spaľujúcimi naftu (nákladné vozidlá, autobusy, lokomotívy, lode, traktory atď.), predstavuje to obrovský potenciál. Navyše existuje veľký počet osobných motorových vozidiel s naftovými motormi, ktoré by taktiež mohli využívať bionaftu. V krajinách EÚ sa ich podiel na celkovom počte vozidiel pohybuje od 15-40%.

Použitie čistého rastlinného oleja v motoroch však prináša viacero ťažkostí, a preto sa tento olej upravuje esterifikáciou na metylester u nás označovaný ako MERO, v zahraničí sa používa termín RME (rape seed metyl ester - metyl ester repkového semena). Esterifikácia znižuje viskozitu rastlinného oleja a prináša mnoho výhod. Chod motora, výroba paliva, doprava a jeho skladovanie nie sú po esterifikácii problémom. Takýto olej je potom možné bez problémov primiešavať do nafty, čo sa na chode motora nijako negatívne neprejaví. Má to však pozitívny vplyv na zníženie emisií pri spaľovaní. Na rozdiel od rastlinných olejov však MERO obsahuje niektoré rakovinotvorné látky a je rovnako toxický ako nafta. Niektoré vlastnosti MERO a čistého rastlinného oleja a ich porovnanie s naftou sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

	Nafta s nízkym obsahom síry	Bionafta (MERO)	Čistý repkový olej
Cetánové číslo	46	61,2	42,6
Bod varu °C	191	347	311
Obsah síry (%váž.)	0,036	0,012	0,022
Teplo pri spaľovaní (kJ/kg)	46,42	40,6	40,4
Hustota	0,8495	0,8802	0,906

Bionafta, pod ktorou sa rozumie čistý rastlinný olej alebo MERO, sa z hľadiska energie obsiahnutej v jednom litri paliva približuje kvalite nafty, pričom táto hodnota je vyššia ako energetická hustota iných alternatívnych palív, čo dokumentuje aj nasledujúca tabuľka. Výroba bionafty pozostáva z lisovania repky, filtrovania a následného delenia oleja (esterifikácia) na metylester (MERO - bionafta).

PALIVO	Energia v MJ/liter
Nafta	35,1
Rastlinný olej	34,3
MERO (bionafta)	33,1
Etanol	21,1
Metanol	18,0
Vodík (kvapalný pri -256°C)	8,5
Elektrina z batérie	0,36

ta) a glycerol. Glycerol ako vedľajší produkt je vhodný pre chemický priemysel a výlisky sú cennou krmovinou zmesou. MERO je ekologicky čisté palivo a v porovnaní s naftou pri spaľovaní vykazujú 3 až 40-krát nižší obsah uhľovodíkov vo výfukových plynoch. Má zníženú dymivosť, plyny obsahujú menej tuhých častíc a iných nebezpečných látok. Použitie MERO si vyžaduje však malú úpravu motora, pričom sa zníži jeho výkon aj spotreba paliva asi o 5 %.

ENERGETICKÁ BILANCIA

Z hľadiska možného širšieho využitia bionafty v doprave je veľmi dôležitá aj otázka energetickej bilancie pri jej výrobe. Tá vyjadruje pomer množstva vlozenej energie na siatie, žatvu, dopravu a spracovanie surovín a získanej energie. Údaje o energetickej bilancii bionafty získanej z 1 ha sa veľmi líšia. Podľa nemeckého skúšobného ústavu TUV je uvedený pomer pre MERO len 1:1,4 (jeden liter vloženého paliva priniesie zisk 1,4 litra MERO). Ak sa však do bilancie započíta aj energetické zhodnotenie odpadov z výroby bionafty, potom je tento pomer podstatne lepší - až 1:4. Zvyšky z výroby oleja sa dajú totiž využiť na ďalšiu výrobu energie a to tak tepla ako aj elektriny. Energetický obsah zvyškov je relatívne vysoký (slama - 43 GJ/ha, výlisky 31 GJ/ha). Energetická bilancia výroby bionafty je nasledovná:

Aj keď sa údaje rôznych autorov často veľmi líšia, je celková energetická bilancia pri výrobe bionafty a jej metylesteru pozitívna. Ukazuje sa, že pomer získanej energie vo forme MERO a energie vlozenej na jeho produkciu z repkového semena je podstatne vyšší ako pre bioalkoholy. V nasledujúcej tabuľke je uvedené porovnanie repkového oleja a etanolu z hľadiska energetickej bilancie:

	GJ/ha
Pestovanie a doprava	17,5
Energia na výrobu rastl. oleja	5,4
Energia na výrobu MERO	7,6
VSTUPY SPOLU	30,5
MERO	44,9
Výlisky	31
Glycerol	1,9
ZISK SPOLU	77,8

Napriek tomu, že energetická bilancia MERA je pozitívna, existuje mnoho odborníkov, ktorí sa domnievajú, že toto palivo je vhodné ako náhrada za naftu len v lokálnych podmienkach pre poľnohospodárov. Jeho doprava na dlhšie vzdialenosti by znamenala, že energetický zisk z výroby by sa úplne stratil.

Hoci výrobná cena MERO je vyššia ako výrobná cena nafty, podľa údajov z Nemecka bývajú náklady na esterifikáciu pokryté ziskom z predaja glycerínu, ktorý pri výrobe vzniká ako vedľajší produkt. Na Slovensku sa v roku 1995 priemerná

Palivo	Výťažok z hektára (ton/ha)	Energetická bilancia Výstup/vstup
Repkový olej	2,7	2,8
Etanol z		
cukrovej repy	60	1,3
kukurice	7,7	1,3
obilí	4,4	1,1

cena za tonu semena repky olejatej pohybovala okolo 7500 Sk. MERO sa predávalo za 19,20 až 19,50 Sk/liter, pričom Ministerstvo pôdohospodárstva poskytovalo výrobcam dotáciu vo výške 20% výrobných nákladov. Tieto však nesmeli prekročiť sumu 25,30 Sk/kg. Ďalšou podmienkou bolo využívanie výrobných kapacity aspoň na 50 %. Ukazuje sa, že pre udržanie výrobných nákladov, ktoré sú pre MERO 3 až 5-krát vyššie ako pre naftu, je potrebné udržiavať technologické zariadenie v bezporuchovom stave a zabezpečiť nepretržitú prevádzku a pokiaľ možno, čo najvyššiu kapacitu výroby.

MERO ako palivo (aj ako zmesné palivo) má dobré ekologické vlastnosti a pri jeho spaľovaní sa produkuje nižšie množstvo emisií ako v prípade nafty. Vo výfukových plynch sa pozoruje významný pokles obsahu polyaromatických uhľovodíkov a tuhých častíc. Z hľadiska tvorby emisií prinieslo použitie Bionafty MDT (zmes 30% MERO a 70% nafty) na Slovensku nasledujúce skúsenosti:

	Zníženie emisií v porovnaní s naftou
Uhľovodíky	- 75 %
Aerosoly	- 37 %
SO ₂	- 40 %
CO	- 20 %

V emisiách N_2O existujú len malé rozdiely medzi MERO a naftou. Tieto emisie sú pre MERO o pár percent vyššie v dôsledku vyššej teploty spaľovania. Vysoký obsah kyslíka v bionafte má však pozitívny vplyv na oxidáciu, a tým znižovanie úrovne smogu v mestách. Navyše použitie tzv. oxidačného katalyzátora ďalej znižuje emisie aromatických uhľovodíkov, CO a tuhých častíc. Podľa nemeckej technickej skúšobne TUV Bayern dosahuje v takomto prípade zníženie emisií CO až 95%, uhľovodíkov 85% a tuhých častíc až 50%.

Medzi hlavné výhody bionafty patrí jej pozitívna energetická bilancia, ktorá je lepšia ako v prípade alkoholových palív. Bionafta však neposkytuje taký zisk energie na jednotku osiatej plochy ako etanol. Výhodou bionafty je, že má približne rovnaké cetánové číslo ako nafta, čo znamená, že je ju možné priamo použiť v naftovom motore bez prísad. Rastlinný olej navyše neobsahuje takmer žiadnu síru a nespôsobuje emisie oxidu siričitého. Bionafta má porovnateľný energetický obsah ako nafta, a preto postačuje rovnako veľká nádrž ako pri bežnom vozidle. Výkon motora s týmto palivom je rovnaký ako pri naftě. Vzhľadom na svoje chemické vlastnosti (bod varu, vzplanutia) je transport a skladovanie bionafty bezpečnejšie ako pri obyčajnej naftě. Keďže bionafta nie je horľavinou, nevzťahujú sa na ňu príslušné prepravné predpisy. Teplota na zapálenie bionafty je približne 150 st. Celzia, čo je oveľa výhodnejšie pri skladovaní ako pre klasické palivá. Vo Francúzku je MERO z hľadiska svojich vlastností dokonca zaradený medzi potraviny.

Výhodou rastlinných olejov tiež je, že rýchlo (v priebehu asi 3 týždňov) degradujú v pôde a nespôsobujú jej znečistenie. Hlavné výhody používania bionafty je možné zhrnúť nasledovne :

- kladná energetická bilancia,
- nízke emisie škodlivín a znižovanie emisií CO_2 ,
- hospodárne a ekologické využitie pôdy vyňatej z produkcie potravinárskych plodín,
- bezpečnosť pri zaobchádzaní (je tak bezpečná ako potravinársky olej).

Nevýhodou čistých rastlinných olejov je, že majú vysokú viskozitu (až 40-krát vyššiu ako nafta) a počas ich skladovania dochádza k znižovaniu kvality paliva. Pri spaľovaní zanášajú motor, sú agresívne voči plastom i lakom a spôsobujú vyššie emisie tuhých častíc a N_2O . Problém tuhých častíc je možné odstrániť tzv. esterifikáciou rastlinného oleja (výroba MERO).

Inou nevýhodou rastlinných olejov je, že na to, aby nahradili väčšiu časť klasických palív by boli potrebné veľké plochy poľnohospodárskej pôdy. V situácii, keď mnoho ľudí vo svete hladuje, by takáto filozofia pravdepodobne nebola správna. V tejto súvislosti vystupuje do popredia aj nebezpečenstvo pestovania monokultúr. Z hľadiska potenciálnej kapacity výroby teda nie je možné očakávať veľmi široké uplatnenie bionafty. Udáva sa, že v súčasných podmienkach by výrobná kapacita mohla pokryť asi 5 % spotreby nafty vo vyspelých krajinách.

POUŽITIE BIONAFTY

Čistý rastlinný olej sa v súčasnosti v doprave používa len minimálne a to len v špeciálnych motoroch známych ako Elsbett motor. Vo väčšine krajín dnes prevláda používanie esterifikovaného oleja MERO hlavne ako prísady do klasickej nafty. Bežné je zastúpenie až do 30% MERO v naftě. V USA sa presadzuje palivo s 20% zastúpením, vo Francúzsku sa predáva zmes 5% MERO a zvyšok nafta. Na Slovensku bola úspešne testovaná tzv. Bionafta MDT (zmes 30% MERO a 70% nafta). Ukazuje sa, že vyššie zastúpenie MERO v naftě ako 30% vedie k problémom s oxidačnou stabilitou, tvorbou živíc a usadenín v motore, a preto sa vo svete takáto zmes nepoužíva. Požitie čistého MERO v naftových motoroch si tiež vyžaduje isté úpravy vozidla. Výhodou zmesného paliva je aj lepšie štartovanie motora ako na čisté MERO. Prítomnosť 10% MERO v naftě navyše prináša až 30% zníženie opotrebovania motora. MERO tu vystupuje ako mastiaca prísada s plnohodnotnými vlastnosťami paliva.

Bionafta sa okrem klasických naftových vozidiel (prispôbovaných pre takéto palivo) využíva hlavne v poľnohospodárskych a lesníckych dopravných prostriedkoch (traktory). S jej použitím je možné sa stretnúť aj v niektorých lodiach a člnoch, čo súvisí s tým, že bionafta neznečisťuje vodu. V Nemecku okrem

poľnohospodárov bionaftu (čisté MERO) bežne využívajú aj vozidlá taxi služby. Zvyčajne sú tieto vozidlá upravené tak, že umožňujú jazdu na bionaftu aj na naftu. Mníchovská taxikárska spoločnosť prešla na bionaftu, ktorá je cenovo porovnateľná s obvyčajnou naftou, na jar roku 1996. Z jej skúseností vyplýva, že vozidlá na bionaftu sa vyznačujú rovnakou spotrebou paliva ako vozidlá na naftu a nepozorujú sa ani rozdiely vo výkone motora. Výhodou sú však nižšie emisie škodlivín, pre ktoré je používanie bionafty podporované aj v mnohých iných krajinách EÚ. V Nemecku bolo v roku 1998 v prevádzke asi 400 čerpacích staníc s bionaftou (MERO), pričom ich počet stále narastá. Na skladovanie bionafty sa nevzťahujú žiadne osobitné predpisy, čo v praxi vedie k jednoduchému prispôbeniu klasických naftových nádrží na bionaftu. Uvedenú výhodu využívajú prevádzkovatelia taxi služieb, ktorí si bežne v Nemecku budujú vlastné skladovacie nádrže na bionaftu.

Napriek tomu, že každé vozidlo na naftu môže v princípe jazdiť aj na čistú bionaftu, nie je toto palivo vhodné pre každé sériovo vyrábané vozidlo. Na zabezpečenie bezporuchovej prevádzky je potrebné povolenie výrobcu, ktorý takúto prevádzku zvyčajne garantuje pri použití paliva splňujúceho isté kritériá. V Nemecku sú tieto kritériá zachytené v norme DIN 51606.

BIONAFTA NA SLOVENSKU

V roku 1991 sa v bývalej ČSFR začalo s tzv. oleoprogramom, ktorý postupne viedol k vybudovaniu 7 výrobní MERO na Slovensku. Výhodiskovou surovinou je semeno repky olejnej. Na Slovensku sa MERO uplatňovalo predovšetkým v poľnohospodárstve a to hlavne vďaka podpore tohto programu zo strany štátu. V minulosti patrila výroba MERO medzi priority v oblasti ekologického poľnohospodárstva. V súčasnosti sa však aj tu prejavuje nedostatok finančných prostriedkov a výrobné bionafty majú značné problémy so svojim odbytom.

Niekoľkoročné skúsenosti s výrobou MERO ukazujú, že z 1 hektára osiateho repkou olejnatou, s priemerným výnosom 3 tony semena na hektár, je možné získať asi 1 tonu MERO alebo 3,33 tony BIONAFTY MDT. Okrem toho pri lisovaní semien vznikajú asi 2 tony kvalitných krmovínových výliskov. Z hľadiska možného potenciálu výroby bionafty u nás by do úvahy prichádzalo využívanie hlavne menej kvalitných a kontaminovaných pôd, ktoré sú nevhodné na pestovanie potravinárskych plodín. Odhaduje sa, že v SR sa nachádza približne 425 tisíc hektárov kontaminovaných pôd, ktorých využívanie na výrobu MERO by prinieslo zisk v podobe náhrady 425 tisíc ton nafty ročne, čo je takmer 50% spotreby nafty u nás.

Do roku 1997 bolo na Slovensku vybudovaných 7 výrobní MERO s celkovou kapacitou 5500 ton MERO ročne. Ich charakteristiky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

VÝROBNĽA	Ročná kapacita výroby
AGRIFOP Stakčín	500 ton
EKOIL Bratislava (výrobnia v Zohore)	500 ton
PD Horné Obdokovce	500 ton
PD Kendice	500 ton
PD Šalgovce	500 ton
BIO BHMKG Spišský Hrušov	1.500 ton
AGRO DIESEL Revúca	1.500 ton

Výrobnia v Spišskom Hrušove dodávala bionaftu aj pre potreby mestskej hromadnej dopravy. V Spišskej Novej Vsi takto od roku 1994 používalo bionaftu MDT pokusne 6 autobu-

sov mestskej hromadnej dopravy. V priemere tieto vozidlá vykazovali o 10,2% vyššiu spotrebu paliva (2,6% až 43,6% podľa typu a veku vozidla) v porovnaní s klasickou naftou. Prestavba jedného vozidla na bionaftu je relatívne lacná a vychádza na cca 6000 Sk. Spišskú bionaftu okrem toho odoberalo aj niekoľko poľnohospodárskych družstiev v blízkom okolí. Výhodou malých výrobní bionafty je ich samozásobiteľský charakter, kedy producent repky olejnej dodávajúci semeno do výroby, získava späť biopalivo pre svoju činnosť a tiež výlisky na kŕmenie poľnohospodárskych zvierat. Výhodou malých výrobní sú aj nižšie investičné náklady na výstavbu, čo má hlavne v našich podmienkach rozhodujúci význam.

V prípade veľkých výrobní bývajú výhodou nižšie merné investičné náklady na výrobu jedného litra MERO, väčšia možnosť stabilizovať kvalitu produkcie a zvýšená bezpečnosť práce s metanolom.

ELSBETT MOTOR

Príkladom úplne nového riešenia naftového motora upraveného na spaľovanie čistého rastlinného oleja (bez nutnosti jeho esterifikácie) je tzv. Elsbett motor. Tento motor bol vyvinutý nemeckým inžinierom Ludwigom Elsbettom, ktorý v roku 1964 založil v Hilpoltsteine (neďaleko Norimbergu) ústav pre vývoj motorov - Elsbett Konstruktion. Elsbett vyvinul motor pre viacero rôznych aplikácií. V súčasnosti jazdí v Bavorsku niekoľko sto automobilov s takýmto typom motora. Spaľujú čistý rastlinný olej vyrábaný na farmách a dodávaný do špeciálnych čerpacích staníc, kde sa predáva za 0,80 DM za liter. V ústave v Hilpoltsteine sa tiež predstavujú automobily na tento typ motora. Elsbett motor je charakteristický tým, že spaľovanie čistého rastlinného oleja nezanáša valce motora nedostatočne spáleným uhľovodíkmi. Motor má tri valce s celkovým objemom 1500 cm³ a je vybavený špeciálnym vstrekaním paliva kombinovaným s okrúhlo spaľovacou komorou umiestnenou vo valci motora. Takáto konštrukcia umožňuje spaľovanie paliva pri vysokej teplote v centre obklopenom vrstvou studeného vzduchu. Pri tomto procese dochádza k nižším tepelným stratám na stenách valca a glycerín (zložka oleja) je spaľovaný bez toho, aby vznikali usadeniny na stenách. Valec je vytvorený z dvoch častí. Horná časť pozostáva zo spaľovacej komory a má malý povrch v porovnaní so stenami valca. Táto časť vyrobená z teplovzdornej liatiny drží tiež hlavu valca. Dolná časť valca je vyrobená z hliníka, pričom celková hmotnosť valca je nižšia ako normálny valec vyrobený z jednej časti. Elsbett motor sa tiež vyznačuje vyššou účinnosťou. Bežný automobilový motor má účinnosť nižšiu ako 30% (podľa niektorých údajov je táto účinnosť podstatne nižšia a dosahuje len 15%), kým Elsbett motor dosahuje účinnosť až 40%. V benzínovom motore je 28% tepla zo spaľovacieho procesu vo valci odvedených chladičom. V naftových motoroch je to až 30%, kým v Elsbett motore je to len 14 až 16%. Toto sa dosahuje olejovým chladením, ktoré je jednoduchšie a spoľahlivejšie ako chladenie vodou. Zvyšok tepla asi (40%) odchádza do výfuku. Vyššia účinnosť Elsbett motora sa prejavuje aj v nižšej spotrebe a úspora paliva v motorových vozidlách dosahuje až 30%. Prebudovaný Volkswagen Passat s Elsbett motorom má napr. spotrebu 4 litre rastlinného oleja na 100 km. V nasledujúcej tabuľke je uvedené porovnanie účinnosti rôznych typov a jazdný dosah vozidiel s rôznym typom motora a paliva. Za základ (100 km) bol vzatý dojazd auta s benzínovým motorom. Dojazd sa vzťahuje na rovnaký objem paliva.

Výhodou Elsbett motora je, že vysoké teploty umožňujú spaľovať nielen čistý rastlinný olej, ale aj rôzne iné oleje ako napr. rybí olej alebo už použitý rastlinný olej z varenia. Motor taktiež umožňuje jazdu na obyčajnú naftu. Takýto typ motora má význam aj pre rozvojové krajiny

nachádzajúce sa v tropickom pásme s dostatkom olejnatých rastlín. Ročný zisk palmového oleja napr. dosahuje až 7000 kg z hektára (2-krát viac ako z repky) za rok, pričom veľa iných rastlín má výťažok vyšší alebo porovnateľný s repkou olejnatou. Vo vyspelých krajinách by však používanie Elsbett motora mohlo tiež výrazne prispieť k zníženiu spotreby nafty a ozdraveniu životného prostredia. Podľa údajov z Dánska, kde sa Elsbett motor tiež testoval, by pri využití 200 tisíc hektárov pôdy na pestovanie repky bolo možné zásobiť rastlinným olejom asi 400 tisíc automobilov, ktoré by mohli ročne v priemere najazdiť 10 tisíc km. Uvedená rozloha v súčasnosti zodpovedá nadprodukcii poľnohospodárskych produktov v tejto krajine. Elsbett motor sa však nepresadil v širšom meradle hlavne pre vyššie náklady na jeho výrobu a nezáujem výrobcov automobilov.

MOTOR	Palivo	Účinnosť	Dojazd v km
Elsbett	rastlinný olej	40 %	160
Diesel	nafta	28 %	118
Diesel	MERO	28 %	106
Benzínový	metanol	31 %	100
Benzínový	etanol	30 %	76
Benzínový	benzín	27 %	58
Benzínový	vodík	23 %	22

PLYNNÉ BIOPALIVÁ - BIOPLYN

Každá organická hmota po odumretí podlieha rozkladu, pri ktorom sa uvoľňuje bioplyn. Vzhľadom na to, že bioplyn neustále vzniká pri hnití, jeho využitie pre energetické účely predstavuje jeden z najekonomickejších spôsobov ekologického zneškodňovania odpadov. Bioplyn sa v súčasnosti účelovo získava hlavne zo skládok komunálneho a poľnohospodárskeho odpadu. Reakciu vzniku bioplynu je možné zapísať nasledovne: **BIOMASA + BAKTÉRIE → BIOPLYN (CH₄, CO₂ ..) + ŽIVINY (N, P, K, S,...)**

Zloženie bioplynu závisí od vstupných surovín a podmienok jeho výroby, vo väčšine prípadov je však nasledovné:

Metán (CH ₄)	55-70%
Oxid uhličitý (CO ₂)	30-45%
Sírovodík (H ₂ S)	1-2%
Dusík (N ₂)	0-1%
Vodík (H ₂)	0-1%
Oxid uhoľnatý (CO)	Stopy
Kyslík (O ₂)	Stopy

Bioplyn predstavuje hodnotné palivo a energia v ňom obsiahnutá je len asi o tretinu nižšia ako v zemnom plyne. Z tohto dôvodu je dnes cielene vyrábaný, v špeciálne vybudovaných zariadeniach, vo viacerých krajinách sveta (vrátane Slovenska). Vstupnú surovinu tvorí zväčša hnojovica alebo organické kaly, z ktorých sa bioplyn vyrába v digestoroch. Objem digestorov sa pohybuje od jedného metra kubického (domáci digestor) až do niekoľko tisíc m³ (veľké farmy). Vstupná surovina v digestore vyhníva od 10 dní do niekoľko týždňov v závislosti na zložení a okolitej teplote. Hoci baktérie pri rozklade organickej látky samotné vytvárajú teplo, v našich klimatických podmienkach v zimnom období toto teplo nie je dostatočné, a preto je potrebné digestor ohrievať vonkajším zdrojom - zvyčajne spaľovaním časti vznikajúceho bioplynu. Teplota, pri ktorej vyhnívanie v digestore prebieha optimálne, by nemala klesnúť pod 35 st. Celzia. Bioplyn je z digestorov odčerpávaný, skladovaný a následne spaľovaný zvyčajne v plynovej turbíne.

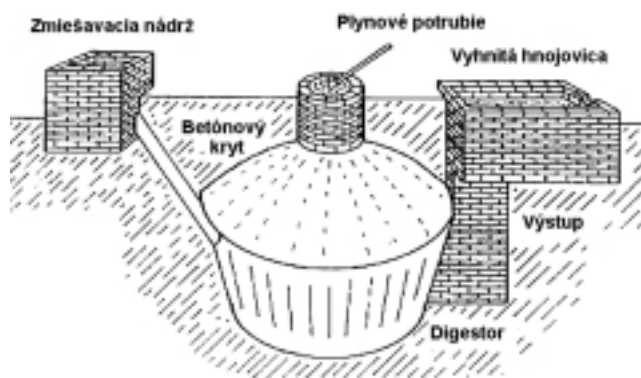
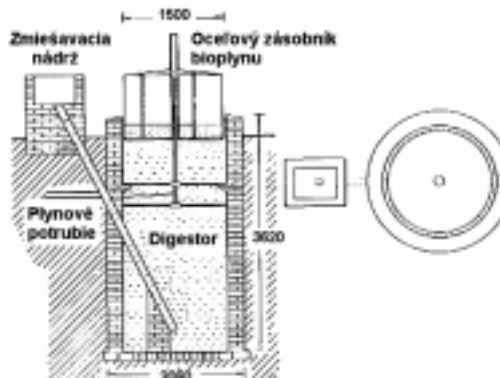


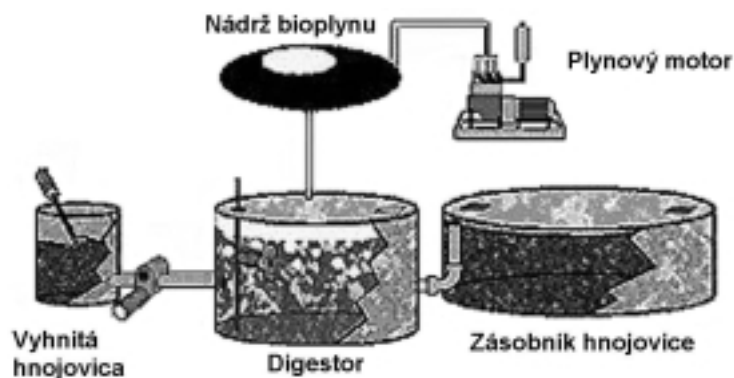
Schéma malého zariadenia na výrobu bioplynu z Číny.



Prierez malým bioplynovým zariadením.

Spaľovaním bioplynu je možné získať tak elektrinu ako aj teplo. Takáto výroba prebieha najčastejšie v tzv. kogeneračnej jednotke, pričom výroba elektriny predstavuje asi 30-40 % a tepla 40-50 % energie obsiahnutej v bioplyne. Zvyšok predstavuje tepelná energia potrebná na udržanie optimálnej

prevádzkovej teploty. Uvedený proces je perspektívny hlavne pre poľnohospodárske družstvá, čističky odpadových vôd alebo skládky komunálneho odpadu, kde vzniká tzv. kalový plyn.



Principiálna schéma výroby bioplynu.

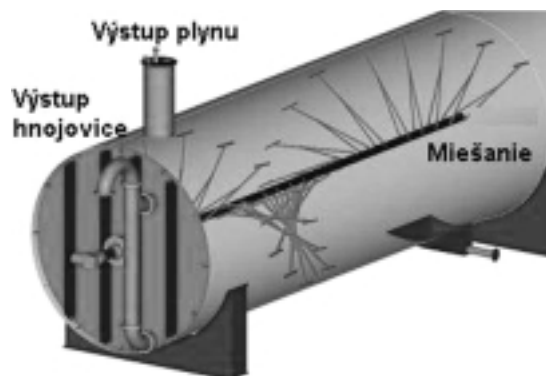
Proces anerobického vyhnívania organických zvyškov prebieha v digestoroch bez prístupu vzduchu a okrem bioplynu tu vzniká aj tuhý odpad, ktorý je vhodným hnojivom pre poľnohospodárske účely.

Priemerné produkcie hnojovice resp. trusu a zisk bioplynu.

	Výkaly (spolu) kg/deň	Výkaly (sušina) kg/deň	Zisk bioplynu m ³ /deň
Krava (550 kg)	60	6	1,7
Ošípaná (170 kg)	14	1	0,3
Sliepka nosnica (2,2kg)	0,3	0,03	0,016



Digestor z vonku.

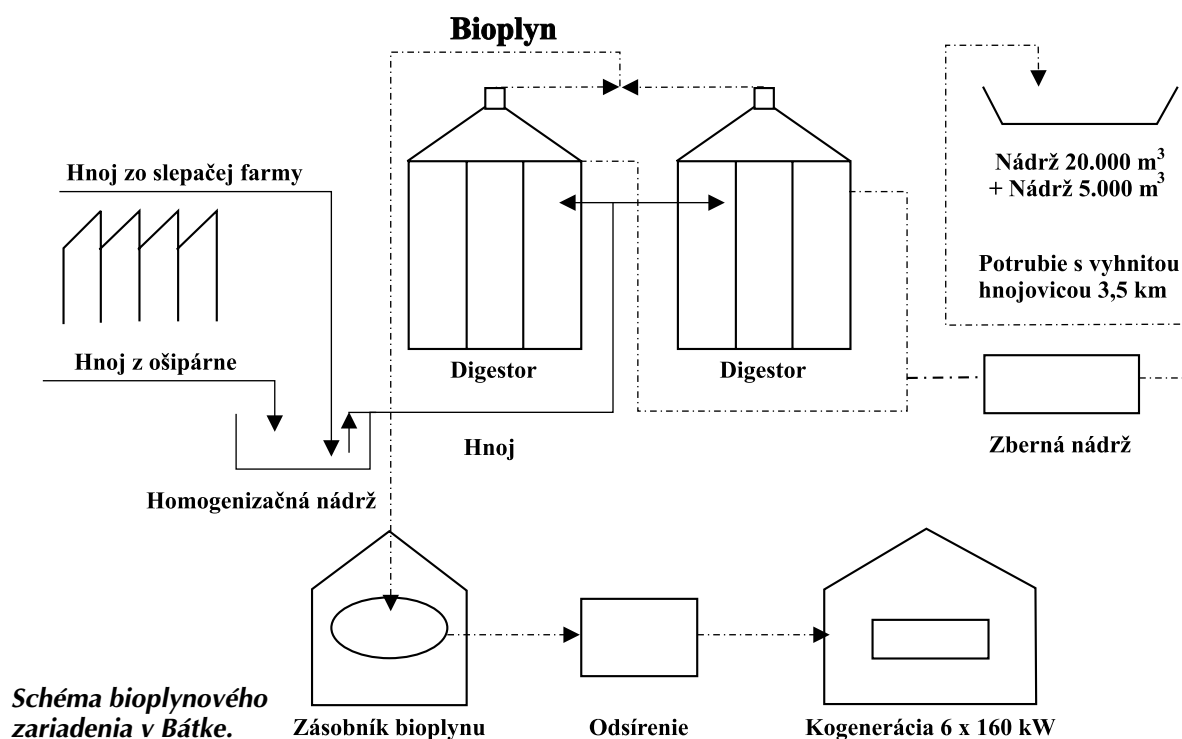


Digestor z vnútra.

Produkcia bioplynu je závislá na mnohých parametroch a líši sa od zariadenia k zariadeniu. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené priemerné hodnoty (november 1995 až marec 1997) produkcie bioplynu i vyrobenej elektriny a tepla v Bátke, ktoré využíva hnojovicu od 13 tisíc kusov ošípaných a 220 tisíc kusov nosníc z hydinárskej farmy Kľačany pri Rimavskej Sobotě.

Vstup	Výstup		
Hnojovica ton/deň	Bioplyn m ³ /deň	Elektrina kWh/deň	Teplo GJ/deň
149,3	2587,5	4485,9	29,1

Priemerný obsah metánu v bioplyne bol 63,5% a fermentačná teplota 32,6 st. C.



Vysoká koncentrácia zvierat v našich poľnohospodárskych podnikoch predstavuje značný kapitál z hľadiska potenciálnej výroby bioplynu. Na Slovensku je t.č. ustajnených približne jeden milión kusov dobytka, ktorý denne vyprodukuje 60 mil. ton hnoja. Hnoj vznikajúci pri živočíšnej výrobe často vyvoláva problémy spojené s ochranou spodných vôd a zaobchádzanie s ním vyvoláva dodatočné finančné náklady. Potenciálna výroba bioplynu takto predstavuje až 1,7 milión m³ denne, čo pri jeho energetickom obsahu 22 MJ/m³ znamená potenciálnu energiu 3,6 miliárd kWh za rok.

Hoci výroba bioplynu pre energetické účely je vo svete bežná, na Slovensku existuje len veľmi málo takýchto zariadení. Pár čističiek odpadových vôd a len jedno zariadenie využívajúce hnojovicu v poľnohospodárskom družstve Bátka nezodpovedajú našim možnostiam. Bioplyn vyrobený v Bátke sa využíva na kombinovanú výrobu elektriny a tepla. Bioplyn z čističiek odpadových vôd sa používa na prípravu teplej vody.

ENERGETICKÁ BILANCIA BIOPLYNU

Bioplyn sa väčšinou vyrába z odpadu zo živočíšnej výroby (hnoj). V takomto prípade je energetická bilancia vysoko pozitívna, pretože predstavuje vlastne likvidáciu odpadu. Výroba bioplynu s pozitívnou energetickou bilanciou je však možná aj z rastlinných odpadov ako je siláž alebo niektoré druhy tráv. Pre silážnu trávu osobitne pestovanú pre tento účel vychádza nasledujúca energetická bilancia. Z jedného hektára je možné získať až 50 ton tejto suroviny, čo predstavuje asi 10 ton suchej hmoty alebo 170 GJ energie. Získaná energia je uvoľnená vo forme bioplynu, vznikajúceho tepla a hnojiva. Samotná energetická hodnota bioplynu získaná z jedného hektára je 62,3 GJ/ha a celá energetická bilancia je uvedená v tabuľke:

	GJ/ha
Sadenie a žatva	6,1
Doprava	2,7
Hnojivo	16,5
Stroje a výrobné zariadenia	2,1
Anerobické vyhnívanie (ohrev)	2,4
Spotreba spolu	29,8
Zisk (bioplyn)	62,3
Bilancia zisk/spotreba	2,1

Ekonomika výroby bioplynu, ktorý má skutočne široké použitie, závisí na možnosti jeho využitia hlavne v poľnohospodárskych podnikoch, kde sa jeho výroba ukazuje ako najvýhodnejšia. Z hľadiska použitia je najjednoduchšie spaľovanie bioplynu s následným získavaním tepla na vykurovanie alebo ohrev vody. V lete však vzniká problém s nadbytkom tepla, a preto je vhodné využiť bioplyn na iné účely. Do úvahy prichádza hlavne spaľovanie bioplynu v plynovom motore s následnou výro-

bou elektriny, ktorej využitie je všestranné. Inou možnosťou je vyrábať bioplyn, stláčať ho a použiť ho v motorových vozidlách napr. ako palivo v traktoroch.

Výroba energie z bioplynu má značné ekologické výhody. Tým, že toto palivo nahrádza fosílnu zdroj, znižuje emisie skleníkových plynov a iných škodlivín do atmosféry. Navyše v poľnohospodárskych podnikoch znižuje zápach pri skladovaní hnojovice, tiež znižuje nároky na ochranu spodných vôd pred kontamináciou hnojovicou.

Na výrobu bioplynu sa viaže aj tvorba nových pracovných príležitostí. Z dánskych skúseností vyplýva, že na výrobu jednej TWh vznikne asi 560 nových miest, z ktorých 420 je spojených s výrobou a údržbou a 140 pripadá na výstavbu zariadení (2000 človeko-rokov na výstavbu zariadenia vyrábajúceho 1 TWh počas 14 rokov). Tieto údaje sú platné pre mechanizované systémy zväžania hnojovice do centralizovaného bioplynového zariadenia.

SKLÁDKOVÝ PLYN

Veľká časť bežného domáceho odpadu končí na komunálnych skládkach odpadov. Keďže tieto odpady sa skladajú prevažne z organických látok a na skládkach sú vhodné podmienky pre hnitie, sú tieto miesta zdrojom bioplynu. Na rozdiel od procesu hnitia, ktorý prebieha v digestoroch, sú podmienky na skládkach odlišné. Nie je tu ani dostatočná teplota ani vlhkosť, čo celý proces hnitia spomaľuje a tvorba bioplynu prebieha po rokoch a nie po týždňoch. Výsledný produkt - skládkový plyn - je tiež zmesou metánu

a oxidu uhličitého, podobne ako bioplyn. Zo skúseností vyplýva, že počas životnosti skládky vznikne asi 150-300 m³ plynu z každej tony odpadu. Obsah metánu v skládkovom plyne predstavuje asi 50 až 60%, čo vedie k energetickej hodnote plynu na úrovni 5-6 GJ na tonu odpadu.

Technológia získavania plynu zo skládok po ich uzatvorení pozostáva z prekrytia skládky íľovou vrstvou alebo iným nepriepustným materiálom (čím sa vytvorí vhodné prostredie) a umiestnení sústavy zberných potrubí s otvormi do ktorých vniká plyn. Na niektorých novších skládkach sú potrubia umiestňované už pred zavážaním odpadov. Sieť potrubí môže mať dĺžku až niekoľko kilometrov. Skládkový plyn sa bežne využíva na výrobu elektriny a tepla. používané sú pri tom veľké spaľovacie motory. Na chod 500 kW motora je potrebná dodávka asi 10 GJ plynu za hodinu.

DREVOPLYN

Pri výrobe drevoplynu dochádza k premene tuhých palív (najčastejšie dreva) na plynne s cieľom získať čo najvyšší obsah energie v plynnej forme. Celý proces prebieha v splyňovacom zariadení. Ku splyňovaniu organického materiálu dochádza tak, že vzduch prechádza cez predohriaty materiál, pričom v ňom prebieha chemická reakcia s následným vznikom drevoplynu a ako nespáliteľný zvyšok sa tvorí popol. Zloženie vznikajúceho dreveného plynu sa mení v závislosti na použitej biomase a obsahu vlhkosti v palive. Priemerné zloženie drevoplynu je uvedené v tabuľke.

	Zastúpenie
CO	20-30%
H ₂	10-25%
CH ₄	0-4 %
CO ₂	2-15%
N ₂	45-60%

Energetická bilancia vyjadrujúca pomer získanej a vlozenej energie je pre väčšinu biopalív pozitívna, čo platí aj pre drevoplyn. Drevoplyn je možné získať nielen z dreva, ale aj z viacerých iných vstupných surovín ako je napr. slama, škrupiny z orechov alebo obilie. Potenciál získania drevoplynu z dreva alebo zo slamy je veľký, čo je možné dokumentovať na nasledujúcom príklade. Pri pestovaní obilia je možné z jedného hektára získať

asi 6400 kg slamy. Keďže slamu je možné považovať za odpad pri produkcii obilia, nie je potrebné uvažovať energiu vloženú na jej pestovanie. V bilancii vystupuje len jej doprava a spracovanie, ktoré predstavujú asi 20,1 GJ/ha. Zisk energie je asi 57,1 GJ/ha, z čoho vychádza pozitívna energetická bilancia v pomere približne 1:2,8 (vložená/získaná energia).

PLYNNÉ BIOPALIVÁ V MOTOROVÝCH VOZIDLÁCH

Použitie plyných palív v motoroch s vnútorným spaľovaním nie je nové. Už v roku 1860 belgický inžinier J.E. Lenoir zostrojil dvojtaktný plynový motor. V roku 1876 ho nasledoval nemecký inžinier N. Otto (konštruktér benzínového motora), ktorý postavil štvortaktný motor na stlačený plyn. Podľa dostupných údajov prvý Ottov motor poháňaný bioplynom bol skonštruovaný v Indii v roku 1907. Počas 2. svetovej vojny bol v Európe veľmi rozšíreným plyným palivom drevoplyn. Drevoplyn používali tak osobné ako aj nákladné a vojenské vozidlá. Len vo Francúzsku sa v roku 1943 pohybovalo na cestách viac ako 60 tisíc vozidiel vybavených zariadením na splyňovanie dreveného uhlia. Vo Švédsku počet týchto vozidiel dosiahol 75 tisíc. Mnoho vozidiel na drevoplyn sa však pohybovalo aj na našich cestách a starší ľudia si na ne ešte dobre pamätajú.

Obidve palivá - tak drevoplyn ako aj bioplyn - je možné použiť v benzínových a naftových motoroch. Je však potrebné v nich urobiť isté úpravy, hlavne zmeniť kompresný pomer na asi 13:1. Úprava naftového motora je o niečo zložitejšia, avšak tým, že tento motor je odolnejší, často sa plyné palivá využívajú na pohon poľnohospodárskych vozidiel.

Výhodou plyných palív je, že pri spaľovaní sa lepšie miešajú so vzduchom, a preto lepšie horia ako kvapalné palivá. Ďalšou výhodou



týchto palív v porovnaní s benzínom a naftou je, že majú vyššie oktanové číslo. Vyššia kvalita plyných palív umožňuje použitie vyššieho kompresného pomeru - až do 10:1 v benzínových spaľovacích motoroch a 15:1 v naftových motoroch, čo má za následok vyšší výkon a účinnosť motora.

Z energetického hľadiska však plyné biopalivá nedosahujú úroveň napr. zemného plynu (35 MJ/m^3). Energetický obsah drevoplynu je tiež podstatne nižší ako bioplynu a jeho minimálna hodnota predstavuje len asi $5,6 \text{ MJ/m}^3$ (bioplyn - $21,6 \text{ MJ/m}^3$). Zloženie bioplynu a drevoplynu však nie je konštantné a mení sa v závislosti na podmienkach ich výroby v digestore alebo splynovači. V drevoplyne je najdôležitejšou energetickou zložkou vodík. V bioplyne je to metán, ktorý má výhrevnosť $35,9 \text{ MJ/m}^3$ (10 kWh/m^3).

Porovnanie vlastností niektorých palív.

	Min. energ. hodnota (MJ/m^3)	Min. energ. hodnota (MJ/kg)	Oktanové číslo	Kritická teplota st. C
Bioplyn	21,6	17,8	110	-36
Drevoplyn	5,57	5,05	100	-130
Metán	35,9	50,1	115	-82
LPG	93,5	46,3	112	90
Nafta	-	42,7	-	-
Benzín	-	43,7	80-98	296

Keďže metán má kritickú teplotu pre skvapalnenie mínus 82 st. Celzia, nedá sa jednoducho skvapalniť a používať v takejto forme. Vo svete však existujú príklady použitia stlačeného (pri tlaku 200-220 bar) alebo skvapalneného bioplynu v traktoroch s objemom valcov 50 litrov. Skúsenosti ukazujú, že skvapalnenie bioplynu neprináša pre motorové vozidlá žiadne ekonomické výhody a jeho použitie sa v súčasnosti koncentruje len na stacionárne motory (výroba elektriny a tepla).

POUŽITIE BIOPLYNU V SPALOVACÍCH MOTOROCH

V princípe je možné upraviť na bioplyn každý naftový motor. Ukazuje sa, že hoci motorové vozidlá by mohli používať bioplyn ako náhradu za klasické palivá, väčšina z nich nemá dostatočné priestory na skladovanie plynu, ktorý by im umožnil prijateľne dlhý dojazd. Z uvedeného dôvodu sa bioplyn v súčasnosti využíva hlavne v stacionárnych motoroch. Použitie bioplynu vo vozidlách má však niekoľko výhod oproti klasickým palivám.

Bioplyn má vyššie oktanové číslo ako benzín alebo nafta, čo vedie k vyššej účinnosti motora pri vyššom kompresnom pomere. Metán však pomaly horí, a preto je potrebné nastaviť predzápal tak, aby dochádzalo k jeho úplnému spáleniu v motore a aby neunikal do výfuku. Výfukové ventily sú tiež vystavené vyššej teplote a skôr sa opotrebovávajú. Inou nevýhodou bioplynu je, že obsahuje sírovodík v zastúpení približne 0,4%, ktorý má nepríjemný zápach a navyše spôsobuje znehodnocovanie oleja a nutnosť jeho častejšej výmeny.

Naftové motory je možné upraviť na používanie bioplynu, tak že časť nafty sa spotrebuje na zapálenie zmesi (duálny systém palivovej zmesi). Pôvodný systém zapalovania nafty si vyžaduje len minimálnu úpravu. Nastavenie predzápalu o 3 až 4 stupne býva dostatočné. V duálnych systémoch býva dostatočné zastúpenie nafty na úrovni 10 %. Pri nižších výkonoch však 10% nafty dodáva až 40% energie. Zo skúseností vyplýva, že vyššie zastúpenie bioplynu si vyžaduje chod motora na vyššom výkone. Spotreba bioplynu pri plnom výkone motora je uvedená v nasledujúcej tabuľke.

Výkon	Benzínový motor	Naftový motor
	Spotreba bioplynu v m^3/h	
10 kW	6	4,5
20 kW	12	9
30 kW	18	13,5
50 kW	30	22,5
80 kW	48	36

Nevýhodou bioplynu vo vozidlách je nutnosť jeho skladovania pod vysokým tlakom. Tlak plynu je často 200 bar a viac. To si zvyčajne vyžaduje umiestnenie plynových fliaš po stranách traktora alebo na streche. Podľa dostupných údajov si premena traktora s naftovým pohonom na bioplyn alebo drevoplyn vyžaduje tiež malé úpravy zmiešavacej komory a karburátora tak, aby bol zabezpečený prívod palivovej zmesi, ktorý je podstatne nižší ako v prípade nafty. Najlepšiu účinnosť dosahujú takéto motory pri strednom výkone a vysokých otáčkach. Pri týchto podmienkach je účinnosť motora plne porovnateľná s naftovým motorom. Pri nízkych otáčkach nie sú teploty vo valcoch dostatočne vysoké na okamžité zapálenie bioplynu pri vstrekaní paliva a tepelná účinnosť je nižšia ako v naftovom motore. Pri normálnych podmienkach (vysoký a stredný výkon, teplota výfukových plynov 550 st. Celzia a pomer zmesi 1:1) relatívny výkon naftového motora bežiaceho na bioplyn alebo drevoplyn je asi 85-90% pôvodného výkonu.

Pri správne nastavených otáčkach motor na bioplyn produkuje menej emisií hlavne kyslíčnika uhoľnatého a kyslíčnikov dusíka ako motor na benzín alebo naftu. Vznikajúce uhľovodíky majú tiež nižšiu reaktivitu ako v prípade spaľovania klasických palív, a preto vedú k nižšej tvorbe smogu. Nevýhodou je prítomnosť sírovodíku v emisiách.

POUŽITIE DREVOPLYNU V SPALOVACÍCH MOTOROCH

Drevoplyn v motoroch s vnútorným spaľovaním je možné využiť tak na pohon vozidiel ako aj na výrobu elektrickej energie (stacionárne motory). Motor automobilu si však vyžaduje isté úpravy, pretože chemické vlastnosti zmesi drevoplynu a vzduchu sa výrazne odlišujú od zmesi vzduchu a benzínu (resp. nafty). Dnes používaný kompresný pomer pre osobné vozidlá sa pohybuje na úrovni 9 - 10:1 pre benzín super. Priame použitie drevoplynu v takomto motore by znamenalo zníženie jeho výkonu o 30 až 40%.

Existuje niekoľko možností obmedzenia týchto strát výkonu:

- trvalý chod motora na vyššie otáčky bez nutnosti jeho úpravy,
- preplňovanie alebo turbostrekovanie drevoplynu do motora s cieľom zvýšenia kompresného pomeru,
- systém dvojitého paliva.

Používanie neupraveného motora je technicky možné a je aj príťažlivé z hľadiska finančných nákladov. Táto možnosť je výhodná hlavne v prípadoch, kedy chod motora prebieha väčšinou na polovičnom výkone a chod na plný výkon nie je dôležitou požiadavkou. Takýmito aplikáciami sú napríklad čerpadlá vody, určite však nie motorové vozidlá, ktoré často využívajú plný výkon motora. V tejto súvislosti je potrebné rozlišovať medzi účinnosťou motora a jeho výkonom. Skutočná účinnosť benzínového motora je len mierne ovplyvnená spaľovaním drevoplynu. Pri využívaní drevoplynu sa preto vyberá veľkosť motora tak, aby bol zohľadnený pokles výkonu.

Väčšina z toho, čo platí pre benzínový motor, sa týka aj naftového motora. Rozdiel je však v tom, že naftový motor pracuje s vyšším kompresným pomerom (16-20:1), ktorý sa mení v závislosti na type motora (priame vstrekovanie, preplňovanie). Naftový motor nemôže byť používaný na drevoplyn bez toho, aby do neho nebolo vstrekané aj malé množstvo nafty. Táto požiadavka súvisí s tým, že drevoplyn sa ťažko zapáľuje pri bežnom tlaku. Naftový motor preto musí byť tzv. duálny resp. prebudovaný na zapáľovanie zmesi sviečkami. Vstrekovacie čerpadlo paliva musí byť tiež upravené. V praxi však nie je možné upraviť všetky naftové motory. Súvisí to s tvarom ich komory a kompresným pomerom.

Vo všeobecnosti je možné povedať, že aj keď je bioplyn a drevoplyn možné využiť ako palivo, v motorových vozidlách táto možnosť sa nevyužíva. Hlavným dôvodom je, že bioplyn, keď sa už vyrobí, je možné lepšie zhodnotiť pri výrobe elektrickej energie a tepla.

VETERNÁ ENERGIA

Energia vetra je formou slnečnej energie, ktorá vzniká pri nerovnomernom ohrievaní zemského povrchu. Slnko vyžaruje smerom k Zemi energiu rovnajúcu sa 100,000,000,000,000 kWh. Z tejto hodnoty sa približne 1 až 2 % mení na energiu vetra. Je to 50 až 100-krát viac ako energia, ktorú premenia všetky rastliny na Zemi na živú biomasu. Vietor, keďže je prítomný všade, bol človekom využívaný od nepamäti. Navyše táto energia je príťažlivá aj dnes, pretože jej využívanie neprodukuje žiadne odpady, neznečisťuje ovzdušie a nemá negatívny vplyv na zdravie ľudí. Vietor ako primárny zdroj energie je zadarmo a je ho možné využiť decentralizovane takmer v každej časti sveta.

HISTÓRIA

Využívanie sily vetra siaha niekoľko tisíc rokov do minulosti a sú s ním spájané počiatky ľudskej civilizácie, kedy sa človek rozhodol využiť túto energiu na pohon plavidiel. Jednoduché plachtence, ktoré sa zachovali do dnešnej doby sú staré viac ako 5000 rokov a pochádzajú z Egypta. Najstaršie mlyny poháňané vetrom pochádzajú z dnešného Afganistanu a sú staré viac ako 2700 rokov. Tieto zariadenia sa bežne využívali na mletie obilia aj v iných častiach sveta. Okrem toho sa tiež používali na zavlažovanie polí na viacerých ostrovoch Stredozemného mora. Na Kréte sú takto využívané dodnes. Prvé vetrom poháňané vodné čerpadlo sa objavilo v USA v roku 1854. Bola to jednoduchá veterná ružica s viacerými malými plachtami a dreveným chvostom, ktorý natáčal celé zariadenie v smere prúdenia vetra. V roku 1940 pracovalo v USA viac ako 6 miliónov takýchto veterných čerpadiel.



Okrem čerpania vody sa využívali aj na výrobu elektrickej energie. Uvádza sa, že zápas o osídlenie "Divokého západu" bol zvládnutý aj vďaka veterným čerpadlám, ktoré napájali vodou obrovské stáda dobytky. 20. storočie však znamenalo nástup nových energetických zdrojov - elektriny, ropy a zemného plynu, ktoré veterné čerpadlá postupne zatlačili do pozadia. Tento stav trval až do ropnej krízy v 70. rokoch, kedy sa záujem o veternú energiu znovu oživil. Štátna podpora vývoja a výskumu dala v mnohých krajinách podnet pre rozvoj nových technológií. Snaha sa sústredila hlavne na výrobu elektriny veternými turbínami, čo súviselo s tým, že vo vyspelých krajinách nemá čerpanie vody veternými agregátmi taký význam ako napr. v rozvojových krajinách.

Na začiatku súčasného rozvoja veternej energetiky vo svete stál vývoj a výroba malých veterných turbín. Tieto malé zariadenia sa využívali pre jednoduché aplikácie avšak po tom, čo ich výkon postupne narastal stratili význam ako zdroj elektrickej energie pre jednotlivé domy. V súčasnosti prakticky všetky väčšie turbíny dodávajú elektrickú energiu do siete. Súvisí to s tým, že výkon jednej turbíny je zvyčajne



omnoho väčší ako je spotreba jednej resp. viacerých domácností. Navyše v miestach, kde rýchlosť vetra dosahuje v ročnom priemere viac ako 5 m/s sa začínali už od 80. rokov budovať veterné farmy, ktoré svojou výrobou prevyšovali spotrebu celých obcí. Prvé takéto farmy boli vybudované v Kalifornii. V USA sú tieto farmy vlastnené súkromnými spoločnosťami (nezávislými výrobcami) a nie veľkými elektrárenskými spoločnosťami. Hoci výstavba týchto zdrojov sa nezaobišla bez problémov, rozvoj veternej energetiky sa nedal zastaviť a dnes sa len v Kalifornii nachádza asi 16 tisíc väčších turbín, ktoré vyrábajú viac elektrickej energie ako jej ročne spotrebuje napr. San Francisco.

Veterné agregáty sú budované po celom svete. Sú tiež ideálnou technológiou pre rozvojové krajiny, kde je momentálne veľký dopyt po nových výrobných kapacitách v oblasti energetiky. Výhodou veterných elektrární je, že v porovnaní s klasickými elektrárnami je ich možné jednoducho, lacno a v relatívne veľmi krátkej dobe postaviť a pripojiť do verejnej siete. Rozvinuté krajiny dnes prejavujú o veterné turbíny záujem nielen z hľadiska ochrany životného prostredia, ale tiež aj z ekonomických dôvodov. Cena vyrobenej elektriny stále klesá a v niektorých krajinách je porovnateľná s cenou elektriny vyrobenou v klasických elektrárnach. Dnes aj tí najkonzervatívnejší energetici predpovedajú veľký rozvoj veterných technológií v blízkej budúcnosti.

Bohužiaľ situácia na Slovensku je úplne iná. Využívanie veternej energie je príkladom toho ako "zákony trhu" a nezáujem zo strany štátu dokážu úplne zablokovat' rozvoj tejto vo svete tak úspešnej technológie. V súčasnosti u nás prakticky neexistuje žiadna väčšia spoľahlivo fungujúca turbína, ktorú by bolo možné v tejto publikácii uviesť ako pozitívny príklad využívania energie vetra. V činnosti je niekoľko menších turbín určených zväčša pre tzv. izolovanú prevádzku (dodávky energie pre jeden dom). Navyše aj tých málo výrobcov turbín, ktorí u nás v minulosti existovali postupne skrachovalo. Príčin tohoto neutešeného vývoja je viac. Jednou z nich je aj skutočnosť, že súčasné energetické plánovanie v SR nezahrňuje veternú energiu medzi potenciálne významné zdroje, čo dokumentuje aj nedostatočná ekonomická a legislatívna podpora zo strany štátu, ktorá by dokázala priťahovať potenciálnych záujemcov o túto oblasť. Nízke výkupné ceny energie vyrobenej veternými agregátmi pre nezávislých výrobcov a dotácie energetiky využívajúcej klasické palivá znamenajú, že veterná energia je u nás cenovo nekonkurenčná a nemá prakticky žiadnu šancu presadiť sa na trhu s energiou.



V údolí Lasihiti na Kréte sa veterné mlyny využívajú na zavlažovanie od nepamäti.

USA

V USA bol z hľadiska rozvoja veternej energie rozhodujúci rok 1973 a prudký rast cien energie ako dôsledok začiatku ropnej krízy. Cena ropy sa v tomto období vyšplhala až na 60 USD za barel. V tom čase vyvinul Westinghouse Electric prvú generáciu 200kW veterných turbín, ktorých výkon postupne vzrastal. Najväčšia turbína tohto výrobcu bola inštalovaná v Oahu na Havaii má výkon 3,2 MW. Vďaka daňovým úľavám (25%) pre investorov a zákonu, ktorý umožňoval nezávislým výrobcom vyrábať a predávať elektrickú energiu bolo v období rokov 1981 až 1984 len v Kalifornii inštalovaných 6870 turbín. Daňové úľavy boli zrušené na konci roka 1985. Keďže žiadny z malých výrobcov veterných turbín nebol vlastnený veľkými spoločnosťami, po zrušení ekonomického stimulu a poklese ceny ropy na 10 dolárov za barel, väčšina týchto firiem zanikla. Výrobcovia, ktorí toto "cenové narovnanie" prežili a vyrábajú turbíny dodnes sú tí, ktorí vyrábali najspoľahlivejšie zariadenia a mali najlepšiu reputáciu. Na konci 90. rokov však výroba veterných turbín v USA znovu vzrástla a spolu s rastom počtu dovážaných turbín z Európy bol v USA opäť oživený trh s veternou energiou.



Veterná farma v Kalifornii.

DÁNSKO

Dánsky priemysel výroby veterných turbín je príkladom obrovského obchodného úspechu. Toto odvetvie sa prakticky z nuly v roku 1980 dopracovalo až k obratu 1 miliardy dolárov v roku 1998. Dánske turbíny

dnes dominujú na svetových trhoch a ich výrobcovia zamestnávajú 15 tisíc ľudí. Obchodný obrat je dvakrát väčší ako dánsky obrat z ťažby zemného plynu v Severnom mori. Výroba, hlavne na export dosiahla 1216 MW v roku 1998. V súčasnosti viac ako polovica turbín inštalovaných na celom svete pochádza z Dánska. Tento úspešný vývoj je dôsledkom počiatočnej vládnej podpory pre obnoviteľné energetické zdroje, z ktorej bolo hrađených až 30% investičných nákladov na výstavbu týchto technológií. Štátna podpora stála na začiatku úspešného vývoja priemyslu s veternými turbínami. Taktiež znamenala rozvoj technológie spaľovania slamy, výroby bioplynu aj solárnych kolektorov. Vláda vytvorila osobitnú výskumno-vývojovú základňu - National Wind Turbine Test Centre v Riso, ktorá poskytovala výrobcovi odbornú pomoc. Štátna podpora krytia investičných nákladov bola po úspešnom začiatku znížená v roku 1986 na 15 % a po tom čo sa toto priemyselné odvetvie definitívne stabilizovalo bola úplne zrušená v roku 1989. Uvedená podpora bola čiastočne nahradená daňovými úľavami pre majiteľov veterných turbín, ktorým sa časť príjmu z predaja elektriny nezdaňuje.

Rozvoj využívania veternej energie v Dánsku je obrovský. Pozoruhodné na tomto vývoji je, že okrem vládnej podpory a angažovanosti malých výrobcov bol založený na komunálnej aktivite ľudí, ktorí sa združovali do družstiev vlastníkov veterných elektrární. Jeden z typických príkladov aktivity ľudí na miestnej úrovni sa odohral v obci Bryrup (Jutland) vzdialenej 110 km od západného a 50 km od východného pobrežia. Obyvatelia tu založili družstvo so 70-timi členmi vlastniacimi tri veterné turbíny (inštalované v rokoch (1986 až 1989), z ktorých jedna s výkonom 95 kW ročne vyrába 184.000 kWh a ďalšie dve, každá s výkonom 150 kW, produkujú po 275.000 kWh. Celková ročná výroba je asi 734.000 kWh. Cena turbín vrátane inštalácie a pripojenia na sieť dosiahla 2,5 milión DKr (1 DKr = 5,7 Sk), pričom táto suma bola rozdelená na 734 "podielov", každý odpovedajúci ročnej výrobe 1000 kWh, a predaný v cene 3400 DKr. Táto cena odpovedá asi polmesačnému príjmu po zdanení pre nekvalifikovaného robotníka. Každý z podielnikov si mohol nakúpiť podiely v počte úmernom jeho ročnej spotrebe elektriny plus 30%. Napríklad pri ročnej spotrebe 10.000 kWh si mohol spolu s dodatočnými 3000 kWh kúpiť maximálne 13 "podielov". Toto obmedzenie bolo uplatnené pretože zisk družstevných spoločníkov nie je v Dánsku zdaňovaný. Podielníci si nakúpili podiely v počte 1 až 28, pričom každý z nich má právo len jedného hlasu. Ekonomika celého projektu je veľmi dobrá aj po tom, čo z utržených peňazí za predaj elektriny elektrárenskej spoločnosti je odkladaná istá čiastka na údržbu. Čistý zisk za rok činí asi 15% z vloženéj sumy, čo je oveľa viac ako poskytuje akákoľvek banka na úrokoch z vkladov. Hoci v roku 1999 cena takýchto podielov v Dánskych družstvách vzrástla asi na 4000 DKr a čistý zisk klesol na 12,75% ešte stále je táto forma investovania výhodnejšia ako napr. klasické sporenie. Keďže takéto družstvá sú poistené pre prípad nehody a poškodenia veterných agregátov s následným výpadkom výroby elektriny a tým aj príjmu, nenesú prakticky žiadne riziko. Družstevné spoločenstvá a investovanie peňazí do veterných turbín, na rozdiel od ich ukladania do bánk, sa tak stali hybnou silou rozvoja veternej energie v Dánsku, ktorý priniesol zisk nielen "družstevníkom", ale v konečnom dôsledku aj celej spoločnosti. Podpora dánskej vlády takémuto hospodáreniu znamenala, že v súčasnosti je každá desiatá dánska rodina členom niektorého z mnohých družstiev vlastníacich veterné turbíny alebo je majiteľom vlastnej veternej turbíny.



Jedna z prvých turbín dánskeho výrobcu Bonus s výkonom 300 kW.

NEMECKO

Na rozdiel od situácie v USA a Dánsku, kde bol veľký počet turbín inštalovaný začiatkom 80. rokov, bol vývoj v Nemecku oneskorený. Spolková vláda iniciovala podporné programy až v roku 1989. Počas prvých siedmich rokov bolo v tejto krajine inštalovaných len asi 250 MW výkonu vo veterných elektrárnach. Avšak po prijatí zákona, podľa ktorého sú elektrárenské spoločnosti vykupujúce elektrinu od nezávislých výrobcov im povinné platiť až 0,17 DM/kWh (počas prvých 5 rokov, neskôr 0,12 DM/kWh), nastal výrazný obrat. V súčasnosti je Nemecko na prvom mieste na svete nielen v celkovom inštalovanom výkone veterných elektrární, ale aj v ročnom prírastku výkonu. Až polovica výkonu veterných elektrární EÚ sa nachádza v Nemecku. Len v roku 1999 bolo v tejto krajine inš-

talovaných 1568 MW, čo je dvojnásobok inštalovaného výkonu v predošlom roku. Priemerná veľkosť turbín taktiež vzrástla a dosiahla 937 kW. V roku 1998 bola 785 kW a v roku 1995 len 457 kW. Od roku 1993 predstavuje priemerný ročný prírastok výkonu veterných agregátov v Nemecku 53 % a 7879 turbín ročne vyrobí 8,5 miliárd kWh elektrickej energie, čo sú 2 % spotreby v krajine. V spolkovkej krajine Schleswig-Holstein však tento podiel predstavuje až 20 %. Veterný priemysel zamestnával v Nemecku až 25 tisíc ľudí a v roku 1999 dosiahol obrát vrátane exportu 4 miliardy DM.

SVET

Rozvoj veterných elektrární vo svete je skutočne búrlivý a dnes predstavuje najrýchlejšie rastúce odvetvie výroby elektriny. Do konca roka 1998 bol celkový celosvetový výkon inštalovaných turbín viac ako 9500 MW a vyrábala dostatok elektriny pre zásobovanie asi 3,5 milión domácností.

Rozvoj veternej energie vo svete.

	Svet MW	Európa MW
1980	10	-
1985	1020	80
1990	1930	475
1995	4820	2531
1998	9597	6030

V roku 1998 bolo len v Európe inštalovaných viac ako 1600 MW veterných turbín a podľa niektorých analytikov by mal celkový inštalovaný výkon v Európe vzrásť do roku 2010 až na 40.000 MW. Priemerný výkon turbín taktiež vzrástol z počiatočných asi 150 kW na 785 kW. Ročný prírastok výkonu predstavoval v Nemecku takmer 1600 MW v roku 1999, v Dánsku 300 MW a v USA 235 MW. Predaj elektriny vyrobenej veternými elektrárnami dosiahol v roku 1998 hodnoty 2 miliardy

dolárov. Väčší výkon a ekonomickejšia výroba viedli k poklesu cien turbín z 2600 dolárov za kW na asi 800 USD/kW v roku 1998.

Vzhľadom na narastajúcu produkciu, klesajúcu cenu turbín a tiež lepšie umiestňovanie turbín klesala aj cena vyrobenej elektrickej energie. Kým v roku 1986 bola priemerná cena vetrom vyrobenej elektriny asi 0,14 USD/kWh v roku 1999 to bolo len 0,05 USD/kWh (asi 2,5 Sk/kWh). Veterná energia sa tak stala konkurencie schopnou v porovnaní s klasickými palivami na mnohých miestach sveta, čo je hlavný dôvod jej búrlivého rozvoja. V posledných rokoch každoročný prírastok predstavuje takmer 30% . Na druhej strane rozvoj jadrovej energie bol menší ako 1% ročne a rozvoj uhoľného priemyslu sa v 90. rokoch prakticky zastavil. Európa sa stala centrom veterného priemyslu keď až 90% svetových výrobcov stredných a veľkých turbín má svoje sídlo na tomto kontinente.

POTENCIÁL VETERNEJ ENERGIE

Aj napriek pozitívnemu vývoju sú viacerí odborníci presvedčení, že nárast inštalovaného výkonu veterných elektrární by mohol byť ešte väčší. Podľa štúdie "Wind Force 10" by sa ve-

	Inštalovaný výkon Jún 1999 [MW]		Inštalovaný výkon Jún 1999 [MW]
Nemecko	3390,6 *	Fínsko	26
USA	2532,8	Brazília	25
Dánsko	1581,3	Francúzsko	19
Španielsko	1100	Austrália	17
India	1013,2	Argentína	13
Holandsko	374	Česká republika	12
Veľká Británia	344	Irán	11
Čína	246	Luxembursko	9
Taliansko	222	Nórsko	9
Švédsko	187	Turecko	9
Kanada	82	Poľsko	7
Grécko	76	Belgicko	6
Írsko	73	Izrael	6
Portugalsko	60	Južná Kórea	6
Japonsko	47	Egypt	5
Nový Zéland	35	Rusko	5
Rakúsko	34	Ukrajina	5
Kostarika	26	Mexiko	3
SVET	11.619,9		

* v decembri 1999 dosiahol inštalovaný výkon 4444 MW.

terná energia mohla podieľať asi 10 % na celosvetovej výrobe elektriny v roku 2020 a inštalovaný výkon by mohol dosiahnuť až 1,2 milión MW. Tým by vzniklo asi 1,7 milión nových pracovných miest. Uvedený výkon by znamenal väčšiu výrobu elektriny ako je jej súčasná spotreba v Európe. Celosvetový potenciál veternej energie sa odhaduje na asi 53 trilión kWh, čo je asi 17-rát viac ako cieľ uvedený v štúdii "Wind Force 10". Podľa tejto štúdie by cena vyrobenej elektriny mala klesnúť do roku 2020 na 0,025 USD/kWh. Realizovaním takéhoto 10%-ného cieľa by bolo možné znížiť emisie oxidu uhličitého o 1,8 miliardy ton v roku 2020.

Technológie využívajúce obnoviteľné energetické zdroje sa stali významným zdrojom nových pracovných príležitostí a len v Európskej únii viedli k vytvoreniu 110 tisíc pracovných miest. Výroba, výstavba a údržba veterných agregátov sa na tomto čísle podieľala v roku 1997 asi 20 %. Väčšina zo 700 spoločností pracujúcich v tomto odvetví sú malé a stredné podniky. Tým, že toto odvetvie zaznamenáva stály rast rastie aj počet novovytvorených miest. Na konci roka 1996 bolo v tomto sektore zamestnaných asi 20 tisíc obyvateľov EÚ na konci roka 2000 to bolo už 40 tisíc.

ENERGIA VETRA

Najlepšie poveternostné podmienky pre výstavbu veterných turbín sú v blízkosti morských pobreží a na kopcoch. Dostatočnú intenzitu využiteľnú veternými agregátmi však vietor dosahuje aj na iných miestach. Nevýhodou je, že vietor je menej predvídateľný ako napr. slnečná energia, avšak jeho dostupnosť počas dňa je zvyčajne dlhšia ako v prípade slnečného žiarenia. Intenzita vetra je do výšky asi 100 metrov ovplyvnená hlavne terénom a prekážkami. Veterná energia je teda viac miestne špecifická ako slnečná energia. V kopcovitom teréne sa dá očakávať, že napr. dve miesta majú rovnakú intenzitu dopadajúceho slnečného žiarenia avšak intenzita vetra sa môže vzhľadom na smer prevládajúcich vetrov veľmi líšiť. Z tohto dôvodu je potrebné venovať oveľa väčšiu pozornosť umiestňovaniu veterných turbín ako slnečných kolektorov alebo článkov. Veterná energia taktiež vykazuje sezónne zmeny intenzity a je najväčšia v zimných mesiacoch a najnižšia v lete. Je to presne opačne ako v prípade slnečnej energie, a preto sa slnečná a veterná technológia vhodne dopĺňajú. Príkladom môžu byť podmienky v Dánsku, kde intenzita slnečného žiarenia dosahuje 100% v lete a len 18 % v januári. Veterné elektrárne tu produkujú 100% energie v januári a asi 55% v júli.

Pre výpočet energie vyrobenej veterným agregátom je potrebné poznať niekoľko vzťahov. Energia je priamo úmerná ploche rotora, tretej mocnine rýchlosti vetra a hustote vzduchu.

HUSTOTA VZDUCHU

Rotor turbíny sa krúti v dôsledku tlaku vzduchu na jeho listy. Čím viac vzduchu - tým rýchlejšie sa krúti a tým je výroba energie väčšia. Z fyzikálnych zákonov vyplýva, že kinetická energia vzduchu je priamo úmerná jeho hmotnosti, z čoho vyplýva že energia vetra závisí na hustote vzduchu. Hustota vyjadruje množstvo molekúl v jednotke objemu vzduchu. Pri normálnom atmosferickom tlaku a pri teplote 15° Celzia jeden m³ vzduchu váži 1,225 kg. Hustota mierne rastie s narastajúcou vlhkosťou, čím sa vzduch stáva hustejší v zime ako v lete, a preto je aj výroba energie pri rovnakej rýchlosti vetra v zime väčšia ako v lete. Hustota vzduchu je však jediný parameter, ktorý nie je v daných podmienkach možné meniť.

PLOCHA ROTORA

Rotor (vrtuľa) veternej turbíny "zachytáva" energiu vzduchu, ktorý na ň dopadá. Je zrejmé, že čím je plocha rotora väčšia, tým viac energie je schopný vyrobiť. Nakoľko plocha zabraná rotorom narastá s druhou mocninou priemeru rotora je dvakrát väčšia turbína schopná vyrobiť štyrikrát viac energie. Avšak zväčšovanie priemeru rotora nie je jednoduché, hoci sa to môže na prvý pohľad zdať. Narastajúci priemer vrtule má za následok väčší tlak na celý systém pri danej rýchlosti vetra. Aby mohla turbína tento tlak vydržať je potrebné použiť pevnejšie mechanické časti čo celý systém predražuje.



RÝCHLOSŤ VETRA

Rýchlosť vetra je najdôležitejším parametrom ovplyvňujúcim množstvo energie, ktoré je turbína schopná vyrobiť. Narastajúca intenzita vetra znamená vyššiu rýchlosť rotora a teda väčšiu produkciu energie. Množstvo vyrobenej energie závisí na tretej mocnine rýchlosti vetra. Z uvedeného vyplýva, že ak sa rýchlosť vetra zvýši dvojnásobne, tak sa výroba energie zvýši osemnásobne.

Z nasledujúcej tabuľky je možné zistiť energiu vetra vo W/m^2 na základe jeho rýchlosti pri štandardných podmienkach (suchý vzduch s hustotou $1,225 \text{ kg/m}^3$). Pre výpočet bol použitý nasledujúci vzťah podľa Danish Wind Turbine Manufacturers Association:

$$E = 0,5 * 1,225 * v^3$$

kde v je rýchlosť vetra v m/s .

v m/s	E W/m^2	v m/s	E W/m^2
0	0	12	1058
1	1	13	1346
2	5	14	1681
3	17	15	2067
4	39	16	2509
5	77	17	3009
6	132	18	3572
7	210	19	4201
8	314	20	4900
9	447	21	5672
10	613	22	6522
11	815	23	7452

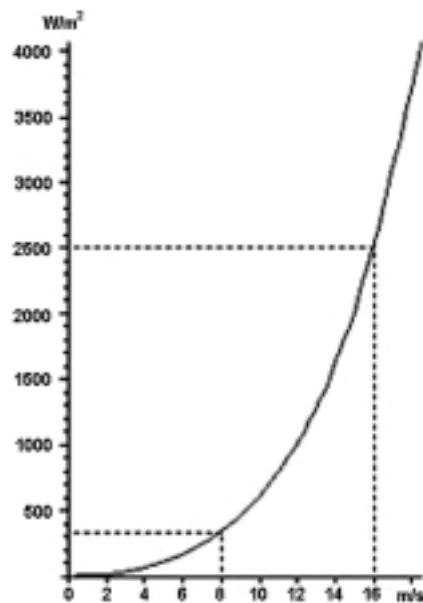
Príroda nám poskytuje rozdielne poveternostné podmienky, pričom

rýchlosť vetra sa neustále mení. Veterné turbíny sú špeciálne stavané tak, aby boli schopné využiť rýchlosti vetra od 3 do 30 m/s . Vyššia rýchlosť by mohla turbínu poškodiť, a preto sú väčšie turbíny vybavené brzdami, ktoré v prípade potreby zastavia otáčanie rotora. Menšie turbíny sú často stavané tak, aby boli schopné využiť aj rýchlosti vetra nižšie ako 3 m/s , pričom niektoré z nich sú riešené tak, že v prípade veľmi silného vetra sa natočia do bezpečnej polohy.

DRSNOSŤ TERÉNU

Zemský povrch (terén) so svojou vegetáciou a budovami je dôležitým faktorom ovplyvňujúcim rýchlosť vetra. Množstvo prekážok v teréne sa často označuje ako jeho drsnosť.

So zvyšujúcou sa výškou nad terénom sa drsnosť znižuje a prúdenie vzduchu sa stáva laminárne, čo znamená aj vyššiu rýchlosť vetra. Vysoko nad zemou (vo výške okolo jedného kilometra) rýchlosť vetra prakticky nie je ovplyvňovaná terénom. Naproti tomu v nižších výškach je ovplyvňovaná veľmi



Trieda drsnosti	Typ terénu
0	Vodná plocha
0,5	Úplne otvorený terén s hladkým povrchom ako je napr. na letiskách.
1	Otvorená poľnohospodárska plocha bez plotov s veľmi riedko rozostavanými malými budovami. Mierne a zaoblené kopce.
1,5	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 1250 metrov.
2	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 500 metrov.
2,5	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 250 metrov.
3	Dediny, malé mestá, poľnohospodárske plochy s viacerými vyššími budovami, lesy a veľmi nerovný terén.
3,5	Veľké mestá.
4	Veľmi veľké mestá s vysokými budovami.

silno. Pre využívanie veternej energie je podstatné, že čím je drsnosť terénu vyššia, tým je vietor viac spomaľovaný. Rýchlosť vetra je najviac spomaľovaná lesmi a veľkými mestami, kým na rovinách alebo vodných plochách prakticky nie je ovplyvňovaná. Budovy, lesy a iné prekážky nielen spomaľujú rýchlosť vetra, ale často vytvárajú aj jeho turbulencie, ktoré nepriaznivo vplyvajú na chod turbíny. Pri určovaní charakteru terénu je často jeho drsnosť rozdeľovaná do tried. Čím vyššia je trieda drsnosti, tým väčšie sú prekážky a tým väčšie spomalenie rýchlosti vetra. Morská hladina je braná za základ a má triedu drsnosti 0.

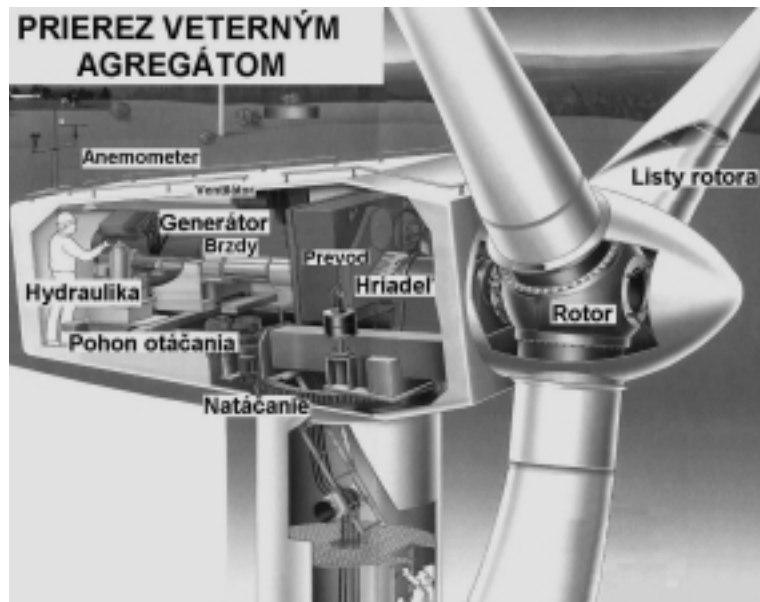
TECHNOLÓGIA

Moderné veterné turbíny sa zvyčajne skladajú z nasledujúcich komponentov:

- Listy rotora
- Rotor
- Prevody
- Generátor
- Elektronika a regulačné zariadenie.

Listy rotora sú časťou turbíny, ktoré zachytávajú energiu vetra. Tvar týchto listov je veľmi prepracovaný a umožňuje mimoriadne efektívne prenášať silu vetra na rotor. Listy sú vyrábané z laminátov, polyesterov alebo iných plastických materiálov. Niektoré z nich majú drevenú os. Všetky tieto materiály sa vyznačujú kombináciou pevnosti a ohybnosti. Navyše plasty ani drevo nerušia televízny signál v ich okolí. Priemer listov rotora sa pre veľké turbíny pohybuje od 25 do viac ako 50 metrov a každý list môže vážiť aj jednu tonu.

Rotor predstavujú listy a centrálna os, ku ktorej sú pripevnené. Os je pripojená na hlavný prevod systému. Prevody a ložiská sú dôležité z hľadiska efektívneho prenosu krútiaceho momentu na generátor elektrického prúdu. Generátor má podobnú konštrukciu ako generátor v tradičnej elektrárni na fosílné palivá. V mnohých turbínach je činnosť jednotlivých komponentov regulovaná elektronicky a tiež môže byť riadená diaľkovo. Použitá elektronika má za úlohu udržať rovnaké napätie pri meniacich sa otáčkach generátora. Hoci rôznorodosť veterných turbín je veľká väčšina moderných turbín sa dodáva v dvoch konfiguráciách - s horizontálnou alebo vertikálnou osou.



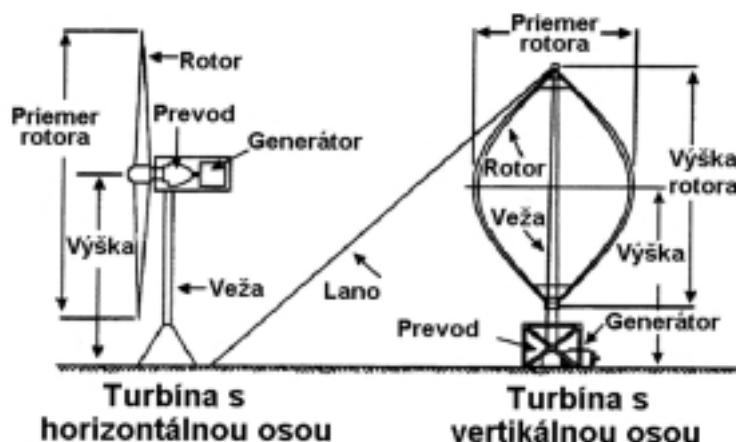
Turbíny s horizontálnou osou sú najbežnejším typom turbín. Veľké turbíny majú rotor s dvoma alebo troma listami umiestnenými na vrchu stožiaru. Rotor môže mať aj viac listov. Takéto agregáty s viacerými listami najčastejšie využívajú malé agregáty napr. na čerpanie vody. Snaha o zúžitkovanie energie vetra čo najúčinnnejšie znamená, že listy rotora musia čo najviac zachytávať prúdiaci vzduch. Rotor s veľkým počtom listov pokrýva celú plochu zabranú rotorom pri veľmi malých otáčkach, kým rotor s menším počtom listov sa musí otáčať rýchlejšie aby pokryl celú

plochu. Teoreticky čím viac by mal rotor listov tým by mal byť účinnejší. V skutočnosti sa však listy rotora vzájomne ovplyvňujú a veľký počet listov spomaľuje otáčky. Na druhej strane však väčší počet listov dáva vyšší počiatočný moment krútenia, čo využívajú malé agregáty štartujúce už pri nízkych rýchlostiach vetra.

Turbíny s vertikálnou osou majú vertikálne umiestnenú rotujúcu os. Listy rotora sú dlhé, zaoblené a pripevnené k veži na oboch koncoch - hore aj dole. Vo svete neexistuje veľa výrobcov takýchto turbín a ich design vychádza z návrhu francúzskeho konštruktéra G. Darrieusa, po ktorom sa takáto konštrukcia tiež nazýva.

Napriek rozdielnej konštrukcii turbín s horizontálnou a vertikálnou osou je ich mechanika prakticky rovnaká.

Rýchlosť otáčania listov je prenášaná na generátor pomocou prevodov. Prevody sú potrebné na to, aby bolo možné účinne využiť meniacu sa rýchlosť vetra. V súčasnosti však prebieha vývoj turbín bez prevodov, čo by znamenalo značné zníženie nárokov na ich konštrukciu i cenu.



Niektoré turbíny sú konštruované tak, že sa natáčajú do smeru vetra. Obidva typy (natáčané i nenatáčané) majú však niekoľko výhod i nevýhod. Lepšie využitie sily vetra pri natáčaných turbínach si vyžaduje komplikovanejšie ložiská i ďalšie zariadenia, čo v konečnom dôsledku vedie k nižšej spoľahlivosti. Turbíny s pevne fixovaným rotorom sú jednoduchšie a nevyžadujú až takú údržbu ako natáčacie systémy. Na druhej strane však výroba energie je o niečo nižšia ako v porovnateľnej natáčanej turbíne.

VEĽKÉ TURBÍNY

Hoci princíp výroby elektriny veternými agregátmi sa zdá byť jednoduchý, vyrobiť kvalitnú turbínu nie je jednoduché. O tom sa presvedčili viacerí výrobcovia v nedávnej minulosti aj na Slovensku. Na rozdiel napr. od solárnych článkov, ktoré vďaka tomu, že nemajú žiadne pohyblivé časti sú vnútorne spoľahlivé, veterné turbíny silne závisia na kvalite ich konštrukcie. Moderné turbíny sa dodávajú na trh vo viacerých prevedeniach líšiacich sa hlavne svojim výkonom. Najmenšie turbíny s výkonom od 100 W sa používajú napr. na čerpanie vody alebo dodávanie elektriny do batérií. Veľké turbíny s výkonom nad 50 kW dodávajú zvyčajne elektrinu do verejnej elektrickej siete. Veľká väčšina dnešných turbín má horizontálnu os, je vybavená tromi listami s priemerom 15-50 metrov a elektrický výkon sa pohybuje od 50 kW do 1,5 MW. Tieto turbíny sú často stavané v skupinách a vytvárajú tzv. veterné farmy. Napätie, ktoré turbína generuje má zvyčajne 690 voltov a pomocou transformátorov je menené na vysoké napätie používané v elektrickej sieti (zvyčajne 10-30 kV).



Výstavba veľkej veternej turbíny.

Počas krátkej histórie vývoja veterných turbín dali elektrárenské spoločnosti jasne najavo, že majú záujem hlavne o veľké tzv. megawattové turbíny. To viedlo výrobcov k viacerým pokusom vyvinúť takéto turbíny už začiatkom 80-tych rokov. Okrem už uvedenej 3,2 MW-ovej turbíny na Havaii vyvinutej vďaka podpore amerického ministerstva energetiky, boli ďalšie megawattové turbíny postavené aj v Dánsku (2 MW v Tjaereborgu), Švédsku (3 MW v Näsudden) a Nemecku (3 MW Growian). Napriek tomu, že viaceré takéto turbíny zlyhali, ukázali cestu ktorou sa dnes vývoj nezadržateľne ubera. Veľa výrobcov v súčasnosti investuje obrovské finančné čiastky do ich vývoja. Niektoré 1 a 1,5 MW-ové turbíny už spoľahlivo pracujú niekoľko rokov. Dánska firma Nordex úspešne predáva 1,5 MW-ovú turbínu už od roku 1997. Ostatní výrobcovia sa snažia o postupné zvyšovanie výkonu svojich turbín, z ktorých najúspešnejšie v roku 1999 mali výkony 500-800 kW. Väčšina výrobcov vychádza pri vývoji veľkých turbín z poznatkov

overených pri výrobe prvých malých turbín. Úspešnými výrobcami megawatových turbín sú dnes nemecký Tacke Windtechnik a dánske firmy Enercon, Nordtank a Vestas. Každá z týchto firiem dnes má vo svojej ponuke väčšiu ako 1 MW-ovú turbínu.

Projektovanie a umiestňovanie týchto veľkých turbín predstavuje tiež nové problémy. Hlavne umiestňovanie v oblastiach, kde už stoja menšie turbíny (dobré veterné miesta), býva komplikované z hľadiska vizuálnej harmonizácie s okolím. V Dánsku bolo pripravených viacero odborných štúdií, ktoré sa zaoberajú práve problémom umiestňovania veterných turbín do krajiny.

Výsledky týchto štúdií ukazujú, že hlavne v prístavoch a priemyselných oblastiach existuje veľký potenciál pre ich výstavbu. Výroba elektrickej energie megawatovými turbínami je obrovská. Bežná turbína s výkonom 1 MW dokáže pri priemernej rýchlosti vetra asi 9 m/s vyrobiť viac ako 5 milión kWh za rok. Turbína s výkonom 1,3 MW vyrobí na takomto mieste až 7 milión kWh za rok.



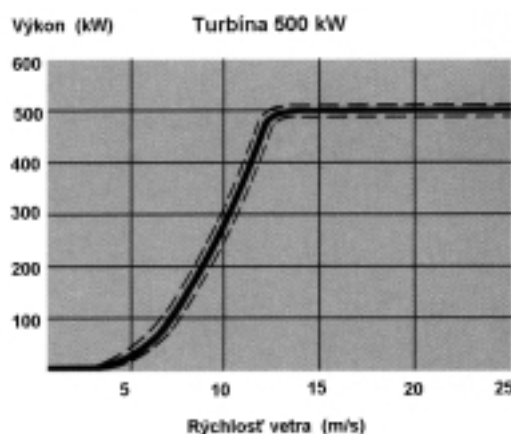
Preprava stožiaru 1,5 MW - ovej veternej turbíny.

	Výkon 1 MW	Výkon 1,3 MW
Priemer rotora	54 m	60 m
Plocha zabraná rotorom	2,290 m ²	2,828 m ²
Rýchlosť roztočenia a zastavenia	3,4 / 25 m/s	3,5 / 25 m/s.
Maximálna rýchlosť vetra	70 m/s	70 m/s
Doba životnosti turbíny	20 rokov	20 rokov
Dĺžka listu	26,0 m.	29,0 m.
Materiál listov rotora	Laminát tvrdený polyesterom	Laminát tvrdený polyesterom
Hmotnosť rotora	19 ton	19 ton
Hmotnosť prevodovky	10,5 ton	12,5 ton
Hmotnosť generátora	4,6 ton	6,8 ton
Hmotnosť 70 metrovej veže	104 ton	104 ton

VÝROBA ENERGIE

Dôležitou charakteristikou veternej turbíny je jej menovitý výkon. Táto hodnota má tiež súvislosť s množstvom energie (napr. v kWh), ktoré turbína vyrobí pri maximálnej účinnosti. Tak napr. 500 kW turbína vyrobí 500 kWh za hodinu činnosti pri maximálnej rýchlosti vetra napr. 15 metrov za sekundu (m/s). Na základe skúseností vyplýva, že typická turbína s menovitým výkonom 600 kW vyrobí do roka asi 500.000 kWh pri priemernej rýchlosti vetra 4,5 m/s. Pri priemernej rýchlosti vetra 9 m/s je to až 2.000.000 kWh.

Potenciálne množstvo vyrobiteľnej energie nie je možné jednoducho vypočítať násobením výkonu a priemernej rýchlosti vetra. Pri výpočte totiž hrá dôležitú úlohu doba počas ktorej má turbína dostatok vetra pre výrobu ener-



Výkonová charakteristika 500 kW-ovej veternej turbíny v závislosti na priemernej rýchlosti vetra.

gie. Táto doba sa môže teoreticky pohybovať od 0 do 100 %, v praxi sa pohybuje od 20 do 70 %, pričom pre väčšinu turbín je táto hodnota (vyťažiteľnosť) na úrovni 25-30%. Vyťažiteľnosť vyjadruje pomer medzi teoretickým maximom výroby (365 dní v roku po 24 hodín) a skutočnou výrobou energie v danej lokalite. Napríklad pre 600 kW turbínu, ktorá do roka vyrobí 2 milióny kWh je táto hodnota = $2.000.000 : (365,25 * 24 * 600) = 2.000.000 : 5\,259\,600 = 0,38$ alebo 38 %.

Z uvedeného príkladu vyplýva, že veľmi dôležitú úlohu popri menovitom výkone turbíny hrá jej umiestnenie. Vo všeobecnosti býva výhodnejšie umiestňovať turbíny na vyššie položené miesta resp. predlžovať výšku veže, nakoľko s narastajúcou výškou sa znižuje vplyv okolitých prekážok na rýchlosť vetra. Turbíny vyššie ako 50 metrov sú však mimoriadne náročné na pevnosť materiálov. Vo veterných farmách sú jednotlivé turbíny umiestňované do vzdialenosti 5-15 násobku priemeru rotora, čím sa obmedzuje ovplyvňovanie turbín v dôsledku turbulencie vetra.

VETERNÉ TURBÍNY NA MORI

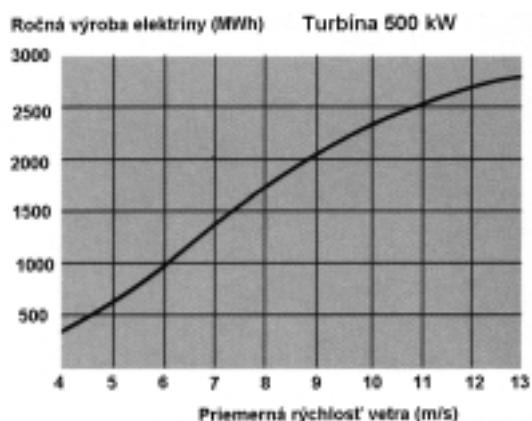
Úspešný rozvoj veterných turbín, hlavne na pobrežích morí, viedol postupne k snahe umiestňovať turbíny na otvorenom mori. Súviselo to s tým, že na mori dosahuje rýchlosť vetra vyššie úrovne ako na súši, kde sa výhodné lokality postupne stali úzkoprofilovými. Na otvorenom mori sú vhodné podmienky pre výstavbu hlavne na miestach s plytčinami, ktoré nie sú veľmi vzdialené od pobrežia. Za vhodné miesto je považovaná hĺbka morského dna až do 30 metrov a vzdialenosť od pobrežia do 30 km. Takýchto miest je veľmi veľa predovšetkým v Severnom mori. Rýchlosť vetra je však rozhodujúci parameter, veď jej nárast o 10 %

z n a m e n á

až o 30 % viac vyrobenej energie ako napr. na súši. Predpokladá sa, že v budúcnosti bude možné ísť do ešte väčších hĺbok a umiestňovať turbíny na plávajúce plošiny, čím by bolo možné efektívne využívať aj Stredozemné more a iné miesta mimo Európy. Potenciálna výroba elektrickej energie na takýchto miestach môže byť obrovská. Na základe štúdie vypracovanej v rámci programu Európskej Únie JOULE vyplýva, že výroba len v Európskych prímorských oblastiach by mohla presiahnuť dvojnásobok spotreby elektriny v EÚ.

S umiestňovaním veterných turbín na otvorenom mori sa začalo na začiatku 90. rokov. V tomto období bola aj preukázaná spoľahlivosť použitých technológií a ekonomickosť výroby. Veterné turbíny na mori sa vyznačujú aj menšími negatívnymi vplyvmi na svoje okolie (hluk). Takéto elektrárne majú pred sebou obrovskú perspektívu a to hlavne pre krajiny s vysokou hustotou obyvateľstva a teda nedostatkom vhodných lokalít pre výstavbu veterných turbín na súši. Nevýhodou je, že elektrárne na mori sa vyznačujú vyššími nákladmi na výstavbu, avšak tie sú často vykompenzované vyššou výrobou elektrickej energie.

Dánske elektrárenské spoločnosti oznámili, že majú v záujme do roku 2005 vybudovať až 4000 MW veterného výkonu na mori. Tieto zdroje by boli schopné ročne vyrobiť až 13,5 mld. kWh elektrickej energie, čo je asi 40 % spotreby elektriny v krajine. Pre výstavbu veterných turbín boli vybrané štyri



Ročná výroba elektriny 500 kW-ovou turbínou v závislosti na priemernej rýchlosti vetra.



oblasti s rozlohou od 135 do 500 km² a hĺbkou morského dna 5 - 15 m. Predpokladaná cena vyrobenej elektriny je 0,05 USD/kWh (asi 2,5 Sk/kWh) pri 20-ročnom úvere s 5%-ným úrokom. Do roku 1998 bolo v Dánsku, Švédsku a Holandsku vybudovaných 5 veterných fariem na otvorenom mori. Tieto farmy boli demonštračnými projektmi s turbínami s maximálnym výkonom 600 kW. Sú ukotvené na morskom dne v hĺbke menšej ako 10 m a nachádzajú sa vo vzdialenosti 40 m až 6 km od pobrežia. Cena vyrobenej energie je však vyššia ako pre porovnateľné veterné farmy s veľmi dobrými poveternostnými podmienkami na súši. Je ale porovnateľná s cenou vyrobenej energie na priemerne veternom mieste na súši a je tiež konkurencieschopná s inými zdrojmi energie.



Veterná farma na mori vo Vindeby.

Prvou veternou farmou na mori sa stali turbíny inštalované severne od ostrova Lolland v južnej časti Dánska neďaleko obce Vindeby. Farma vo Vindeby v Baltskom mori bola vybudovaná v roku 1991 elektrárenskou spoločnosťou SEAS a pozostáva z jedenástich 450 kW turbín vzdialených 1,5 až 3 kilometre od pobrežia. Turbíny boli upravené tak, aby v nich bolo možné umiestniť vysokonapäťové transformátory. Veterná farma pracuje bez problémov a ročne vyrobí približne o 20 % energie viac ako porovnateľná farma na súši. Druhá veterná farma na mori bola vybudovaná medzi polostrovom Jutland a ma-

lým ostrovom Tuno v Dánsku. Tuno Knob, ako sa farma nazýva, pracuje od roku 1995 a jej majiteľom je elektrárenská spoločnosť Midtkraft. Je umiestnená na mori s hĺbkou 3-5 m a je dôležitá hlavne z pohľadu sledovania vplyvu turbín na životné prostredie. Tuno Knob je totiž miestom, kde sídlia veľké množstvá vtákov. Farma pozostáva z desiatich 500 kW-ových turbín, pričom každá má priemer rotora 39 metrov. Turbíny sú ukotvené na morskom dne a pripojené na elektrickú sieť na pevnine 6 km dlhým podmorským káblom. Každá turbína je kontrolovaná diaľkovo a zodpovedný pracovník môže kontinuálne sledovať jej prevádzku z operačného centra v obci Hasle. Údržba turbín sa vykonáva dvakrát do roka. Hluk pochádzajúci z veternej farmy meraný na pobreží najbližšieho ostrova je na nižšej úrovni ako je hladina šepotu (15 dB). Na pevnine je hluk nemerateľný. Celá veterná farma funguje veľmi spoľahlivo a každá turbína ročne vyrobí viac ako 1,3 milión kWh, čo je o 40% viac ako sa pôvodne predpokladalo. Cena vyrobenej elektriny je na úrovni 0,49 Dkr/kWh (2,8 Sk/kWh). Náklady na výstavbu dosiahli 78 milión Dkr.

Veterné farmy umiestnené na otvorenom mori v roku 1999.

Lokalita	Uvedenie do prevádzky	Počet turbín	Inštalovaný výkon MW
Vindeby , Dánsko	1991	11 x 450 kW	4,95
Medemblik, Holandsko	1994	4 x 500 kW	2
Tuno Knob, Dánsko	1995	10 x 500 kW	5
Dronten, Holandsko	1996	28 x 600 kW	16,8
Bockstigen, Švédsko	1998	5 x 500 kW	2,5

MALÉ TURBÍNY

Malé veterné turbíny sa vo svete využívajú väčšinou ako samostatné energetické zdroje. V niektorých prípadoch sú však aj tieto malé systémy pripájané na verejnú elektrickú sieť, čo umožňuje majiteľovi takéhoto systému znížiť náklady na nákup elektriny a súčasne v prípade prebytku dodávať ním vyrobenú elektrinu do siete. Odber a dodávanie do siete sa vykonáva pomocou automatických prepínačov. Meradlo spotreby elektriny je zvyčajne zapojené tak, že pri dodávaní elektriny do siete sa točí naopak. Samostatne pracujúce veterné systémy sa uplatňujú v osamotených domoch (vzdialených od siete),

člnoch, na farmách alebo tiež v malých obciach. Každý takýto systém môže byť nielen praktický ale aj ekonomický pre užívateľa. Tieto systémy majú veľký význam aj pre rozvojové krajiny s nízkou úrovňou infraštruktúry a riedkou sieťou elektrických vedení, ktoré vzhľadom na nedostatok financií budú len veľmi ťažko dobudované. Pre milióny ľudí v rozvojových krajinách, ktorí sú v súčasnosti odkázaní na kerozínové lampy alebo osvetlenie napájané z batérií, sú jednoduché a lacné malé veterné turbíny ideálnym riešením. Takéto turbíny sú v súčasnosti vyrábané viacerými firmami v širokom rozsahu výkonov od niekoľkých wattov do niekoľko tisíc W. Malá veterná turbína s výkonom od 100 do 500 W je na dobrom veternom mieste (s priemernou rýchlosťou vetra viac ako 5 m/s) schopná veľmi lacno dodávať energiu do batérie a následne zabezpečovať energiu napr. na osvetlenie, napájanie elektrospotrebičov ako sú rádio alebo televízor. Cena niekoľko sto dolárov je však problémom pre ľudí z rozvojových krajín. V minulosti (začiatkom 70. tých rokov) bola spoľahlivosť týchto turbín problematická. V súčasnosti sú však na trhu turbíny, ktoré vydržia aj tie najdrsnejšie podmienky a vyžadujú si minimálnu údržbu (raz za 5 rokov). Spoľahlivosť týchto systémov sa vyrovná spoľahlivosti napr. systémov so slnečnými článkami.



Malá veterná turbína s výkonom 900 W.

Používanie malých veterných turbín sa pre izolovaných užívateľov ukázalo výhodnejšie ako používanie napr. naftových generátorov alebo predlžovanie elektrického vedenia. Výhodou je, že veterné systémy sú nielen relatívne malé, ale je ich možné rýchlejšie vybudovať. V mnohých krajinách je predĺženie elektrického vedenia k odberateľovi o jeden kilometer drahšie ako náklady na vybudovanie malého veterného systému. Hoci veterné turbíny sa vyznačujú vyššími investičnými nákladmi ako napr. naftové generátory, ich prevádzka je prakticky bezplatná a majiteľovi odpadajú problémy so zháňaním a dopravou paliva. Zo skúseností vyplýva, že pre dennú spotrebu na úrovni jednej kWh je energia vyrobená veternou turbínou lacnejšia ako energia z naftového generátora, predĺženie elektrického vedenia alebo energia zo slnečných článkov. Platí to pre miesta, kde rýchlosť vetra v ročnom priemere presahuje 4 m/s. Takáto rýchlosť vetra je úplne bežná na mnohých miestach sveta. Pre pokrytie vyššej dennej spotreby energie sa ekonomika veterných turbín ďalej zlepšuje. Pre turbínu s výkonom 10 kW je už rýchlosť vetra 3-3,2 m/s dostatočná na to, aby veterná energia bola lacnejšia ako iné alternatívy. Na svete je len málo miest, kde je priemerná rýchlosť vetra nižšia ako 3 m/s. Náklady na kúpu malých veterných turbín, vzťahnuté na jeden watt s narastajúcim výkonom klesajú. Napríklad ceny turbín s výkonom okolo 100 W vychádzali v roku 1999 na 8 USD/W, pre turbíny s výkonmi okolo 300 W približne 2,5 USD/W a pre 10 kW-ovú turbínu cena vychádzala na 1,50 USD/W.

O tom, že malé veterné systémy sú obľúbené aj v menej rozvinutých krajinách svedčí aj príklad z Mongolska, kde je inštalovaných až 50 tisíc takýchto zariadení. Tento úspešný rozvoj bol výsledkom nielen priaznivých klimatických podmienok, ale aj domácej podpory. Minimálna rýchlosť vetra 5 m/s je dosahovaná počas celého roka na mnohých miestach obrovských pasienkov a poskytuje tak nevyčerpatelný zdroj energie pre miestnych obyvateľov - nomádov. Energia vetra



Malá turbína v Antarktíde.

je využívaná hlavne na výrobu elektriny (osvetlenie, rozhlas, televízia). V Mongolsku sa vytvoril konkurenčný trh výrobcov, ktorí ponúkajú malé turbíny v prijateľnej cene, navyše tu existuje aj značná finančná podpora. Pri ich kúpe až 50 % nákladov je hrađených zo štátnych resp. obecných zdrojov.

KOMPONENTY MALÝCH TURBÍN

Komponenty, z ktorých sa systém s malou veternou turbínou skladá, sú v podstate rovnaké ako v prípade systémov so slnečnými článkami. Väčšina turbín je navrhnutá pre nabíjanie batérií a dodávajú sa už s vlastným regulátorom dobíjania, ktorý zabraňuje prebitiu batérií. Samotná turbína sa skladá z listov rotora, alternátora a regulačnej elektroniky. Listy sú zvyčajne vyrobené z laminátu a niekedy sú tvarované tak, aby sa pri veľmi veľkej rýchlosti vetra, ktorá by mohla celé zariadenie poškodiť, celý rotor natočil do polohy, ktorá ho zastaví. Alternátor obsahuje permanentný magnet a zvyčajne nevyžaduje žiadnu údržbu. Regulačná a kontrolná elektronika zabezpečuje maximálnu účinnosť a bezpečnosť celého zariadenia. Udržiava záťaž alternátora na takej úrovni, aby sa rotor nekrútil viac ako je povolené maximum, a to bez ohľadu na stav vybitia batérie. Pri dobíjaní batérie regulátor pravidelne kontroluje stav vedenia, upravuje napäťové straty a monitoruje dobíjanie. Po tom, čo sa dosiahne stav nabitia regulátor odstaví dobíjanie, aby nedošlo k poškodeniu batérie.

ČERPANIE VODY

Veterná energia sa veľmi efektívne využíva na čerpanie vody. Vyplýva to z toho, že skladovať vodu je jednoduchšie ako skladovať energiu napr. v batérii. Do roku 2000 pracovalo vo svete asi 100 tisíc malých veterných turbín zapojených len na čerpanie vody. Väčšina z nich pracovala v odľahlých a neelektrifikovaných farmách, kde dodávajú tak pitnú vodu ako aj vodu úžitkovú pre dobytok alebo na zavlažovanie. Niekedy sa veterné turbíny kombinujú s inými zariadeniami, ktoré pri obmedzenej kapacite skladovacích nádrží sú schopné čerpať vodu v prípade nedostatku vetra. Takýmito zariadeniami môžu byť aj ručné pumpy alebo naftové generátory.



Niektoré malé veterné turbíny sú namiesto brzd vybavené natáčacím zariadením, ktoré agregát nakloní v prípade, keď rýchlosť vetra presiahne stanovenú hranicu.



Veterný agregát používaný na čerpanie vody.

Vo svete existuje viacero výrobcov dodávajúcich celé veterné systémy na čerpanie vody. Turbíny sú skonštruované tak, aby sa ich prevádzka spustila už pri rýchlosti vetra od 2 m/s do 4 m/s. Čerpanie spodnej vody je možné až do hĺbky 1000 metrov. Typické veterné čerpadlo s rotorom s priemerom 3 m dokáže vyčerpať až 2000 litrov vody za hodinu z hĺbky 10 metrov a pri rýchlosti vetra 3 m/s. Turbína s priemerom rotora 7 metrov dokáže vyčerpať až 8000 litrov za hodinu pri tých istých podmienkach. Veterné čerpadlá sa využívajú vo svete aj na zavlažovanie. Vzhľadom na premenlivosť vetra je to však spojené s istými problémami a na rozdiel od čerpania vody do zásobníka nemusí turbína vždy dodávať toľko vody koľko je jej potrebné. V mieste aplikácie je nevyhnutné mať nielen dostatok vetra, ale mať aj málo tzv. bezveterných dní. Vo všeobecnosti sa tieto zariadenia uplatňujú v miestach s priemernou rýchlosťou vetra viac ako 4 m/s. Na rozdiel od tradičných čerpadiel sa veterné turbíny vyznačujú síce vyššími vstupnými nákladmi avšak nižšími (prakticky nulovými) prevádzkovými nákladmi, čo robí z nich veľmi priťažlivé a ekonomicky výhodné riešenie na mnohých miestach sveta.

TELEKOMUNIKÁCIE

Vietor je ideálnym zdrojom pre napájanie telekomunikačných zariadení, ktoré sú veľmi často inštalované vo vyšších a hlavne odľahlých miestach. Dobré poveternostné podmienky však znamenajú, že na týchto miestach sa vyskytujú často aj veľmi vysoké rýchlosti vetra, ktoré by mohli turbínu poškodiť, a preto sa používajú len veľmi odolné zariadenia.

DOBÍJANIE BATÉRIÍ

Napájanie malých elektrospotrebičov ako sú žiarovky, rádio alebo televízor je relatívne veľmi jednoduché pomocou batérie dobíjanej veternou turbínou (alebo iným zdrojom). Súvisí to s tým, že veternú energiu je možné veľmi ľahko skladovať v batérii, z ktorej je možné energiu čerpať v čase potreby. Mnoho malých turbín vyrába napätie 14 alebo 28 V (niektoré väčšie turbíny produkujú vyššie napätia). Výstupné napätie z batérie (12 V resp. 24 V) je možné využiť priamo a dodávať energiu elektrospotrebičom na jednosmerný prúd alebo meniť pomocou meniča na striedavý prúd s napätím 220 V, ktorý využíva väčšina domácich elektrospotrebičov. Takáto transformácia má však za následok stratu časti vyrobenej energie.

VÝROBA TEPLA

Malé veterné turbíny je tiež možné využiť na prípravu teplej vody. Tieto zariadenia dodávajú jednosmerný prúd, ktorý využíva elektrická špirála umiestnená v zásobníku vody. Špirála vodu ohrieva, pričom zásobník tu funguje ako batéria skladujúca energiu. Je evidentné, že skladovanie teplej vody je lacnejšie ako skladovanie energie v batériách. Najjednoduchšie veterné systémy sú vybavené termostatom vypínajúcim zariadenie, aby nedošlo k zovretiu vody. Elektrická špirála sa vždy dimenzuje na špecifický výkon turbíny t.j. pre turbínu s výkonom 1 kW má špirála výkon 1 kW.

HYBRIDNÉ SYSTÉMY

Hybridným systémom je napr. kombinácia solárneho a veterného zariadenia, ktoré sa vhodne dopĺňajú v priebehu roka. V zime je totiž vyššia intenzita vetra ako v lete, kedy je možné využívať slnečnú energiu napríklad na ohrev vody solárnymi kolektormi. Pri výrobe elektriny solárnymi článkami v kombinácii s veternou turbínou je možné výrazne odstrániť časové variácie oboch zdrojov. Kombinácia týchto

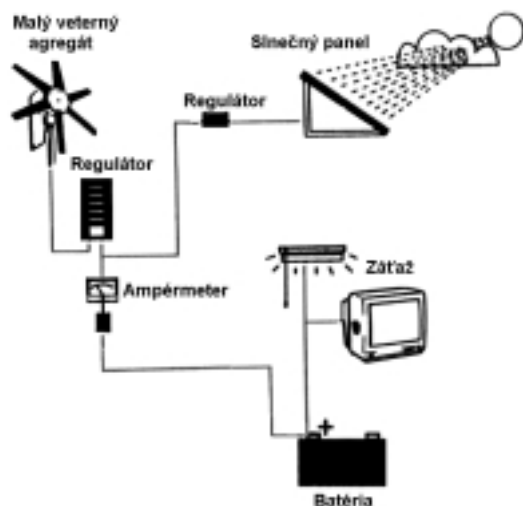


Schéma hybridného systému skladajúceho sa z malej veternej turbíny a slnečných článkov vyrábajúcich elektrickú energiu.

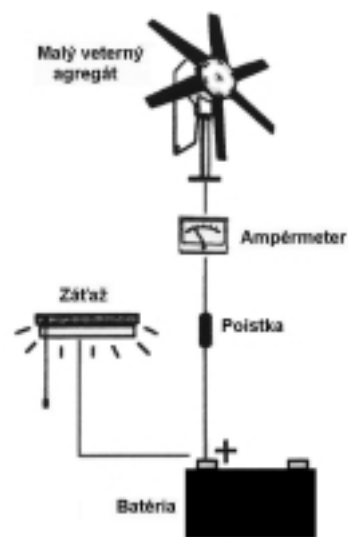


Schéma samostatného elektrického systému s malou veternou turbínou.

dvoch systémov je vhodným riešením pre izolované samostatne pracujúce zariadenia. Nevýhodou slnečných článkov je, že produkujú oveľa viac energie v lete ako býva potrebné, čo pri dimenzovaní ich výroby vedie k zbytočným nákladom na systém. Skladovanie energie býva tiež veľmi nákladné. Preto je vhodné ich kombinovať s veternými turbínami, ktoré majú svoje minimum výroby práve v lete. Dôležitou úlohou pri navrhovaní hybridného systému je dimenzovanie výkonu, analýza spotreby energie v priebehu roka a zhodnotenie miestnych podmienok.

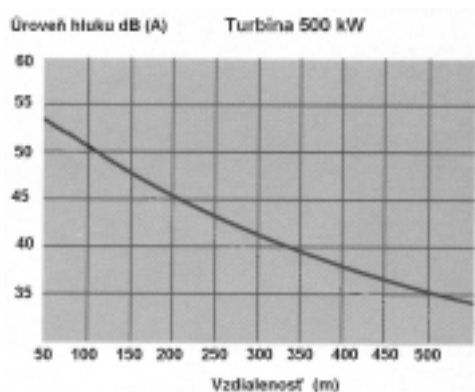
ENVIRONMENTÁLNE DÔSLEDKY VYUŽÍVANIA VETERNEJ ENERGIE

Na mnohých miestach sveta sú veterné turbíny prijímané ako ekologické riešenie problému výroby elektrickej energie. Podobne ako v iných oblastiach aj v tomto prípade nie je výroba úplne bez dôsledkov na

okolité životné prostredie. Aj tu je však potrebné rozlišovať medzi malými a veľkými turbínami. Malé turbíny nijako neovplyvňujú okolité prostredie. V prípade väčších turbín sa ako problémové parametre uvádzajú hluk, vizuálny efekt resp. rušenie elektromagnetického poľa.

HLUK

Hluk, ktorý vytvárajú veterné turbíny, vzniká ako dôsledok turbulencie vzduchu pri prechode vrcholu listu rotora okolo stožiaru turbíny a tiež ako dôsledok chodu prevodovky. Pretože tento nízko frekvenčný hluk je znakom neefektívnosti a tiež s ohľadom na sťažnosti obyvateľov, výrobcovia sa týmto problémom intenzívne zaoberajú. Výsledkom bolo značné zníženie hlučnosti moderných turbín. Za kritickú hladinu hluku je považovaných 40 dBA (decibel), čo je úroveň pri ktorej je možné spať. Táto úroveň sa zvyčajne dosahuje vo vzdialenosti menšej ako 250 metrov od veľkej veternej turbíny. Úroveň akceptovateľnej hladiny hluku je však veľmi individuálna. Je evidentné, že majiteľ turbíny vníma hluk ako znak výroby a teda zvýšeného príjmu, kým nezainteresovaní obyvatelia môžu mať iný názor. Vo viacerých krajinách existujú legislatívne normy pre umiestňovanie väčších turbín v blízkosti ľudských obydľí.



Charakteristika hlučnosti 500 kW-ovej veternej turbíny v závislosti na vzdialenosti.

VIZUÁLNY EFEKT

Veterné turbíny sú viditeľné z veľkej vzdialenosti a niektorými skupinami obyvateľstva sú považované za rušivé momenty v reliéfe krajiny. Pravdou však je, že krajina býva veľmi často zastavaná inými vysokými objektmi napr. stožiarmi elektrického vedenia, voči ktorým sa kritika neozýva. Okrem negatívneho ovplyvňovania vizuálneho dojmu z okolitej krajiny sa niekedy uvádza aj problém súvisiaci s rizikom pre pilotov malých lietadiel lietajúcich nízko nad zemou. Pre nich vysoké stožiare turbín môžu byť niekedy nebezpečné.

VTÁKY

Niekedy sa ako problém spojený s veternými turbínami udávajú aj kolízie vtákov s týmito zariadeniami. Skutočnosťou je, že vtáky narážajú do budov, stožiarov elektrického vedenia a iných vysokých objektov. Tiež sú zabíjané autami a inými dopravnými prostriedkami. Ako ukazujú štúdie z Dánska vtáky zriedkavo vrážajú do veterných turbín. Jedna z týchto štúdií bola zameraná na vplyv 2 MW-ovej turbíny s priemerom rotora 60 metrov v Tjaereborgu. Radarové výsledky ukázali, že vtáky mali vo dne v noci tendenciu vyhnúť sa turbíne a to už vo vzdialenosti 100-200 metrov pred ňou a preletieť okolo nej v bezpečnej vzdialenosti. V Dánsku dokonca existujú turbíny na stožiaroch ktorých si niektoré druhy vtákov vytvorili hniezda (sokol). Jediným známym miestom, kde došlo ku kolíziám vtákov s turbínami je Altamont Pass v Kalifornii. V tejto oblasti niekoľko stoviek turbín prakticky vytvorilo "veternú stenu" a doslova uzatvorilo priesmyk, čím významne ovplyvnili podmienky pre bezpečný pohyb vtákov. Podľa dánskeho ministerstva životného prostredia je vysoko-napäťové elektrické vedenie väčším rizikom pre vtáky ako samotné turbíny. Hoci niektoré vtáky si na turbíny zvyknú skôr a iné neskôr býva zvykom, že pred výstavbou veterných parkov sa posudzuje ich vplyv na migráciu vtákov v danom mieste. Výsledkom trojročnej štúdie vykonanej v dánskej veternej farme Tuno Knob je, že turbíny stavané na otvorenom mori nemajú žiadny negatívny vplyv na vtákov.

RUŠENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO ŽIARENIA

Televízne, rádiové i radarové vlny (elektromagnetické žiarenie) sú často rušené elektrickými vodičmi. Preto všetky kovové časti rotujúcich turbín môžu predstavovať isté riziko. V súčasnosti sa však listy rotorov vyrábajú len z plastov a dreva, ktoré neovplyvňujú elektromagnetické žiarenie. Ani turbíny umiestnené v blízkosti letísk nemajú preukázateľný vplyv na radarové stanice.

PRAVIDLÁ PRI VÝSTAVBE TURBÍN

Keďže veterné turbíny musia konkurovať iným zdrojom energie musia byť hlavne ekonomicky konkuren-cie schopné. Vyžaduje sa od nich aby pokrývali spotrebu energie počas celého dňa a pri minimálnych

nákladoch. Pri navrhovaní turbín je zvyčajne potrebné zistiť dve veci : koľko energie potrebujeme a aká je priemerná rýchlosť vetra v danom mieste vo výške rotora turbíny. Veterné turbíny kriticky závisia na polohe a dostatku vetra. Niekedy sa pozorovateľovi môže zdať, že miesto je skutočne veterné avšak bez podrobného celoročného monitorovania rýchlosti vetra sa žiadna väčšia investícia do turbíny zvyčajne nerobí. Keďže takéto monitorovanie môže byť dosť drahé robí sa hlavne pri výstavbe väčších turbín. Pre malé turbíny je možné spoľahnúť sa aj na odhad. Rýchlosť vetra je však v danom mieste ovplyvňovaná aj prekážkami a drsnosťou terénu. Pred umiestnením veternej turbíny je preto potrebné analyzovať vplyv aj týchto parametrov.

UMIESTŇOVANIE TURBÍN

Bežne sa veterné turbíny umiestňujú na kopcoch a miestach vyčnievajúcich nad okolitým terénom. Býva výhodné keď je turbína umiestnená v smere prevládajúcich vetrov s minimom prekážok v jej okolí. Na kopcoch je síce rýchlosť vetra najvyššia avšak často tu dochádza k tomu, že vietor sa stáča kým dosiahne vrchol kopca. Vietor tu tiež býva dosť nepravidelný, keď prechádza turbínou. V prípade strmých kopcov alebo nerovných povrchov môže dochádzať k značným turbulenciám, ktoré môžu znížiť pozitívny efekt z vyššej rýchlosti vetra.

PREKÁŽKY A DRSNOSŤ TERÉNU

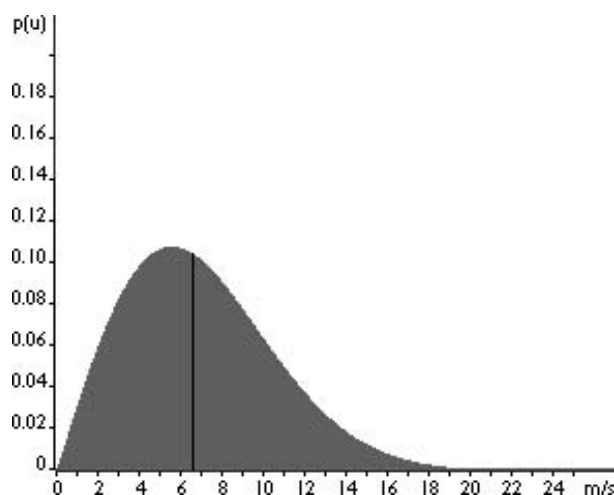
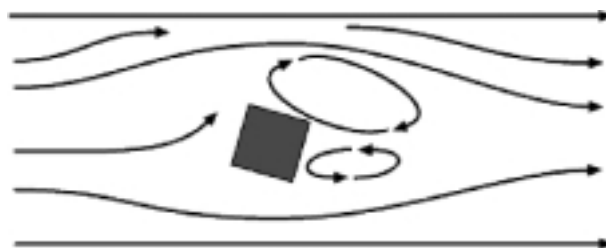
Vzdialenosť medzi prekážkami v teréne a turbínou je veľmi dôležitá s ohľadom na vytvorenie závetria, ktoré ovplyvňuje výrobu energie. Vo všeobecnosti sa tienenie znižuje, keď sa zväčšuje vzdialenosť medzi prekážkou a turbínou, podobne ako sa dym z komína rozptyľuje vo väčšej vzdialenosti od neho. Aj na otvorenom mori dochádza k ovplyvňovaniu rýchlosti vetra a to až do vzdialenosti 20 km od prekážok, ktorým môže byť napr. ostrov. Vo všeobecnosti platí, že ak je turbína umiestnená bližšie ako je 5-násobok výšky prekážky, je výsledná situácia veľmi neistá a závisí na presnej geometrii prekážky. Drsnosť terénu medzi prekážkou a turbínou má tiež vplyv na tieniaci efekt. Terén s nízkou drsnosťou dovoľuje vetru prechádzať okolo prekážok bez toho, aby dochádzalo k jeho ovplyvňovaniu za prekážkou.

TIENENIE TURBÍNOU

Keďže veterná turbína vyrába energiu z vetra musí mať vietor za turbínou menšiu energiu ako pred turbínou. Táto skutočnosť priamo vyplýva z pravidla, že energia sa nemôže ani vytvárať ani spotrebúvať - môže byť len premieňaná z jednej formy na druhú. Veterná turbína bude vždy predstavovať prekážku pre iné turbíny umiestnené za ňou resp. v jej blízkosti. Za jej chrbtom sa vytvára dlhý prúd turbulentného a spomaleného vetra. Turbíny vo veterných parkoch sú z tohto dôvodu rozmiestňované vo vzdialenosti min. trojnásobku priemeru rotora, aby sa vplyv turbulencií obmedzil na minimum. V smere prevládajúceho vetra sú turbíny rozmiestňované v ešte väčších vzdialenostiach. Turbulencie nielen obmedzujú výrobu energie turbínou, ale znamenajú pre ňu aj väčšiu mechanickú záťaž a rýchlejšie opotrebovanie niektorých jej častí.

PRIEMERNÁ RÝCHLOŤ VETRA

Informácia o rýchlosti vetra v danej lokalite je nesmierne dôležitá z hľadiska správneho umiestnenia turbíny. V praxi sa využíva hlavne údaj o priemernej celoročnej rýchlosti vetra. Kratšie obdobia ako napr. mesačné alebo denné priemery sa využívajú pri veľmi precíznej analýze podmienok



Weibullovo rozdelenie pre priemernú rýchlosť 6m/s.

hlavne v prípadoch kedy je dôležitá doba medzi dostatkom vetra a požadovanou výrobou energie. Časové zmeny rýchlosti vetra v danom mieste sa udávajú ako relatívna pravdepodobnosť vyššej či nižšej rýchlosti vo vzťahu k priemernej rýchlosti. Typické rozdelenie rýchlostí vetra (nazývané tiež Rayleighovo rozdelenie, alebo špeciálne Weibullovo rozdelenie) znamená, že je len malá pravdepodobnosť bezvetria resp. vetra s dvojnásobnou rýchlosťou ako je priemerná. Najčastejšie sa vyskytujú rýchlosti na úrovni 75% priemernej rýchlosti.

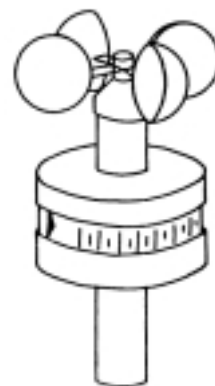
Hoci priemerná rýchlosť vetra je dôležitý parameter, význam má aj sledovanie iných veličín ako sú maximálna rýchlosť alebo počet dní s rýchlosťou vetra väčšou ako 5m/s. Rýchlosť vetra sa vždy mení a preto sa mení aj množstvo energie vyrobenej turbínou. Aké veľké sú tieto zmeny, závisí na okolitom povrchu a prekážkach. Okamžité zmeny rýchlosti sú však bežne kompenzované zotrvačnosťou turbíny.

MERANIE RÝCHLOSTI VETRA

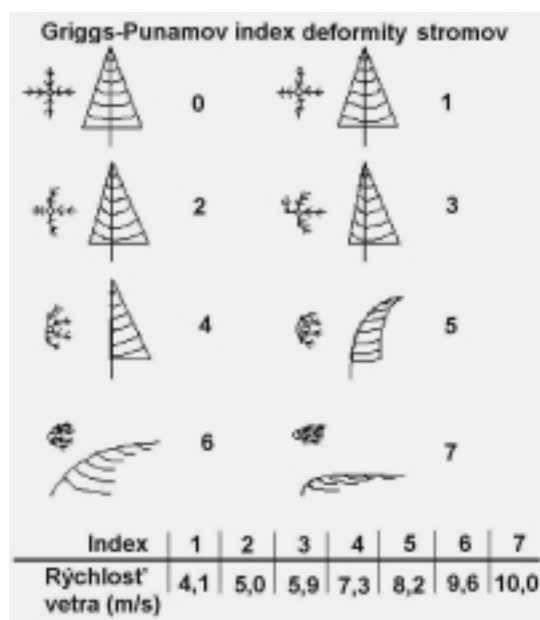
Umiestňovanie veterných turbín bez merania vetra sa zvyčajne nevypláca. Vo väčšine prípadov sú 4 mesiace merania minimom a rok merania je považovaný za optimum. Pri väčšej investícii do veternej turbíny je dodatočná investícia za meranie rýchlosti práve tým, čo odlišuje dobrú a zlú investíciu. Meranie sa zvyčajne robí mechanickým zariadením nazývaným anemometer. Anemometer má vertikálnu os a "lyžičky" zachytávajúce vietor. Počet otáčok za minútu je elektronicky zaznamenávaný. Obyčajne je anemometer vybavený aj natáčacím zariadením na zisťovanie smeru vetra. Existujú aj iné typy anemometrov ako sú laserové alebo ultrazvukové, ktoré zaznamenávajú fázový posun zvuku alebo svetla odrážaného od molekúl vzduchu. Anemometre s horúcim vláknom zaznamenávajú rýchlosť vetra na základe okamžitých zmien teplôt medzi vláknami umiestnenými vo vetre. Výhodou "nemechanických" zariadení je, že sú menej citlivé na námrazu. V praxi sa však mechanické anemometre používajú takmer všade, pričom špeciálne modely s elektricky vyhrievanými lyžičkami sa používajú napr. v polárnych oblastiach.

Určenie presnej rýchlosti vetra však nie je jednoduchá a lacná záležitosť. V prípade malých turbín však nemusí byť potrebná. Na to, aby sme dostali hrubý odhad o rýchlosti vetra je možné orientovať sa podľa meraní napr. meteorologických staníc v blízkosti. Problémom je, že meteorologické stanice merajú rýchlosť vetra pri zemi, kým turbíny sa nachádzajú vo väčšej výške. Takéto

meranie rýchlosti vetra má za následok podhodnotenie skutočnej rýchlosti v danom mieste. Veľmi jednoduchý anemometer je však možné si aj skonštruovať.



Anemometer - zariadenie na meranie rýchlosti vetra.



Griggs - Punamov index deformity stromov je možné využiť na orientačné stanovenie priemernej rýchlosti vetra.

Iným spôsobom ako zistiť silu vetra je sledovanie zdeformovania (zakrivenia) stromov. Stromy, hlavne ihličnaté sú často ohýbané vetrami a silné vetry ich deformujú. Toto zdeformovanie býva veľmi významné hlavne pre osamotene stojace vysoké stromy. V smere vetra sú viditeľné aj rozdiely v dĺžke vetiev. Vetvy sú kratšie v smere odkiaľ vietor prevažne fúka a dlhšie v smere kam fúka. Pri určovaní správneho miesta pre turbínu je preto možné orientovať sa aj podľa týchto znakov. Sledovanie zdeformovania stromov v lesoch však nemá význam, keďže stromy sa vzájomne ovplyvňujú a znižujú rýchlosť vetra. Rýchlosť vetra je možné orientačne zistiť aj z Griggs-Punamovho indexu deformity stromov (pozri obrázok).

URČENIE VÝKONU TURBÍNY

Určenie typu a potrebného výkonu turbíny je veľmi dôležitá a náročná úloha. Nielen kvalita turbíny, ale aj jej vhodnosť pre dané podmienky ako sú rýchlosť vetra a spotreba energie sú rozhodujúce. Pri výbere turbíny nebýva vhodné porovnávanie na základe ich menovitého výkonu. Súvisí to s tým, že výrobcovia majú možnosť sami si zvoliť rýchlosť vetra, pre ktorú udávajú výkon turbíny. Ak nie sú tieto rýchlosti pre dve turbíny rovnaké, nie je možné ani ich korektné porovnanie. Výrobcovia okrem výkonu turbíny udávajú aj údaj



Zakrivenie stromov býva znakom silných vetrov.

o potenciálnej výrobe energie pri rôznych rýchlostiach vetra. Tieto údaje síce umožňujú vzájomné porovnávanie jednotlivých turbín avšak nehovoria nič o tom aká bude skutočná výroba v danom mieste.

VÝŠKA TURBÍNY

Energia obsiahnutá vo vetre je okrem iných parametrov funkciou tretej mocniny rýchlosti vetra. Preto najjednoduchšou cestou ako zvýšiť výrobu energie turbínou je zvýšenie rýchlosti vetra. Túto je možné zvýšiť buď umiestnením turbíny na veternejšie miesto alebo zväčšením výšky stožiara. Rýchlosť vetra výrazne narastá s pribúdajúcou výškou. Napríklad energia vetra môže byť až o 100 % väčšia vo výške 30 metrov ako vo výške 10 metrov. Podstatné je, že jedna 30 metrov vysoká turbína je lacnejšia ako napr. dve 10 metrové turbíny. Pravidlom je, že turbíny by mali mať minimálnu výšku asi 10 metrov nad okolitými prekážkami v okruhu 100 metrov. Realistické minimum je asi 15 metrov nad úrovňou prekážok a potom ísť tak vysoko ako je to možné. Menšie turbíny sa zvyčajne umiestňujú na nižšie stožiare ako veľké turbíny. Napríklad 250 W turbína má zvyčajne stožiar vysoký 15-20 metrov, kým 10 kW turbína si vyžaduje výšku 20-30 metrov. Turbína tiež musí mať masívny stožiar, aby vydržala turbulencie vetra.



VODNÁ ENERGIA

Voda je na Zemi a v jej atmosfére v neustálom pohybe. V dôsledku aktivity Slnka sa odparuje z vodných plôch, vytvára oblaky pary a padá k Zemi vo forme dažďa alebo snehu. Energia tohto vodného cyklu je veľmi účinne využívaná vodnými elektrárnami alebo vodou poháňanými mechanickými dielami. Využívanie energie vody na pohon mechanických zariadení je veľmi starou činnosťou a siaha ďaleko do minulosti. Jednoduché vodou poháňané kolesá, nahradzujúce namáhavú prácu, ľudstvo používalo od nepamäti. Prvá zmienka o takýchto zariadeniach sa objavuje u starých Grékov asi 4000 rokov pred n.l. Gréci používali vodnú energiu hlavne na mletie obilia. Využívanie tejto prírodnej energie sa stalo ešte jednoduchším a rozšírenejším po tom, čom bola vyvinutá prvá vodná turbína na začiatku 19.storočia. Od tohto obdobia sa začína postupne presadzovať výroba elektrickej energie vodnými elektrárnami. Najnovšie technológie výroby elektriny z vody sú založené na využití morského prílivu, morských vĺn alebo teplotného rozdielu vody v oceánoch. Z uvedených typov vodnej energie len energia morského prílivu nie je výsledkom aktivity Slnka, ale je spôsobovaná príťažlivou silou Mesiaca. Energia morských vĺn je priamym dôsledkom sily vetra, ktorý je spôsobovaný činnosťou Slnka.



Kolobeh vody v prírode.

Množstvo energie obsiahnutej v zemskom vodnom cykle je obrovské, avšak jej využitie je zložité. Napriek tomu, že existuje viacero spôsobov ako využívať energiu vody, najrozšírenejšia je výroba elektriny vo vodných elektrárnach. Výhodou tejto výroby je, že je to obnoviteľný energetický zdroj nespôsobujúci emisie škodlivín do ovzdušia a navyše je možné ho využiť na okamžité pokrytie spotreby t.j. v čase kedy to je potrebné. Nevýhodou sú však vysoké investičné náklady na výstavbu a tiež aj negatívne dopady na okolité životné prostredie, hlavne v prípade veľkých vodných diel.

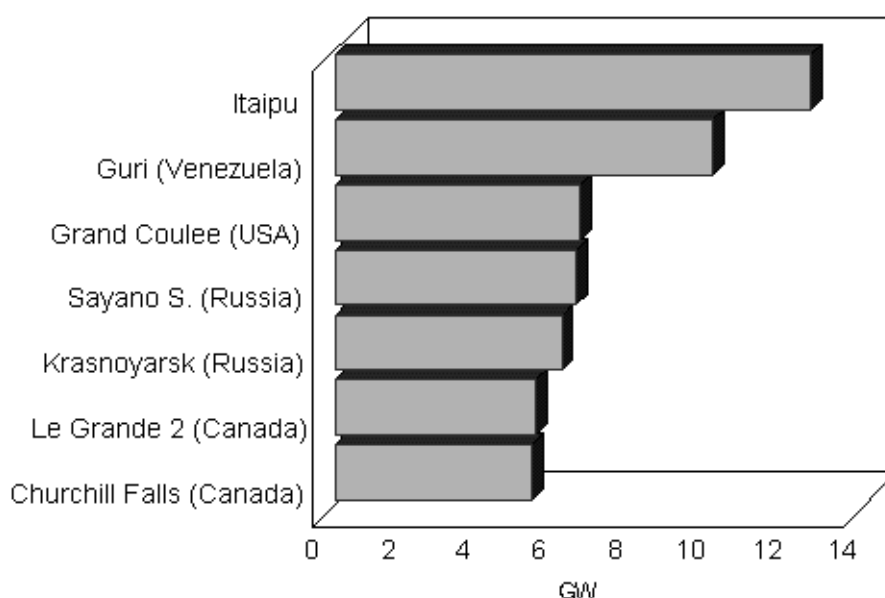
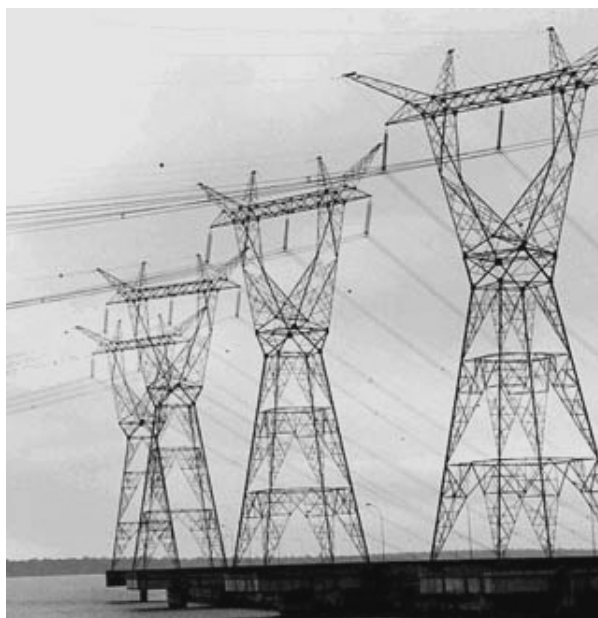
Potenciál vodnej energie na ktoromkoľvek mieste je daný dvoma veličinami: množstvom vody (prietok) pretekajúcim za jednotku času a vertikálnou výškou spádu vody. Spád môže byť prirodzený v dôsledku sklonu terénu alebo môže byť umelo vytvorený napr. priehradou. Výška spádu na rozdiel od prietoku vody je nemenná. Prietok sa mení v dôsledku premenlivej intenzity, rozloženia a trvania zrážok. Okrem toho závisí aj na odparovaní alebo infiltrácii do zeme.

Prietok vody v riekach je časťou hydrologického cyklu a celosvetový potenciál vodnej energie využiteľný napr. vo vodných elektrárnach je teda možné určiť na základe tejto hodnoty. Z výsledkov niektorých štúdií vyplýva, že celkový potenciál vodnej energie je na úrovni 50.000 TWh ($5 \cdot 10^{13}$ kWh) ročnej výroby elektriny, čo zodpovedá len štvrtine ročných zrážok, avšak až 4-násobku ročnej výroby elektriny vo všetkých elektrárnach na svete. Reálny odhad, založený na miestnych podmienkach, však hovorí, že potenciál je na úrovni 10.000 - 20.000 TWh. Je to obrovská hodnota veď ročná produkcia 10.000 TWh elektrickej energie znamená, že na výrobu tohto množstva energie v elektrárnach na fosílna palivá, by bolo potrebné denne spáliť ekvivalent 40 milión barelov ropy. Dôležitou otázkou však zostáva koľko vodného potenciálu si môžeme, vzhľadom na potenciálne negatívne dopady na okolité prostredie, dovoliť využiť. Z pohľadu elektrárenských spoločností je vodná energia z pomedzi všetkých obnoviteľných energetických zdrojov najžiadanejším zdrojom. Súvisí to s tým, že poskytuje možnosť vybudovania veľkých výkonov a historicky sa preukázala ako ekonomicky jeden z najlacnejších spôsobov výroby elektriny. Vodné elektrárne s výkonom až 10 tisíc MW (10 väčších atómových elektrární) boli vybudované na jednom mieste. Navyše celosvetový potenciál (ekonomicky využiteľný) ešte stále nie je vyčerpaný a predstavuje asi 3 milión MW, čo je asi 30 % súčasnej spotreby elektriny vo svete.

Hoci nevyužitý potenciál je obrovský, v niektorých častiach sveta ako napr. v Európe je malý. V Nemecku napr. nie je prakticky žiadny. Najväčší potenciál je v Afrike a Ázii. Pozoruhodné je, že niektoré krajiny ako napr. Nórsko si pokrývajú celú svoju spotrebu elektriny výhradne z vodných elektrární. V iných krajinách je však vzhľadom na potenciálne negatívne dopady na životné prostredie výstavba veľkých vodných elektrární zakázaná (Švédsko).

Celosvetová inštalovaná kapacita vo vodných elektrárňach bola v roku 1998 asi 630.000 MW. Tento údaj však nie je veľmi presný pretože nezahrňuje veľa malých vodných elektrární a súkromných zariadení, ktoré v štatistikách často nefigurujú. Ich príspevok sa odhaduje len na niekoľko percent. Svetová ročná výroba elektriny je približne 2200 TWh (miliárd kWh), čo znamená že vodné elektrárne pracujú asi na 40% ich výkonu.

Najväčšia vodná elektráreň na svete sa nachádza na rieke Parana medzi Paraguayom a Brazíliou. Nazýva sa Itaipu a jej 18 turbín má celkový výkon 12.600 MW. Veľké vodné elektrárne sa budujú aj v iných častiach sveta - hlavne v Číne a Indii. V Číne dokončili v roku 1999 najväčšiu domácu vodnú elektráreň (Ertan) s výkonom 3300 MW, ktorá je súčasne druhou najväčšou v Ázii a najväčším elektrárenským zdrojom v Číne. Niektoré ďalšie veľké elektrárne s celkovým výkonom 32.000 MW sa v Číne ešte stavajú. Najvyššie položená vodná elektráreň na svete sa stavia v tibetskom jazere Yamzho Yumco. Táto prečerpávací vodná elektráreň sa nachádza vo výške 4000 až 5000 metrov nad morom. V Indii sa buduje 12 väčších vodných elektrární s celkovým výkonom 3700 MW. Všetky tieto projekty by mali byť dokončené do roku 2002. Výstavba najväčšej vodnej elektrárne na svete 18.200 MW-ovej elektrárne nazvanej Three Gorges Dam (Čína) vstúpila v roku 2000 do svojej druhej fázy. Hoci výstavba elektrárne bola v roku 1998 v dôsledku záplav na rieke Jangtze dočasne prerušená, predpokladá sa, že plná výroba elektriny by



Najväčšie vodné elektrárne na svete.

mohla v tejto elektrárni začať v roku 2009. Do roku 2000 bolo na tomto vodnom diele preinvestovaných asi 3,7 miliardy dolárov, vrátane presmerovania rieky Jangtze. Vodné dielo bude zaberáť dva kilometre dĺžky rieky Jangtze, bude mať výšku 200 metrov a vytvorí 550 km dlhú vodnú nádrž. Čínska vláda predpokladá, že celkové náklady na výstavbu dosiahnu 25 miliárd USD. Three Gorges Dam je však veľmi problematická elektráreň, ktorá vyvolala množstvo negatívnych ekologických i sociálnych dopadov. Znečistenie vody v rieke Jangtze sa zdvojnásobí, nakoľko priehrada bude zachytávať viac ako 50 rôznych druhov škodlivín z okolitých baní a priemyselných podnikov, ktoré doteraz boli odvádzané silným prúdom rieky. Výstavba elektrárne si tiež vyžiadala premiestnenie 1,1 až 1,9 milión obyvateľov, premiestnenie alebo zaplavenie viac ako 1300 archeologických miest a ovplyvnenie života mnohých ohrozených druhov živočíchov i rastlín. Jedným z mnohých dôkazov o negatívnych dopadoch tohto diela na životné prostredie je skutočnosť, že v roku 1996 americká Export-Import banka odmietla garantovať úvery americkým spoločnostiam podieľajúcim sa na výstavbe tohto diela, práve s poukázaním na negatívne environmentálne dopady.

Mnoho krajín v Strednej a Južnej Amerike veľmi závisí na prevádzke vodných elektrární. Len v Brazílii je inštalovaných 40 % z celkového výkonu na kontinente a 59.000 MW vo vodných elektrárňach predstavuje 86 % domáceho výkonu. Viac ako 50 % domácej spotreby energie pokrýva vodná energia v Čile, Kolumbii, Paraguaji, Peru, a Venezuele. Hoci väčšina potenciálnych zdrojov bola už využitá ešte stále tu existujú plány na budovanie nových vodných zdrojov. Brazília popri nedávno ukončenom 3000 MW-ovom vodnom diele (Xingó) buduje ďalšie elektrárne s výkonmi 1450 MW (Itá) a 1140 MW (Machadinho), ktoré by mali byť ukončené do roku 2003. Obe tieto elektrárne sú umiestnené na rieke Uruguaj. Okrem toho sa plánuje rozšírenie kapacity v súčasnosti najväčšej vodnej elektrárni na svete Itaipu zo súčasných 12.600 MW na 14.000 MW. Tento projekt, ktorý Brazília realizuje spoločne s Paraguayom bude stáť asi 200 milión dolárov.

PROBLEMY SPOJENÉ S VODNÝMI ELEKTRÁRŇAMI

Hlavným dôvodom prečo sa vodné elektrárne nestavajú všade tam, kde to je možné je, že sú relatívne drahé a sú s nimi spojené negatívne ekologické i sociálne dopady. Platí to predovšetkým pre veľké vodné elektrárne.

Vodný tok je súčasťou ekologického systému, v ktorom jedna zmena môže vyvolať následné zmeny v iných častiach systému. Príkladom môže byť zmena prietoku vody v rieke, ktorá môže vyvolať zmeny



Vodná elektráreň Itaipu v Brazílii.



Stator najväčšej vodnej elektrárne na svete v Itaipu pojme celý orchester.

v kvalite vody a životných podmienkach vodných organizmov hlavne rýb. Priehrady, ktoré sú súčasťou väčšiny veľkých vodných elektrární môžu významne ovplyvniť životné podmienky rýb. Navyše novo vzniknuté priehradné jazero zvyčajne oddelí populácie rýb žijúcich v dolnej a hornej časti toku, čím zablokuje ich migračné cesty. Ekologické dopady takýchto vodných diel môžu byť sledované ešte veľmi ďaleko od miesta priehrady. V tropických oblastiach dochádza k výraznej sezónnej variácii množstva zrážok a v období sucha dochádza k významnému odparovaniu z priehradného jazera. Toto môže ovplyvňovať výšku hladiny v nádrži v oveľa väčšom rozsahu ako napr. v miernom pásme. Vodné toky a zrážková činnosť vzájomne súvisia. Vodné toky môžu ovplyvňovať nielen miestnu klímu ale aj hladinu spodných vôd vo svojom okolí. Sedimentácia v jazerách môže viesť k zvýšenej erózii v dolnej časti toku. Zmeny v prietoku vody tiež majú za následok zmeny v prenose sedimentov. Počas výstavby veľkých vodných diel, prenos bahna a sedimentov je obzvlášť významný v dolnom toku rieky. Stavebné práce môžu viesť k zníženiu kvality vody a s tým súvisiacim problémom pre obyvateľov závislých na takýchto vodných zdrojoch.

SPODNÉ VODY

Hladina spodnej vody je dôležitá tak pre ľudí ako i rastliny a zvieratá. Je dôležitou zložkou ekosystému hlavne z hľadiska zabezpečenia dostatku pitnej vody. Vytvorenie priehradného jazera má zvyčajne veľký vplyv na úroveň spodnej vody a napĺňanie podzemných rezervoárov. Takéto jazero spolu so zmenami prietoku vody v dôsledku činnosti vodnej elektrárne mávajú za následok aj zmeny hladiny spodnej vody v okolitých oblastiach. V týchto oblastiach môže preto postupne dochádzať k zhoršovaniu kvality pitnej vody.

FLÓRA A FAUNA

Keď v priehradnom jazere dochádza k záchytu živín (hnojív) vždy to má za následok zvýšenú eutrofikáciu nádrže. Toto môže spôsobovať rýchlejší rast rias alebo iných vodných rastlín. Zvýšená produkcia organickej hmoty v jazere môže ovplyvniť anerobné procesy ako sú nedostatok kyslíka vo väčších hĺbkach jazera. Vo všeobecnosti sú plytké jazerá s veľkou plochou vo väčšom riziku z hľadiska eutrofikácie, pretože zásoba kyslíka vo väčších hĺbkach je úmerne obmedzená plochou jazera. V hlbokých úzkych jazerách, s pravidelnou cirkuláciou vody, je zvyčajne dostatok kyslíka vo väčších hĺbkach na to, aby dochádzalo k recyklácii ku dnu klesajúcej organickej hmoty. Odparovanie môže taktiež spôsobovať koncentráciu živín vedúcu k eutrifikácii. V tropických oblastiach má pôda nízky obsah humusu, čo v kombinácii so sezónnymi variáciami zrážok môže spôsobovať značnú eróziu. Transport erodovaných sedimentov sa zastaví a ukladá sa v priehradnom jazere, čo si vyžaduje častejšie čistenie a zvýšené náklady na prevádzku. Vybudovanie priehradného jazera má za následok zastavenie prenosu živín do dolnej časti rieky a ovplyvnenie biologickej produkcie nielen v rieke, ale v celej oblasti často siahajúcej až do mora. Vo svete existuje viacero príkladov takého dopadu veľkého vodného diela na život v riekach.

Zmeny úrovne vodnej hladiny, ku ktorým dochádza pri prevádzke vodných diel, majú za následok aj zmeny zloženia rybných druhov. Umelé vodné nádrže zvyčajne obsahujú menšie množstvo vodných organizmov ako prírodné jazerá. Zmeny v dolných tokoch riek za priehradnými jazerami sú vyvolané hlavne zmenami prenosu živín. Zatopenie veľkého územia, ku ktorému dochádza pri výstavbe vodnej nádrže vyvoláva tlak na migráciu zvierat z tejto oblasti, v prípade keď je ešte kam migrovať. Avšak v mnohých prípadoch zaplavením veľkých území je mnoho organických druhov v postihnutej oblasti zlikvidovaných. Väčšinou je len veľmi ťažké predvídať k akým zmenám môže pri zaplavení dochádzať. Nielen zaplavenie oblasti ale aj konštrukčné práce, doprava a hluk počas výstavby majú negatívny vplyv na živočíchy.

OBYVATELSTVO

Veľké vodné elektrárne s priehradami si vyžadujú vybudovanie veľkých priehradných jazier. Z tohto dôvodu je často potrebné vysídliť mnoho ľudí z takejto oblasti. Toto však vedie k úplne novej situácii pre obyvateľov žijúcich v postihnutej oblasti. Bývanie, obrábanie pôdy a pracovné podmienky sa tak radikálne menia. Dôsledky závisia na veľkosti a konkrétnej lokalite výstavby vodného diela. Avšak v prípade veľkých vodných diel bývajú veľmi závažné. Aj z tohto dôvodu je dnes v mnohých vyspelých

krajinách zakázané budovať vodné elektrárne na najväčších riekach. Nespokojnosť vzrastá hlavne vtedy, keď sú obyvatelia nútení presídlieť sa na územia s horšími podmienkami ako boli pôvodné. V rozvojových krajinách je pre domorodých obyvateľov situácia zvyčajne ešte horšia a len ťažko sa s presídlením zmierujú. Presídlenie domorodého obyvateľstva často znamená zánik ich kultúrneho systému. Dopad na tieto skupiny obyvateľstva býva najväčší, nakoľko títo ľudia majú len malý politický vplyv a slabé možnosti obhajovania svojich záujmov. Zaplavením veľkých území dochádza často aj k zničeniu kultúrnych pamiatok a objektov významných pre miestnych obyvateľov čo má za následok aj stratu ich kultúrnej identity.

Veľké vodné nádrže tiež môžu zvýšiť riziko vodou prenášaných chorôb. Vzniknuté jazero so stojacou vodou a malými zmenami vodnej hladiny môže totiž vytvoriť lepšie životné podmienky pre patogénne organizmy a pre ich hostiteľov. Chorobami vyvolávanými priamo patogénnymi organizmami sú v tropických oblastiach týfus, cholera, dyzentéria a niektoré červové ochorenia. Ďalšie choroby ako napr. malária, spavá nemoc alebo žltá zimnica sú prenášané organizmami infikovanými patogénnymi organizmami z vodných nádrží.

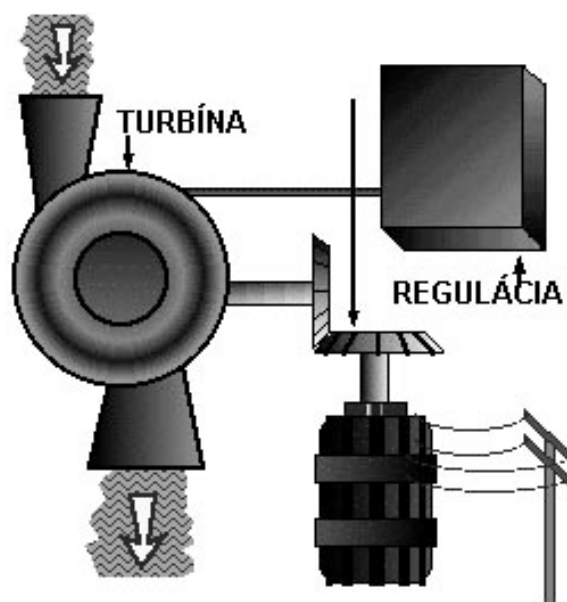
Iným rizikom pre obyvateľstvo, vyplývajúcim z prítomnosti vodnej elektrárne, je pretrhnutie priehrady a zaplavenie veľkých území v dolnej časti toku rieky. Hoci k pretrhnutiu priehrady dochádza zriedkavo, následky môžu byť obrovské. K takejto situácii môže dôjsť v dôsledku kombinácie záplav a stavebných nedostatkov priehrady alebo tiež aj v dôsledku zemetrasenia.

Veľké vodné elektrárne svojou konštrukciou vyžadujú zvyčajne okrem veľkého množstva vody aj obrovskú infraštruktúru ako sú cesty (počas výstavby) alebo vysokonapäťové rozvody. Takéto elektrárne dodávajú elektrinu veľkému počtu odberateľov a sú vlastnené veľkými elektrárenskými spoločnosťami. Z inžinierskeho hľadiska si vyžadujú značné nároky a riziká s nimi spojené sú veľké. Popri nevýhodách spojených s veľkými vodnými elektrárnami sa často uvádzajú aj niektoré pozitívne dopady ako sú obmedzenie záplav v danej oblasti alebo možnosti rekreácie v okolí novovytvorených priehradných jazier.

TECHNOLÓGIA

Vo vodných elektrárnach sa kinetická energia vody dopadajúcej na turbínu mení na elektrickú energiu v generátore prúdu. Turbína aj generátor bývajú zvyčajne umiestnené v blízkosti priehrady (veľké vodné elektrárne) alebo využívajú privádzač vody prenášajúci tlak vody na turbínu. Výkon vodnej elektrárne, ktorý sa bežne pohybuje od niekoľkých wattov do niekoľko sto MW, je funkciou dvoch veličín: prietoku vody najčastejšie vyjadrovanom v metroch kubických za sekundu (m^3/s) a výškou spádu vody. Konštrukcia vodnej elektrárne a použitá turbína sa navrhujú s ohľadom na tieto veličiny.

Z hľadiska konverznnej účinnosti sú vodné elektrárne vysoko efektívnymi zariadeniami. Účinnosť turbíny je na úrovni 96 %. Takáto hodnota je až dvojnásobne vyššia ako účinnosť moderných elektrární na fosílna palivá. Súvisí to s tým, že kinetickú energiu padajúcej vody je možné oveľa jednoduchšie premeniť na mechanickú energiu poháňajúcu generátor ako kalorickú energiu vznikajúcu pri horení pevného paliva, pri ktorom dochádza k značným stratám energie (tepla). Zariadenia využívajúce vodnú energiu sú na vysokej technickej úrovni, bývajú jednoduché a veľmi



Výroba elektriny vodnou elektrárnou.

spoľahlivé. Keďže pri ich prevádzke nedochádza k spaľovaniu a uvoľňovaniu veľkého množstva tepla zariadenia majú dlhú životnosť a ich poruchovosť býva zriedkavá. Doba životnosti presahuje viac ako 50 rokov a často sú v prevádzke takmer 100 rokov (malá vodná elektrárň v Jasení na Slovensku pracuje spoľahlivo už od roku 1924).

TYPY VODNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Rozdelenie vodných elektrární na malé a veľké je vo svete zaužívané, pričom sa akceptuje, že elektrárne s výkonom viac ako 10 MW sa označujú ako veľké a ostatné sú malé. Aj medzi malými vodnými elektrárnami však existuje isté delenie, pričom elektrárne (turbíny) s výkonom menším ako 1 kW sa označujú ako mikro resp. nano.

Z hľadiska svojej činnosti je vodné elektrárne možné rozdeliť na dva základné typy: konvenčné a prečerpávacie. Iné rozdelenie súvisí napr. s typom turbíny (Kaplanova, Peltonova, Francisova a i.) alebo s výškou spádu (nízky, stredný a vysoký spád).

Konvenčné (bežné) vodné elektrárne využívajú na svoju prevádzku energiu vody z rieky, prírodného kanála, alebo nádrže. Tieto elektrárne sa delia na elektrárne so záchytnou nádržou vody a elektrárne, ktoré využívajú len časť vody z rieky privádzanú k nej osobitným kanálom. Voda môže byť k turbíne privádzaná buď v čase potreby výroby elektriny alebo priebežne.



Klasické elektrárne sú buď prietokové alebo s priehradnou nádržou.

Prečerpávacie vodné elektrárne sú dôležitou súčasťou elektrizačnej sústavy. Pracujú na veľmi jednoduchom princípe využívajúc dve navzájom prepojené vodné nádrže (vyššie a nižšie položené). Voda skladovaná vo vyššie položenej nádrži je zásobárňou potenciálnej energie. Počas obdobia s vysokou spotrebou elektrickej energie sa voda z vyššej nádrže vypúšťa kanálom do spodnej nádrže, pričom prechádza cez turbínu elektrárne (výroba elektriny). V čase, keď spotreba elektriny v sieti je nízka, prečerpáva sa voda zo spodnej do hornej nádrže, pričom sa energia spotrebováva. Toto prebieha zvyčajne v noci. Hoci prečerpávacie vodné elektrárne viac elektriny spotrebujú ako jej vyrobia, sú pre elektrárenské spoločnosti neoceniteľné vzhľadom na schopnosť výroby elektriny prakticky okamžite v čase kedy si to záťaž elektrickej siete vyžaduje. Súvisí to s tým, že v elektrárnach pracujúcich v základnom zaťažení (napr. jadrové elektrárne) nie je možné okamžité zvyšovanie alebo znižovanie výkonu podľa potreby. Navyše tzv. špičková elektrina (vyrábaná v čase maximálnej spotreby) je oveľa drahšia ako elektrina vyrábaná v základnom zaťažení.

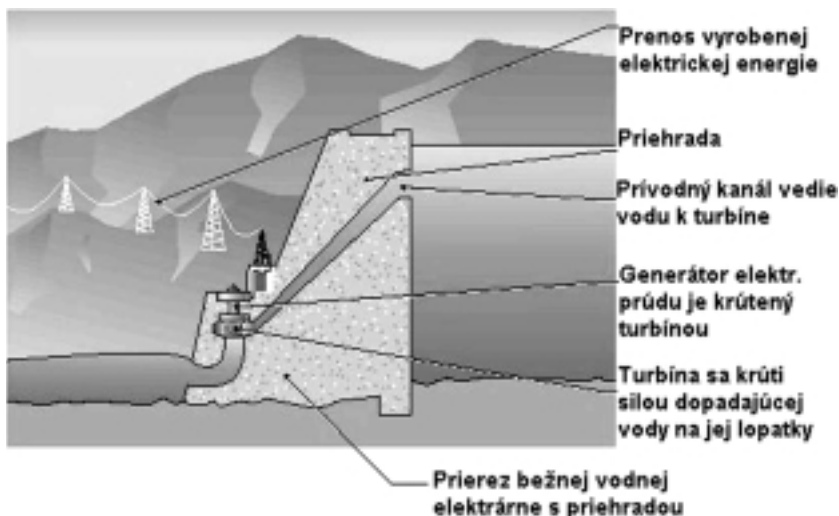


Princíp činnosti prečerpávacej vodnej elektrárne.

ZÁKLADNÉ ČASTI VODNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Väčšina konvenčných vodných elektrární pozostáva z nasledujúcich častí:

- Priehrada, ktorá reguluje prítok a vytvára potrebný spád vody. Priehradné jazero je formou uskladnenej energie. Niektoré vodné elektrárne využívajú namiesto priehrady privádzací kanál, ktorý odvádza vodu z vodného toku k turbíne.
- Turbína, ktorá sa otáča v dôsledku tlaku vody dopadajúcej na jej lopatky.
- Generátor, ktorý je pripojený k turbíne a vyrába elektrickú energiu.
- Transformátor, ktorý mení elektrickú energiu vyrobenú generátorom na napätie využiteľné v elektrickej sieti.



TYPY TURBÍN

Najstarším typom vodnej turbíny je "vodné kolo", ktoré je poháňané prirodzeným spádom vody. Takéto vodné kolesá sa v minulosti stavali z dreva a po obvode mali viacero lopatiek zachytávajúcich vodu, čím sa koleso udržovalo v stálom pohybe. Tieto vodné zdroje energie sa využívali po stáročia na mechanický pohon zariadení. Nie sú však vhodné na výrobu elektrickej energie. Na jej výrobu sa využívajú turbíny vyrobené z kovu a na rozdiel od vodných kôl sa otáčajú veľkými rýchlosťami. Takéto turbíny sa objavili koncom 19. storočia. Viac ako storočný vývoj viedol v súčasnosti k širokej ponuke viacerých typov, ktoré sa svojou konštrukciou líšia v závislosti od spôsobu využitia, prietoku vody alebo usporiadania technického zariadenia.

Podľa spôsobu využitia sa turbíny delia na:

- rovnotlaké (Bankiho, Peltonova),
- pretlakové (Kaplanova, Francisova).

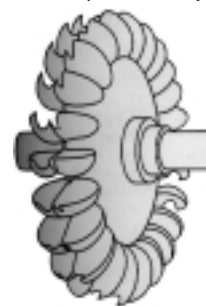
Toto delenie vychádza z toho či sa využíva kinetická energia prúdenia vody (rovnotlaké turbíny) alebo tlaková energia (pretlakové). Kinetická energia je v tokoch predstavovaná rýchlosťou prúdenia. Táto rýchlosť je závislá na spáde toku. Na jej využitie sa používajú hlavne turbíny typu Bankiho a Peltona. Sú to zariadenia založené na rotačnom princípe. Optimálne využitie kinetickej energie však vyžaduje, aby obvodová rýchlosť turbíny v mieste styku s vodou bola asi polovičná ako je rýchlosť prúdenia vody. Keby obvodová rýchlosť bola rovnaká ako rýchlosť prúdenia, lopatky by vlastne ustupovali bez možnosti prevziať vodnú energiu a nebolo by vlastne možné turbínu zaťažiť. Z uvedeného vyplýva, že otáčanie týchto turbín je relatívne pomalé. V technickom názvosloví sa tento jav označuje ako nízka rýchlobežnosť, ktorá v podstate vyžaduje väčšie rozmery turbíny. Rovnotlaké turbíny sú tie, kde tlak vody na lopatky spôsobený polovičnou obvodovou rýchlosťou ako je rýchlosť prúdenia, je po celej ceste odovzdávania energie stále rovnaký. Ďalším znakom týchto turbín je čiastočný ostrek. Voda vstupuje do turbíny len čiastočne po obvode.

Tlaková energia vody sa využíva pretlakovými turbínami ako sú napr. Kaplanova alebo Francisova. V týchto zariadeniach sa časť tlaku vody premení na rýchlosť, ktorá je nutná na zabezpečenie požadovaného prietoku vody. Zvyšok tlaku sa postupne znižuje pri prúdení po lopatke a v mieste, kde voda lopatku opúšťa je tlak prakticky celý využitý. V miestach kde voda opúšťa turbínu je tlak dokonca nižší ako atmosférický. Tento podtlak spôsobuje kavitáčné javy, čo má za následok opotrebovávanie

materiálu a tým aj znižovanie životnosti turbíny. Z tohto dôvodu sa používa nerezový materiál a zavádza sa aj protitlak. Turbína sa potom umiestňuje nižšie ako je spodná hladina vody. Spoločnou vlastnosťou pretlakových turbín je, že obvodová rýchlosť obežného kola a tým aj otáčky sú niekoľkonásobne vyššie ako rýchlosť prúdenia vody. Tieto turbíny sa tiež označujú ako rýchlobežné. Majú teda menšie rozmery a vynaložený materiál je lepšie využitý. Pretlakové turbíny majú úplný ostrek, pričom voda vstupuje po celom obvode turbíny.

BANKIHO TURBÍNA

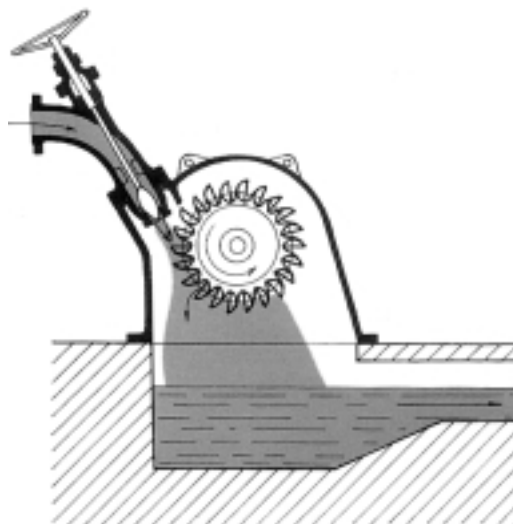
Hoci konštrukciu turbíny, ktorá sa dnes označuje ako Banki ako prvý navrhol a patentoval v roku 1903 inžinier Michell, dostala názov po maďarskom profesorovi Donatovi Bankim, ktorý ju vyvinul nezávisle na Michellovi na univerzite v Budapešti. Okolo roku 1920 bol tento typ turbíny rozšírený po celej Európe. Hlavnou črtou tejto turbíny je, že voda dopadá na lopatky dvakrát pri vstupe aj pri výstupe. Takéto využitie však nemá žiadny zvláštny význam s výnimkou toho, že voda je veľmi účinne a jednoducho vypúšťaná z turbíny. Bankiho turbíny sa uplatňujú už pri spádoch vody nižších ako 2 metre alebo dosahujúcich výšku až 100 metrov. Môžu využívať veľkú rôznorodosť prietokov, a to pri konštantnom priemere turbíny tým, že sa mení veľkosť vstupu vody a šírka obežného kola (rotora). Pomer šírky a priemeru rotora sa pohybuje od 0,2 do 4,5. Dôležitou črtou Bankiho turbíny je, že účinnosťná krivka je relatívne plochá, čo znamená, že aj pri zníženom prietoku je účinnosť ešte stále relatívne vysoká. Toto je niekedy dôležitejšie ako vyššia účinnosť iných turbín v optimálnom bode účinnostnej krivky. Vzhľadom na nízku cenu a jednoduchú obsluhu sa tieto turbíny veľmi dobre uplatňujú v malých vodných elektrárňach.



Peltonova turbína.

PELTONOVA TURBÍNA

V konštrukcii Peltonovej turbíny je zabudovaný princíp starého vodného kola. Táto turbína, ktorá vzhľadom pripomína klasické vodné kolesá sa používa v prípadoch kedy je k dispozícii veľký spád vody (viac ako 40 m). Používa sa do spádov s výškou až 2000 m. Maximálny výkon Peltonových turbín sa dnes pohybuje okolo 200 MW.



Principiálna schéma zapojenia Peltonovej turbíny.

Prvú turbínu tohto typu skonštruoval Američan Pelton v roku 1880, po ktorom dostala aj svoj názov. Najväčšie Peltonove turbíny majú priemer aj viac ako 5 metrov a vážia viac ako 40 ton. Turbína sa umiestňuje nad hladinu výpuste vody, čím dochádza k strate spádu, avšak zabraňuje to zaplaveniu turbíny. Z hľadiska konštrukcie existuje viacero modifikácií týchto turbín prispôbených pre daný prietok a spád vody.

FRANCISOVA TURBÍNA

Francisova turbína sa veľmi často využíva v malých vodných elektrárňach. Podstatným rozdielom v porovnaní s Peltonovou turbínou je, že Francisova turbína je úplne ponorená vo vode a tak tlak ako aj rýchlosť prietoku klesajú od vstupu k výstupu vody z turbíny. Voda sa vypúšťa otvorom v strede turbíny. Svojou stavbou je Francisova turbína zložitejšia ako Peltonova a vyžaduje si špecifickú konštrukciu pre danú výšku spádu a prietok, tak aby sa dosiahla maximálna účinnosť. Bežne sa tento

typ turbíny používa pre spády od 30 do 700 metrov, pričom najväčšia Francisova turbína má výkon až 800 MW.

KAPLANOVA TURBÍNA

Pre veľmi nízky spád a vysoký prietok vody sa bežne používa turbína typu Kaplan. Touto turbínou voda

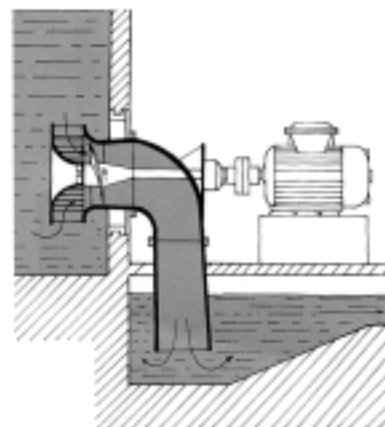
preteká tak, že zasahuje maximálnu plochu lopatiek. Preto sa tieto turbíny používajú pre veľmi veľké prietoky a spády pre niekoľko málo metrov. Zaujímavou črtou je, že rýchlosť otáčania lopatiek je až dvakrát vyššia ako rýchlosť prúdiacej vody. Toto umožňuje rýchle otáčky aj pri relatívne nízkej rýchlosti prietoku. Aj Kaplanove turbíny sa vyznačujú rôznymi konštrukciami. Ich použitie sa však obmedzuje na spády vody od 1 m do asi 30 m. Pri týchto podmienkach sa vyžadujú relatívne vysoké prietoky v porovnaní s turbínami využívajúcimi vysoké spády, aby bolo možné dosiahnuť porovnateľný výkon. Preto sú Kaplanove turbíny svojou konštrukciou relatívne veľké.



Kaplanova turbína.

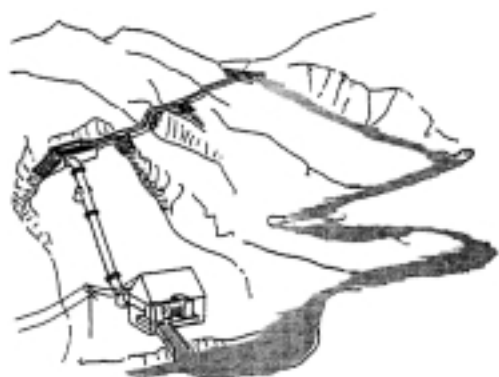
MALÉ VODNÉ ELEKTRÁRNE

Malé vodné elektrárne (MVE) sú charakteristické tým, že ich výstavba a prevádzka zvyčajne nie je spojená s negatívnymi dopadmi na životné prostredie. Podobne ako veľké vodné elektrárne aj MVE sa vyznačujú vysokou účinnosťou využitia vodnej energie. Navyše majú výhodu v tom, že sú tzv. decentralizovaným zdrojom energie. Tým že ich je možné inštalovať v odľahlých oblastiach, poskytujú možnosti rozvoja a často aj energetickej sebestačnosti hlavne na vidieku. Vo svete pracuje mnoho tisíc takýchto zariadení, ktoré majú za sebou viac ako 150-ročný vývoj. V prepočte na jednotku výkonu sú MVE však v porovnaní s veľkými o niečo drahšie. Vo veľkej väčšine prípadov sú malé elektrárne pripojené na verejnú elektrickú sieť, do ktorej dodávajú energiu. Mnohé z nich sú tzv. prietokové t.j. nemajú žiaden rezervoár (voda nie je skladovaná za priehradou) a vyrábajú elektrickú energiu len vtedy keď je vody dostatok.

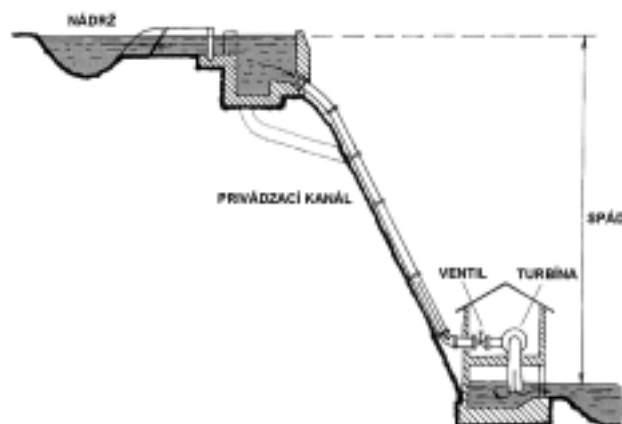


Principiálna schéma zapojenia Kaplanovej turbíny.

Energiu však malé vodné elektrárne môžu dodávať aj do systému izolovaného od elektrickej siete. V takomto prípade využívanom väčšinou v samostatných objektoch, sa elektrina často používa na dobíjanie batérií, z ktorých sa čerpá v prípade potreby. V prípade dostatku energie vyrobenej malou vodnou elektrárnou je možné použiť aj zariadenie (menič) na zmenu jednosmerného prúdu vyrábaného MVE na striedavý, ktorý využíva väčšina bežných elektrospotrebičov. MVE sa vyznačujú veľkou rôznorodosťou v konštrukcii, ktorá zohľadňuje miestne podmienky ako sú spád a prietok vody. MVE s vysokým spádom sú bežné v horských oblastiach a keďže na dosiahnutie daného výkonu potrebujú menšie prietoky vody ako MVE s malým spádom, sú zvyčajne aj lacnejšie. MVE s nízkymi spádmi vody sa budujú v údoliach.

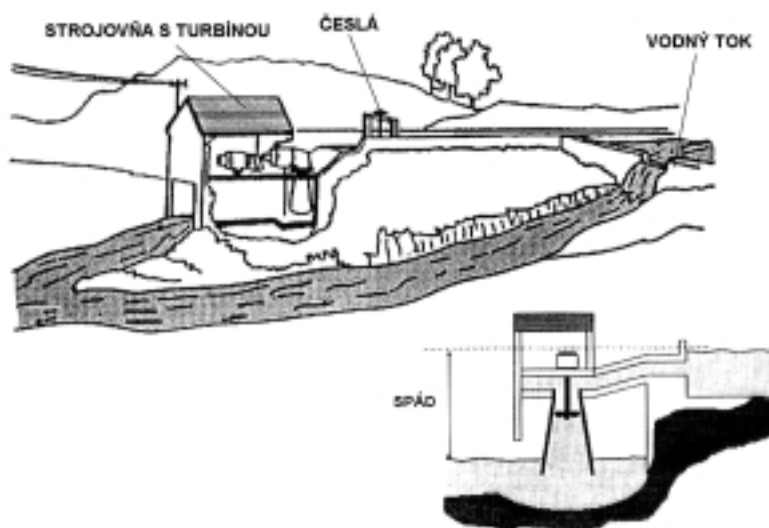


Umiestnenie malej vodnej elektrárne s vysokým spádom vody.



Malá vodná elektráreň s vysokým spádom.

Väčšina MVE si vyžaduje prírodný kanál alebo potrubie odvádzajúce vodu z vodného toku. Aby nedošlo k zaneseniu alebo poškodeniu turbíny, voda zvyčajne prechádza cez filter alebo sa používajú usadzovacie nádrže. Prívod vody sa umiestňuje mimo hlavného toku (riecka, potok), aby v prípade vysokého stavu vody nedošlo k vysokému tlaku na turbínu. Keďže riziká spojené s prevádzkou MVE sú omnoho nižšie ako v prípade veľkej vodnej elektrárne (pretrhnutie priehrady), nie sú potrebné ani vysoké bezpečnostné opatrenia pri stavbe, ktorú je možné zvládnuť s miestnymi obyvateľmi a pri použití jednoduchých technológií. Hoci potreby údržby sú nízke, MVE si zvyčajne vyžadujú viac pozornosti ako napr. slnečné články alebo veterné elektrárne. Súvisí to hlavne s odstraňovaním nečistôt a pravidelnou údržbou alebo výmenou ložísk turbíny.



Malá vodná elektráreň využívajúca nízky spád vody.

CENY

Všetky vodné elektrárne sú charakterizované vysokými investičnými a nízkymi prevádzkovými nákladmi. MVE stavané pre nízke spády a výkony sú zvyčajne na jednotku výkonu drahšie ako MVE využívajúce vysoké spády vody. Vstupné ceny sú najväčšou bariérou ich rozvoja. Napriek tomu, že doba návratnosti vložených investícií je dlhá (často 7-10 rokov) majú MVE veľkú výhodu v porovnaní s inými technológiami využívajúcimi obnoviteľné zdroje energie - dlhú životnosť. Tieto zariadenia sú schopné vyrábať elektrickú energiu viac ako 70 rokov, čím sa stávajú veľmi výhodnými pre potenciálnych investorov. Navyše cena elektriny (príjem z prevádzky MVE) bude v budúcnosti len vyššia, čo znamená že vložené investície sa mnohonásobne vrátia.

MIKRO TURBÍNY

Ako mikro turbíny sa často označujú zariadenia s výkonom menším ako 1000 W. Takéto turbíny sú schopné zabezpečiť energiu pre jednu domácnosť vybavenú energeticky úspornými spotrebičmi. Mikro turbíny sa umiestňujú v miestach, kde je buď nízky spád alebo prietok vody (resp. oboje). Často sa využívajú v spojení so sadou batérií, ktoré sú turbínou dobíjané. Mikro turbíny sa v zahraničí predávajú za asi 1,5 USD/W a majú veľkosť prenosného kufríka vybaveného alternátorom produkujúcim jednosmerný prúd. Typická mikro vodná elektráreň využíva časť vodného toku privádzanú do zásobníka vody, ktorým môže byť napr. 200 litrový sud. Sud funguje ako usadzovacia nádrž filtrujúca vodné nečistoty. Voda zo suda je k turbíne privádzaná potrubím (PVC) s priemerom 5 až 10 cm a po vypustení z turbíny býva odvádzaná späť do vodného toku. Mikro turbíny sa dodávajú v dvoch prevedeniach. Jedno využíva alternátor podobný zariadeniu v automobiloch, druhé využíva permanentný magnet. Zariadenia s alternátorom sú vhodné pre väčšie systémy (100 až 1000 W), kým permanentné magnety sa používajú pre systémy menšie ako 80 W.



Väčšie systémy majú tiež elektronickú reguláciu (shunt), ktorá zabraňuje "pretočeniu" turbíny pri

väčších otáčkach a chráni ju pred poškodením (opotrebovaním jej častí). Turbíny pripojené na batérie sú vhodným riešením, pretože batérie sú dobíjané prakticky okamžite po odbere energie z nich. Z tohto dôvodu nie je potrebné používať tzv. solárne batérie s hlbokým cyklom vybíjania, ale je možné použiť klasické automobilové batérie, ktoré sú lacnejšie. Zvyčajne investície do kvalitného potrubia a turbíny sú efektívnejšie ako investície do kvalitných batérií. V systémoch s mikro turbínami je potrebné dbať na presnú špecifikáciu dĺžky a priemeru potrubia, v ktorom dochádza k stratám energie. Použitie dlhých potrubí s malým priemerom často v dôsledku zvýšeného trenia zbytočne znižuje výrobu elektriny.

ZHODNOTENIE POTENCIÁLU VODNEJ ENERGIE

Mnoho ľudí má možnosť využiť silu vodného toku (aj relatívne malého) avšak má problémy odhadnúť množstvo energie, ktoré by tento zdroj mohol poskytnúť. Prvým krokom pri stanovení potenciálnej energie, využiteľnej v malej vodnej elektrárni je zistenie prietoku a spádu vody. Prietok vyjadruje množstvo vody pretekajúce vodným tokom alebo turbínou a meria sa v m^3/s alebo v litroch/s.



Veľký počet mikroturbín je inštalovaný aj v rozvojových krajinách .

Spád vyjadruje tlak padajúcej vody a udáva sa v metroch vodného stĺpca. Tento tlak je funkciou vertikálnej vzdialenosti (výšky z ktorej voda padá) a charakteristiky potrubia cez ktoré je voda privádzaná k turbíne. Miesta, kde sa vodná energia využíva sú často kategorizované ako miesta s nízkym resp. vysokým spádom. Nízky spád znamená zvyčajne 3 metre a menej, pričom spády pod 0,6 m sú pre veľkú väčšinu vodných turbín nepoužiteľné. Pre turbíny využívajúce nízky spád sú potrebné vysoké prietoky, a teda väčšie a drahšie turbíny.

URČENIE SPÁDU

Pri určovaní spádu je potrebné si uvedomiť rozdiel medzi "hrubým" statickým a "čistým" dynamickým spádom. Hrubý spád je vertikálna vzdialenosť medzi vrcholom potrubia alebo kanála odvádzajúceho vodu z toku a bodom, v ktorom sa voda z turbíny vypúšťa. Čistý spád je rozdiel hrubého spádu zmenšený o straty v dôsledku turbulencií a trenia v potrubí (kanál). Tieto straty závisia na type, priemere a dĺžke privádzacieho potrubia, počte spojov a kolien. Hodnotu hrubého spádu je možné používať len ako približný odhad vo výpočtoch potenciálnej energie vyrobenej turbínou. Pre presný výpočet je potrebné poznať hodnotu čistého spádu.

Stanovenie hrubého spádu sa najpresnejšie vykoná pomocou profesionálnych zariadení. V prípade, keď je k dispozícii spád viac ako niekoľko desiatok metrov, je možné použiť aj lacnejšie, jednoduchšie a teda aj menej presné metódy napr. pomocou zariadenia nazývaného altimeter (používaný v letectve). Takéto zariadenie je niekedy možné požičať v leteckých kluboch. Altimeter je však potrebné kalibrovať a zohľadniť tak rozdiely v atmosférickom tlaku.

Inou jednoduchou metódou je stanovenie spádu napr. pomocou záhradnej hadice (6-10 m dlhej). Táto metóda spočíva v tom, že dvaja ľudia postupujú v smere toku od miesta umiestnenia turbíny (najnižší bod) do miesta odberu vody (najvyšší bod) tak, že jeden človek držiaci hadicu na vyššom konci ju ponorí do vody a druhý človek držiaci spodný koniec ju postupne vydvihuje do výšky a sleduje dokedy voda z hadice vyteká. Pri istej výške voda prestane z hadice tiecť. Táto výška sa zaznačí a obaja postúpia vyššie v smere toku a celý postup opakujú až do najvyššieho bodu odberu vody. Nakoniec sa všetky parciálne namerané výšky sčítajú a dajú celkovú výšku spádu.

URČENIE PRIETOKU

Prietok vody vo vodnom toku je na rozdiel od spádu veličina premenlivá a závisí od viacerých parametrov. Prietok sa mení často zo dňa na deň a sezónne variácie sú typické prakticky pre všetky toky. Zásobník vody (rezervoár), pokiaľ je možné ho vybudovať, však môže tieto zmeny vylúčiť a poskytnúť konštantný prietok v priebehu celého roka. Výstavba takéhoto zásobníka býva spravidla drahá a predstavuje niekedy viac ako polovicu investičných nákladov malej vodnej elektrárne.

Údaje o prietoku vody je možné získať na povodiach vodných tokoch, vodárňach a kanalizáciách resp. miestnych úradoch. V prípade, kedy nie je možné tieto údaje získať, je ich potrebné stanoviť meraním. Pre samotný výpočet energie vyrobenej vodnou elektrárnou je pri absencii zásobníka potrebné vychádzať z minimálneho prietoku v priebehu roka. Je možné použiť aj hodnotu priemerného prietoku v priebehu roka avšak je si treba uvedomiť, že v niektorom období roka bude výroba energie nižšia.

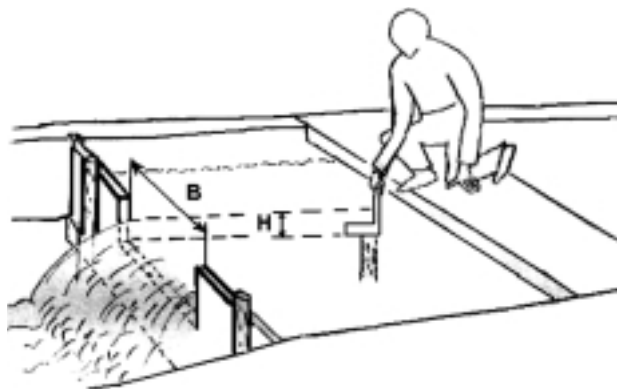
Meranie prietoku vody je zvyčajne zložitejšie ako meranie spádu a musí byť vykonané na viacerých miestach pozdĺž toku. Toto má mimoriadny význam, nakoľko vodný tok nabera vodu pozdĺž smeru toku. Výber meracieho miesta je preto veľmi dôležitý. Existuje niekoľko metód merania prietoku. Veľmi jednoduché spôsoby sú založené na meraní hadicou a vedrom (prehradením malého toku) resp. meraním rýchlosti toku. Iný spôsob je založený na meraní vzdutia hladiny za prepadovou hranou.

Meranie založené na prehradení toku a odvedení vody do meracej nádoby je možné použiť pre veľmi malé toky (prietok 5 litrov/sek.) a spočíva v prehradení toku brvnami a odvedení vody do vedra alebo suda. Meria sa čas, za ktorý sa vedro (sud) so známym objemom naplní. Meranie sa opakuje viackrát, aby bolo možné vylúčiť nepresnosti spojené s týmto postupom.

Iný spôsob je založený na meraní rýchlosti prúdenia a prierezu (plochy) vodného toku. Násobením rýchlosti (meranej v m/s) a plochy (meranej v m²) získame prietok v m³/s. Rýchlosť prúdenia je možné stanoviť napr. malým plavákom, pričom sa meria čas, za ktorý plavák prekoná presne zmeranú dĺžku toku. Meranie prierezu vodného toku je zložité pre členité toky. Je však možné určiť prierez v najjednoduchšom mieste pomocou zmerania šírky toku a jeho hĺbky. V prípade, keď nemáme k dispozícii tok s obdĺžnikovým prierezom, je potrebné rozdeliť prierez na časti a určiť plochu týchto častí násobením šírky a hĺbky. Celkový prietok je sumou jednotlivých častí. Hodnotu prietoku je však potrebné vynásobiť koeficientom trenia v dôsledku nerovností dna toku. Tento koeficient je 0,8 pre pieskovité dno, 0,7 pre dno s malými kameňmi a 0,6 pre dno s veľkým počtom veľkých kameňov.

Meranie prietoku pomocou vzdutia hladiny vody za prepadovou hranou je zrejmé z obrázku. Medzi vzdutím hladiny (H) za prepadovou hranou a prietokom (Q) existuje závislosť, vyjadrená nasledujúcou tabuľkou. Hodnoty prietoku uvedené v tabuľke platia pre prepadovú hranu B=1 meter.

H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)
0,02	5	0,28	265	0,68	1005
0,04	14	0,32	324	0,72	1095
0,06	26	0,36	387	0,76	1188
0,08	40	0,40	453	0,80	1283
0,10	56	0,44	523	0,90	1530
0,12	74	0,48	596	1,00	1793
0,14	93	0,52	672	1,10	2069
0,17	125	0,56	751	1,20	2360
0,20	160	0,60	833	1,30	2660
0,24	210	0,64	918	1,40	2970



Meranie prietoku vody.

STANOVENIE VÝKONU

Pri známom prietoku a spáde vody je možné stanoviť hodnotu výkonu malej vodnej elektrárne nasledovne :

$$\text{Výkon (kW)} = \text{spád (m)} * \text{prietok (m}^3/\text{s)} * \text{grav. konšt. (9,81)} * \text{účinnosť (0,6)}$$

Spád je braný ako čistý spád. Účinnosť 0,6 (60%) zohľadňuje straty v dôsledku trenia prúdiacej vody a účinnosť strojného zariadenia. Pre malé výkony a prietoky merané v litroch za sekundu je tiež možné použiť nasledujúci zjednodušený výpočet:

$$\text{Výkon (kW)} = \text{spád (m)} * \text{prietok (liter/s)/200}$$

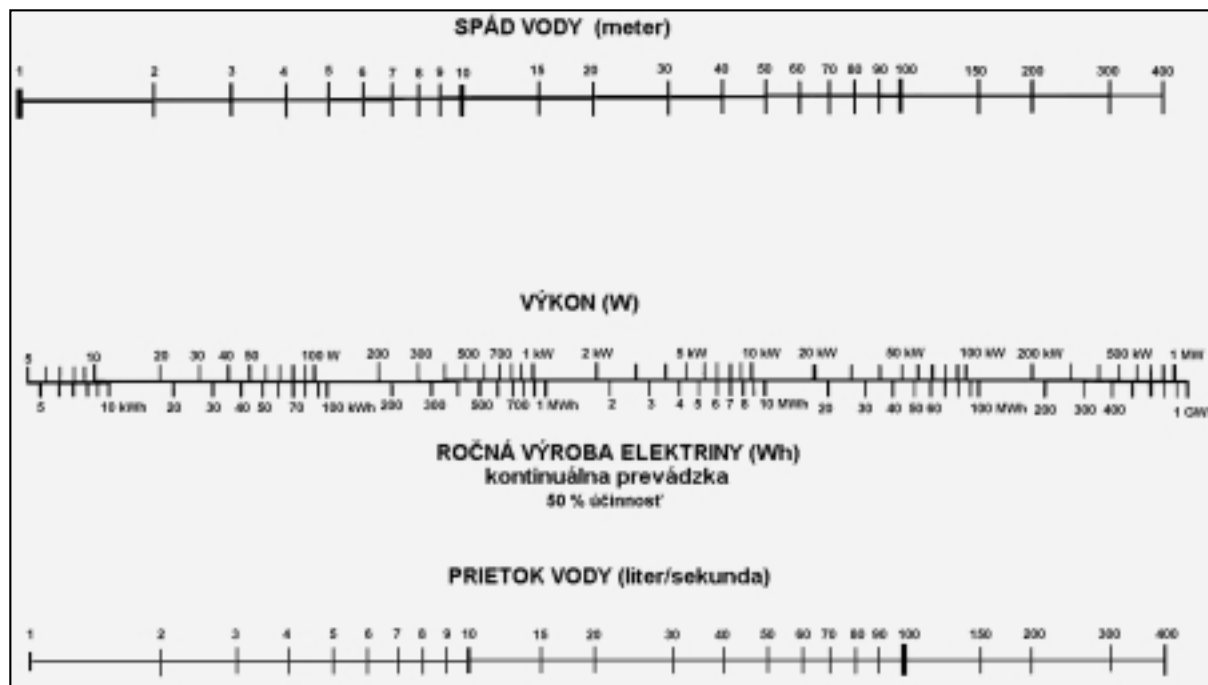
Celková účinnosť je v tomto prípade 50 %.

Účinnosti, ktoré boli v predchádzajúcich výpočtoch kompromisne zvolené v rozsahu 50-60 % závisia tiež na prevádzkových podmienkach (veľkosti spádu a prietoku). Vo všeobecnosti platí, že zariadenia pracujúce s nízkymi prietokmi a spádmi majú aj nižšie účinnosti ako turbíny využívajúce vyššie spády a prietoky. Celková účinnosť sa v skutočnosti môže pohybovať od 40% do 70%. Niektoré veľmi dobre navrhnuté systémy majú účinnosti až 75%.

Ročnú výrobu elektrickej energie (E) je možné vypočítať na základe nasledujúceho vzťahu:

$$E \text{ (kWh)} = \text{výkon (kW)} * \text{čas (hod.)}$$

Z uvedených vzťahov je možné veľmi jednoducho spočítať, že vodná elektrárňa využívajúca prietok 1 liter vody za sekundu je schopná za rok vyrobiť viac ako 40 kWh pre každý jeden meter spádu.



Graf výpočtu výkonu vodnej turbíny a ročnej výroby elektriny. Hľadané hodnoty ležia na priesečníku spojnice bodov na hornej (spád) a spodnej (prietok) mierke.

ENERGIA OCEÁNOV

Oceány sú už dlhšiu dobu považované za veľmi perspektívny zdroj energie. Pohyb vody v oceánoch so sebou nesie obrovskú energiu vo forme prílivu (odlivu) alebo vln. Obidve tieto formy energie je možné využiť na výrobu elektrickej energie.

PRÍLIVOVÉ ELEKTRÁRNE

Energia prílivu sa líši od ostatných zdrojov energie tým, že má svoj pôvod v potenciálnej a kinetickej energii vychádzajúcej z pôsobenia Mesiaca na Zem. Príliv je dôsledkom tohto pôsobenia a prejavuje sa na všetkých pobrežiach oceánov a morí. Hladina vody sa pravidelne dvakrát denne mení (stúpa a klesá) čo viedlo k snahám využiť túto energiu. Všetky tieto snahy sú založené na naplňovaní a vyprázdňovaní

prírodného rezervoáru vodou. Prílivová a odlivová voda tak môže prechádzať cez turbínu umiestnenú v priehrade a vyrábať elektrickú energiu. Platí, že čím vyšší je príliv, tým viac elektrickej energie je možné vyrobiť.

Celosvetový potenciál ukrytý v energii prílivu sa odhaduje asi na 3000 GW (3000 väčších atómových elektrární). Niektorí experti odhadujú, že z tohto potenciálu by bolo možné technicky využiť asi 2 %, čo je 50 krát menej ako je výkon všetkých vodných elektrární. V súčasnosti je ekonomicky možné využívať príliv na miestach, kde dosahuje výšku aspoň 5 metrov. Taký príliv sa vyskytuje na mnohých miestach sveta, hlavne v oblastiach kde sa nachádzajú zálivy, ktoré dokážu príliv ešte zosilniť. Zálivy je možné jednoducho prehradiť a doplniť priehradu vodnou turbínou.

Technológia využívajúca energiu prílivu je veľmi podobná vodným elektrárňam využívajúcim nízky spád vody. Hlavným rozdielom prílivových elektrární v porovnaní s klasickými vodnými elektrárňami je, že okrem slanej vody, musia turbíny pracovať s premenlivou výškou spádu. Navyše elektrina sa v nich počas dňa vyrába len niekoľko hodín. V konečnom dôsledku to znamená zníženie celkovej účinnosti. Prílivové elektrárne tak vyrábajú len asi tretinu elektriny ako výkonovo porovnateľné vodné elektrárne.

Záujem o budovanie prílivových elektrární pretrváva od konca 60.ých rokov. Zo začiatku bola snaha budovať takéto priehradné prílivové elektrárne v ústiach úzkych a dlhých zálivov. Z inžinierskeho hľadiska sa toto riešenie ukázalo ako realizovateľné avšak z ekologického hľadiska malo viaceré negatívne dopady. V súčasnosti pracujú 3 komerčné prílivové elektrárne na tomto princípe. Najväčšia z nich s výkonom 240 MW bola daná do prevádzky v roku 1967 v ústí rieky La Rance blízko St. Malo vo Francúzsku. Ďalšia 1MW-ová elektráreň sa nachádza v ruskej časti Bieleho mora a pracuje od roku 1969. Tretia 16 MW-ová elektráreň sa nachádza v kanadskej Nova Scotii. Ekologické problémy, ktoré sú spojené s prehradením vodných tokov a zálivov zabránili výstavbe ďalších elektrární priehradného typu. Hlavné problémy s prehradením zálivu spočívajú v tom, že takáto prekážka obmedzuje migráciu rýb, premávku lodí a navyše v zálive dochádza k zvýšenej sedimentácii. Toto má vplyv aj na iné živé organizmy v danej oblasti. Znížená hladina vody negatívne vplýva na život (hniezdenie) vtákov, čo sa prejavuje aj vo vzdialenejších oblastiach.

Prílivová elektráreň v La Rance pracuje tak, že v čase prílivu prepúšťa vodu do rezervoáru a v čase odlivu vypúšťa túto vodu späť do Atlantického oceánu. Voda pritom prechádza cez 24 turbín spojených s generátormi vyrábajúcimi dostatok elektriny pre asi 300 tisíc obyvateľov. Elektráreň má turbíny, ktoré môžu pracovať ako čerpadlá a využívať celú sústavu ako prečerpávaciu vodnú elektráreň a tak odľahčovať záťaž v elektrickej sieti. Voda sa v čase nízkej záťaže prečerpáva z oceánu do rezervoáru za priehradou a tak zvyšuje výšku hladiny využiteľnú pri výrobe elektriny. Výška prílivu je takto až 13,4 metra, pričom priehrada má šírku 760 metrov. V roku 1997 boli v tejto prílivovej elektrárni inštalované turbíny, ktoré využívajú na výrobu elektriny tak prílivovú ako aj odlivovú vodu.

POBREŽNÉ PRÚDY

Hoci technológia využívajúca energiu prílivu prehradením zálivu je v praxi overená od začiatku 90-tych rokov sa nebudujú a záujem inžinierov sa sústredil hlavne na využitie pobrežných prúdov na výrobu elektriny. Takéto prúdy vznikajú v pobrežných vodách v dôsledku síl pôsobiacich na morskom



Prílivová vodná elektráreň v ústí francúzskej rieky La Rance.

dne, ktoré tlačia prúdy v úzkych kanáloch podobne ako vzniká veľmi silný vietor v údoliach alebo na kopcoch. Keďže hustota vody je až 832 krát vyššia ako hustota vzduchu, prúdy s rýchlosťou napr. 16 km/h nesú so sebou energiu ako vietor s rýchlosťou až 390 km/h. Na rozdiel od silných vetrov je prílivové prúdy možné predpovedať, keďže príliv a odliv spôsobujúci prúdy, sa striedajú každých 12 hodín.

Pobrežné prílivové prúdy je možné využiť tzv. prílivovými turbínami. Tieto turbíny, ktoré majú tvar podobný veterným turbínam umiestneným pod vodou, sú však ešte málo rozvinuté. Prototypy pracujú spoľahlivo a ekonomicky v miestach, kde prúdy dosahujú rýchlosti 2-3 m/s. Nevýhodou je, že pri väčších rýchlostiach sú viac namáhané a pri nižších rýchlostiach je ich prevádzka neekonomická. Prílivová turbína s priemerom rotora 20 m dokáže vyrobiť toľko energie ako veterná turbína s priemerom 60 m. Výhodou prílivových turbín je, že ich nie je vidieť ani počuť a celé zariadenie okrem transformátora je umiestnené pod hladinou vody.

Na svete existuje viacero vhodných miest pre umiestnenie prílivových turbín a niektorí experti odhadujú potenciál tohto zdroja na viac ako 330 tisíc MW. Takéto miesta sa nachádzajú hlavne pri pobrežiach v juhovýchodnej Ázii. Ideálne miesto pre umiestnenie prílivovej turbíny je v hĺbke asi 30 m, pričom tieto turbíny sú schopné vyrábať 10 MW elektriny z každého kilometra štvorcového. V Európskej únii bolo identifikovaných 106 miest vhodných pre tieto turbíny - 42 z nich sa nachádza vo vodách v okolí Veľkej Británie. Prvá prílivová turbína má byť umiestnená pri juhozápadnom pobreží Anglicka. Má mať priemer rotora 12-15 m a inštalovaný výkon 300 kW, ktorý je dostatočný na zásobovanie malej obce elektrinou. Očakávaná cena vyrobenej elektriny sa pohybuje na úrovni 0,10 USD/kWh. Je to síce viac ako cena elektriny z konvenčných elektrární avšak podstatne menej ako platia dnes obyvatelia žijúci na mnohých malých ostrovoch, kde by bolo možné túto technológiu využiť.

ENERGIA VÍŤ

Veľká časť energie dopadajúcej na Zem zo Slnka sa mení na vietor, ktorý následne dáva silu morským vlnám. Energia unášaná morskými vlnami je obrovská a dosahuje asi 70 MW/km čela vlny. Takéto vlny prechádzajú veľkými vzdialenosťami bez toho, aby stratili na svojej sile. Vlny vytvorené búrkou uprostred Atlantického oceánu bežne putujú k pobrežiu Európy bez podstatnej straty svojej energie. Celá energia je sústredená blízko pri hladine vody a len málo energie je unášané v hĺbke väčšej ako 50 metrov. Z uvedeného vyplýva, že ide o veľmi koncentrovaný zdroj energie s oveľa menšími variáciami počas dňa ako je to v prípade iných obnoviteľných zdrojov (slnko, vietor).

Technológia využívajúca energiu vln je založená na ich zachytávaní do uzatvoreného priestoru a premieňaní ich kinetickej energie na elektrinu. Tieto elektrárne využívajú energiu oscilujúceho stĺpca vody, pričom vzniká tlak vzduchu, ktorý prechádza vzduchovou turbínou. Tlak vzduchu roztáča turbínu pripojenú na generátor elektrického prúdu.

Najväčší potenciál pre využitie energie vln v Európe sa nachádza v blízkosti Veľkej Británie a podľa niektorých odborných štúdií by cena vyrobenej elektriny nemala byť vyššia ako 0,10 USD/kWh, čo je úroveň pri ktorej sa zdroj stáva ekonomicky konkurencie schopný na trhu s elektrinou. Dopusiaľ najúčinnšie zariadenie nazvané "Salter Duck" dokonca vyrába elektrinu za cenu nižšiu ako 0,05 USD/kWh. Salter Duck bol prvým takýmto zariadením zostrojeným už v roku 1970 profesorom Stephenom Salterom na univerzite škótskom Edinburgu.

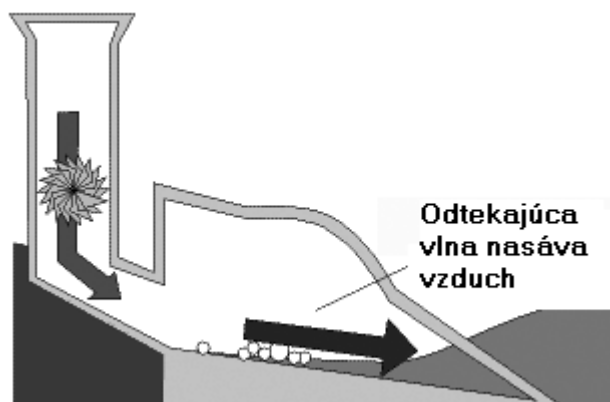
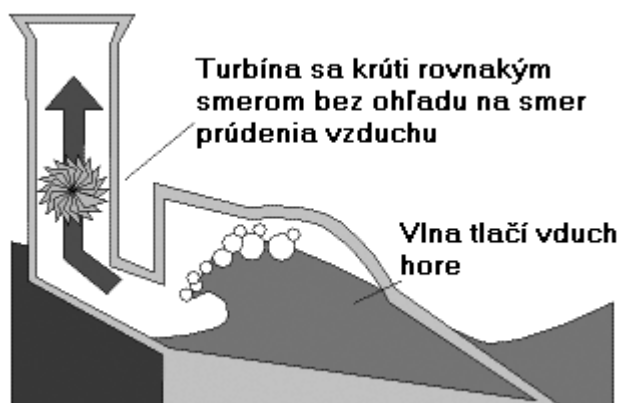


Zariadenie využívajúce energiu vln na výrobu elektrickej energie.

Zariadenia využívajúce oscilujúci stĺpec vody ako napr. Salter Duck sú veľmi perspektívne a boli testované aj v Japonsku a Nórsku. V Japonsku už niekoľko rokov úspešne pracuje zariadenie s názvom Mighty Whale, ktorého konštrukcia je dnes považovaná za najperspektívnejšiu. Jedno z prvých väčších zariadení s výkonom 180 kW bolo inštalované na britskom ostrove Islay a je pomocou podmorského kábla spojené s pevninou. Nevýhodou týchto zariadení však je ich citlivosť na morské búrky, ktoré ich veľmi často môžu vyradiť z prevádzky resp. zničiť. Takto bolo zničené prvé veľké zariadenie na využitie morských vln nedaleko Nórska. Zariadenie pri ostrove Islay sa v prípade silnejšej búrky ponára pod hladinu mora. Hoci vo svete bolo vyrobených viacero prototypov elektrární využívajúcich morské vlny ani jedna z nich nie je komerčne vyrábaná.

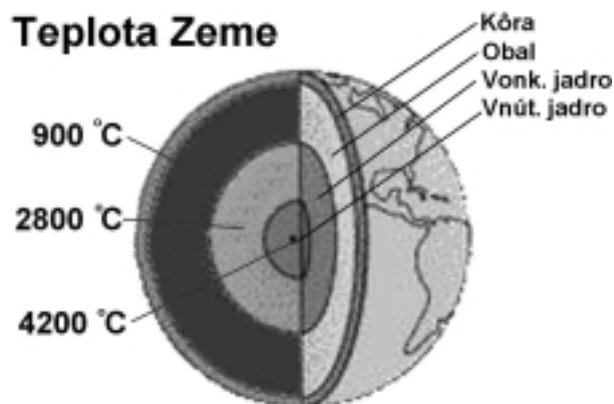


Mighty Whale vyrába elektrickú energiu z morských vln.



GEOTERMÁLNA ENERGIA

Geotermálna energia nie je v pravom slova zmysle obnoviteľným zdrojom energie, nakoľko má pôvod v horúcom jadre Zeme, z ktorého uniká teplo cez vulkanické pukliny v horninách. Vzhľadom na obrovské, takmer nevyčerpatelné zásoby tejto energie, však býva medzi tieto zdroje zaradované. Teplota jadra sa odhaduje na viac ako 4000 st. Celzia a v desiatkilometrovej vrstve zemského obalu, ktorá je dostupná súčasnej vŕtacej technike, sa nachádza dostatok energie na pokrytie našej spotreby na obdobie niekoľko tisíc rokov. Teplo postupuje zo žeravého zemského jadra smerom k povrchu. Teplotný nárast sa pohybuje od 20 do 40 st. Celzia na vertikálny kilometer s miestnymi maximami (geotermálne pramene). V hĺbke zhruba 2500 metrov sa často nachádza voda teplá až 200 st. Celzia.

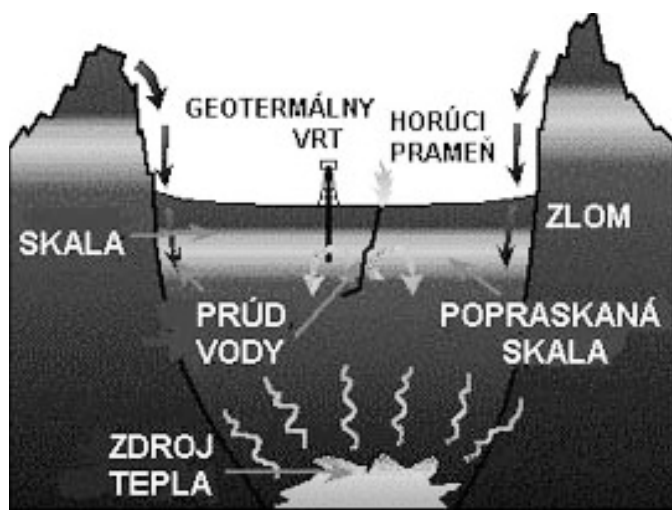


Využitie geotermálnych zdrojov siaha ďaleko do minulosti. Existujú archeologické záznamy o tom, že americkí indiáni už pred viac ako 10 tisíc rokmi osídľovali územia v blízkosti geotermálnych zdrojov. Geotermálne zdroje napr. horúce pramene boli vyhľadávané aj starými Rimanmi, Turkami alebo Maormi na Novom Zélande. Prvé záznamy o priemyselnom využití tejto energie siahajú do roku 1810, kedy sa začalo s ťažbou minerálov nachádzajúcich sa v horúcich geotermálnych vodách v Larderello v Taliansku. Deväť tovární využívajúcich geotermálnu vodu bolo v tejto oblasti vybudovaných v rokoch



Závod využívajúci geotermálnu energiu na Islande.

1816 až 1835. Geotermálna energia sa v prevažnej miere využíva na vykurovanie objektov ako sú bazény, skleníky ale aj obytné domy napojené na systém centralizovaného zásobovania teplom. Takéto vykurovanie bolo inštalované už v 1890 v americkom Boise (štát Idaho). V Reykjavíku na Islande bolo geotermálnou vodou vykurovaných 45 tisíc domov a 95 tisíc m² skleníkov už v roku 1960. Osobitnú skupinu tvoria tzv. tepelné čerpadlá využívajúce teplo zeme na prípravu tepla na vykurovanie.



Využívanie geotermálnej energie z horúcich suchých skál pozostáva z injeckáže a reinjeckáže vody pod zemským povrchom. Je to najmodernejšia geotermálna technológia výroby elektriny.

Rozdelenie využitia geotermálnej energie na výrobu tepla vo svete v roku 1998.

	% kapacity	% energie
Geoterm. tepelné čerpadlá	42,2	14,3
Vykurovanie objektov	30,6	36,8
Bazény	11,1	22,2
Skleníky	8,5	11,8
Aquakultúry	3,2	6,6
Priemysel	3,0	6,5
Roztápanie snehu/klimatizácia	0,7	0,6
Poľnohosp. sušenie	0,4	0,6
Iné	0,3	0,6
Spolu	100	100

Ceny energie z tohto zdroja sú však v závislosti na miestnych podmienkach značne rozdielne. V niektorých regiónoch však náklady na takto získanú elektrickú energiu sú porovnateľné s nákladmi na energiu z fosílnych palív. Cena geotermálne vyrobenej elektriny sa pohybuje od 0,02 USD/kWh pre staršie zariadenia (The Geysers) po 0,06 USD/kWh pre novšie zariadenia. Cena tepelnej energie z geotermálnych zdrojov sa pohybuje v ešte širšom rozpätí, nakoľko táto nezávisí len na charakteristike zdroja, ale aj na prítomnosti potenciálnych odberateľov v blízkom okolí.



Geotermálna elektráreň v Sonoma , USA.

Stav rozvoja geotermálnej energie vo svete v roku 2000.

	Inštalovaný výkon MW	Výroba energie GWh/rok
Výroba elektriny	7.974	49.261
Výroba tepla	17.175	51.428

Hodnoty pre výrobu tepelnej energie sú málo spoľahlivé a pravdepodobne sú podhodnotené o 20 %, nakoľko v mnohých krajinách nevystupujú v oficiálnych energetických štatistikách.

Výroba elektriny z geotermálnej energie v roku 2000.

	Inštalovaný výkon v MW	Výroba v GWh
USA	2.228	15.470
Filipíny	1.909	9.181
Taliansko	785	4.403
Mexiko	755	5.681
Indonézia	589	4.575
Japonsko	547	3.532
Nový Zéland	437	2.268
Island	170	1.138
El Salvador	161	800
Kostarika	143	592
SVET	7.974	49.261

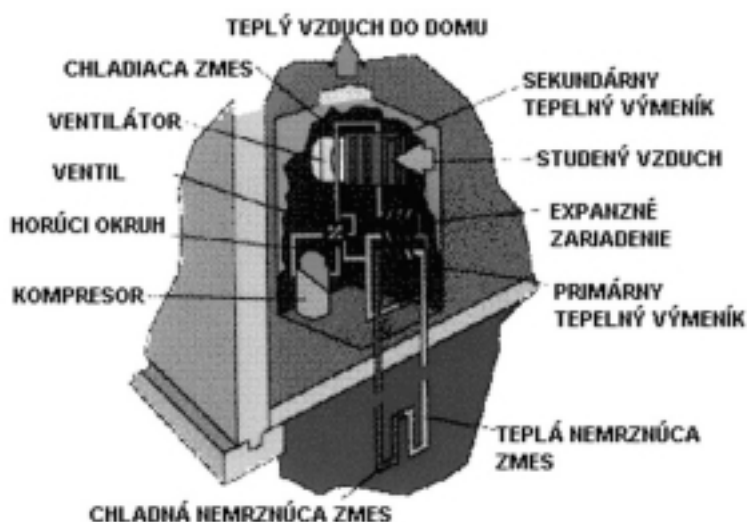
Podiel výroby elektriny z geotermálnych zdrojov je v niektorých krajinách značný a napr. na Filipínach dosahuje až 21,5% z celkovej výroby elektriny v krajine. V Salvadore je to 20 % a na Islande 15%.

Technológia využívajúca geotermálnu energiu podlieha stálemu vývoju, hlavne v oblasti vývoja systémov ťažiacich teplú

vodu z hĺbky viac ako 4000 metrov. Nevýhodou, ktorá bráni širšiemu využívaniu geotermálnej energie je, že voda obsahuje veľké množstvo solí, a preto sa nemôže priamo viesť vodovodnými potrubiami a využívať ako zdroj pitnej vody. Nemožno ju použiť ani v systéme diaľkového vykurovania. Soľ by rozožrala vodovodné rúry aj vykurovacie telesá. Využívanie geotermálnej energie na ohrev vody sa preto nezaobíde bez použitia výmenníkov. Nové technológie využívajú nehrdzavejúce výmenníky a nízkotepločné vykurovacie systémy. Moderné aplikácie zahŕňajú okrem iného aj využitie geotermálnej energie pre chemickú výrobu a produkciu čistej vody. Opatrenia na zníženie nežiadúcej ekologickej záťaže z využívania tohto zdroja, napríklad reinjekcia vody a rozpustných odpadov, sa dnes stávajú bežnou praxou. Účinne sa zabraňuje aj plyným výpustiam, hlavne sírovodíku. Náklady na tieto opatrenia sú zahrnuté v ekonomických analýzach geotermálnych projektov.

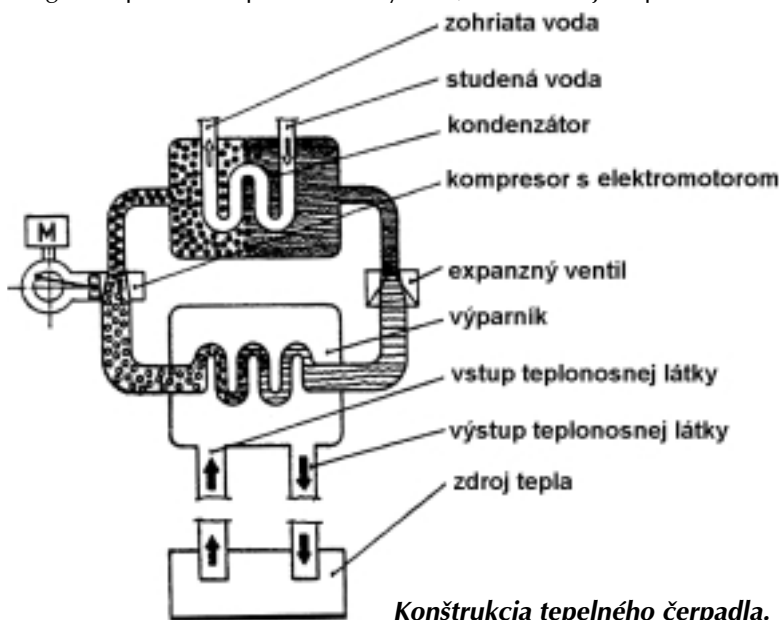
TEPELNÉ ČERPADLÁ

Relatívne novými zariadeniami sú tzv. tepelné čerpadlá, ktoré využívajú okolité prostredie ako zdroj vstupnej energie a túto potom premieňajú na užitočnú tepelnú energiu napr. pre systémy individuálneho vykurovania domov. Je to najrýchlejšie sa rozvíjajúca oblasť celého geotermálneho priemyslu. Počet inštalovaných tepelných čerpadiel využívajúcich teplo Zeme zaznamenal od roku 1995 obrovský nárast až 269 %, pričom ročný prírastok predstavuje 30 %. V 26 krajinách, v ktorých sa vedú štatistiky predaja presiahol počet inštalovaných zariadení až 500 tisíc, pričom len v USA sa ich ročne inštaluje asi 40 tisíc. Väčšina tepelných čerpadiel dnes pracuje vo vyspelých krajinách a ich priemerné ročné využitie sa pohybuje od 1000 hodín v USA po 6000 hodín vo Švédsku a Fínsku. Z hľadiska podielu na výrobe tepla sú tepelné čerpadlá rozhodujúcimi technológiami na Islande a v Turecku. Na Islande zabezpečujú až 86% tepelnej energie pre vykurovanie, ktoré je potrebné prakticky počas celého roka. Úspory (v porovnaní s dovozom fosílnych palív) takto dosahujú viac ako 100 milión USD ročne. V Turecku vzrástla kapacita inštalovaných tepelných čerpadiel za posledných 5 rokov zo 140 na 820 MWth. Väčšina z nich sa využíva na vykurovanie domov (51.600). V Turecku sa predpokladá, že do roku 2010 dosiahne inštalovaný výkon 3500 MW a zabezpečí teplo pre 500 tisíc domov, čo je 30 % obydľí v krajine. Funkcia tepelného čerpadla je založená na termodynamickom procese, pri ktorom sa odoberá teplo okolitému prostrediu a odovzdáva sa tepelnému médiu (voda). K tomu, aby tento proces prebiehal v uzavretom cykle, je potrebné systému dodávať elektrickú energiu na pohon elektromotora kompresorového tepelného čerpadla resp. iné palivo (nafta, plyn). Ako médium, z ktorého sa teplo odoberá môže slúžiť teplo zeme (odoberá sa trúbkami uloženými pod povrchom), okolitý vzduch, alebo tiež voda zo studní.



Prierez tepelným čerpadlom.

Charakteristickou veličinou tepelného čerpadla je podiel výkonu a príkonu. Užívateľovi dodané teplo predstavuje často niekoľko násobok energie dodanej tepelnému čerpadlu. Tento podiel, ktorý býva až 3, znamená že na 1 kWh príkonu dodaného vo forme elektrického prúdu, nafty, alebo plynu, sa získajú až 3 kWh vo forme úžitkového tepla. Energia sa pri tomto procese nevytvára, nakoľko aj tu platí zákon zachovania energie. Uvedený zisk znamená, že okolitému prostrediu boli odobraté 2 kWh. Pre hospodárnosť prevádzky tepelných čerpadiel je výhodné využívať tepelné zdroje s čo najvyššou teplotou, napríklad odpadové teplo z priemyslových procesov, alebo využívať získané teplo v nízkotepelných vykurovacích systémoch. Investičné náklady na využitie takéhoto tepla v regióne bývajú v mnohých prípadoch nižšie, ako sú náklady na výstavbu nových zdrojov.



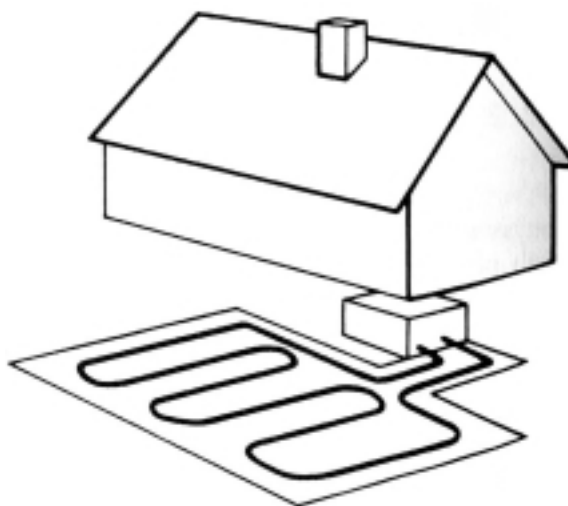
Konštrukcia tepelného čerpadla.

VYUŽITIE GEOTERMÁLNEJ ENERGIE NA SLOVENSKU

Územie Slovenska je v porovnaní s inými krajinami relatívne bohaté na geotermálne zdroje a na základe geologického prieskumu bolo už v roku 1993 vyčlenených 25 perspektívnych oblastí. Celkový potenciál využiteľných zdrojov aj s vodami s nízkou teplotou (okolo 30 st. Celzia) je odhadovaný na 5200 MW termálneho výkonu. Potenciál geotermálnych vôd s teplotou vôd 75-95 st. Celzia využiteľný napríklad na vykurovanie budov predstavuje asi 200 MW.

V minulosti sa na Slovensku využívali termálne pramene hlavne v poľnohospodárstve. Použitá technológia bola veľmi jednoduchá, tepelné čerpadlá a kaskádové využitie zdroja sa uplatňovali iba výnimočne a energia vody bola využitá dosť nevhodne. Mnohé z týchto zdrojov boli v posledných rokoch odstavené, nakoľko obsah minerálnych látok geotermálnej (odpadnej) vody, ktorý sa pohyboval na úrovni 4 g/liter, viedol k podstatným zaťaženiám povrchových vôd. Nová hraničná hodnota - 0,8 g/liter znamená, že využívanie geotermálnej energie je možné vtedy, keď sa vyrieši problém s odpadnými vodami a to či už reinjektážou alebo jej čistením.

V roku 1998 sa na Slovensku využívala geotermálna energia v 35 lokalitách. Celková výdatnosť týchto zdrojov je 110 litrov teplej vody za sekundu, pričom tepelný výkon využívaných zdrojov predstavuje zhruba 93 MW. Okrem väčšieho počtu geotermálne vykurovaných kúpalísk, ktoré si vyžadujú relatívne nízke investičné náklady bolo u nás vybudované prvé zariadenie využívajúce geotermálnu energiu na vykurovanie sídliska a nemocnice. V spolupráci s islandskou firmou Virkint-Orkint bolo v roku 1996 uvedené do prevádzky Geotermálne centrum v Galante. Využívaný výkon tunajšieho geotermálneho zdroja predstavuje 10 MW. Vykurovací systém v Podhájskej má celkový výkon 8 MW.



Tepelné čerpadlo využívajúce teplo Zeme. Energia sa zo Zeme odoberá systémom potrubí.

Kúpaliská s termálnou vodou.

MIESTO	OBJEKT
Veľký Meder	5 bazénov (aj krytý) na rozlohe 14,7 ha
Dunajská Streda	termálna voda 55 °C, kúpalisko 26 ha s 5 bazénmi
Komárno	5 bazénov
Patince	3 bazény s teplotou vody 26 °C
Štúrovo (Vadas)	4 bazény
Podhájska	kúpalisko
Piešťany	kúpaliská Eva a Slňava sú v prevádzke od mája do neskorej jesene.
Trenčianske Teplice	sírnaté pramene termálnej vody (38 - 42 °C) s kúpaliskom Zelená Žaba
Bojnice	kúpalisko Čajka
Kováčová	viacero bazénov
Dudince	kúpalisko s teplotou vody 28 °C
Kremnica	kúpalisko s 5 bazénmi
Sklené Teplice	kúpalisko
Vyhne	kúpalisko
Rajecké Teplice	2 otvorené bazény
Rajec	5 otvorených bazénov
Vyšné Ružbachy	3 bazény + možnosť kúpania v travertínovom kráteri s termálnou vodou
Liptovský Ján	kúpalisko
Bešeňová	kúpalisko
Belušké Slatiny	otvorený a krytý sedací bazén
Oravice	kúpalisko
Vrbov	4 bazény pre dospelých a 3 pre deti

Na základe doterajších skúseností (Galanta) je možné povedať, že vo viacerých slovenských obciach by bolo možné pokryť značnú časť spotreby tepelnej energie v bytovo - komunálnej sfére práve z takýchto zdrojov. Napriek tomu, že geotermálnych zdrojov je u nás dostatok, problém ktorý ovplyvňuje ich širšie využitie spočíva dnes predovšetkým vo vysokých finančných nákladoch. Tie súvisia hlavne s geologickým prieskumom a uskutočnením vrtov do hĺbky často 1500-3000 metrov. Z hľadiska svojho potenciálu sa ako najperspektívnejšia lokalita u nás ukazuje Košická kotlina, ktorá je charakteristická prítomnosťou geotermálnych podzemných vôd s teplotou 120-160 st. Celzia, a to v hĺbke menšej ako 3000 metrov. Napríklad pod sídliskom Dargovských hrdinov sa už v hĺbke 800 m nachádza voda teplá 60 st. Celzia.

Projekt na výrobu elektriny z geotermálnej energie bol navrhnutý v Košiciach už v roku 1990. Predpokladal vybudovanie geotermálnej elektrárne s výkonom 5 MW, pričom odpadové teplo z elektrárne by sa využívalo na vykurovanie okolitých objektov. Použitá mala byť zahraničná technológia v cene 60-150 miliónov Sk. Náklady na dva vrty do hĺbky 2500 metrov by predstavovali 80 miliónov Sk. Riešiteľom mal byť Stavoprojekt Košice, realizátorom NAFTA Gbely a užívateľom miestna samospráva sídliska Dargovských hrdinov v Košiciach. Doba výstavby sa predpokladala 14 mesiacov. Tento projekt, umiestnený v oblasti s najvyšším potenciálom geotermálnej energie v SR (pozri nasledujúcu tabuľku), doposiaľ realizovaný nebol. Na základe prieskumných vrtov vykonaných v obci Ďurkov (12 km od Košíc) sa uvažovalo aj s vybudovaním geotermálneho zariadenia, ktoré by poskytovalo teplú vodu pre vykurovanie Košíc. Termálny zdroj má výdatnosť 60 litrov/sek., pričom voda by bola čerpaná z hĺbky 2000 metrov.

Energetická koncepcia pre Slovenskú republiku do roku 2005 uvádza nasledujúci potenciál jednotlivých oblastí Slovenska.

Lokalita	Energetický potenciál MW	Očakávaný energetický výkon MW	Ročná výroba energie TJ
Košická kotlina	1200	200	6000
Popradská kotlina	70	25	220
Liptovská kotlina	30	10	100
Dunajská panva	200	50	400
Levická kryha	126	50	440
SPOLU	1626	335	7160

JEDNOTKY

10^{-12}	p (pico)	1/1000.000.000.000
10^{-9}	n (nano)	1/1.000.000.000
10^{-6}	μ (mikro)	1/1.000.000
10^{-3}	m (mili)	1/1.000
10^3	k (kilo)	1.000
10^6	M (mega)	1.000.000
10^9	G (giga)	1.000.000.000
10^{12}	T (tera)	1.000.000.000.000
10^{15}	P (peta)	1.000.000.000.000.000
10^{18}	E (eta)	1.000.000.000.000.000.000

1 J (joule) = 1 Ws (Wattsekunda) = 4,1868 cal

1 GJ (gigajoule) = 10^9 J

1 kWh (kilowatt hodina) = 3.600.000 Joule

1 toe (tona ropného ekvivalentu)

= 7,4 barelov ropy

= 1270 m³ zemného plynu

= 2,3 ton uhlia

1 Mtoe (milión ton ropného ekv.) = 41,868 PJ

m = meter = 3,28 ft (stôp)

s = sekunda

h = hodina

W = Watt

cal = kalória

Hz = Hertz (cyklov za sekundu)

Elektrický výkon sa meria vo wattoch (W), kilowattoch (kW), megawattoch (MW), atď.

1 kW = 1.000 W

1 MW = 1.000.000 W

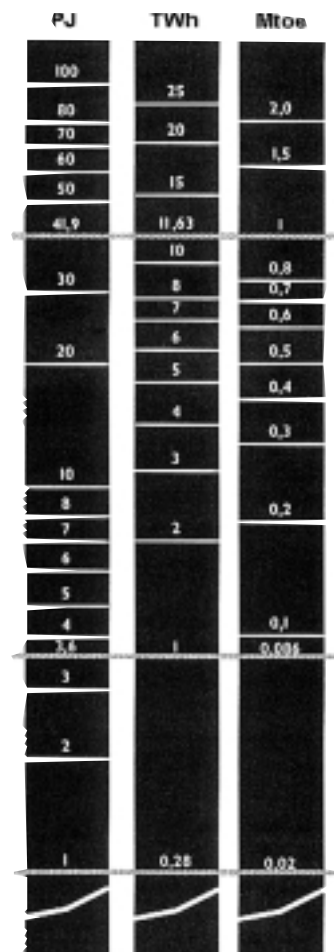
1 GW = 1.000 MW

1 TW = 1.000.000 MW

Veličiny rýchlosti

1 m/s = 3,6 km/h = 2,187 mph (míľ/hod) = 1,944 knots (uzlov)

1 knot = 1 námorná míľa za hodinu = 0,5144 m/s = 1,852 km/h = 1,125 mph



LITERATÚRA

ENERGIA

US DOE, Energy Statistics. Washington, 1999.

Energy World, James and James Sci. Publ. January 1999.

EPRI Journal, July/August 1995.

USDOE "The potential of renewable" An Interdisciplinary White Paper, SERI/TP-260-3674; (Golden, CO).1990.

Jenkins, Alec F., et. al.. "Tax Barriers to Four Renewable Electric Generation Technologies". January 30, 1996.

Renewable Energy Report, Financial Times Energy, April 1999.

J.W.Twidell , A. D. Weir . Renewable Energy Resources. London: Spon/Routledge.1997.

SLNEČNÁ ENERGIA

Alain Borden, Adrian Leaman, Mariana Atkins, Energy Efficient Design,United Nations Publication, New York, 1991.

John A. Ballinger, Passive Solar Architecture. Graduate School of the Built Environment,Faculty of Architecture, University of New South Wales, 1979.

Sklar, Scott, and Sheinkopf, Consumer Guide to Solar Energy, Bonus Books, Inc., 1995.

Using Solar Energy to Heat Swimming Pools, SEIA brochure.

Solar Thermal Water Heating, SEIA brochure.

Thayer, Burke, A Factory-Built Integrated Solar Home, Solar Today. Sept/Oct. 1995.

Muller J. Trocknung von Arzneipflanzen mit Solarenergie Ulmer Verlag Stuttgart, Germany.1992

Solar Thermal Electric Program Overview, US Department of Energy. April, 1995.

Mancini, T., G.J. Kolb, and M. Prairie, Solar Thermal Power, Advances in Solar Energy: An Annual Review of Research and Development, Vol. 11,American Solar Energy Society, Boulder, CO, 1997.

Photovoltaic Technologies and their Future Potential, A Thermie Programme Action. European Commission, DG XVII / OPET network, 1993.

BIOMASA

Goldemberg J, The Brazilian fuel-alcohol program, Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity. Island Press 1992.

Hall D., Rosillo-Calle, Biomass for energy. Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity. Island Press 1992.

Soussan, J., O'Keefe, P., and Munslow, B, Urban fuelwood: challenges and dilemmas, Policy, 1990.

Venkata Ramana, P. Community Biogas System in Methane, Gujarat - A Case Study New Delhi, Tata Energy Research Institute.1992.

Weinberg, C.J., Williams, R.H, Energy from the Sun, Scientific American, 263 (3). 1990.

Weiss, C, Ethyl alcohol as a motor fuel in Brazil: a case study in industrial policy, Technology in Society, vol. 12, 1990.

Williams, R.H., and Larson, E.D., Advanced gasification-based biomass power generation, Renewables for Fuels and Electricity (Washington, D.C., Island Press).1992.

Yasuhisa, M., Developments in alcohol manufacturing technology, International Journal of Solar Energy, vol. 7, 1989

Young, K.R., The Brazilian sugar and alcohol industry - an uncertain future, International Sugar Journal, vol. 19, 1989.

VETERNÁ ENERGIA

Wind Force 10, A Blueprint to achieve 10% worlds electricity from wind power by 2020.

European Wind Power Ass., Forum for Energy and Development, Greenpeace Int., October 1999

Hermann, Henery, WR Lazard, Laidlaw and Mead, Inc., The Wind Power Industry, November, 1994.

A Siting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems, Battelle Pacific Northwest Laboratory, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 1980.

The Wind Power Book, J. Park, Chesire Books, Palo Alto,CA, 1981.

Najlepšia inetrnetová stránka: www.windpower.dk

VODNÁ ENERGIA

Environmental Issues in Water Resources Management, Danida/Ministry of Foreign Affairs. 1998

Canter, L.W., Impact Studies for Dams and Reservoirs. Water Power and Dam Construction.1983

World Bank, Water Quality in Hydroelectric Projects: Considerations for Planning in Tropical Forest Regions. Technical Paper no. 20. 1984.

Goldsmith and Hildyard, The Social and Environmental effects of large dams. Part I (rev.),1987

How Things Work, The Universal Encyclopaedia of Machines, by arrangement with Bibliographisches Institut AG, Mannheim. 1990.

Allen R. Inversin, Micro Hydropower Sourcebook.NRECA, Washington, 1986

Alex Arter/Ueli Meier, Hydraulics Engineering Manual, SKAT, St.Gallen, 1990.

Willi Bohl, Stromungsmaschinen, Berechnung und Konstruktion, Vogel Verlag, Wurzburg, 1980.

Allen R. Inversin, A Pelton Micro-Hydro Prototype Design, Appropriate Technology Development Institute, Lae, 1980.

Kempes Engineering Year Book, Morgan-Grampion Book Publishing Co. Ltd., London.1990.

