

# OBSAH

Obsah .....	1
Úvod .....	3
<b>Obnovitelné a netradiční zdroje energie .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Obnovitelné zdroje energie .....</b>	<b>5</b>
1.1 Charakteristika jednotlivých obnovitelných zdrojů .....	9
<b>2. Využití obnovitelných zdrojů energie k výrobě elektřiny – „zeleného proudu“ .....</b>	<b>13</b>
2.1 Současné využití obnovitelných zdrojů energie v ČR .....	14
2.2 Cílový podíl OZE v ČR pro rok 2010 .....	15
<b>3. Vodní energie .....</b>	<b>18</b>
3.1 Vodní energie v ČR .....	18
<b>4. Větrná energie .....</b>	<b>19</b>
4.1 Větrné motory (konvertory) .....	19
4.2 Současný stav využití větrné energie k výrobě elektřiny a předpokládaný rozvoj) .....	28
<b>5. Geotermální energie .....</b>	<b>30</b>
5.1 Využití geotermální energie k výrobě elektrické energie .....	30
5.2 Geotermální energie v České republice .....	31
<b>6. Biomasa .....</b>	<b>33</b>
6.1 Zvláštnosti biopaliv .....	34
6.2 Možnosti uplatnění na trhu elektřiny a tepla .....	35
6.3 Využití biomasy v ČR .....	36
6.4 Tuhý komunální odpad .....	37
<b>7. Sluneční energie .....</b>	<b>43</b>
7.1 Přeměna sluneční energie na elektrickou energii .....	43
7.2 Fotovoltaické systémy, fotovoltaická zařízení .....	51
7.3 Využití sluneční energie v energetice .....	52
7.4 Vodík a sluneční energie .....	55
7.5 Energie mořské vody .....	58
<b>8. Přebytek elektrárenských kapacit a role obnovitelných zdrojů v Evropě .....</b>	<b>62</b>
<b>9. Perspektivy obnovitelných energetických zdrojů v období přebytku kapacit .....</b>	<b>66</b>
<b>10. Elektrochemická výroba elektřiny s palivovými články .....</b>	<b>67</b>
10.1 Palivové články .....	67
10.2 Nízkoteplotní palivové články .....	69
10.3 Středoteplotní palivové články .....	69
10.4 Vysokoteplotní palivové články .....	69
10.5 Současné využití různých druhů palivových článků (rok 2000) .....	71
<b>11. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla palivovými články .....</b>	<b>74</b>
<b>12. Tepelná čerpadla .....</b>	<b>79</b>
12.1 Fyzikální principy využití energie okolí .....	79
12.1.1 Energie a entropie .....	79
12.1.2 Energie = exergie + anergie .....	80
12.1.3 Levotočivý Carnotův kruhový oběh .....	80
12.2 Termodynamický princip vytápění tepelným čerpadlem .....	82
12.2.1 Účinnost tepelného čerpadla s elektrickým pohonem .....	84
12.2.2 Zdroje tepla (anergie) pro tepelná čerpadla .....	84
12.3 Současný rozvoj systémů s tepelným čerpadlem ve světě .....	93
12.3.1 Nové použití tepelných čerpadel .....	96
12.3.2 Použití TČ z pohledu energetických podniků .....	96

***mimořádné  
číslo***

***VII.***

***ročník***

***2001***



# ŠKOLSKÁ FYZIKA

Ročník VII.

2001

Praktický časopis pro výuku fyziky a práci s talentovanými žáky na základních a středních školách

**Vydává:** Katedra obecné fyziky Pedagogické fakulty Západočeské univerzity v Plzni ve spolupráci s ústředním výborem FO, katedrou obecné fyziky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, katedrou didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze, katedrou fyziky Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, dalšími fakultami připravujícími učitele fyziky a Českou nukleární společností pod patronací Jednoty českých matematiků a fyziků

**Šéfredaktor:** Václav Havel (email: havelv@kof.zcu.cz)

**Výkonný redaktor:** Miroslav Randa (email: randam@kof.zcu.cz)

**Sekretářka redakce:** Jitka Štychová

**Redakční rada:** Jan Bečvář, Václav Bláha, Josef Blažek, Zdeněk Bochníček, Ivo Čáp, Jiří Erhart, Gerhard Höfer, Jan Hrdý, František Kamenčák, Josef Kepka, Zdeněk Kluiber, Daniel Klivanec, Václav Kohout, Jana Krsková, Soňa Křítková, Václav Křivohlavý, Vítězslav Kubín, Vladislav Kvapil, Aleš Lacina, Dušan Novotný, Jan Novotný, Jitka Prokšová, Karel Rauner, Milan Rojko, Jan Slavík, Václav Soukup, František Špulák, Rudolf Šup, Josef Trneček, Václav Turek, Josef Veselý, Ivo Volf.

**Adresa redakce:** Školská fyzika, KOF PeF ZČU, Klatovská 51, 313 00 Plzeň,  
☎ 019/7423776, linky 351 nebo 314

**Vychází:** čtyřikrát ročně ve verzi pro ZŠ, verzi pro SŠ a společné verzi pro ZŠ+SŠ

<b>Předplatně:</b>	verze ZŠ	200 Kč ročně (4 čísla po 50,00 Kč)
	verze SŠ	200 Kč ročně (4 čísla po 50,00 Kč)
	verze ZŠ+SŠ	250 Kč ročně (4 čísla po 62,50 Kč)
	studentská sleva verze ZŠ+SŠ	150 Kč ročně (4 čísla po 37,50 Kč)

**Objednávky přijímá:** Jitka Štychová, katedra obecné fyziky FPE ZČU, Klatovská 51, 313 00 Plzeň

**URL (Internet):** [http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/sk\\_fy/](http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/sk_fy/)

ISSN 1211-1511

Toto číslo vzniklo 23. 11. 2001

## Vážení čtenáři,

redakce časopisu Školská fyzika Vám předkládá mimořádné číslo, které je celé věnováno netradičním a obnovitelným zdrojům energie. Ti z Vás, kteří se o tuto problematiku zajímáte, jistě víte, že mnoho odpůrců jaderných elektráren poukazuje právě na možnosti využívání těchto netradičních zdrojů energie. Jedná se zejména o malé vodní elektrárny, větrné elektrárny, geotermální zdroje energie, tepelná čerpadla, palivové a fotovoltaické články, spalování biomasy a další možnosti. Často propagátoři těchto energetických zdrojů nedokáží správně ocenit jejich klady a nedostatky. Při posuzování ekonomičnosti těchto zdrojů bývá špatně odhadnuta jejich životnost a pořizovací náklady podceněny. Jako příklad lze uvést často propagované fotovoltaické články. Málokdo z jejich propagátorů si je vědom nákladů a spotřeby energie, kterých bylo zapotřebí ke zhotovení kvalitních monokrystalů křemíku potřebných vlastností. Bylo zjištěno, že po dobu jejich životnosti se tyto náklady nevrátí. Přechod na fotovoltaické články zhotovené z amorfního křemíku tyto náklady snížil, ovšem za cenu nižší účinnosti. Tento příklad naznačuje, jak je důležité před každým rozhodováním náležitě posoudit všechny okolnosti, které ovlivňují přínosy, náklady i mimoekonomické faktory. V současné době je jistě kladným faktorem lokalizace zdrojů energie do míst spotřeby a snížení ztrát při rozvodu energie i snížení nebezpečí, které by mohlo hrozit velkým zdrojům ze strany teroristů.

Redakce si je vědoma toho, že o tuto problematiku je mezi mládeží zájem, a proto vydáním mimořádného čísla dává učitelům k dispozici řadu informací, které by jinak bylo nutno hledat v různých časopisech a příručkách. Věříme proto, že se vydání tohoto specializovaného čísla našeho časopisu setká s Vaším kladným ohlasem.

Autorem celého mimořádného čísla je Ing. Miroslav Kubín, DrSc., bývalý ředitel dnes již zaniklých Českých energetických závodů. Články jsou převzaty z odborného bulletinu Jiho-moravské energetiky, a. s., z čísel 31 a 32 z dubna a května 2001. Mimořádné číslo neprošlo obvyklým recenzním postupem, pouze na některých místech jsme se snažili pomoci čtenáři k lepšímu porozumění drobnými poznámkami. Redakce děkuje autoru i vydavateli za laskavý souhlas s přetištěním i za poskytnutí textového a obrazového materiálu, bez kterého by toto číslo nemohlo vyjít.

redakce časopisu  
*Školská fyzika*



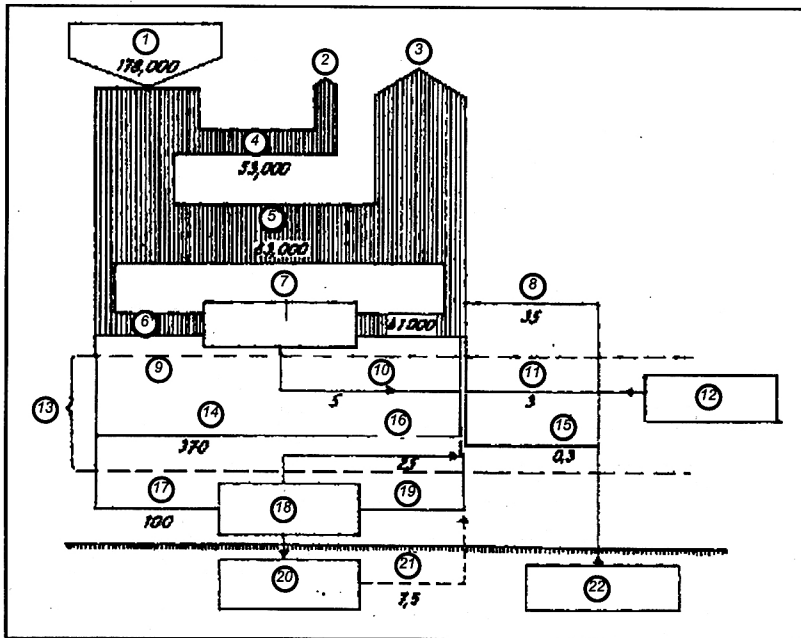
Vydáno s laskavým přispěním elektrárenské společnosti ČEZ, a. s.

# Obnovitelné a netradiční zdroje energie

Miroslav Kubín

## 1. Obnovitelné zdroje energie

Primární zdroje energie tvoří uhlí, ropa, zemní plyn, uran (thorium) a regenerativní potenciál (voda, vítr, solární energie, biomasa, geotermální energie). Transformačními procesy se tvoří z primárních zdrojů sekundární pohotově využitelná energie, tedy elektřina, kapalná paliva a teplo.



Obr. 1: Toky energie v přírodě

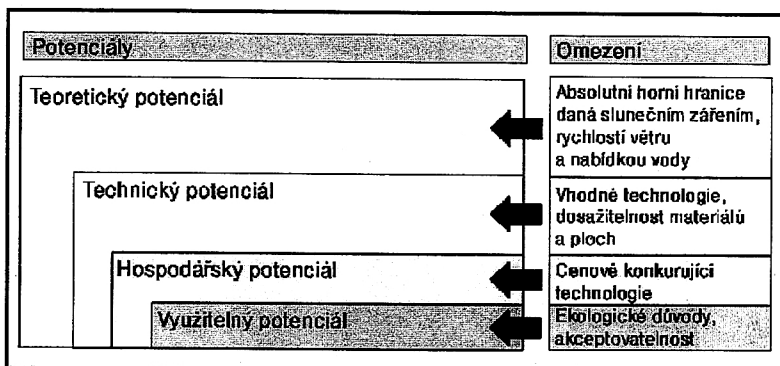
1 – sluneční záření, 2 – odražené sluneční záření, 3 – vyzařování tepla, 4 – přímý a difúzní odraz, 5 – vnitřní teplo vzduchu a vody, 6 – vypařování, 7 – akumulace potenciální energie v jezerech, ledovcích, 8 – vedení tepla, 9 – srážky, 10 – odtok, 11 – slapové pohyby, 12 – planetární pohyb, 13 – proudy vysoce kvalitní energie, 14 – vítr, vlnění, mořské proudy, 15 – konvekce tepla, 16 – zemědělství, 17 – fotosyntéza, 18 – biosféra, 19 – degradace, 20 – fosilní zdroje, 21 – současná těžba, 22 – geotermální energie

Využívání obnovitelných zdrojů začalo již před tisíci lety (plachetnice starých Féniciánů, čínské vodní kolo) a pokračovalo před staletími stavbou větrných mlynů a vodních elektráren. Energie vodních toků je celosvětově významným zdrojem elektrické energie. Jako nadějný

doplňkový zdroj se rozvíjí využívání plynu z deponií a v poslední době i moderní technologie transformací větrné a sluneční energie.

Obnovitelné zdroje se podílejí v našich podmínkách na výrobě elektrické energie několika procenty, zejména energií vodních toků.

Při energetickém využívání obnovitelných zdrojů je nutné hodnotit jejich teoretický, technický, hospodářský a využitelný potenciál. Teoretický potenciál je horní hranicí. Technický potenciál obnovitelných zdrojů se vyskytuje všude, kde svítí slunce, fouká vítr a teče voda. Hospodářsky využitelný potenciál již hodnotí využitelnost těchto zdrojů podle hustoty energie a dalších charakteristik. Využitý potenciál ukazuje reálný stav.



Obr. 2: Potenciály obnovitelných zdrojů

palívo	účinnost
vodní síla	108 kW/m <sup>2</sup> při průtočné rychlosti 6 m/s
energie vln	14,5 kW/m <sup>2</sup> na m šířky vln o výšce vlny 1,5 m
vítr	0,13 kW/m <sup>2</sup> při průtočné rychlosti 6 m/s
sluneční záření	0,25 kW/m <sup>2</sup> hustota tepelného výkonu na trubkách kotle 0,12 kW/m <sup>2</sup>
proudění přílivu	0,002 kW/m <sup>2</sup>
teplo Země	0,00006 kW/m <sup>2</sup>
<b>pro porovnání:</b>	
uhelná elektrárna	500 kW/m <sup>2</sup> hustota tepelného výkonu na trubkách kotle
	650 kW/m <sup>2</sup> hustota tepelného výkonu na pokrytí palivových článků

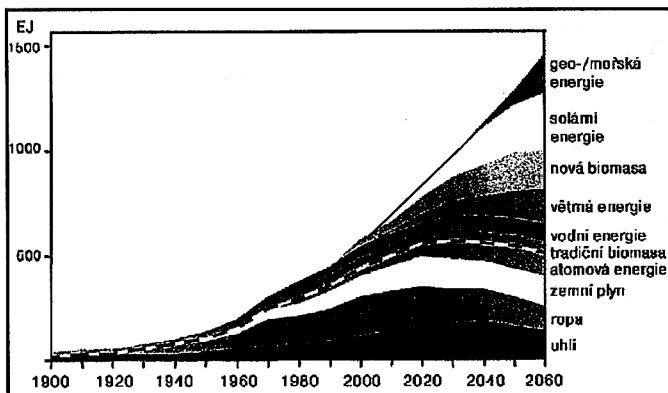
Tab. 1: Výkonová hustota obnovitelných zdrojů

Energetický potenciál/Scénář	Optimistický	Pesimistický	Výpočtový střed
Větr (TJ/rok)	18000,0	1800,0	5400,0
Voda (TJ/rok)	4176,0	4176,0	4176,0
Slunce – komunální s. (TJ/rok)	479,4	9,6	76,8
Slunce – podnikatelský s. (TJ/rok)	1118,6	22,4	89,5
Biomasa komunální s. (TJ/rok)	28000,0	2800,0	11200,0
Biomasa podnikatel s. (TJ/rok)	72100,0	7210,0	35000,0
<b>CELKEM (TJ/rok)</b>	<b>123874,0</b>	<b>16018,0</b>	<b>55942,3</b>

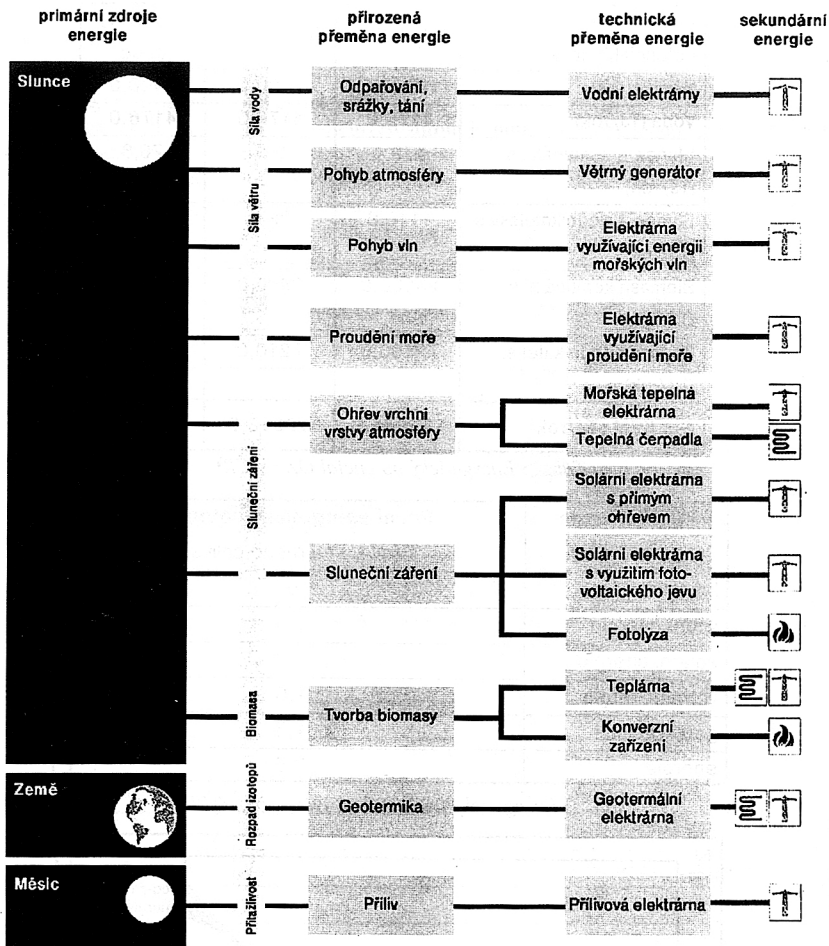
Tab. 2: Energetický potenciál OZE v ČR

Zdroj energie	Roční energetický potenciál (mld. t měrného paliva)
biomasa	5
vodní energie	1,5
solární energie	1,0
větrná energie	1,0
geotermální energie	1,5
energie	0,5

Tab. 3: Energetický potenciál ve světovém měřítku



Obr. 3: Předpokládaný vývoj spotřeby energie a podílu prvotních energetických zdrojů ve světě



Obr. 4: Obnovitelné zdroje energie

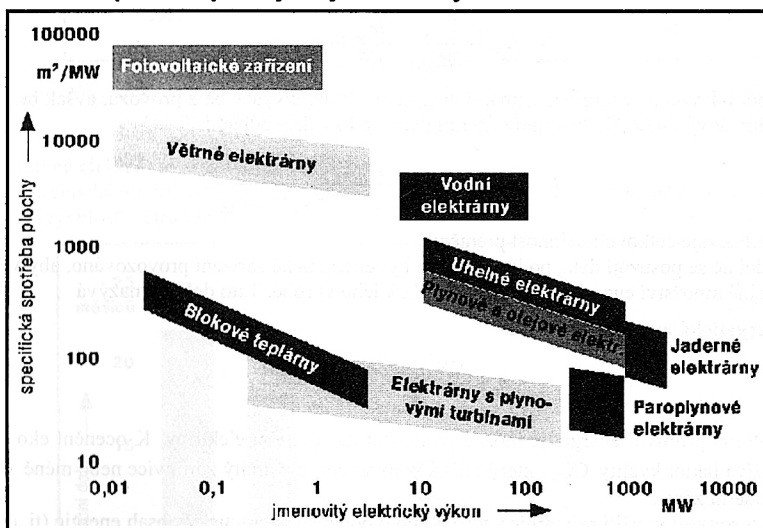
## 1.1 Charakteristika jednotlivých obnovitelných zdrojů

Při posuzování jednotlivých obnovitelných zdrojů je nutno vzít v úvahu zejména:

- kumulovanou spotřebu energie zejména při výrobě a likvidaci zařízení a ukládání odpadu,
- emise  $\text{CO}_2$  a dalších škodlivin do ovzduší,
- specifickou spotřebu plochy;
- hustotu výkonu a energie;
- technickoekonomické ukazatele a konkurenceschopnost na trhu s elektřinou.

Další ukazatele, resp. charakteristiky, jako třeba optická změna krajiny, např. vlivem větrných elektráren nebo velkoplošných solárních článků, lze jen obtížně kvantifikovat, i když jak vyplývá z ohodnocení eko-labelu (další kapitoly), toto hraje v některých oblastech značnou roli.

### Specifická spotřeba plochy na jednotku výkonu



Obr. 5

### Kumulovaná energetická spotřeba, sklizňový faktor a amortizační doba

#### Kumulovaná spotřeba energie $KE_{AH}$ k výstavbě energetických zařízení

$KE_{AH}$  představuje součet potřebné energie v celém řetězci výstavby od energie potřebné k získání oceli, cementu atd. až po energii potřebnou během výstavby. Zahrnuje kumulovanou spotřebu instalovaných zařízení, rozvodu energie apod.

#### Kumulovaná spotřeba energie $KE_{AN}$ během provozu po celou dobu životnosti.

$KE_{AN}$  zahrnuje spotřebu energie na údržbu, provozní prostředky, dopravu, ukládání odpadu.



### Kumulovaná spotřeba energie $KE_{AB}$ paliva.

$KE_{AB}$  představuje energii paliva během provozu.

### Kumulovaná spotřeba energie $KE_{AE}$ na likvidaci zařízení

$KE_{AE}$  započítává veškerou energii potřebnou pro likvidaci elektrárny, včetně odstranění odpadu a rekultivace. Při zjišťování  $KE_{AE}$  je nutno analyzovat celý řetězec jednotlivých fází získání produktu nebo služeb, přičemž se provádí přepočítání na spotřebu primární energie nebo zjednodušeně se přepočítává „střední intenzita energie“ z nákladů.

Jestliže označíme výrobu elektřiny po dobu životnosti, po odečtení platné spotřeby, jako  $W_{netto}$ , pak

$$\text{účinnost} \leq \frac{W_{netto}}{KE_{AB}},$$

tj. poměr mezi odevzdanou (sekundární) energií za dobu životnosti a primární energií paliva.

### Sklizňový faktor (Harvest Factor – Erntefaktor)

$$E_{fo} = \frac{W_{netto}}{KE_{AH} + KE_{AN} + KE_{AE}},$$

tj. poměr odevzdané energie a primární energie potřebné k výstavbě a provozu, avšak bez paliva. Sklizňový faktor  $E_{f+}$  zahrnuje energii paliva a likvidaci odpadu.

$$E_{f+} = \frac{W_{netto}}{KE_{AH} + KE_{AN} + KE_{AB} + KE_{AE}},$$

což představuje celkovou účinnost přeměny.

Obdobně se posuzují data, po kterou musí být energetické zařízení provozováno, aby vyrobilo stejné množství energie, která je zapotřebí k jeho výrobě. Tato doba se nazývá

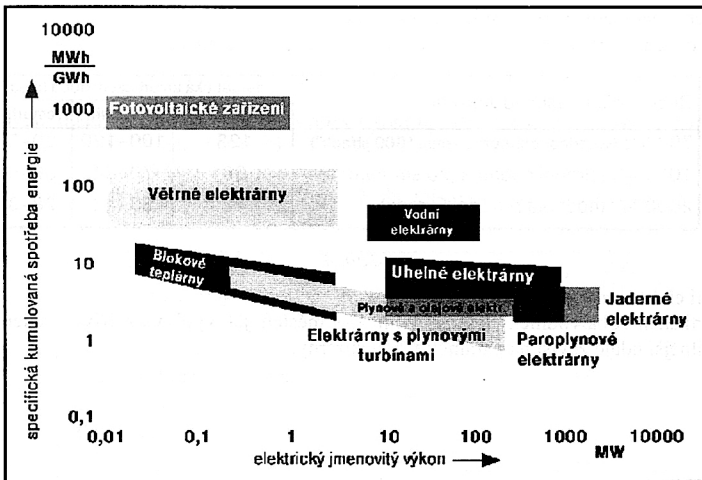
### Energetická amortizační doba

$$A_t = \frac{KE_{AH} \cdot \text{doba životnosti}}{W_{netto} - KE_{AN}}.$$

Spotřebu primární energie je možné přepočítat na spotřebu elektřiny. K ocenění ekologie se používá faktor kvality  $CO_2$ , který udává kolikrát emituje určitý zdroj více nebo méně  $CO_2$  než moderní zdroj.

Při posouzení využití primárních zdrojů nutno používat energetický obsah energie (tj. energie až ke spodnímu konci procesu – u tepla – teplota okolí, u vody – rozdíl vodního spádu atd.), tj. exergie.

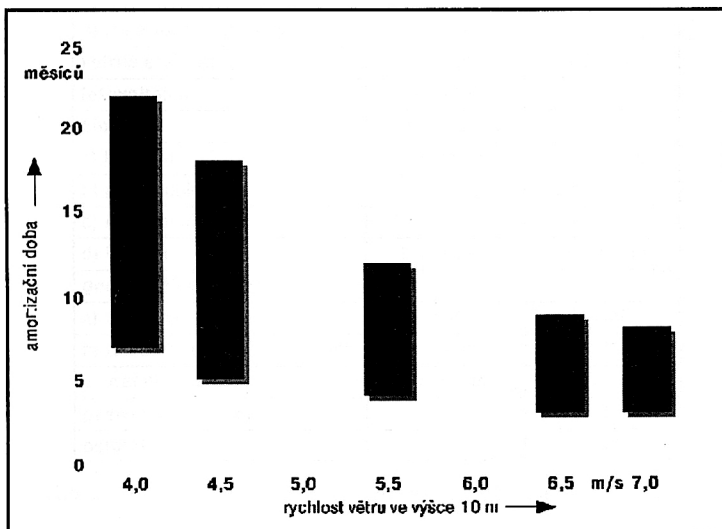
Uvedené faktory dávají poněkud jiný pohled na energetická zařízení, zejména obnovitelné zdroje, jejichž výroba je zatím energeticky náročná, např. fotovoltaika.



Obr. 6: Specifická kumulovaná spotřeba primární energie vztažená během životnosti elektrárny vyrobené elektřiny k výrobě různých typů elektráren

### Větrné elektrárny – amortizační doba

Energetická amortizační doba větrných elektráren činí 3 až 22 měsíců podle typu zařízení a střední rychlosti větru viz obr. 7.



Obr. 7: Amortizační doba k výrobě větrných elektráren v závislosti na rychlosti větru ve výšce 10 m

### Fotovoltaická zařízení – amortizační doba

Amortizační doba fotovoltaických zařízení je uvedena v tabulce.

Roční počet h plného zatížení	Energetická amortizační doba (měs)		
	monokrystal	polykrystal	amortní
700 h/r (vyhodnocení z programu „1000 střech“)	123	100–120	80–87
1000 h/r (střední hodnota pro stř. Evropu)	86	70–84	56–61
2000 h/r (hodnota pro jižní Evropu)	43	35–42	28–30

Tab. 4

### Vodní elektrárny – amortizační doba

Amortizační doba vodních elektráren činí 8–9 měsíců, jak vyplývá z dříve uvedeného grafu. Detailnější údaje závisí na parametrech elektrárny.

## 2. Využití obnovitelných zdrojů k výrobě elektřiny – „zele- ného proudu“

Využívání obnovitelných zdrojů ve světovém měřítku trvale stoupá. Z tabulek vyplývá, že využití energie vody, slunce, větru, bioenergie a geotermální energie činí cca 20 % světové výroby elektřiny (cca 14 000 TWh). Z toho připadá na vodní elektrárny 2 690 TWh, což je 96 % celkového podílu obnovitelných zdrojů. Druhé místo zaujímají geotermální zdroje, třetí pak větrná energie.

Obnovitelný zdroj	Výkon (MW)	Energie (TWh)
1 Vodní elektrárny	669000	2690
2 Geotermální elektrárny	7900	49
3 Větrné elektrárny	13500	23
4 Solární termické zdroje	325	0,9
5 Fotovoltaické zdroje	700	0,7
6 Biomasa / komb. výroba	?	?
7 Celkem obnovitelné zdroje	700000	2800
Celková světová výroba.		14000

Tab. 1: Roční výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů (rok 2000)

Obnovitelné zdroje	1995	cíl v 2010
<b>vodní energie</b>	92,0 GW	105 GW
a) velké vodní elektrárny	82,5 GW	91 GW
b) malé vodní elektrárny	9,5 GW	14 GW
<b>větrné elektrárny</b>	2,5 GW	40 GW
<b>fotovoltaika</b>	0,03 GW	3 GW
<b>biomasa</b>	44,8 mil. toe	135 mil. toe
a) biopaliva	0,2 mil. toe	18 mil. toe
b) přímé teplo	31,3 mil. toe	57 mil. toe
c) kogenerace	12,2 mil. toe	44 mil. toe
d) bioplyn	1,1 mil. toe	16 mil. toe
<b>geotermální energie</b>		
a) elektřina	0,5 GW	1 GW
b) teplo vč. tepelných čerpadel	1,3 GWt	5 GWt
<b>sluneční kolektory</b>	6,5 mil. m <sup>2</sup>	100 mil. m <sup>2</sup>
<b>pasivní sluneční energie</b>		35 mil. toe
<b>ostatní</b>		1 GW

Tab. 2: Předpokládaný rozvoj obnovitelných zdrojů v EU do roku 2010

	1995		2000	
	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]
celková výroba	2366,00	100,00	2870	100,0
z toho:				
vodní energie	307,00	13,00	365	12,4
větrná energie	4,00	0,20	80	2,8
fotovoltaická	0,03		3	0,1
biomasa	22,50	0,95	230	8,0
geotermální	3,20	0,15	7	0,2
celkem obnovitelné zdroje	337,00	14,24	675	23,5

Tab. 3: Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů v EU

## 2.1 Současné využití obnovitelných zdrojů energie v ČR

Výroba energie z obnovitelných zdrojů energie v ČR se v současnosti pohybuje na úrovni zhruba 26 PJ [petajoulů, tj.  $10^{15}$  J – pozn. redakce] ročně, což činí cca 1,5 % tuzemské spotřeby primárních energetických zdrojů.

### Vodní elektrárny

Celkový instalovaný výkon ve vodních elektrárnách (včetně velkých vodních elektráren a přečerpávacích elektráren) byl koncem roku 1997 cca 2 130 MW. Malých vodních elektráren bylo v provozu cca 1 200 o celkovém instalovaném výkonu 244 MW a s roční dodávkou 651 GWh.

### Geotermální energie a energie prostředí (anergie)

V ČR je v současné době využívána téměř výhradně nízkopotenciální geotermální energie a energie prostředí za použití tepelných čerpadel. Začátkem roku 1998 bylo v ČR podle informací Sekce tepelných čerpadel při Svazu chladicí techniky v provozu kolem 400 tepelných čerpadel o celkovém tepelném výkonu cca 4 800–5 500 kW.

Pokud omezíme stanovení instalovaného tepelného výkonu pouze na tepelná čerpadla voda–voda, využívající nízkopotenciální geotermální teplo a teplo prostředí (mimo okolního vzduchu), byl jejich celkový počet začátkem roku 1998 cca 240 o celkovém tepelném výkonu cca 3 000 kW. Jejich celkový energetický přínos, při uvažovaném průměrném ročním využití 3 000 h/rok, činí 9,3 GWh, resp. 33,5 TJ za rok.

### Větrná energie

Současné využití energie větru je vzhledem k nedostupnosti údajů o výrobě v jednotlivých větrných elektrárnách odhadována na 4 GWh za rok s tím, že byly brány v úvahu pouze větrné elektrárny, které byly v provozu (cca 5,7 MW).

### Sluneční energie

V současné době je v ČR provozováno maximálně 100 000 m<sup>2</sup> plochy solárních kolektorů. Dominantní zastoupení mají ploché kapalinové kolektory. Při celkové provozované ploše solárních kolektorů 100 000 m<sup>2</sup> a průměrném ročním zisku 400 kWh z 1 m<sup>2</sup> činí odhadovaný roční přínos 40 000 MWh (0,144 PJ) tepelné energie ročně. Sluneční fotovoltaika je až na několik demonstračních projektů využívána jen ojediněle a její příspěvek je zatím zanedbatelný.

## **Biomasa**

Největší podíl na současném využití obnovitelných zdrojů má biomasa. Stanovit přesně současné využití biomasy v ČR je úkol značně obtížný. Biomasa je využívána ve velké míře decentralizovaně ve formě palivového dřeva, kdy není možné spolehlivě podchytit jeho využití a spotřebu a dostupná statistická data je nutno zpřesnit odhady. Podíl tuhých biopaliv je odhadován na 16 400 TJ za rok, po započítání spotřeby plyných biopaliv (bioplynu a skládkového plynu) v množství cca 4,5 miliónu m<sup>3</sup> za rok (cca 1 000 TJ/rok) je celková spotřeba biomasy odhadována na 17 400 TJ.

### **Energetické využití odpadů**

Do nedávné minulosti (1998) byla v ČR ve stálém provozu pouze jedna velká spalovna komunálního odpadu, ve které je odpad využíván pro produkci tepla, a to spalovna Brno, provozovaná společností SAKO ve vlastnictví města Brna. Ve spalovně byl spalován netříděný komunální odpad o průměrné výhřevnosti 8 GJ/t celkovém množství 100 až 120 000 tun za rok. Celková dodávka tepla činí 600 až 650 tisíc GJ tepla za rok. Po započtení plné kapacity Malešické spalovny v Praze je očekávaný celkový čistý energetický příspěvek spalování komunálního odpadu (bez doplňkové spotřeby zemního plynu) odhadován na 1 520 TJ za rok.

### **Potenciály využití obnovitelných zdrojů energie v České republice**

Podrobné analýzy uvedené v Národní studii energetické efektivity pro ČR ukázaly, že Česká republika má poměrně významný potenciál obnovitelných zdrojů, přesahující několikánásobně úroveň jejich současného využití.

Dostupný potenciál je definován jako technický potenciál daného zdroje, který je možno využít v současnosti dostupnými technologiemi a při jehož stanovení jsou vzata v úvahu administrativní, legislativní, ekologická a další omezení, jako například využití zdroje pro jiné než energetické účely (tj. např. omezení pro pěstování energetických plodin vzhledem k využití půdy pro produkci potravin apod.)

Ekonomický potenciál je vypočten na základě stanoveného dostupného potenciálu a použitých ekonomických kritérií: limitní doby návratnosti investic, která činí 8 let, s výjimkou malých vodních elektráren, kde je použita limitující doba návratnosti 16 let.

## **2.2 Cílový podíl OZE v ČR pro rok 2010**

Na základě analýz současného využití obnovitelných zdrojů energie v Akčním plánu pro obnovitelné zdroje byl pro rok 2010 doporučen poměrně realistický cílový podíl energie z OZE na tuzemské spotřebě primárních zdrojů ve výši 3,5 %. Při stagnaci spotřeby primárních zdrojů by to v roce 2010 činilo cca 61 PJ, při růstu spotřeby podle optimistického scénáře cca 67 PJ. Uvedená hodnota představuje více než zdvojnásobení dnešního podílu obnovitelných zdrojů; a jeho předpokládané relativní tempo nárůstu mezi lety 2000–2010 je značně rychlejší než trendy v členských zemích EU.

Z analýz současného využití a potenciálů vyplývají následující priority:

1. Jednoznačně nejvyšší absolutní růst podílu na tuzemské spotřebě primárních energetických zdrojů se předpokládá u využití biomasy pro výrobu tepla a elektřiny. V období do roku 2010 bude využívána především odpadní biomasa (ze zemědělství, průmyslu a lesnictví). Bude rovněž třeba věnovat pozornost rozvoji využití pěstovaných energetických dřevin a plodin, které však pravděpodobně začnou hrát významnou roli až po roce 2010.
2. Relativní růst podílu solárních tepelných zařízení, využití energie větru, teploty prostředí (tepelná čerpadla) a růst podílu malých vodních elektráren bude v relativním měřítku rovněž výrazný, ovšem absolutní podíl těchto obnovitelných zdrojů bude mnohem nižší než podíl biomasy.
3. Ostatní obnovitelné zdroje využití odpadů, využití geotermálního tepla, fotovoltaické systémy a velké vodní elektrárny nebudou hrát v předpokládaném zvýšení výroby energie

z obnovitelných zdrojů příliš významnou úlohu. Politika podpory využívání obnovitelných zdrojů se tedy bude muset zaměřit zejména na podporu využití biomasy pro výrobu tepla a elektřiny. Kromě toho bude třeba podporovat i rozvoj slunečních tepelných zařízení, zařízení na využívání energie větru a teploty prostředí (tepelná čerpadla), a rovněž malých vodních elektráren. Ostatní obnovitelné zdroje by však neměly být zcela zanedbávány, protože v období po roce 2010 mohou rovněž nabýt na významu.

	Současné využití	Využitelný potenciál			Ekonomický potenciál		
	Výroba energie	Celková investice	Výroba energie	Podíl na TSPEZ	Celková investice	Výroba energie	Podíl na TSPEZ
	TJ/rok	10 <sup>6</sup> Kč	TJ/rok	%	10 <sup>6</sup> Kč	TJ/rok	%
Biomasa	17390	16610	61770	3,53	11600	50960	2,91
Odpady	1520	25470	3560	0,20	0	1520	0,09
Sluneční energie – termální využití	140	90370	11500	0,66	0	140	0,01
Sluneční energie – fotovoltaika	0	5090	80	0,00	0	0	0,00
Tepelná čerpadla	30	21320	6670	0,38	6660	2120	0,12
Větr	30	18820	3710	0,21	240	90	0,01
Vodní energie – malé VE	2340	16250	5660	0,32	8310	4040	0,23
– velké VE	4500	0	4500	0,26	0	4500	0,26
<b>Celkem</b>	<b>25950</b>	<b>193930</b>	<b>97450</b>	<b>5,56</b>	<b>26810</b>	<b>63370</b>	<b>3,63</b>

Tab. 4: Přehled využitelného a ekonomického potenciálu obnovitelných zdrojů energie v ČR do roku 2010 (Zdroj: Národní studie energetické efektivity pro ČR, Akční plán pro obnovitelné zdroje energie)

#### Doporučená opatření a nástroje pro podporu využití OZE

Klíčovou částí Akčního plánu pro obnovitelné zdroje je návrh obnovitelných zdrojů energie. Nová politika je založena na analýze současných překážek a bariér a stanoveném cíli.

- Vytvoření rámce pro politiku podpory využívání OZE včetně jednoznačného stanovení priorit a cílů a zakotvení úlohy OZE v legislativě (nový energetický zákon).
- Zvýšení lidských a finančních zdrojů jak na úrovni tvorby politiky podpory OZE, tak při její realizaci.
- Jednoznačné přiřazení odpovědnosti za oblast tvorby a realizace politiky podpory OZE jedné z institucí, které se v současnosti podporou využívání OZE zabývají (CEA nebo SFŽP).
- Vytvoření statistiky a shromáždění údajů o větších (centralizovaných) obnovitelných zdrojích (malé vodní elektrárny, využití větrné energie, využití biomasy pro centralizované zásobování teplem) a odhad a ocenění podílů malých (decentralizovaných) obnovitelných zdrojů (zařízení na využívání sluneční energie, tepelná čerpadla, malé kotle spalující biomasu).
- Urychlené odstranění deformací cen paliv a energie a postupné zavedení ekologických daní v souladu s vývojem v rámci EU. Přitom by měly být uvažovány sociální dopady s tím, že u sociálně slabých vrstev obyvatelstva by přednostně byla realizována opatření na snížení spotřeby energie, resp. využití OZE před vyplácením sociálních dávek (podpora na bydlení).
- Zavedení energetické a uhlíkové daně v rámci dlouhodobé strategie. Jako první krok před zavedením energetické a uhlíkové daně se doporučuje na podporu obnovitelných zdrojů elektřiny systém „zeleného haléře“ před rokem 2003.
- Podpora českého průmyslu. Technologiím pro využití OZE by měla vláda ČR při dalších úvahách o podpoře průmyslu věnovat zvláštní pozornost. Vláda a průmysl ČR by měly vyhledávat a podporovat příležitosti pro český průmysl na tuzemském trhu i na zahraničních trzích v oblasti technologií pro využití OZE.

- Příprava a realizace rozsáhlé informační kampaně zaměřené na širokou veřejnost i vybrané skupiny obyvatelstva, odborníky, podnikatele, veřejnou správu, organizace financované z veřejných rozpočtů apod.
- Podpora realizace konkrétních projektů prostřednictvím podpory jejich přípravy (výzkum, vývoj, demonstrační projekty, poradenská činnost, energetické audity, studie proveditelnosti apod.).
- Podpora realizace konkrétních projektů v oblasti jejich financování vytvořením systému financování, včetně revolvingových fondů, záruk za úvěry, podpory systému ESCO. V této souvislosti je třeba podpořit myšlenku „stát příkladem“, kdy stát by měl zpracovat program realizace programu úspor energie a OZE v organizacích financovaných z veřejných rozpočtů, což by mělo příznivý dopad na tyto rozpočty.

Dosažení cílového podílu OZE bude nutně vyžadovat zvýšené výdaje, a to jak ze státního rozpočtu, tak i u uživatelů. Na základě výsledků analýzy potenciálu OZE je možno odhadnout, že celkové investice potřebné k dosažení cílového 3,5 % podílu OZE budou dosahovat 26 mld. Kč. Byly oceněny výdaje ze státního rozpočtu na podporu realizace Akčního plánu pro obnovitelné zdroje energie pro období let 2000–2010 v celkovém rozsahu cca 4,7 mld. Kč, respektive v průměru 470 milionů Kč za rok.

Tato částka nezahrnuje přímé investiční náklady na realizaci programu v rozpočtových a příspěvkových organizacích.

Částka je přibližně 4krát vyšší, než činí současná státní podpora obnovitelných zdrojů energie. Ve srovnání s celkovými investicemi pro dosažení cíle 3,5 % je podíl státu na těchto nákladech cca 18 %.

V rámci analýzy dopadů realizace cíle pro využití OZE byly stanoveny i dopady na životní prostředí. Nejvýznamnější je snížení emisí  $\text{CO}_2$  o 4 milióny tun.

Dalším významným přínosem bude zvýšení zaměstnanosti, které je samozřejmě závislé i na podpoře domácích výrobců technologií obnovitelných zdrojů. Pro dosažení cíle 3,5 % podílu OZE je odhadováno vytvoření 5–10 tisíc pracovních míst, zejména v oblastech výroby a instalace zařízení pro využití obnovitelných zdrojů a v oblasti zpracování biopaliv.

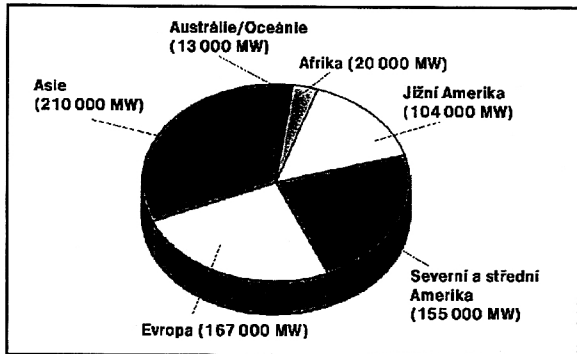


### 3. Vodní energie

Energie vody je zdaleka nejdůležitějším obnovitelným zdrojem, přičemž ve světovém měřítku je instalováno v současné době (rok 2000) 669 000 MW elektrického výkonu.

Roční přírůstky jsou relativně konstantní a činí 10 000 až 15 000 MW.

Hydroenergetický potenciál na naší planetě není ještě zdaleka vyčerpán. Pouze zhruba 15 % technicky využitelných zdrojů slouží k výrobě elektrické energie. V průběhu příštích 20 až 25 let bude podle prognóz Světové ekonomické rady nutné zdvojnásobit kapacitu hydroenergetických zdrojů, aby byly pokryty požadavky odběratelů a zajištěny provozuschopné podmínky energetických sítí. Vodní elektrárny s ohledem na své specifické



Obr. 1: Instalovaný výkon vodních elektráren podle kontinentů

provozní schopnosti plní v každé energetické soustavě funkce, které nelze nahradit jinými zdroji. Mimo základní funkci – vlastní výrobu elektrické energie – jsou ceněny především služby přímo ovlivňující kvalitu dodávané elektrické energie – regulace výkonu a frekvence v energetické soustavě a pohotovostní rezerva.

Stále vyšší požadavky na provozní spolehlivost, bezpečnost a životnost vodních turbín stávají výzkum a vývoj před nutností řešit nové problémy a úkoly, především:

- zvyšování účinnosti,
- zajištění větší odolnosti průtočných částí turbíny proti kavitaci a abrazi,
- rozšíření provozního pásma v některých případech od 0 do 100 % výkonu,
- vyloučení možnosti ohrožení životního prostředí nahrazením olejů a maziv jiným médiem,
- vyšší stupeň automatizace se začleněním monitorování a diagnostiky provozu soustrojí,
- regulace otáček rezervních turbín v čerpadlovém režimu s cílem snížit dynamické zatížení stroje, zvýšit provozní účinnost a především umožnit regulaci příkonu.

Světovým trendem posledních let je snaha využít lokality s dosažitelným vysokým spádem – 300 až 700 m. Z provedených analýz vyplývá, že největšího ekonomického efektu lze dosáhnout právě u projektů jednostupňových vysokospádových elektráren. Využitím vysokých spádů lze získat výkony pomocí relativně malého zařízení.

#### 3.1 Vodní energie v ČR

Vodní elektrárny se na krytí spotřeby elektrické energie ČR podílí maximálně cca 4 %.

Vodní elektrárny jsou z územního hlediska značně rozptýlené. Velkých zdrojů je jen malý počet, ovšem jejich celkový instalovaný výkon představuje 1 849,4 MW. Další instalovaný výkon připadá na ostatní zdroje, tj. malé vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW. Vodní elektrárny do 10 MW instalovaného výkonu tvoří početně rozsáhlou skupinu a jsou rozptýleny mezi velké množství subjektů. V roce 1994 bylo malých vodních elektráren cca 1 210.

## 4. Větrná energie

Nerovnoměrným ohříváním vzdušných mas při zemském povrchu se vytvářejí tlakové výše a níže (a celé tlakové pole). Vítr vzniká vlivem tlakových rozdílů a vane v zásadě od výšší k nižší, ne však přímo, nýbrž po spirálách, téměř tangenciálně k izobarám – okolo výšší v záporném a okolo nižší v kladném smyslu.

Místní rychlost větru závisí na tvaru zemského povrchu (terénní útvary, porost, zástavba), se vzdáleností od moře klesá, s nadmořskou výškou roste. Mění se s časem v denních a ročních cyklech a v závislostech na meteorologické situaci. V některých lokalitách převládají větry určitého směru (např. v horských sedlech), v jiných (např. na rovinách) může být směr větru víceméně náhodný.

V soudobých elektrárnách s větrnými motory (VME) lze energeticky využít vítr o rychlostech nad  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 4.1 Větrné motory (konvertory)

Větrné motory jsou zařízení přeměňující energii větru na mechanickou energii, nebo správněji mechanickou energii větru na mechanickou rotační energii na hřídeli motoru.

- **odporový** (např. větrný mlýn, plachetní větrné kolo a Savoniův rotor) – s teoretickou účinností maximálně 20 % (s VM tohoto typu se pro energetické využití dnes již nepočítá),
- **vztlakový** (vrtule, Darrieův rotor, mnohalopátkový rotor) – s teoretickou účinností maximálně 59,3 % (dnešní VM dosahují účinnosti až 45 %).

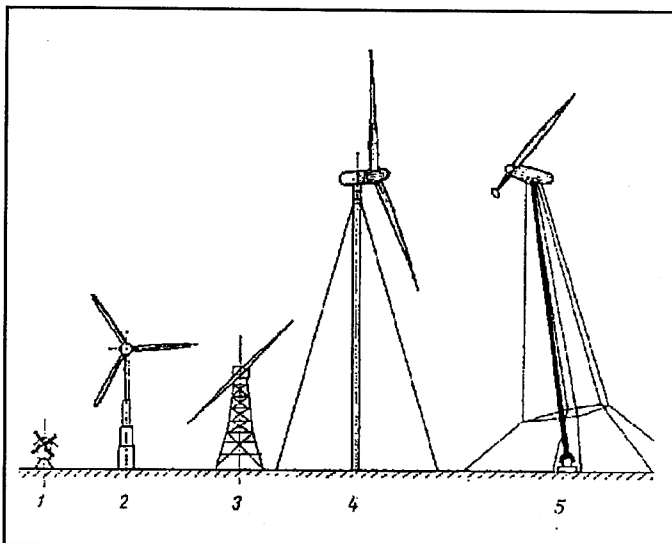
VM s vertikální osou (z uvedených pouze Savoniův a Daurieův rotor) nejsou závislé na směru větru, VM s horizontální osou se musí natáčet proti větru nebo po větru.

Rotor je (svou hlavou) nasazen na hřídeli, který převádí výkon (odebíraný rotorem větru) prostřednictvím převodové skříně zvyšuje otáčky, např. z  $50 \text{ min}^{-1}$  na  $1\,500 \text{ min}^{-1}$  na jediný generátor (může mít dva výkonové stupně) nebo na dvojici generátorů (při nižších otáčkách je připojen (k síti) 1. stupeň jednoho generátoru nebo 1. z dvojice generátorů; při vyšších otáčkách jsou připojeny oba stupně nebo oba generátory).

- **asynchronní generátory** – u malých a středních VME pracujících do sítě,
- **synchronní generátory** s elektronikou „upravující energii“ u velkých VME, a to napojených na síť i pracujících izolovaně.

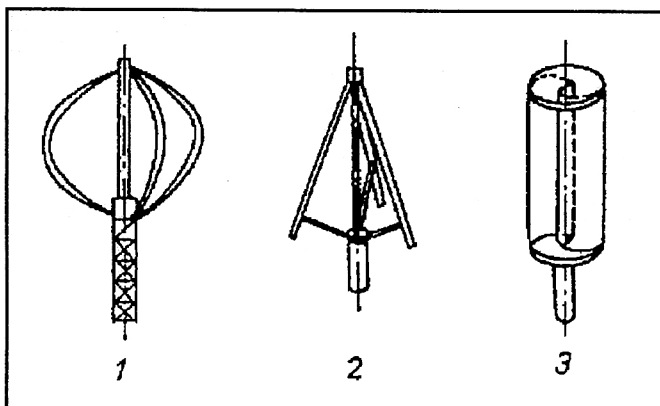
Generátor(y), převodová skřín (s brzdou) a hřídel (s hlavou rotoru) jsou umístěny v kryté gondole, otočné podle vísle osy.

VM s rotorem směřujícím po větru se při změně směru větru samy natácejí do optimální polohy.

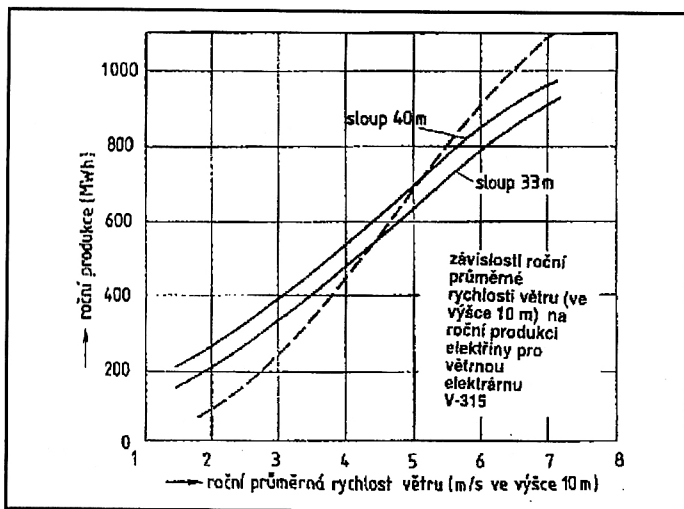


Obr. 1: Příkladů typů větrných elektráren:

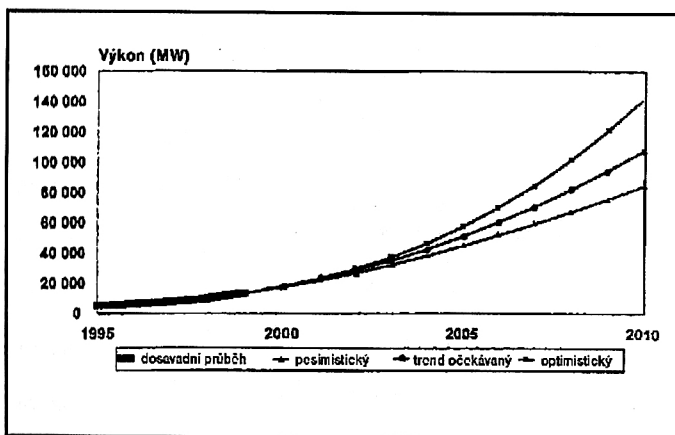
- 1 – malá větrná elektrárna do výkonu 90 kW
- 2 – větrná elektrárna TVIND o výkonu 2 MW (Dánsko)
- 3 – větrná elektrárna v Severní Karolině (USA)
- 4 – větrná elektrárna GROWLAN o výkonu do 2 až 3 MW (SRN)
- 5 – jednokřídlová větrná elektrárna budoucnosti, výkon až 10 MW



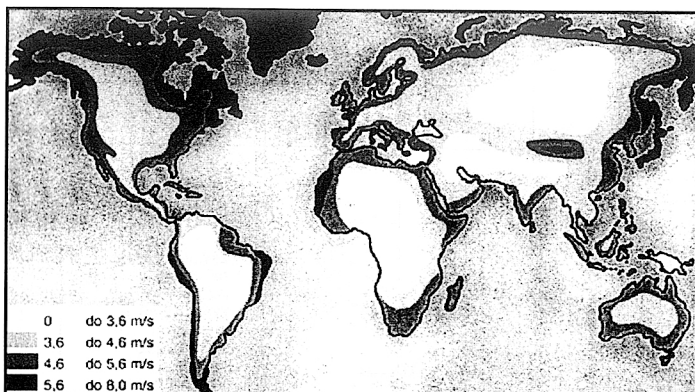
Obr. 2: Rotory větrných elektráren se svislou osou: 1 – typ Darrieus, 2 – typ Darrieus, 3 – Savonius



Obr. 3: Závislost roční výroby na rychlosti větru



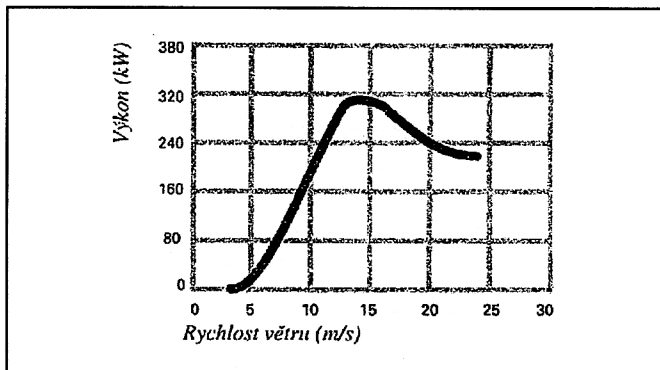
Obr. 4: Světový instalovaný výkon větrných elektráren do roku 2010



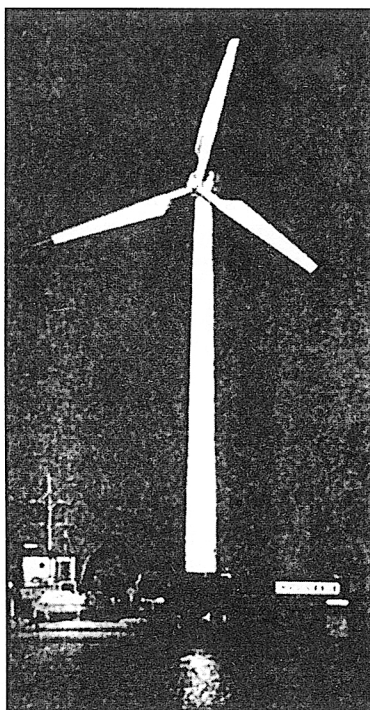
Obr. 5: Rozdělení středních rychlostí větru na povrchu Země

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

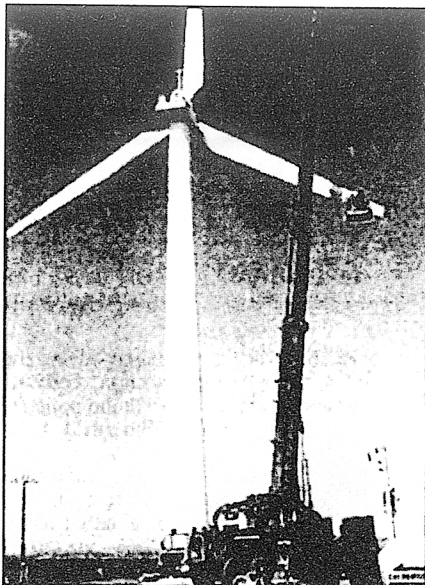
Tab. 2: Beaufortova stupnice síly větru. Podle projevů a účinků na různé předměty stanovil britský admirál sir Francis Beaufort pro pozorování na pevnině 12 stupňů síly větru



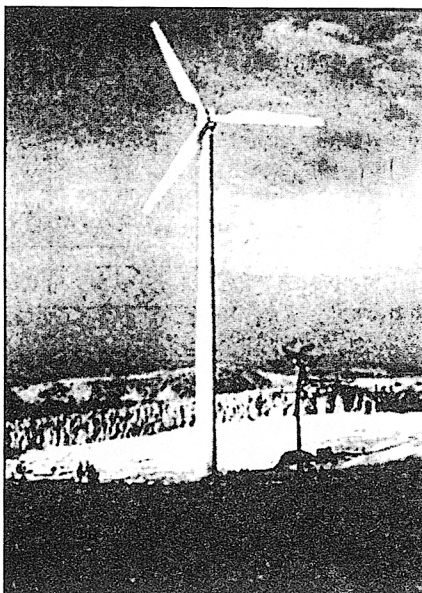
Obr. 6: Výkon v závislosti na rychlosti větru



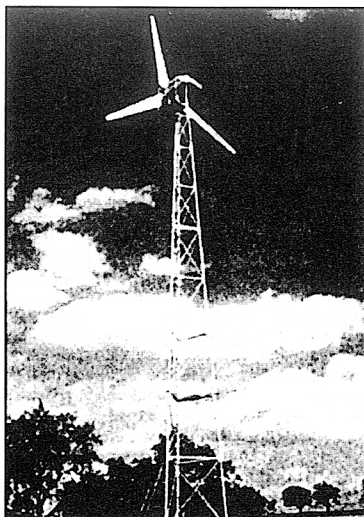
Obr. 7: „Off-Shore“. Svante 1. První větrná elektrárna na světě stojící na mořské plošině, a to od roku 1991. Při výkonu 200 kW má dodávat 500 000 kWh ročně pro 125 domácností bez elektrického vytápění u švédského „větrného“ ostrova Öland. Švédové v rámci hledání alternativních zdrojů počítají s 10 000 obdobami větrného agregátu Svante 1



*Obr. 8: Větrná elektrárna EnergoWars EWT 315 (Dlouhá Louka u Oseka)*



*Obr. 9: Větrná elektrárna Wind-World W-2500 (Mravenečník u Loučné nad Desnou)*

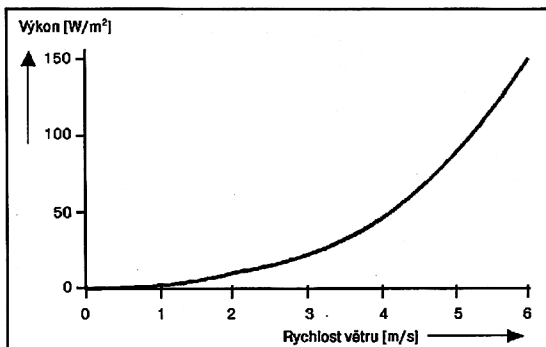


Obr. 10: Větrná elektrárna A.V.E.E. Hranice (výkon 11 kW)

**Ochrana proti poškození:** Při nadměrném větru se vytočí rotor (i s gondolou) ze směru větru nebo přestaví listy vrtule nebo zastaví (brzdou) rotor.





Regulace podle rychlosti větru zapíná a vypíná VM, hlídá bezpečnostně technické parametry a při práci do sítě (a samozřejmě také při izolovaném – ostrovním – provozu) udržuje konstantní napětí a kmitočet.

**Jednotky první generace** běží při konstantních otáčkách generátoru při různých rychlostech větru, což při vysokých rychlostech (vichřice) vede k velkému dynamickému namáhání. Nové jednotky mají generátory s proměnnými otáčkami, a tedy i s proměnným kmitočtem, a proto jsou vybaveny frekvenčním invertorem (mechanické namáhání se tím značně snižuje).

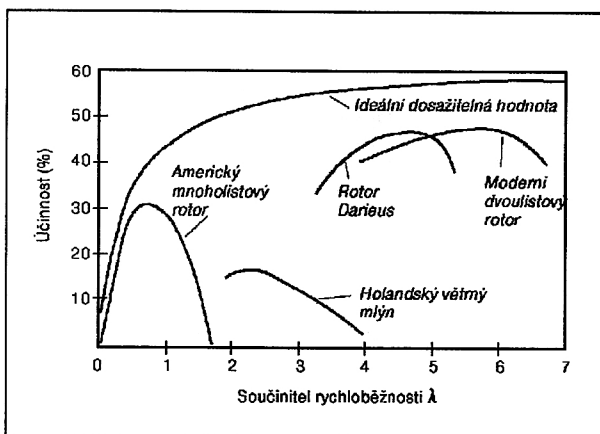


Obr. 11: Výkon větru stoupá s jeho rychlostí podle třetí mocniny. Dvojnásobná rychlost větru znamená osminásobný výkon, protože rovnice pro výkon větru je  $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot S$ , kde  $P$  je výkon větru ve wattch (W),  $\rho$  je hustota vzduchu v  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $v$  rychlost větru v  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  a  $S$  plocha v  $\text{m}^2$ , kterou vítr proudí



Typ				
	mnohalopátkový rotor	vtule	Savoniův rotor	Darrieův rotor
Hlavní využití	čerpání vody, výroba elektřiny	výroba elektřiny (střídavý a trojfázový proud)	čerpání vody, výroba stejnosměrného proudu	výroba elektřiny (střídavý a trojfázový proud)
Materiál rotoru	tvarovaný plech	laminát se skelnými vlákny, dřevo a ocel	ocelový plech, plasty	hliník, laminát se skelnými vlákny
Počet listů rotoru	až 150	1 až 4	2	2 až 3
Max. průměr rotoru [m]	12	100	3	25
Max. výška věže [m]	30	100	15	47
Max. počet otáček	$900 \text{ min}^{-1}$ $15 \text{ s}^{-1}$	$900 \text{ min}^{-1}$ $15 \text{ s}^{-1}$	$100 \text{ min}^{-1}$ $1,67 \text{ s}^{-1}$	$200 \text{ min}^{-1}$ $3,33 \text{ s}^{-1}$
Max. elektrický výkon [kW]	15	4000	5	230
Účinnost rotoru [%]	20 až 43 %	max. 45 ([3] uvádí max. 48)	23	36 ([3] uvádí max. 48)
Náběhová rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	0,16	3 až 6	2 až 3	5 až 6
Regulace	jednotlivé lopatky se mohou odklonit	nastavení listů, změna počtu generátorů nebo stupně generátoru	mechanická brzda	mechanická brzda
Opatření proti bouři	příčně postavení směrovky vytočí rotor z větru	přestavení listů, vytočení z větru, mechanická brzda	mechanická brzda	mechanická brzda
Zvláštnosti	výkon sloupá se 3. mocninou rychlosti větru (v ostatních případech ovšem také)	nejpoužívanější typ	obvodová rychlost rotoru je větší než rychlost větru, často se používá pro náběh Darrieuova rotoru	vyžaduje pomoc při náběhu

Obr. 12: Přehled větrných motorů



Obr. 13: Součinitel rychloběžnosti

Roční využití VME je nízké, např. ve „větřné“ Kalifornii pouze okolo  $1\,200\text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$  [hodin za rok – pozn. redakce]. Přesto některé prameny uvádějí i vyšší hodnoty, např.  $2\,000$  až  $2\,500\text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$ .

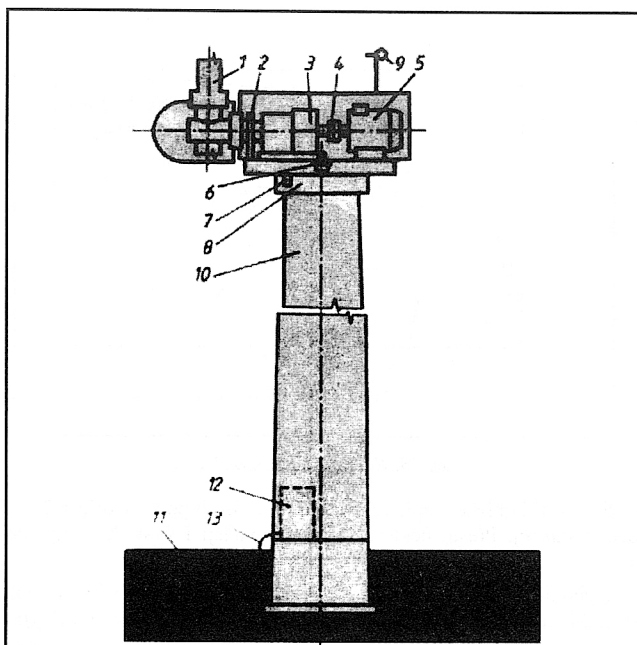
Je třeba si uvědomit, že elektřina z větrných elektráren je k dispozici pouze tehdy, když vítr vane optimálně. **Jde tedy o nezaručený výkon, který musí být zálohován jinými zdroji.**

Rychlost větru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	VME o výkonu		
	75 kW	200 kW	2000 kW
5,5	171,2 MWh.a <sup>-1</sup> 2 282,1 h.a <sup>-1</sup>	176,7 MWh.a <sup>-1</sup> 2 383,6 h.a <sup>-1</sup>	3 276,6 MWh.a <sup>-1</sup> 2 730,5 h.a <sup>-1</sup>
4,5	117,7 MWh.a <sup>-1</sup> 1 568,7 h.a <sup>-1</sup>	337,8 MWh.a <sup>-1</sup> 1 689,2 h.a <sup>-1</sup>	2 378,4 MWh.a <sup>-1</sup> 1 982,0 h.a <sup>-1</sup>
3,5	57,2 MWh.a <sup>-1</sup> 763,1 h.a <sup>-1</sup>	182,1 MWh.a <sup>-1</sup> 910,2 h.a <sup>-1</sup>	1 251,6 MWh.a <sup>-1</sup> 1 043,0 h.a <sup>-1</sup>

Tab. 3: Roční výroba a roční spotřeba VME o různém výkonu v závislosti na rychlosti větru

Záleží především na stálosti a rychlosti větru, a proto izolovaně pracující VME vyžadují akumulaci (elektrický akumulátor, zásobník tepla, výrobu vodíku aj.) nebo náhradní zdroj (např. dieselagregát).

V zimě se může na listech rotoru vytvořit námraza, takže mohou odletovat kusy ledu. Rotor, převod a generátor působí hluk (při posuzování je třeba vzít v úvahu úroveň ostatního hluku v okolí).



Obr. 14: Schéma větrné elektrárny: 1 – rotor s rotorovou hlavici, 2 – brzda rotoru, 3 – planetová převodovka, 4 – spojka, 5 – generátor, 6 – servopohon natáčení strojovny, 7 – brzda točny strojovny, 8 – ložisko točny strojovny, 9 – čidla rychlosti a směru větru, 10 – několika-dílná věž elektrárny, 11 – betonový armovaný základ elektrárny, 12 – elektrorozvaděč, 13 – elektrická přípojka

S větším výkonem větrných turbín se snižují výrobní náklady (v minulých 10 letech poklesly o 60 % a odhaduje se, že při soustředěné výrobě by mohly klesnout o 30 až 40 % a vyrovnat se výrobním nákladům na uhelné elektrárny). To ovšem platí pouze v místech, kde větrné turbíny mohou pracovat optimálně, např. v Irsku nebo v Dánsku.

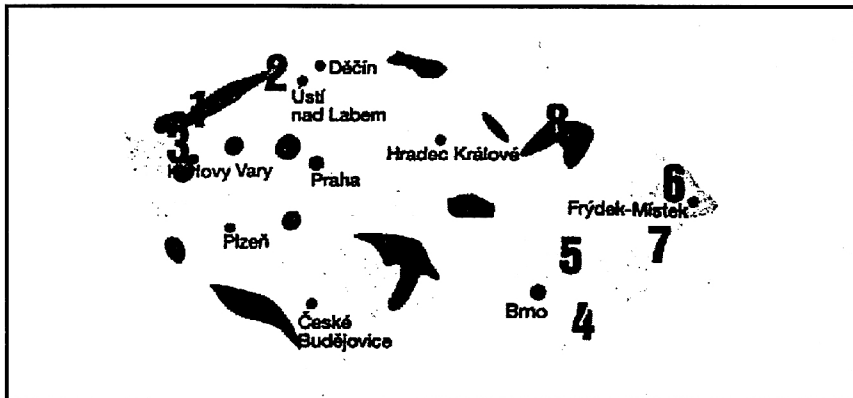
Roční využití instalovaného výkonu větrných elektráren je asi 2 000 h, což odpovídá přibližně ročnímu využití akumulčních vodních elektráren s nepoměrně lepšími regulačními vlastnostmi.

#### 4.2 Současný stav využití větrné energie k výrobě elektřiny a předpokládaný rozvoj

Odhaduje se, že v současné době je ve světě instalováno asi 200 000 větrných elektráren. Největší soustředěný větrný výkon je na větrné farmě Almont Pass v USA o celkovém výkonu 752 MW, s jednotkami o výkonu od 40 do 750 kW. Z celkového počtu 4 702 turbín jich má 3 500 výkon 100 kW. Celkový výkon větrných elektráren ve světě činí v roce 2000 cca 13 500 MW. Jsou instalovány hlavně v SRN (4 400 MW), USA (2 500 MW) a Dánsku (1 750 MW). Roční přírůstek činil 200–300 MW, v roce 1999 však cca 3 700 MW. Pokud jde o regionální rozvoj, je v Evropě největší. V Asii je přírůstek vyvolán hlavně v Indii (celkový výkon 1 000 MW), zatímco v USA přetrvává dlouhodobě stagnace. Rekord v přírůstku dosáhl SRN v roce 1999 (1 550 MW). Podíl na nově instalovaném výkonu činí 42 %, tj. 3 700 MW

V roce 1995 pracovaly ve světě větrné elektrárny o celkovém výkonu 8 500 MW (v Evropě 3 000 MW, v Asii 1 000 MW, v Americe 2 000 MW, v ostatních částech světa 2 500 MW). Předpokládá se, že v roce 2000 bude výkon větrných elektráren asi 17 000 MW (v Evropě 7 100 MW, tj. oproti roku 1995 přírůstek 4 100 MW, v Asii 4 100 MW, tj. přírůstek 3 100 MW, v Americe 3 200 MW, tj. přírůstek 1 200 MW, a v ostatních zemích 2 600 MW, tj. přírůstek 100 MW).

Instalovaný výkon větrných elektráren je v ČR v roce 1996 asi 8 MW a k roku 2005 se předpokládá zvýšení na 35 až 55 MW.



Obr. 15: Čísla přibližně označují místa, kde v současné době (1994) stojí osm větších větrných turbín o instalovaném výkonu nad 50 kW (v závorce výrobce nebo dodavatel):

- 1 Boží Dar v Krušných horách – 75 kW (Vítkovice)
- 2 Dlouhá Louka nad Osekem (okres Litvínov) v Krušných horách – 315 kW (EnergWars z Dobré, okres Frýdek-Místek)
- 3 Hory u Karlových Varů – 75 kW (Vítkovice)
- 4 Hrubá Vrbka u Kuželova v podhůří Bílých Karpat – 175 kW (Winpower, Dánsko)
- 5 Strabence v podhůří Chřibů – 315 kW (Vítkovice) – osud díla nejasný
- 6 Staříč u Frýdku-Místku – různé výkony (zkušební polygon firmy Energowars)
- 7 Bílý Kříž v Beskydech – 60 kW (Tacke, SRN)
- 8 Mravenečník u Loučné nad Desnou v podhůří Jeseníků – 250 kW (Worldwind, Dánsko)

## 5. Geotermální energie

Rozlišujeme 2 druhy zdrojů geotermální energie:

- a) **mokrá** – energie páry a horké vody – výroba elektrické energie, otop,
- b) **suchá** – z hlubokých vrtů.

Zdroj suchého tepla v 6 000 m zemské kůry při teplotách 200 °C je větší než energetický obsah veškerých světových zásob fosilního paliva. Vzhledem k nízké tepelné vodivosti hornin je však toto teplo zatím průmyslově nevyužitelné. Vedením tepla z horninového podloží se dostává do atmosféry a do oceánů cca 35 TW.

Odhad celosvětových zásob mokrých zdrojů se odhaduje na 2 TW (v osídlených oblastech Země).

### Systém suché páry

Na některých místech jsou geologické poměry tak příznivé, že z podzemního tepelného zdroje – z vrtů nebo přírodních vývěrů – uniká přímo přehřátá pára. Ta pak (po odfiltrování kapiček vody) pohání turbíny elektrárny. Po ochlazení a zkondenzování se vrací sousedními vrty zpět do země, blíže k magmatickému poli. Tento postup je poměrně jednoduchý, je však použitelný pouze v případě dostupného zdroje o vysoké teplotě. Teplota páry může dosáhnout při sedminásobku atmosférického tlaku až 200 °C.

### Systém mokré páry

Obvykle není možné získat z podzemních zdrojů páru s tak dobrými parametry, aby mohla přímo pohánět turbínu. Tam, kde voda v podzemí dosahuje teploty od 180 do 350 °C (a díky vysokému tlaku se nezměníla v páru), vede se do odtlakovací nadržky, ve které se po rychlém snížení tlaku část vody změní v páru. Ta se opět vede na turbínu.

### Horkovodní (binární) systém

Tam, kde má voda jen malý tlak a poměrně nízkou teplotu, slouží horká voda pouze k ohřátí jiné pracovní kapaliny s nižším bodem varu. Jako pracovní médium připadají v úvahu organické látky, např. propan a isobutan. Propan a isobutan jsou však explozivní, freony zase narušují ozónovou nadzemní vrstvu. Další vývoj tohoto systému bude proto záviset na nalezení méně škodlivého pracovního média.

### Horká suchá skála (metoda „Hot-Dry-Rock“)

Jestliže nejde v nitru Země nalézt žádné vrstvy propustné pro vodu, chybí médium, které by mohlo přenášet teplo na zemský povrch. To však ještě nemusí být důvod, abychom teplo ponechali v zemi. Postup „Hot-Dry-Rock“ umožňuje využít i energii takové horniny, která nepropouští vodu. Úvolnění podobného zdroje tepla začíná vrtem. Odstřešením nebo tlakem vody se v hloubce kolem vrtu vytvoří umělé trhliny, aby se výměna tepla zlepšila. Pak se do vrtu zavádí voda, která přejímá teplo horké horniny a jiným vrtem vystupuje zpět na povrch. Teplo ohřáté vody se využívá buď k výrobě páry v tepelném výměníku nebo přímo k vytápění.

## 5.1 Využití geotermální energie k výrobě elektrické energie

Od dvacátých let se začala využívat geotermální energie pro výrobu elektrické energie (Japonsko, Nový Zéland, USA). Ve větší míře dochází k využití až v šedesátých letech (v USA, v Indonésii i v rozvojových zemích Jižní Ameriky a východní Afriky). Výkony se pohybují od několika desítek MW do 300 MW.

V roce 1989 bylo v zemích EU instalováno celkem 519 MW v elektrárnách využívajících tzv. vysokoentpickou geotermální energii (o teplotě vody přes 150 °C), zejména v Itálii (510 MW). Malé demonstrační jednotky jsou i ve Francii, Portugalsku a Řecku: Nízkoental-

pická geotermální energie (teplota vody pod 150 °C) se využívá buď přímo, nebo pomocí tepelných výměníků nebo tepelných čerpadel k výrobě dodávkového tepla.

Největší producenti tepla na bázi geotermální energie jsou: Francie – 204 000 toe [tun ropného ekvivalentu – pozn. redakce] (8 541 TJ) a Itálie – 96 000 toe (4 019 TJ). V ostatních zemích EU (s výjimkou Irska, Lucemburska a Nizozemí) jsou jen malé demonstrační jednotky o roční výrobě 0,6 až 1,8 toe.

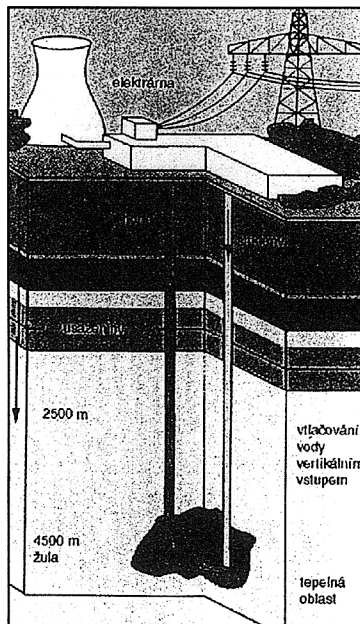
Největší geotermální elektrárna typu „suchá pára“ pracuje v Kalifornii v údolí „The Geysers“. Má obdivuhodný výkon 950 MW.

V 46 zemích světa je v současné době instalováno 7 900 MW elektrického výkonu. Výroba elektřiny činila v roce 1999 cca 49 TWh. V USA má být v roce 2020 pokryto 10 % potřeby západních států USA z geotermálních zdrojů.

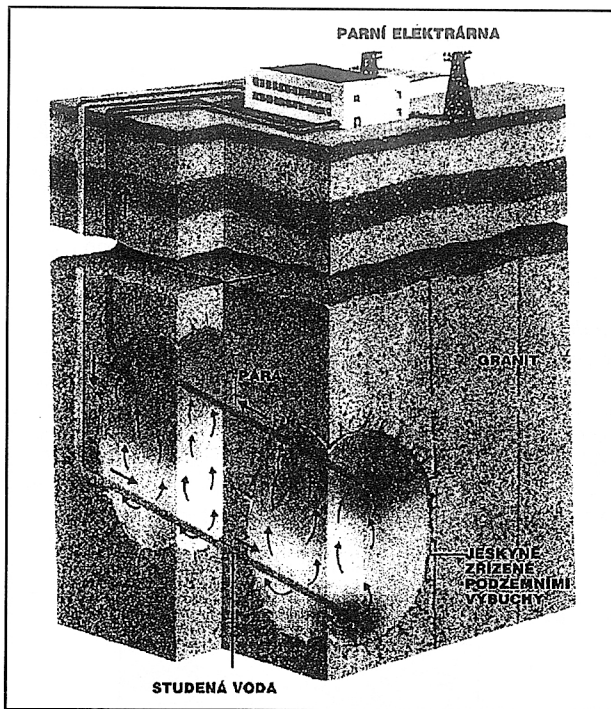
## 5.2 Geotermální energie v České republice

V České republice jsou v dostupných hloubkách pouze zdroje geotermální vody o nízké teplotě (25–35 °C), které jsou málo vhodné k energetickým účelům – je nutná instalace tepelného čerpadla. Výhodou na druhé straně je nízký obsah solí v této vodě, kterou by tedy nebylo nutné reinjektovat, ale bylo by ji možné po úpravě použít jako pitnou vodu. Jeden z takovýchto projektů byl zkoumán např. v Děčíně, kde je zdroj geotermální vody teplé kolem 27 °C (nyní je využívána pouze k ohřevu vody v místním koupališti) o odhadované celkové dynamické vydatnosti 100 l/s (to odpovídá tepelnému výkonu asi 10 MW). Další využití se připravuje.

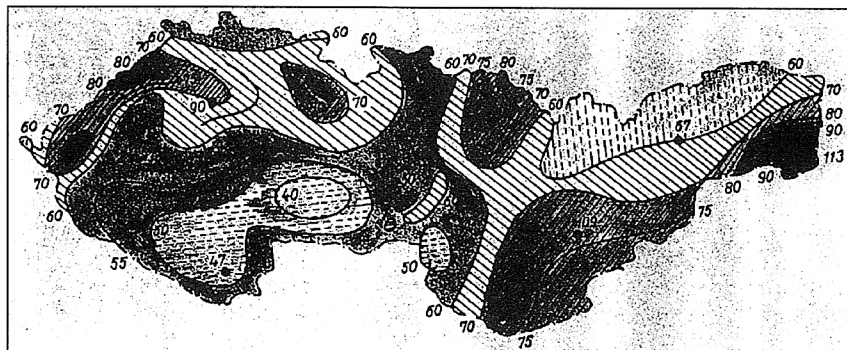
Další možnosti využití geotermální vody se podle nových geologických průzkumů ukazují na jižní Moravě (tj. severní část Vídeňské pánve), kde se nacházejí zdroje vody o teplotě 60 až 70 °C, kterou by bylo možné využívat bez tepelného čerpadla.



Obr. 1: Geotermální elektrárna



Obr. 2: Pokusy s odváděním tepla metodou „Hot-Dry-Rock“



Obr. 3: Tepelný výkon geotermálních zdrojů na území bývalé ČSFR. Isočáry vymezují místa shodné geotermální aktivity ( $mW \cdot m^{-2}$ )

## 6. Biomasa

Dřevo je nejstarším palivem, které je známé lidskému pokolení, a v mnoha rozvojových zemích zůstává životně důležitým energetickým zdrojem. Odhaduje se, že dřevo, traviny a zemědělský odpad – jež můžeme zahrnout pod zastřešující termín biomasa – jsou čtvrtým největším zdrojem energie na světě a pokrývají okolo 14 % celkové poptávky.

Energetická hodnota jedné tuny v peci vysušeného dřeva je kolem 19 GJ. Pokud je dřevo mokré, hodnota klesá na asi 15 GJ/t. Energetická hodnota uhlí je 26 GJ/t, topný olej má 45 GJ/t.

Ačkoli se většina průmyslových zemí stále spoléhá na fosilní a nukleární paliva, podařilo se úspěšně poukázat na některé výhody používání biomasy z hlediska životního prostředí.

Spalováním dřeva a travin se vyprodukuje o jednu třetinu méně emisí oxidů síry a dusíku než spalováním fosilních paliv. Emise oxidu uhličitého ze spalování dřeva jsou považovány z hlediska životního prostředí za neutrální, protože se rovnají množství oxidu uhličitého, které je absorbováno rostlinami během fotosyntézy.

Biomasu může poskytnout lesní hospodářství. Existují dva základní způsoby jejich získávání:

- a) důsledné využívání zbytků po lesní těžbě,
- b) pěstování speciálních druhů rychle rostoucích dřevin.

Optimální je kombinace obou uvedených principů, která by umožnila na jedné straně využití ploch uvolněných zemědělstvím a na druhé straně zpracování průmyslově nevyužitelné biomasy. Dřeviny vhodné pro pěstování jako pařeziny (topol, vrba) dosahují výnosu v sušině kolem 15 t/ha za rok a nejkvalitnější odrůdy se blíží hranici 29 t/ha za rok.

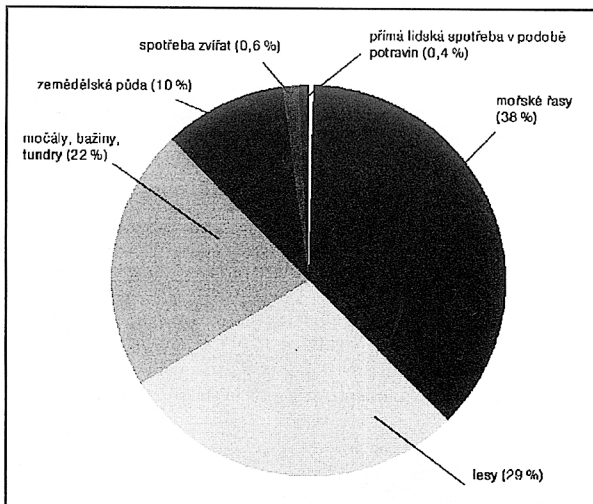
Pro všechny způsoby energetického využití je možné dodávat dřevo ve formě tzv. štěpek.

Z rozdrčeného a vysušeného dřeva stromů, které poměrně rychle rostou, ale nehodí se příliš k průmyslovému zpracování (vrby, topoly, osiky, olše), je možné lisovat dřevěné brikety s výhřevností až 21 GJ na tunu.

Sláma, stébelniny a dřevo se svou výhřevností podobají hnědému uhlí, v suchém stavu dosahují 12 až 15 MJ·kg<sup>-1</sup>. Mají však více zplyňujících látek – až 80 % a podstatně méně popele – 1 až 6 %. Obsahují asi 100krát méně síry než hnědé uhlí, velmi málo těžkých kovů a chloridů. Biopaliva mají však značně rozmanité formy, tvary, objemové hmotnosti a netvoří jednotné druhy paliva jako paliva fosilní. Objemová hmotnost se pohybuje od cca 40 až 50 kg·m<sup>-3</sup> u řezané slámy, přes 150 kg·m<sup>-3</sup> u lisované slámy a pilin, 250 kg·m<sup>-3</sup> u dřevní štěpky, 450 až 700 kg·m<sup>-3</sup> u plnového dřeva až k hodnotám přes 1 000 kg·m<sup>-3</sup> u briketových paliv.

Předpokladem tržního uplatnění biopaliv je proto jejich nezbytná standardizace. U dřeva od formy polínek a štěpky, u slámy do formy obřích balíků, briket a pelet. Každá úprava biopaliv však značně zvyšuje jejich cenu a musí se proto omezit na nezbytnou míru a provádět na výkonných strojích s vysokým ročním využitím. U briketovacích lisů je např. limit kolem 2 000 tun paliva za rok.





Obr. 1: Rozdělení energetického potenciálu biomasy

### 6.1 Zvláštnosti biopaliv

Všechna pevná paliva rostlinného původu mají podobné chemické složení se 44–46% obsahem uhlíku, 6 % vodíku a několik procenty dalších spalitelných látek. Kyslíku obsahují asi 36 až 44 %. Hořením z 1 kg sušiny vzniká asi 1,6 kg CO<sub>2</sub>, což odpovídá spálení asi 0,6 kg černého uhlí nebo 0,86 kg hnědého uhlí nebo 0,53 kg koksu nebo 0,69 kg LTO [lehkých topných olejů – pozn. redakce].

U stébelnin je významnou vlastností z hlediska spalování rychlá a energeticky málo náročná zplynovatelnost.

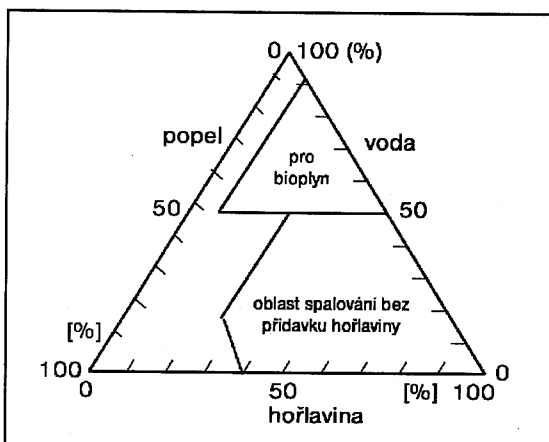
Už při teplotách kolem 200 °C snadno dosažitelných v keramikou obložených spalovacích prostorách nastává zplyňování cca 80 až 85 % hmoty stébelnin, pokud jsou vkládány ve volném stavu. U briketované slámy je zplyňování mnohem pomalejší a trvá několik desítek minut.

Na rozdíl od topenišť na koks, kde probíhá prakticky bezplynné spalování a postačuje jeden přívod spalného vzduchu do žhnoucího koksu, musí být topeniště na spalování stébelnin vybaveno několikastupňovým přívodem vzduchu: primárním a sekundárním a u větších topenišť i terciálním, s nezbytným systémem dokonalého promíchávání spalných plynů se vzduchem a dostatečným prostorem pro dohoření plynů. Topeniště na slámu a dřevo jsou často vybavena dlouhými dohořivajícími komorami, meandry, případně i žhnoucími přepážkami s katalyzačními účinky před vlastními teplosměnnými plochami.

Bioplyn vzniká působením vhodných skupin mikroorganismů na organické zbytky rostlinného i živočišného původu v anaerobním prostředí.

Jestliže materiál obsahuje dostatečný podíl sušiny a hořlaviny, je výhodnější jeho přímé energetické spálení. Při vysokém obsahu vody je výhodnější zpracování na bioplyn.

Při zhodnocování skládkového plynu, tj. bioplynu vznikajícího zkvašováním organického podílu ve skládce dochází ke spalování materiálu spalným teplem vlastní hořlaviny.



Materiál	Poměr C/N
lidské fekální odpady a vepřová kejda	6 až 8
seno, slepičí trus, kuchyňský odpad, hovězí hnůj	12 až 18
koňský hnůj	25
obilné slámy	50 až 150
dřevěné piliny	200 až 500

Plynový výnos kejdy a hnoje za jeden den	
jedna kráva	1,1 m <sup>3</sup>
jedna prasnice	0,3 m <sup>3</sup>
jedno krmené prase	0,13 m <sup>3</sup>
200 kuřat	1,5 m <sup>3</sup>

Tab. 1: Energie 1 m<sup>3</sup> bioplynu odpovídá energii asi 0,6 litrů topného oleje

## 6.2 Možnosti uplatnění na trhu elektřiny a tepla

Na rozdíl od přímého energetického využití sluneční a větrné energie není využití biomasy zatíženo kolísáním nabídky, tzn. biomasu je možno bezprostředně začlenit do infrastruktury energetického hospodářství jako nové palivo.

Na základě zkušeností z několikaletého pěstování a využívání biomasy se dospělo k závěru, že při zcela realistickém hodnocení nákladů na výrobu elektřiny a tepla v zařízeních spalujících biomasu je tato výroba 2 až 3krát dražší ve srovnání s výrobními náklady při využití fosilních paliv.

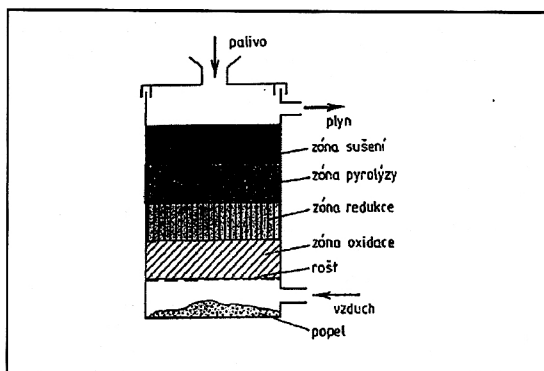
Jak Francie, tak Spojené státy nyní získávají více než 15 % své celkové energie z biomasových paliv. Švédsko, které z nich běžně získává 14 %, doufá, že zdvojnásobí využívání biomasy.

Spalování slámy je rozšířeno především v Dánsku, kde je sláma spalována buď samostatně nebo v kombinaci s uhlím. Samostatně je sláma spalována v ohništi kotlů na slámu díky speciálnímu řešení kontinuálního podávání a spalování celých balíků slámy tzv. „doutníkovým

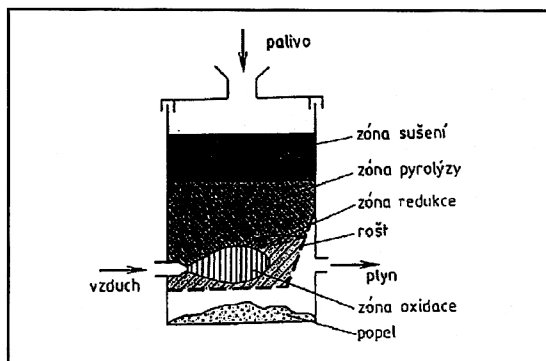
spalováním“. Kombinované spalování slámy a uhlí je aplikováno především ve fluidních kotlích, které umožňují spalování paliv s proměnlivým složením a také poměr uhlí/sláma je možno volit v dostatečně širokém měřítku.

### 6.3 Využití biomasy v ČR

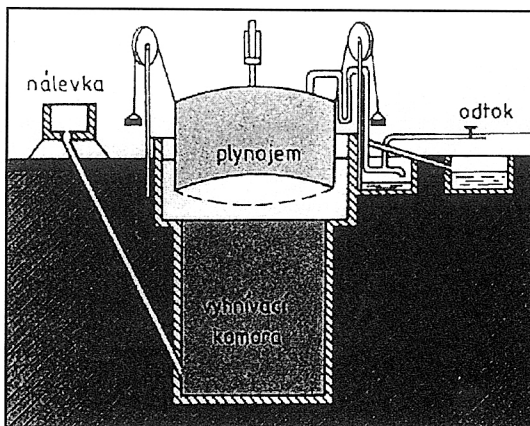
Sláma je již dnes dosažitelným energetickým potenciálem, který by mohl být relativně rychle využíván. Odhad produkce slámy v ČR činí kolem 6,2 miliónu t/rok. Po odečtu slámy, která musí zůstat v zemědělství (produkce humusu, pěstování zemědělských zvířat), odhadu dalších ztrát i nemožnosti energetického využívání slámy z příliš vzdálených polí by pro ČR vedl k možnému energetickému potenciálu asi 16,5 PJ/rok [petajoulů za rok – pozn. redakce]. Počítáme-li s průměrnou roční účinností výtopy spalující slámu 70 až 75 %, byla by roční výroba tepla v těchto výtopnách 11,5 až 12,4 PJ/rok. Samotný obsah tepla v této slámě by představoval asi 6 % tepla v dováženém zemním plynu. Pokud by sláma měla sloužit jako palivo v parní elektrárně při průměrné účinnosti 30 %, byla by možná výroba elektrické energie ze slámy kolem 1,4 miliónu MWh/rok, tj. asi 2 % vyrobené elektrické energie v ČR.



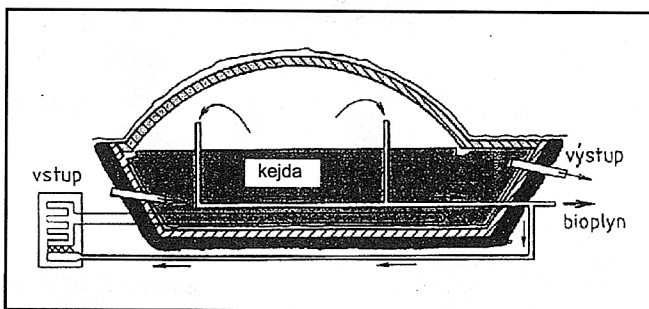
Obr. 2: Protiproudý zplyňovač



Obr. 3: Zplyňovač s příčným prouděním



Obr. 4: Schéma zařízení na výrobu bioplynu používané v Indii



Obr. 5: Lug-flow systém s pevným plastovým krytem

#### 6.4 Tuhý komunální odpad

Tuhý komunální odpad (TKO) je pojem, který zahrnuje několik kategorií odpadů:

- domovní odpad z domácností,
- odpad z obcí podobný odpadu z domácností,
- objemný odpad,
- uliční smetky;
- odpad ze zeleně.

Koncepce zneškodňování TKO musí respektovat posloupnost jednotlivých činností:

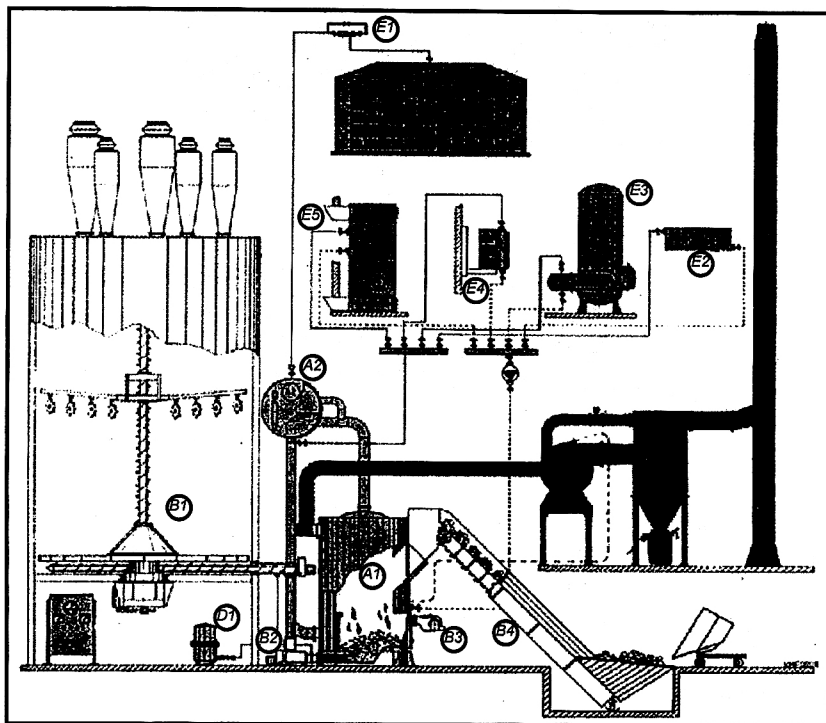
- separace odpadů v místě vzniku,
- využití recyklovatelných složek odpadů,
- tepelné zneškodňování spalitelných frakcí,
- deponie nespalitelných zbytkových odpadů.

Jedině při takovém přístupu můžeme hovořit o racionálním systému nakládání s odpady a efektivním využitím všech jejich složek. Oproti skládkování, které v dnešní době představuje

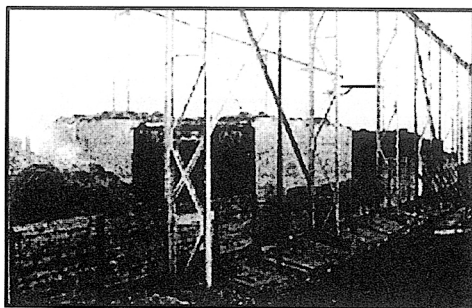
naprosto převažující způsob zneškodňování zbytkového odpadu u nás, vykazuje termická likvidace některé přednosti:

- redukce objemu odpadů (v míře až 90 %),
- energetické využití odpadu,
- minimalizace organických látek,
- bezpečné vázání rizikových látek,
- využití některých produktů,
- mnohem větší možnost výpočtu procesu, jeho řízení a kontroly,
- možnost modernizace technologie.

Látková skladba TKO naznačuje, že jeho nezanedbatelný podíl lze využít jako palivo. Výhřevnost takového paliva se v reálu pohybuje kolem 10 000 kJ/kg. Z jedné tuny odpadu lze získat až tři tuny páry.



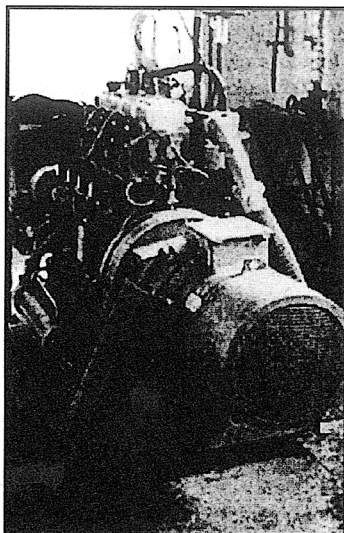
Obr. 6: Schéma belgické kotelny na spalování dřevní štěpky (výkon 350 kW)  
 A1 – nízkotlaký parní kotel VIF LD, A2 – parní přehřivač, B1 – zásobník dřevního odpadu s vybíračem – systém VIMATIC, B2 – dávkovač paliva, B3 – pomocný hořák, B4 – dávkovač kusového dříví, D1 – expanzní nádoba, E1 – kolektor, E1 až E5 – odběr tepla (vytápění, ohřev vody a vzduchu, klimatizace, sušení)



A



B



C

Obr. 7: Bioplynová stanice na slámnatý hnůj v Jindřichově. A – celkový pohled na zpracování slámnatého hnoje. Vlevo prefermentace, uprostřed plnění do mřížových košů, vzduchotěsné uzavření zvoncem a vpravo vzaadu (černá hmota) je odplyněný hnůj, B – skladování bioplynu C – motorgenerátor na výrobu elektřiny a tepla

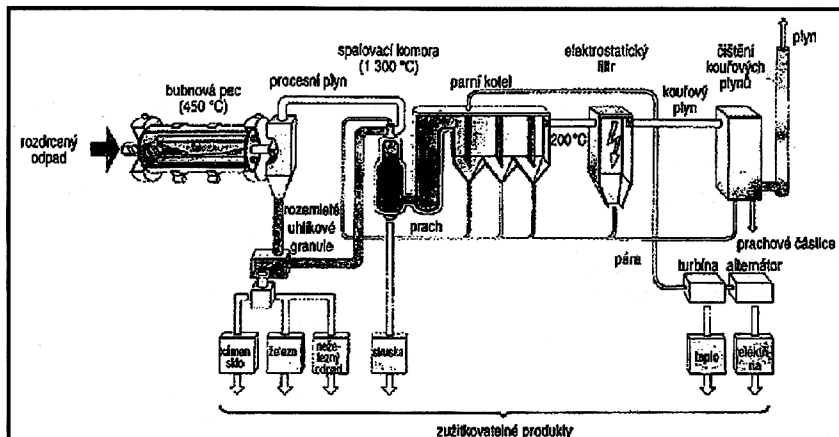
### Nový termický postup na likvidaci odpadů – zařízení pro spalování za omezeného přístupu vzduchu (s tzv. prodoutnáváním)

Tato technologie se ideálně začleňuje do koncepce ekologického hospodářského koloběhu. Inovativní kombinace tepelného zpracování odpadů (pyrolýzy) a navazujícího vysokoteplotního spalování umožňuje téměř bezzbytkovou přeměnu odpadků v cenné materiály a energii. K ekologickým přednostem této technologie patří rovněž malé množství emisí, které zdaleka nedosahuje zákonné mezní hodnoty.

Rozdrcené odpadky se nejdříve zpracovávají v bubnu bez přístupu vzduchu za teploty 450 °C.

Při následující pyrolýze vzniká plyn a prach s obsahem uhlíku, které se spalují ve vysoko-teplotní spalovací komoře při teplotě asi 1 300 °C. Tekutá struska, která přitom vzniká, se ve vodní lázni mění na granulát, který lze používat jako náhražku šterku a písku při stavbě silnic.

Díky vysoce efektivnímu systému čištění kouřových plynů jsou hodnoty emisí této technologie přinejmenším stejné, u těžkých kovů dokonce ještě lepší než u jiných postupů. Také množství emisí připadající na zpracovanou tunu odpadků je velmi malé. Množství odpadních plynů je až o třetinu nižší, než jsou mezní hodnoty dnešních spaloven.



Obr 8: Schéma ekologické spalovny Siemens

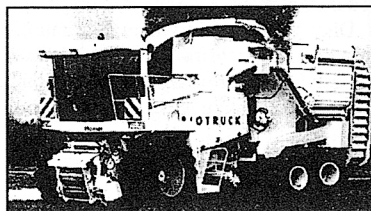
### Využití řepky pro energetické účely

Orientace zemědělců na olejniny, jako zmírnění závislosti země Evropského společenství a země střední Evropy začala koncem 70. let.

V roce 1992 vláda ČR schválila celostátní program využití řepky pro výrobu bionafty a maziv, ve kterém byly kvantifikovány cíle i náplň programu a specifikovány formy státní podpory a realizace a využití řepky olejky v oblasti oleochemie v souvislosti s očekávaným obdobím restrukturalizace výroby, ve kterém by mohlo být určité množství produkce pro výrobu potravin nahrazeno výrobou surovin pro průmyslové zpracování a energetické účely. Celková produkční kapacita výroben realizovaných v první etapě programu činí cca 60 tisíc tun bionafty a znamená využití 65 až 75 tisíc ha řepky při současné výnosové úrovni. Představuje to cca 30procentní podíl produkce ze současné výměry řepky (výroba olejů na osobu tak dosahuje u nás minimálně 24 kg, spotřeba se však pohybuje kolem 15 kg za rok).



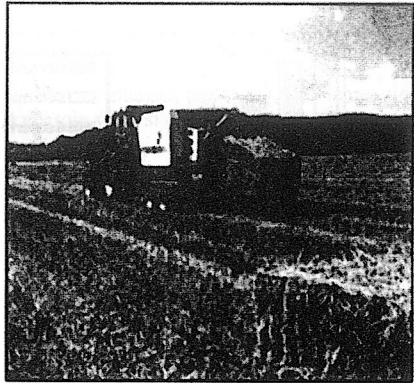
Obr. 9: Sklizeň z „energetické“ plantáže



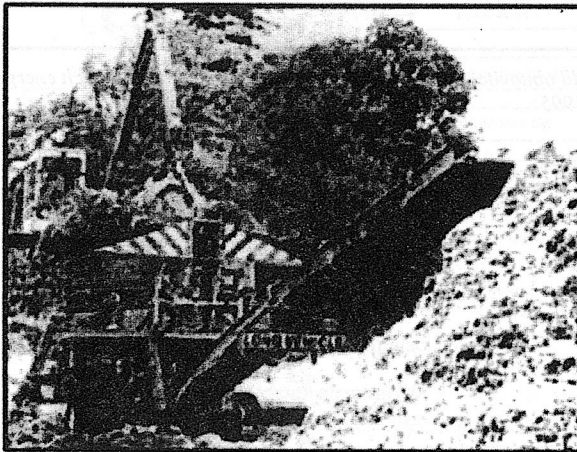
Obr. 10: Mobilní peletovací lis na suché stébelny BIOTRUCK 2000



Obr. 11: Zimní sklizeň rychle rostoucích dřevin pro energetické účely



Obr. 12: Sklizeň řepkové slámy

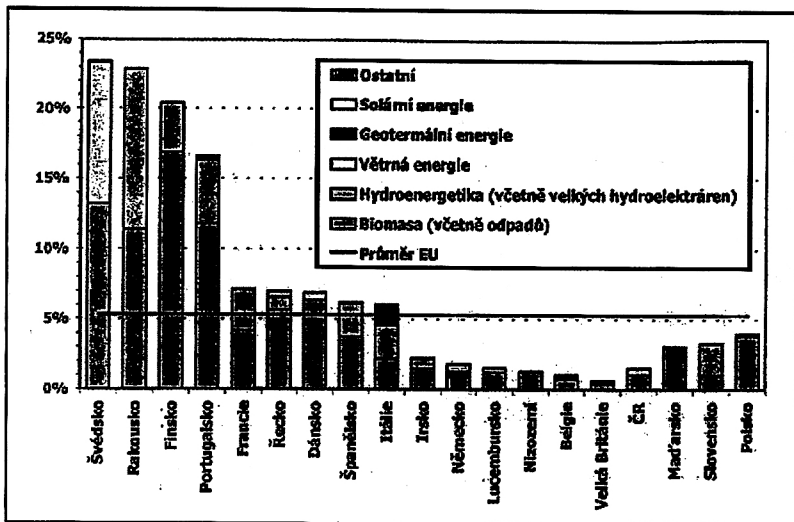


Obr. 13: Úprava zbytků sklizně (slámy) drcením

Palivo	Výhřevnost (MJ/kg)
nafta	42,6 MJ/kg $\leq$ 11,83 kWh
topný olej (těžký)	40,3 MJ/kg $\leq$ 11,19 kWh
zemní plyn	36,0 MJ/kg $\leq$ 10,08 kWh
koks (černé uhlí)	28,3 MJ/kg $\leq$ 7,86 kWh
bioplyn	25,0 MJ/kg $\leq$ 6,95 kWh
dřevo	15,5 MJ/kg $\leq$ 4,30 kWh
sláma	14,2 MJ/kg $\leq$ 3,90 kWh
hnědé uhlí	11,1 MJ/kg $\leq$ 3,08 kWh

Tab. 2: Výhřevnost kapalných a tuhých paliv

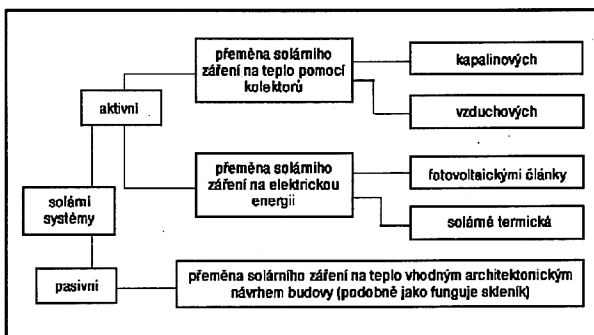




Obr. 14: Podíl obnovitelných zdrojů na tuzemské spotřebě primárních energetických zdrojů – 1995

## 7. Sluneční energie

Sluneční záření poskytuje denně Zemi stotisíckrát více energie, než vyrábějí všechny elektrárny na světě. Ročně je dodávána Zemi tepelná energie ve výši cca 178 000 TWr/r [*terawatt-roků za rok – pozn. redakce*] v čisté formě, která neovlivňuje nepříznivě životní prostředí. Část sluneční energie se rozptýlí, část je absorbována, takže lze naměřit na Sahaře cca 80 % původní hodnoty, ve středních zeměpisných šířkách 35–40 %. Část, cca 30 %, se odráží do mraků, prachových částic a zemského povrchu, asi 70 % se absorbuje. Z absorbovaného množství připadne cca 83 000 TWr/r na vnitřní energii vzduchu a vody a 41 000 TWr/r na latentní teplo, spojené s vypařováním vody z oceánů a vlhkých oblastí zemského povrchu. Toto latentní teplo se případně v atmosféře uvolňuje kondenzací. Absorbovaná sluneční energie opouští zemi jako infračervené (tepelné) záření. Čistý výtěžek pro živou hmotu činí cca 100 TWr/r. Využití sluneční energie je patrné ze schématu:

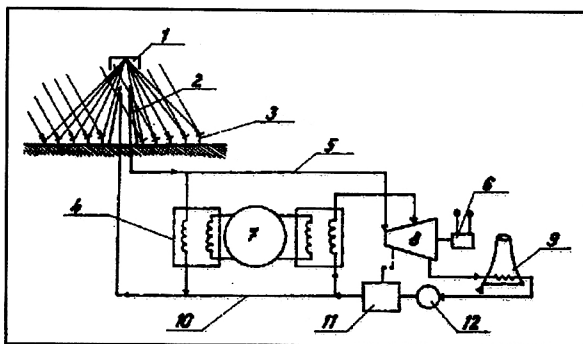


Problémy využívání slunečního záření jako energetických zdrojů:

- nerovnoměrné rozdělení mezi rovníkové oblasti a oblasti severnější nebo jižnější,
- složitá a těžkopádná konstrukční řešení,
- rozsáhlé technické prostředky pro dopravu a akumulaci energie.

### 7.1 Přeměna sluneční energie na elektrickou energii

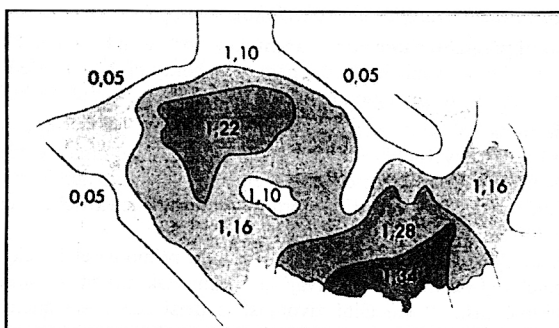
- Soustředování přímého slunečního záření** na absorbátoru k dosažení teplot až 600 °C. V absorbátoru – kotli – vzniká přehřátá pára nebo horký plyn a prostřednictvím konvenčního parního cyklu nebo vysokoteplotního cyklu se vyrábí elektrický proud. Na 100 MWe je třeba 0,9 km<sup>2</sup> zrcadlové plochy, umístěné na 3,8 km<sup>2</sup> celkové rozlohy. Účinnost je i ve slunných oblastech 15–20 %. Zbytek jsou ztráty v přenosu záření přes povrch zrcadel k absorbátoru a přeměně na elektrinu a ztráty energie, potřebné k pohánění systému otáčivých zrcadel. Zařízení pro výrobu páry a elektrické energie je stejně složitá jako u klasických elektráren.
- Fotoelektrické systémy** přeměňují sluneční energii přímo na elektrický proud. Sluneční články fotoelektrických zdrojů využívají jak přímé, tak difúzní sluneční záření. Nemají žádné pohyblivé části. Potenciální životnost je delší než u stávajících kondenzačních elektráren. Účinnost je až 20 %. Nevýhodou jsou velmi vysoké investiční náklady (až 10 US dolarů na 1 watt výkonu). Z hlediska materiálové náročnosti sluneční elektrárna spotřebuje 12krát více oceli než uhelná elektrárna a rovněž podstatně více než elektrárna s lehkovodním jaderným reaktorem. Betonu spotřebuje sluneční elektrárna 60krát více než elektrárna s lehkovodními reaktory stejného výkonu.



Obr. 1: Sluneční tepelná elektrárna s centrálním absorbatorem (1 – absorbátor, 2 – věž, 3 – heliostaty, 4 – výměníky tepla, 5 – pára, 6 – generátory, 7 – akumulace, 8 – turbína, 9 – chladicí věž, 10 – napájecí voda, 11 – ohříváč napájecí vody, 12 – čerpadlo)

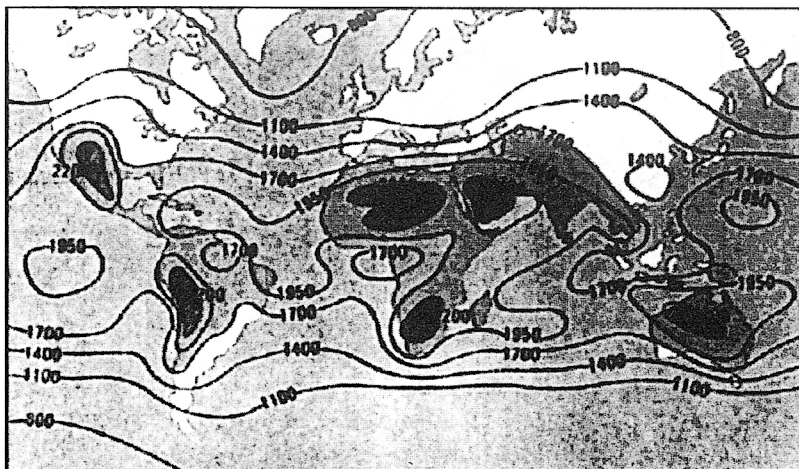
Oblast	Proční průměrné intenzity záření (na vodorovné ploše)	
	(kWh/m <sup>2</sup> /den)	(W/m <sup>2</sup> )
tropická oblast, pouště	5-6	210-250
mírné pásmo	3-5	130-210
méně slunné oblasti	2-3	80-130
přímé záření ve slunných oblastech	7-8	290-330
přímé záření ve slunných suchých oblastech, měsíční průměr	5-10	210-420

Tab. 1: Roční průměrné intenzity slunečního záření



Obr. 2: Na vodorovně umístěnou plochu jednoho metru čtverečního v našich krajinách dopadá za rok více než tisíc kWh sluneční energie. Obrázek znázorňuje podrobné rozložení po republice. Údaje jsou v megawatthodinách (tj. v tisících kWh). Nejvíce slunečního záření dopadá na jižní Moravě

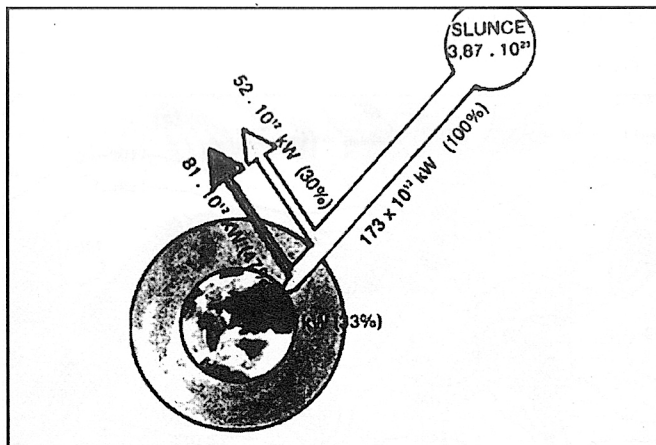
Přesto vedle množivých jaderných reaktorů může v budoucnu sluneční energie poskytovat nevyčerpatelný zdroj energie, který by znamenal velké možnosti rozvoje chudých, ale sluncem bohatých oblastí.



Obr. 3: Mapa průměrného ročního svitu v různých částech světa (v kWh/m<sup>2</sup> za rok). V České republice slunce svítí na většině míst 1 500 až 1 700 hodin za rok, na jihu pak 1 700 až 1 900 hodin ročně. Za jeden den dopadnou v chladnějších místech 2 až 3 kWh sluneční energie na m<sup>2</sup> plochy, v letních měsících je to 4,5 až 5,5 kWh·m<sup>-2</sup>. Průměrné množství energie slunečního svitu za jeden rok je 950 až 1100 kWh·m<sup>-2</sup>, tj. okolo 1 TWh na km<sup>2</sup>.

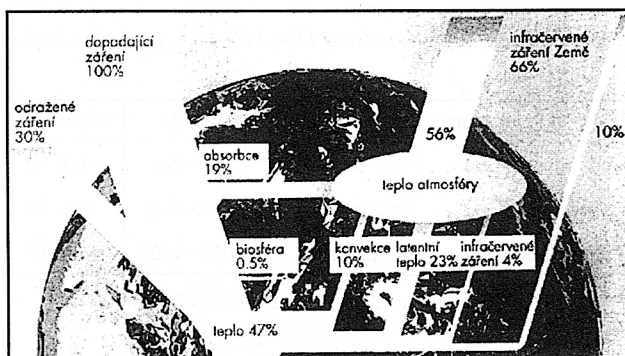
Stupeň koncentrace	Druh kolektoru	Teplota	Účinnost %
bez koncentrace	plochý	60–200	max. 50
střední konc.	parabolický válec	250–700	max. 70
vysoká konc.	parabolid	650–4000	max. 75

Tab. 2: Účinnost různých druhů slunečních kolektorů

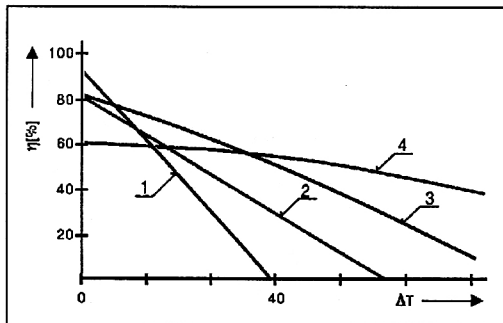


Obr. 4: Jaká část slunečního záření dopadne na zemský povrch?

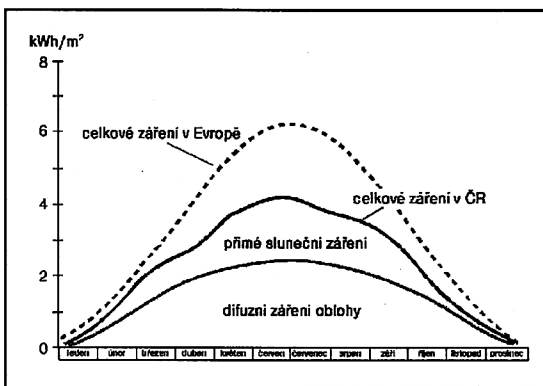
- $3,87 \cdot 10^{23}$  kW – celkový výkon slunečního záření,
- $173 \cdot 10^{12}$  kW – záření dopadající na zemskou atmosféru,
- $52 \cdot 10^{12}$  kW – odraz od atmosféry,
- $81 \cdot 10^{12}$  kW – teplo vyzářené zpět do vesmíru,
- $40 \cdot 10^{12}$  kW – výkon dopadající na zemský povrch.



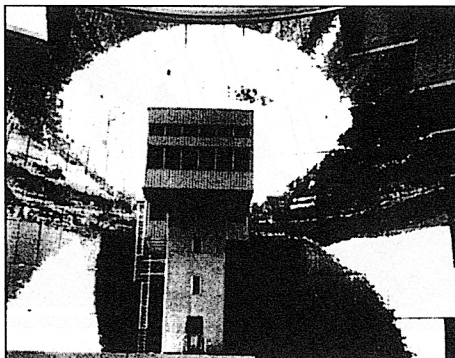
Obr. 5: Sluneční energie na Zemi. Z celkového dopadajícího záření (příkonu) 180 tisíc TW (= 100 %) se asi třetina odráží zpět do kosmického prostoru, necelá pětina je pohlcena v atmosféře a téměř polovina se přemění v teplo na povrchu Země. Asi půl promile (to je 90 TW) se mění v chemickou energii biomasy přes fotosyntézu zelených rostlin a fytoplanktonu. Zachycená sluneční energie je pak vyzařována jako tepelné infračervené záření do kosmického prostoru.



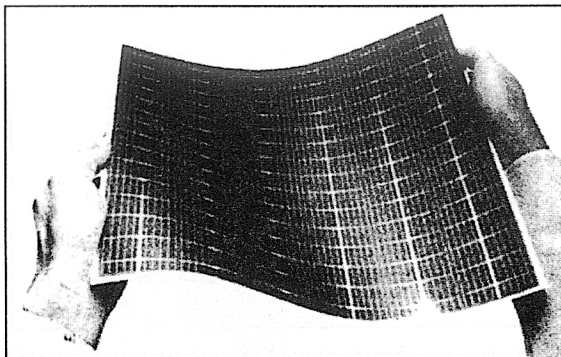
Obr. 6: Účinnost různých typů sběračů sluneční energie při intenzitě sluneční energie záření  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 1 – plastový absorber, 2 – plochý kovový kolektor s neselektivní vrstvou, 3 – plochý kovový kolektor se selektivní vrstvou, 4 – tepelná vakuová trubice



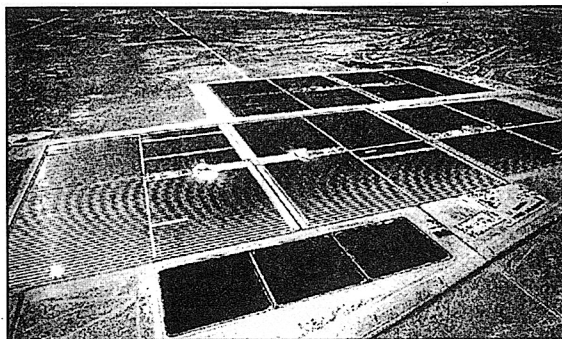
Obr. 7: Globální sluneční záření v České republice



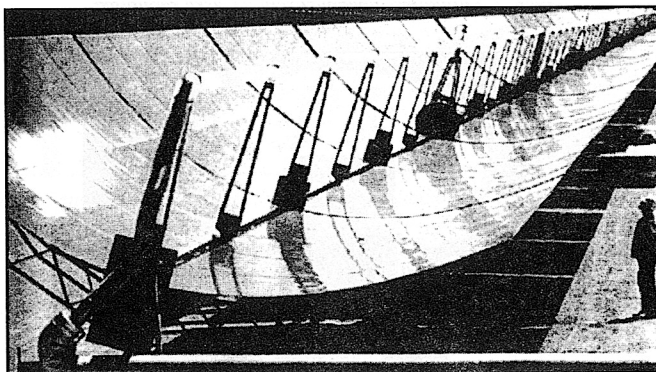
Obr. 8: Obří solární zařízení ve Francii



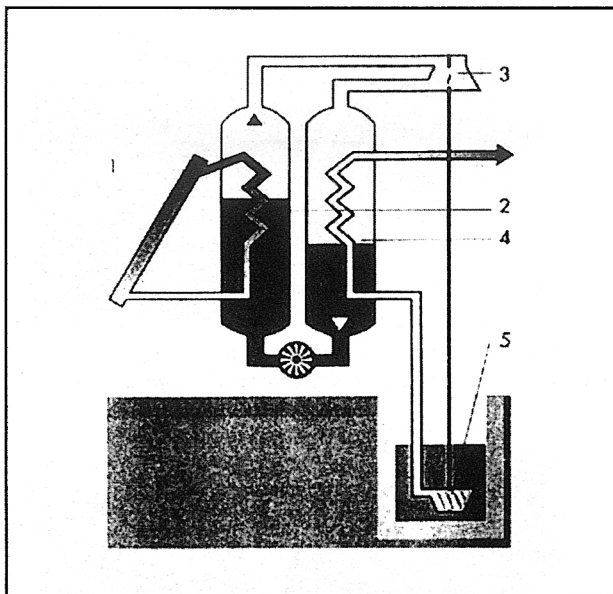
*Obr. 9: Supertenké ohebné sluneční baterie k nalepení na střechu elektromobilu, motorového člunu nebo pro přenosnou radiostanici*



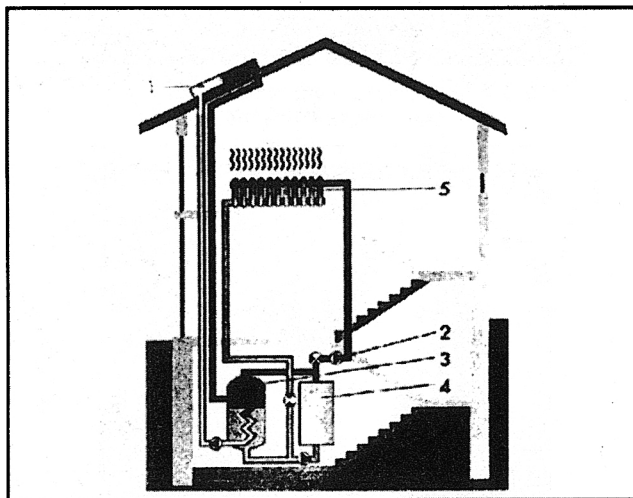
*Obr. 10: Fotovoltaické zařízení (sluneční elektrárna)*



*Obr. 11: Zrcadlové desky s kolektorem ve formě trubice*

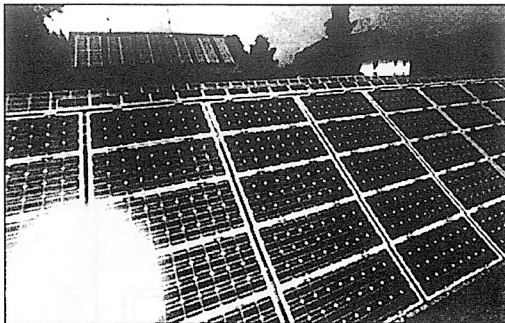


Obr. 12: Sluneční čerpadlo. Teplo získané ve slunečních kolektorech 1 zahřívá pracovní látku (freon, propan aj.) ve výparníku 2 pára pohání turbínu 3 a chladí se kondenzátorem 4 turbína pohání pumpu 5 a studniční voda protéká kondenzátorem

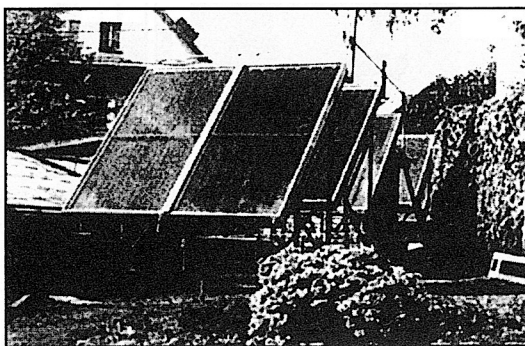


Obr. 13: Schéma kombinace slunečního a klasického (v tomto případě pomocného) topení v jednoduchém aktivním slunečním domě. 1 – sluneční kolektor, 2 – čerpadla, 3 – akumulace tepla, 4 – pomocné topení, 5 – topné těleso

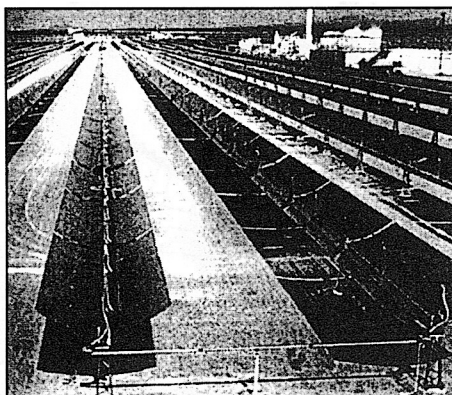




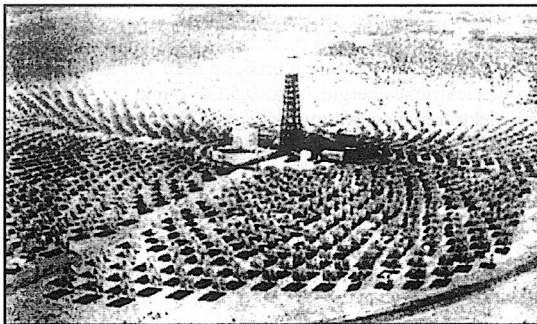
*Obr. 14: Až 40 kW elektrické výkonu dokáže vyrobit 840 solárních modulů sluneční elektrárny v jedné vesnici v Bavorském lese. Pokrývá se tak 70 % spotřeby zdejších obyvatel*



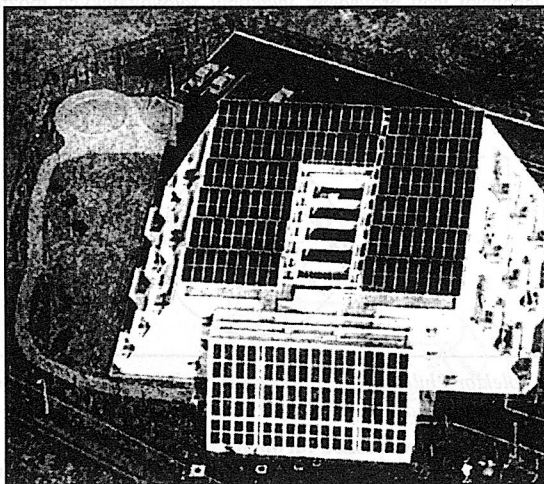
*Obr. 15: Solární systém pro ohřev užitkové vody pro zahradnictví (stav v roce. 1991, projekt firmy SOLAR DYNAMICS)*



*Obr. 16: Největší současná sluneční elektrárna SEGS VIII v kalifornii s výkonem 30 MW má celkem 1,5 miliónu zrcadlových desek*



*Obr. 17: Solar One – největší sluneční věžová elektrárna má výkon 10 MW. Byla postavena v Kalifornii u města Barstow. Elektrárna byla zapojena do veřejné elektrické sítě jako špičková. Sluneční energie je zde zachycována 1 800 velkými zrcadly o celkové ploše 40 hektarů (asi 70 fotbalových hřišť). Při velice vysokém ročním slunečním svitu ( $2\,645\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ ) počítají provozovatelé s roční výrobou 15 milionů kWh. Pro srovnání můžeme uvést příklad průtočné vodní elektrárny Vrané, která má přibližně stejný výkon a vyrobí ročně okolo 30 milionů kWh. Můžeme také Solar One porovnat například s uhelnou elektrárnou v Opatovicích, která na ploše přibližně 60 ha vyrobí za rok 1,5 miliardy kWh. Její výkon je 330 MW a pracuje zhruba 6 500 hodin ročně.*



*Obr. 18: Sluneční dům pro 18 rodin v Long Beach v Kalifornii*

## **7.2 Fotovoltaické systémy, fotovoltaická zařízení**

Technický potenciál využití fotovoltaické přeměny k výrobě elektrické energie závisí na disponibilních plochách pro instalaci slunečních modulů, na intenzitě slunečního záření lišící se v různých regionech a na technických možnostech fotovoltaických zařízení.

V současnosti se fotovoltaická přeměna sluneční energie na elektrickou využívá jen ve velmi malém rozsahu. Na konci roku 1994 pracovalo do sítě pouze 10,5 MW z těchto zdrojů. Při průměrném počtu hodin plného zatížení v průběhu roku 700 až 900 hodin za rok to odpovídá potenciální výrobě elektrické energie 7,3 až 9,5 GWh/rok.

U fotovoltaických elektráren megawattové kategorie by investiční náklady měly dosahovat 15 000 až 17 000 DEM/kW a roční provozní náklady cca 80 až 150 DEM/kW.

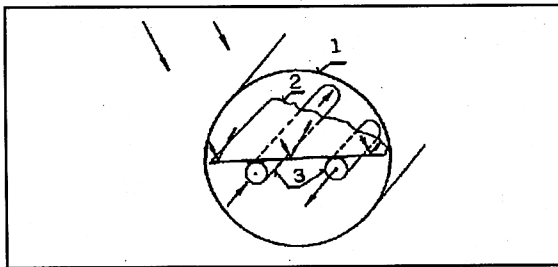
I když má dnes fotovoltaická výroba vzhledem k vysokým výrobním nákladům téměř zanedbatelný podíl na krytí poptávky po elektrické energii, jedná se o významný budoucí způsob výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Její potenciální možnosti jsou rozsáhlé a technicky snadno využitelné.

### 7.3 Využití sluneční energie v energetice

V krajích se silným a poměrně rovnoměrným slunečním zářením blíže zemským obratníkům, jako Izrael, Egypt, Střední Asie, jižní státy USA, v Evropě ve Španělsku, se již úspěšně provozují pokusné i produkční elektrárny od 0,5 MW ve španělské Almerii, po 10 MW v Barstow (Kalifornie). Tyto elektrárny pracují s vodní parou v Rankinově cyklu, s částečnou akumulací vysokoteplotního tepla v roztavených solích.

V oboru vysokoteplotní helioenergetiky jde o použití vysokoteplotní plynové turbíny ve sluneční elektrárně Weizmannova vědeckého institutu v lokalitě Rehovoth v Izraeli, o zařízení k přípravě technologické vody o teplotě kolem 100 °C anebo nízkotlaké páry pomocí vakuových kolektorových trubíc ve Švýcarsku.

V mnohých vyspělých státech byly postaveny nebo se staví sluneční výzkumné tepelné elektrárny o výkonu 0,5–10 MW. Rozpracované jsou projekty pro výkony až 300 MW i více. V SRN, USA a Japonsku jsou prováděny výzkumy fotovoltaických možností výkonů od 1 kW do 5 MW. V současné době je hlavní využití fotovoltaických článků v elektronických zařízeních s malými nároky na výkon i spotřebu elektrické energie, především v kosmické technice.

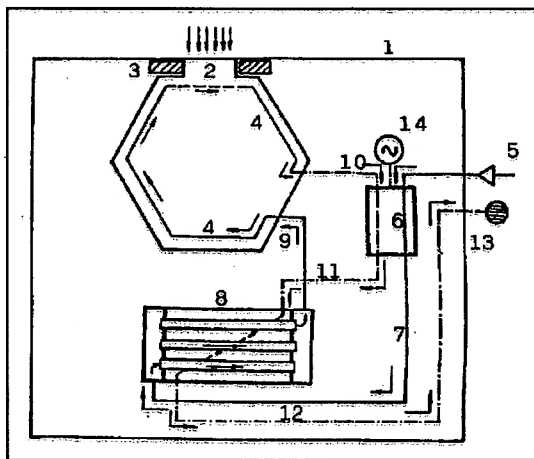


Obr. 19: Vakuový kolektor Philips – řez. 1 – skleněná vakuová trubice, 2 – absorbér záření, 3 – trubková smyčka „U“ odvádějící zachycené teplo

#### Sluneční elektrárna s horkovzdušnou turbínou

Tato elektrárna, postavená ve středisku Rehovoth v Izraeli, zachycuje sluneční záření pomocí pole kolektorů se 64 zrcadlovými heliostaty a koncentruje je do apertury ve věžovém objektu, kde je umístěn vysokoteplotní ohřivač stlačeného vzduchu a turbína.

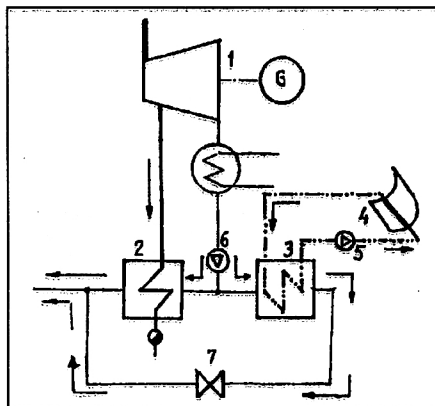
V oboru klasické energetiky se zase stále sledovala cesta vyrobit sluneční energii vysokotlakou páru a tu využít v teplárně či elektrárně.



Obr. 20: Sluneční elektrárna se vzduchovou trubicí:

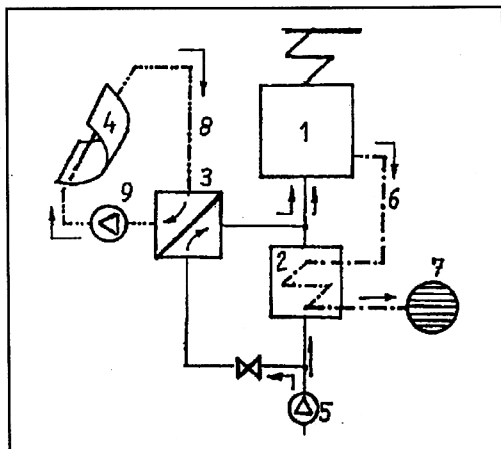
1 – obrys budovy, 2 – apertura, 3 – izolace, 4 – vysokoteplotní ohříváč vzduchu, 5 – okolní vzduch, 6 – turbína s kompresorem, 7 – stlačený vzduch, 8 – výměník tepla vzduchu, 9 – přehřátý vzduch do absorberu, 10 – horký vzduch z absorberu, 11 – expandovaný vzduch z turbíny, 12 – výměna tepla v ochlazený vzduch, 13 – výfuk do okolí, 14 – alternátor

Návrh, jak začlenit využití solární energie do řešení úspory paliva v elektrárnách a teplárnách, existuje, a to ve dvou alternativách. První alternativa počítá se solárním ohřevem napájecí vody, druhá pak s náhradou části tepla odběrové páry slunečním teplem v systému regeneračního ohřevu kondenzátu u kondenzačních elektráren či tepláren s odběrovými turbínami.



Obr. 21: Uplatnění solárního ohřevu v regeneračním okruhu parní turbíny:

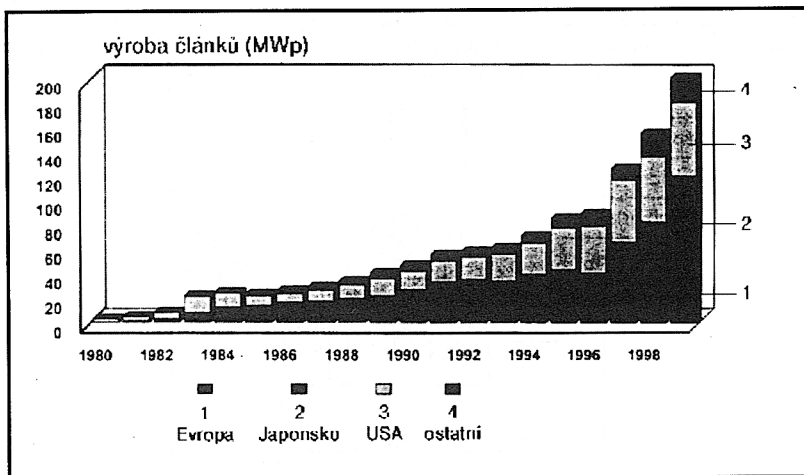
1 – turbogenerátor, 2 – regenerační ohřívák kondenzátoru, 3 – solární ohřívák, 4 – solární kolektor, 5 – čirkulační čerpadlo solárního okruhu, 6 – kondenzační čerpadlo, 7 – armatura k řízení toku



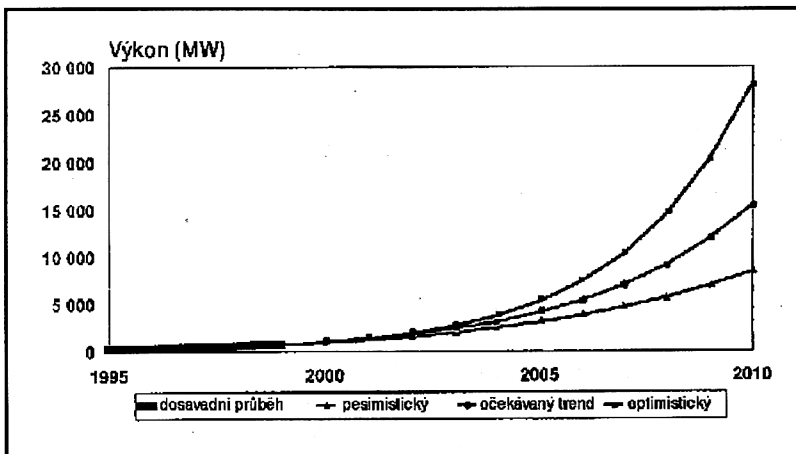
Obr. 22: Sluneční ohřev napájecí vody: 1 – parní kotel, 2 – ekonomizér kotle, 3 – sluneční ekonomizér, 4 – solární kolektor, 5 – napáječka, 6 – spaliny, 7 – komín, 8 – teplotné médium solárního ohřevu, 9 – cirkulační čerpadla solárního okruhu

### Současný stav využití sluneční energie pro výrobu elektřiny

Výroba fotovoltaických zařízení narostla během roku 1998 o 20 % a činí cca 200 MW. Japonsko díky vysoké podpoře zaujímá špičkovou pozici. V SRN se rozvíjí program 100 000 solárních střeš.



Obr. 23: Roční produkce fotovoltaických zařízení podle regionů



Obr. 24: Světový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren do roku 2010

## 7.4 Vodík a sluneční energie

### Elektrotechnická část solárně vodíkového zařízení

V Neunburgu (SRN) bylo vybudováno pilotní zařízení k ověřování variant použití vodíku získaného z fotovoltaických článků. Na tomto zařízení bylo možno ověřit a určit efektivnost:

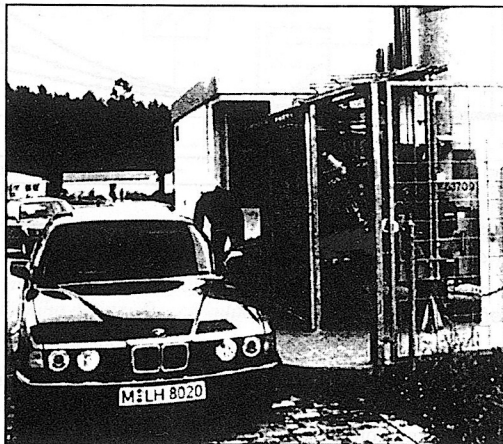
- výroby elektrické energie fotovoltaickými články;
- spotřeby elektrické energie k výrobě vodíku pomocí elektrolyzy;
- výroby elektrické energie pomocí vodíkových palivových článků;
- součinnosti s veřejnou sítí přes usměrňovače (střídače);
- různých použití, např. akumulace vodíku a tankování vozidel s vodíkovým pohonem.

Zařízení tvoří:

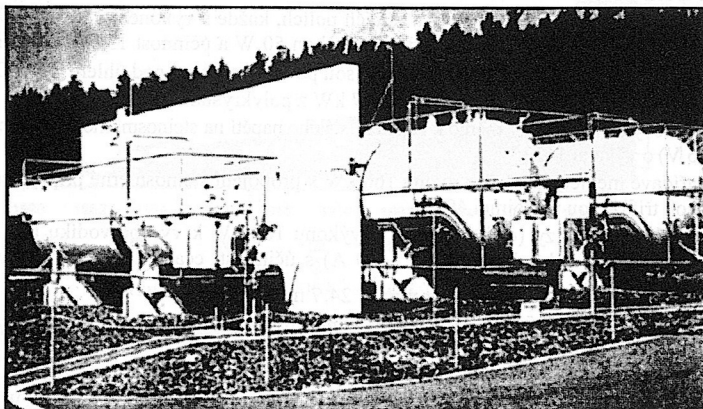
- Solární články (Siemens) ve třech dílčích polích, každé s výkonem 48 kW s 952 mono-kryсталickými moduly. Jeden modul má výkon 50 W a účinnost 13,9 % (plocha křemíku) a 11,3 % (plocha modulu). Moduly jsou pevně nastavené pod úhlem 40°. Dále jsou instalovány dvě pole, každé o výkonu 67 kW z polykrystalických článků.
- Napěťový stejnosměrný měnič k zajištění stálého napětí na stejnosměrné přípojnici (300 až 435 V) o výkonu 162 kW.
- 3 střídavé měniče, každý o výkonu 160 kW k propojení stejnosměrné přípojnice na střídavou třífázovou přípojnici 400 V.
- Zařízení elektrolyzy (elektrolyzéry) o výkonu 100 kW k výrobě vodíku typ Membral (Membránový elektrolyzér 217 V, 460 A) s účinností cca 80 % a spotřebou energie <math>< 4,5 \text{ kWh/m}^3 \text{ H}\_2</math>. Elektrolyzér vyrábí 24,7 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/h.
- Zařízení k napájení elektrolyzérů o výkonu 100 kW k úpravě napětí ve stejnosměrné přípojnici.
- Střídač k přeměně stejnosměrného napětí palivového článku na třífázové napětí 400 V.
- Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC) s DC výkonem 79,4 kW, 620 A, 130 V, účinnost 51 %.
- Třífázový transformátor 50 Hz, 20 kV/400 V.

Zařízení umožňuje určit jednotlivé účinnosti v celém řetězci od fotovoltaických článků až po akumulaci vodíku a různé použití vodíku a představuje tak pilotní zařízení vodíkové energetiky s využitím sluneční energie. (výrobu vodíku lze zajistit též přímým rozkladem vody štěpením vody v uzavřeném termochemickém cyklu a štěpením uhlovodíků v otevřeném termochemickém cyklu).

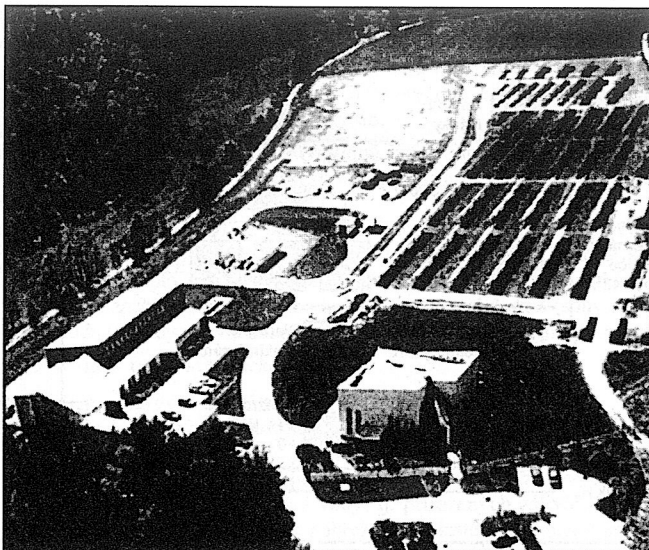
V případě přímé výroby elektřiny z fotovoltaických článků se mezičlánek vodíku používá pro přímé napojení na elektrickou síť přes MDP regulaci (Maximum-Power-Point regulace). Cílem regulátoru MDP je nastavit vstupní napětí tak, aby fotovoltaický článek dodával vždy maximální výkon (výkon se mění podle polohy Slunce atd.).



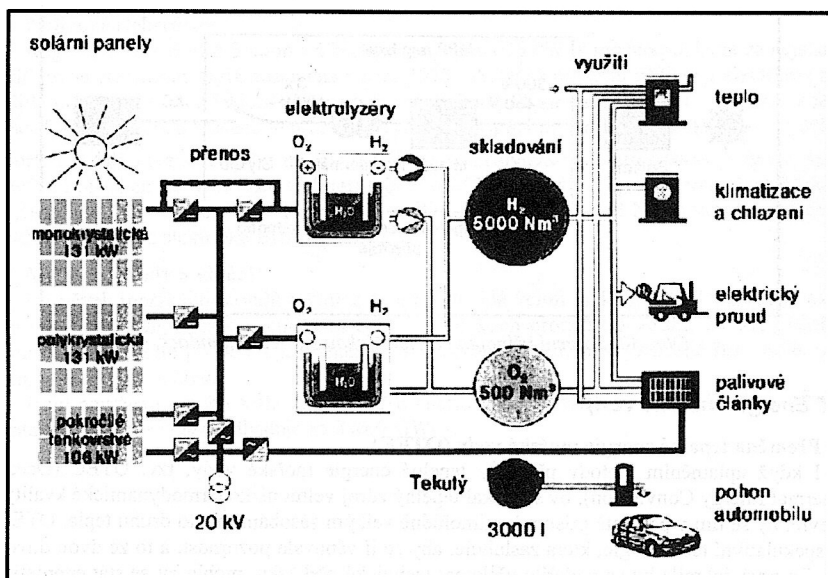
*Obr. 25: Plnění nádržky vodíkového BMW sto dvaceti litry zkapalněného vodíku. Kilowatthodina i z těch nejlepších solárních panelů je víc jak desetkrát dražší než ze sítě, napájené uhlíky a jadernými elektrárnami. Když se z drahé energie vyrobí vodík, vyjde kilometr ekologické jízdy vodíkovým BMW třicetkrát draž než s benzinem.*



*Obr. 26: Nádrže na stlačený kyslík a vodík v roli akumulátoru solární elektřiny*

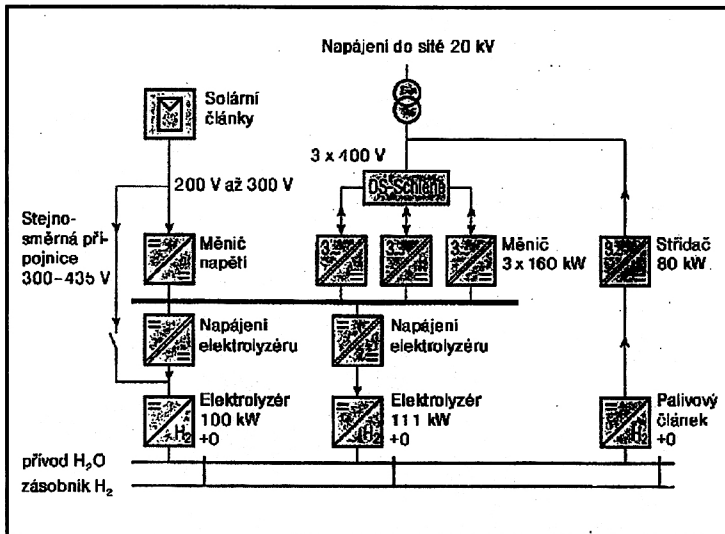


Obr. 27: Laboratoř Solar-Wasserstoff u Neuburgu

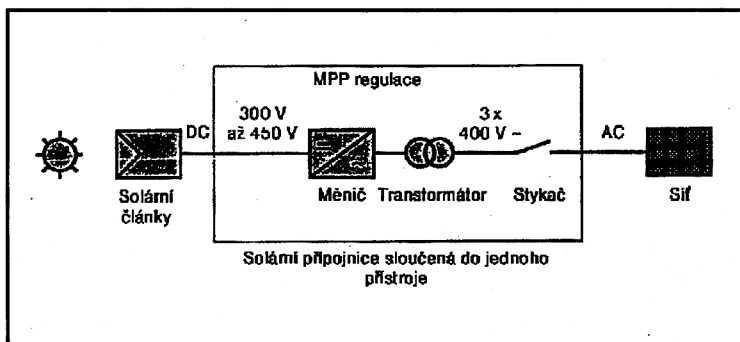


Obr. 28: Jednotlivé složky projektu Solar-Wasserstoff v Neuburgu





Obr. 29: Schéma zařízení pro výrobu vodíku a výrobu elektřiny z palivových článků



Obr. 30: Solární přípojka na elektrickou síť bez akumulace

## 7.5 Energie mořské vody

### Přeměna tepelné energie mořské vody (OTEC)

I když uplatněním metody přeměny tepelné energie mořské vody, tzv. OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), by se získal tepelný zdroj velmi nízké termodynamické kvality, otevřel by se tím v podstatě přístup k mimořádně velkým zásobám tohoto druhu tepla. OTEC je spekulativní technologie, která zasluhuje, aby se jí věnovala pozornost, a to ze dvou důvodů. Za prvé, jakmile by se podařilo překonat technické překážky, mohla by se stát energetickým zdrojem. Za druhé, její analýzou získáme určitý obraz o tom, jaké narušení mechanismu oceánského systému lze ještě tolerovat, a tak budeme lépe schopni stanovit technický potenciál této technologie.

Tepelné úkazy v oceánech jsou základem pochopení, jak by mohla technologie OTEC porušit globální systém distribuce tepelné energie. V oceánech se přímo absorbuje okolo 3000 TWr/r sluneční energie, z čehož připadá největší část na rovníkové pásmo mezi oběma obratníky. Toto teplo se přenáší směrem k pólům obrovskými mořskými proudy, jako je například Golský proud anebo japonský proud Kurošio.

Uvažuje-li se plocha tropických oceánů 90 milionů  $\text{km}^2$ , odpovídá to technickému potenciálu 22 TWr/r elektriny, spojenému s odváděním 720 TWr/r z tepelně se odlišujících povrchových vrstev oceánu do větších hloubek.

Navrhované specifické systémy OTEC přenášejí teplo z teplých povrchových vod tropického či subtropického oceánu přímo do studených vod v hlubších vrstvách. Účinnost konverze na elektrinu je velice nízká – okolo 3 %, jestliže se výlučně používá teplejší tropická voda. Technické obtíže, spojené se zachycením veškerého tepla z povrchových vod (související hlavně s nutností vypouštět vodu tak, aby nebyla nazpět vtahována do systému), omezují měrný elektrický výkon na  $0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  povrchu tropického oceánu

### **Přilivová energie a přílivové elektrárny**

Z celkového objemu 3 TWr/r rozptylované energie slapových pohybů moře lze zužitkovat pro pohon turbín jen velmi malý zlomek. Jen málokteré pobřeží má tvar, který umožňuje transformaci kinetické energie globální přílivové vlny do vhodných přílivových hladin. Nedostatek rezervoárů pro přechodné akumulování vody, tj. přirozených zálivů, které lze uzavřít hrázemi, snižuje v několika málo příhodných pobřežních oblastech technický potenciál energie přílivu. Příliv a odliv se vystřídá na témže místě dvakrát za den po 6 hodinách a 12 minutách. V následujících dnech se doba přílivu a odlivu posouvá tak, že po 7 dnech a 9 hodinách nastane v témže místě příliv místo plánovaného odlivu.

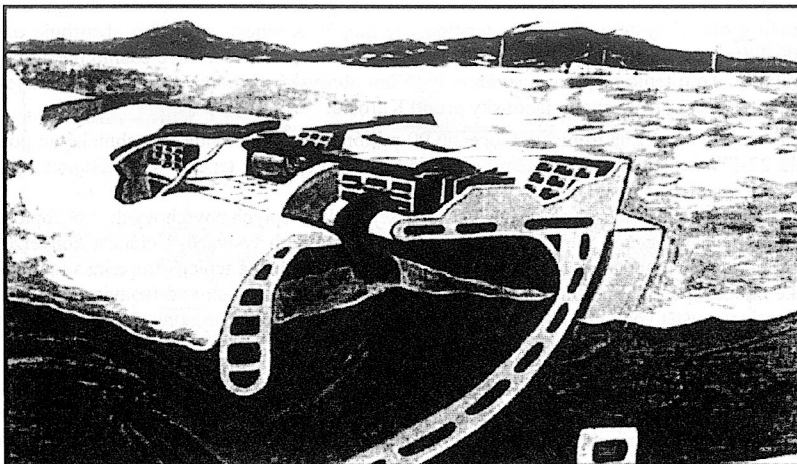
### **Přilivové elektrárny**

Anglickou Dee Hydro Station v Cheshire o výkonu 635 kW je možno pokládat za nejstarší přílivovou elektrárnu. Byla postavena v roce 1913. Skutečně moderní přílivová elektrárna zahájila provoz až v roce 1966. Jedná se o francouzskou přílivovou elektrárnu v Bretani, v ústí řeky Rance. V těchto místech je průměrná výška přílivu 8,4 m. Nádrž nad elektrárnou využívá morfologického tvaru řečiště a má plochu 22  $\text{km}^2$ . Přílivová voda pro turbíny je navíc posilována i přítokem řeky. Výkon elektrárny je 240 MW. Elektrárna je vybavena 24 reverzními turbínami, takže využívá jak přílivu, tak odlivu. Pracuje ročně 2 250 hodin a produkuje 540 milionů kWh elektrické energie.

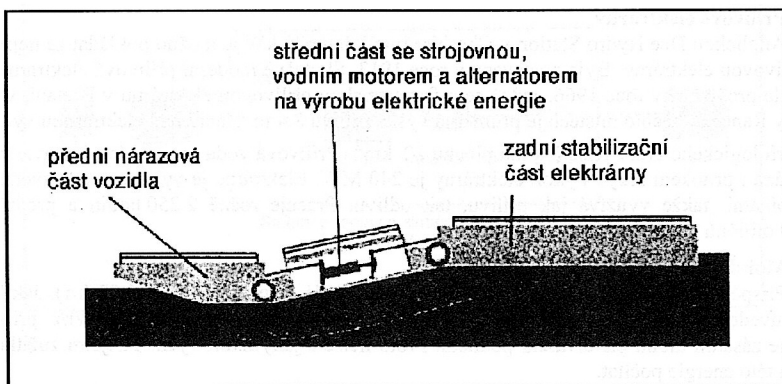
### **Mořské proudy a vlnění**

Příspěvek mořských proudů a vlnění se předpokládá velmi malý (0,005 TWr/r). Jak bylo již uvedeno dříve, dosahuje kinetická energie mořských proudů pouze 0,2 TWr/r, přičemž hraje zásadní úlohu při utváření podnebí. Proto nelze s jakýmkoli významnějším zužitkováním této energie počítat.

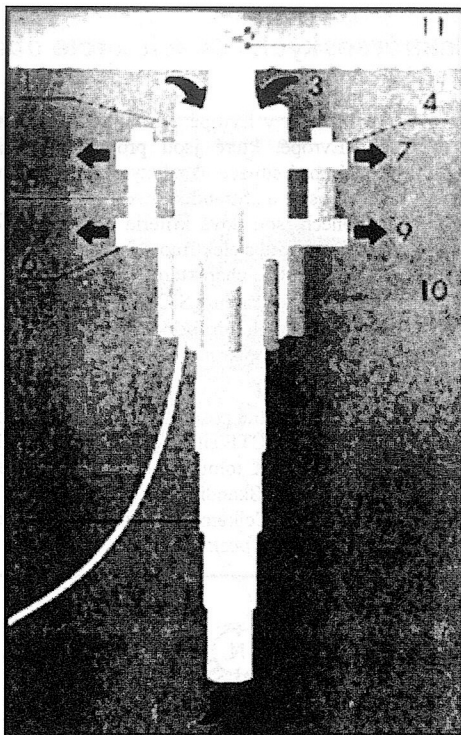
Bylo navrženo mnoho zařízení na využití energie vln, zejména ve Velké Británii, kde se potenciál energie vlnění odhaduje na 8 až 9 GWr/r.



Obr. 31: Energie mořských vln. Ve světě existuje celá řada různých řešení. Jedním z nich je elektrárna, v níž kolísající vodní sloupec v betonové šachtě pracuje jako píst, střídavě prohání a nasává vzduch přes speciální Wallsovu turbínu. Mořské vlny nesou na každém metru své délky výkon 40 až 80 kW. Jejich energii již dokážeme přeměnit na elektřinu.



Obr. 32: Plovoucí vlnová elektrárna, tzv. Cockerellovy plovoucí trámy – pontony



Obr. 33 Zařízení elektrárny OTEC (40 MW) využívající teplotního gradientu mořských hloubek: 1 mořská elektrárna tvaru bóje, 2 teleskopická trubka až do hloubky 1 000 m, 3 přívod mořské teplé vody do výměníku tepla, 4 komory odpařovače, v nichž se mění amoniak nebo propan na páru, 5 strojovna s turbinou a generátorem, 6 kondenzátor, z něhož se kondenzát vrací zpět do oběhu potrubím, 7 výstup teplé vody z elektrárny, 8 vstup chladné vody otvorem, 9 nosné plováky, 10 řídicí ústředna elektrárny, 11 kabelové vedení elektrické energie do transformátorovny na pobřeží

## 8. Přebytek elektrárenských kapacit a role obnovitelných zdrojů v Evropě

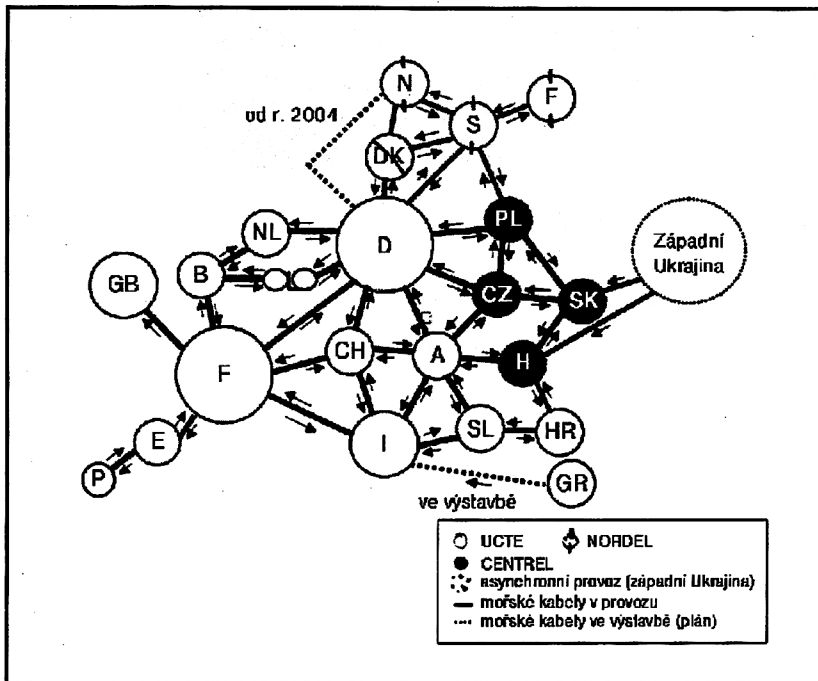
Úplným otevřením trhu s elektřinou v Evropě zahrnující členské státy EU, jakož i trhy v severní, střední a východní Evropě, které jsou propojeny přenosovými sítěmi UCTE/CENTREL, NORDEL, vzniká nová situace. Analýzy ukazují na současný přebytek kapacit a nebezpečí dalších „Stranded costs“ a „Stranded investments“. Pro bilancování poptávky po nových elektrárenských výkonech jsou nová kritéria a měřítka, neboť pokrytí spotřeby elektřiny je možné zajistit nákupem na trhu s elektřinou.

Projevují se regulační zásahy politického charakteru:

- omezení doby provozu jaderných elektráren v SRN, Švýcarsku, Belgii a Švédsku;
- podpora a subvencování obnovitelných zdrojů, které ještě nejsou konkurenceschopné a kogenerace, což již není zanedbatelný výkon.

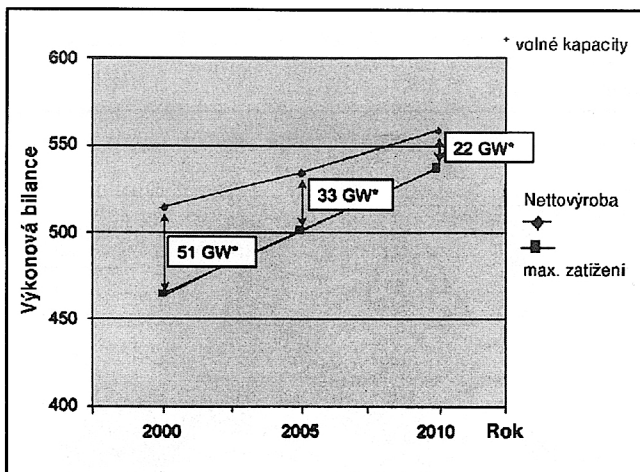
### Transportní kapacity přenosových sítí

Při posuzování výrobních kapacit je nutné posoudit přenosové kapacity v rámci propojené soustavy UCTE/CENTREL, NORDEL, UCTE síť a CENTREL, NORDEL oblast jsou provozovány synchronně a tvoří jediný celek. K tomu je nutno připočítat existující (nebo ve výstavbě) stejnosměrné mořské kabely mezi Skandinávií, Velkou Británií a kontinentální Evropou, jakož i kabely mezi Řeckem a Itálií. Celkem činí využitelná přenosová kapacita mezi regiony cca 70 000 MVA [megavoltampérů – pozn. redakce].

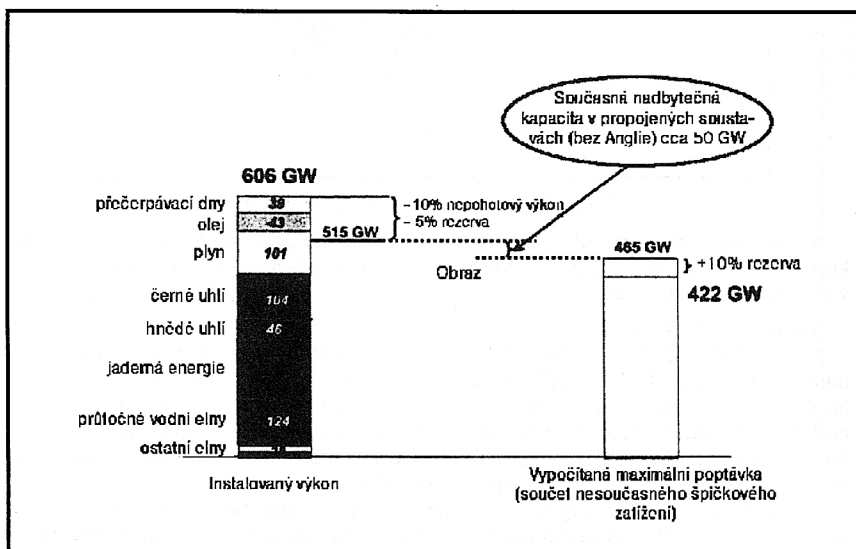


Obr. 1: Fyzikální možná výměna energie mezi síťovými regiony





Obr. 3: Vývoj výkonové bilance v UCTE/CENTREL, NORDEL – regionech



Obr. 4: Instalovaný výkon elektráren podle primární energie a špičkového zařízení v soustavě UCTE/CENTREL, NORDEL regionů v roce 2000

Při respektování prognóz o přírůstku spotřeby elektřiny v roce 2005 a 2010 v jednotlivých síťových regionech je možné počítat s rychlým úbytkem volné kapacity jen tehdy, když by jen polovina v Evropě plánované výstavby 60 GW byla realizována a nekonkurenceschopné elektrárny by byly odstaveny.

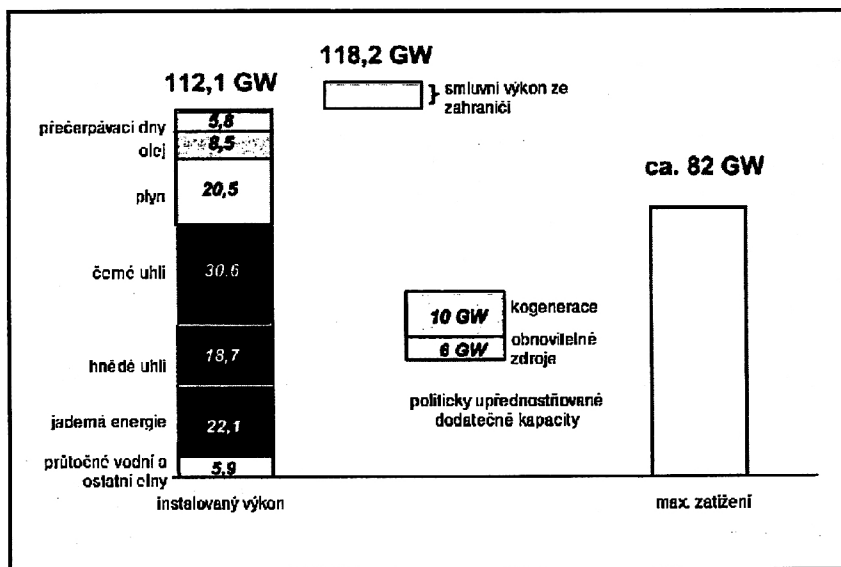
Důsledné odstavování starších nekonkurenceschopných elektráren v jednotlivých regionech lze však jen z důvodu regulačních zásahů států (ochrana pracovišť v uhelných dolech atd.) jen s těžší prosadit, nehledě na národní zájem jednotlivých států.

Na druhé straně narůstají paroplynové kapacity převážně v průmyslu, které využívají kogeneraci a jsou proto pro průmysl hospodárné. Jen v časové intervalu mezi rokem 2000 a 2010 se počítá s přírůstkem kogenerace o 34 GW (většinou paroplynové jednotky). Tyto kogenerace (teplárny) vytlačují základní zatížení do středního zatížení, což vede k tomu, že jednotky s relativně vysokými mezními náklady (černé uhlí, ropa a často i zemní plyn) nejsou využívány (jako doposud). K tomu je nutno připočítat nárůst větrných elektráren a zařízení na biomasu (do roku 2010 cca 10 GW).

**Situace v SRN, u našeho největšího souseda a zájemce o českou energetiku při privatizaci.**

V SRN bylo v roce 1999 instalováno 112 GW elektrárenské kapacity a dalších 6 GW bylo kontraktováno ze zahraničí, tedy celkem 118 GW. Rozděleno podle primární energie připadlo: 16 % na hnědé uhlí, 19 % na jadernou energii, 26 % na černé uhlí, 17 % na zemní plyn, 7 % na olej (ropu), 8 % na vodu (průtočné a přečerpávací akumulace) 2 % na obnovitelné a ostatní zdroje. Maximální zatížení činilo 82 GW, takže s respektováním nepohotovosti a rezervy bylo k dispozici 10 GW volného výkonu.

Různí investoři dále ohlásili výstavbu paroplynových kondenzačních elektráren o kapacitě 5 600 MW.



Obr. 5: Kapacita elektráren a špičkového zatížení SRN v roce 1999



## 9. Perspektivy obnovitelných energetických zdrojů v období přebytku kapacit

Podle údajů International Energy Agency činí současná komerční spotřeba energie celosvětově cca 8 000 Mtoe [megatun ropného ekvivalentu – pozn. redakce]. Více než 90 % této spotřeba je zajišťováno fosilními palivy. Obnovitelné zdroje energie představují podíl cca 3 %, přičemž asi dvě třetiny z tohoto podílu představují vodní elektrárny a využití biomasy.

Základní podmínkou potenciální úspěšnosti obnovitelných energetických zdrojů v současné době je snížení jejich nákladovosti a zvýšení konkurenceschopnosti vůči ostatním energetickým zdrojům stejného energetického efektu. Uplatní se v případech, jako je zásobování vodou, osvětlení, chlazení, provoz telekomunikačních zařízení apod., kdy by klasická dodávka elektrické energie byla příliš nákladná. Dávají možnost získání pracovních příležitostí v oblastech převážně zemědělského charakteru.

Ekonomické srovnání obnovitelných energetických zdrojů vychází v soutěži s klasickými energetickými zdroji většinou nepříznivě. Dalším důvodem je nevyjasněnost externích faktorů působících na výši ceny. Jedná se obzvláště o vlivy ekologické a o zvýšení spolehlivosti dodávky energie. Horní mez využití obnovitelných zdrojů, daná technickými možnostmi, je cca 15 TWt/r [terawattroků za rok – pozn. redakce] a 2,2 TWt/r přímého slunečního záření, zachyceného a využívaného lokálně. Celkový potenciál obnovitelných zdrojů energie je srovnatelný s potenciálem fosilních zdrojů a jaderné energie v roce 2030.

V rámci objektivního posouzení podílu obnovitelných zdrojů energie je potřebné zdůraznit, že výše uvedené hodnoty vycházejí z národních energetických bilancí, které započítávají pouze měřitelnou, tj. komerční energii. Kromě hydroenergetiky spadá pak větší část obnovitelných energetických zdrojů do části nekomerční energie. Podle těchto pramenů se uvádí, že v některých rozvojových zemích je cca polovina veškeré spotřeby energie z oblastí nekomerční energie. V celosvětovém měřítku potom podíl obnovitelných zdrojů energie představuje cca 15 až 20 %. Neobchodovatelná paliva (dřevo, biomasa atd.) zůstanou v rozvojových zemích důležitá. V současné době je více než 1 miliarda lidí zcela závislá na těchto palivech a při nárůstu počtu obyvatel se tato úroveň závislosti nebude snižovat.

### Tržní scénář pro rok 2005 a 2010

Trend vývoje je uveden v tabulce. Roční přírůstky vodní energetické soustavy vykazují zvýšený trend růstu, zatímco přírůstky geotermální energie se očekávají ve výši 8 % a u větrné energie o 15 % ročně. Instalovaný výkon větrných elektráren by měl do roku 2005 narůst na 50 000 MW a do roku 2010 na 108 000 MW. Fotovoltaická (solární) energie dostává jak v SRN, tak v Japonsku vysokou podporu. Japonsko chce do roku 2000 instalovat 5 000 MW, USA plánují v rámci „milionu solárních střeš“ výstavbu 500 000 systémů do roku 2010. Za předpokladu výkonu jednoho zařízení 5 až 10 kW lze očekávat přírůstek výkonu 2 500 až 5 000 MW. Celkem se zvýší výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů na základě Trendového

Rok	2005 (TWh)	2010 (TWh)
vodní energie	3000	3200
větrná energie	90	160
geotermální energie	75	110
fotovoltaická energie	4	15
solárně-termické elektrárny	2	5
biomasa	?	?
Celkem	cca 3200	cca 3500

scénáře do roku 2010 na 3 500 TWh. Jestliže by však zanikla podpora rozvoje obnovitelných zdrojů, pak by přírůstky zůstaly maximálně na úrovni roku 2000, tj. kolem 20 %. Na úrovni EU se plánuje zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na dvojnásobek.

Obr. 1: Výroba elektřiny na bázi Trendového scénáře v roce 2005/2010

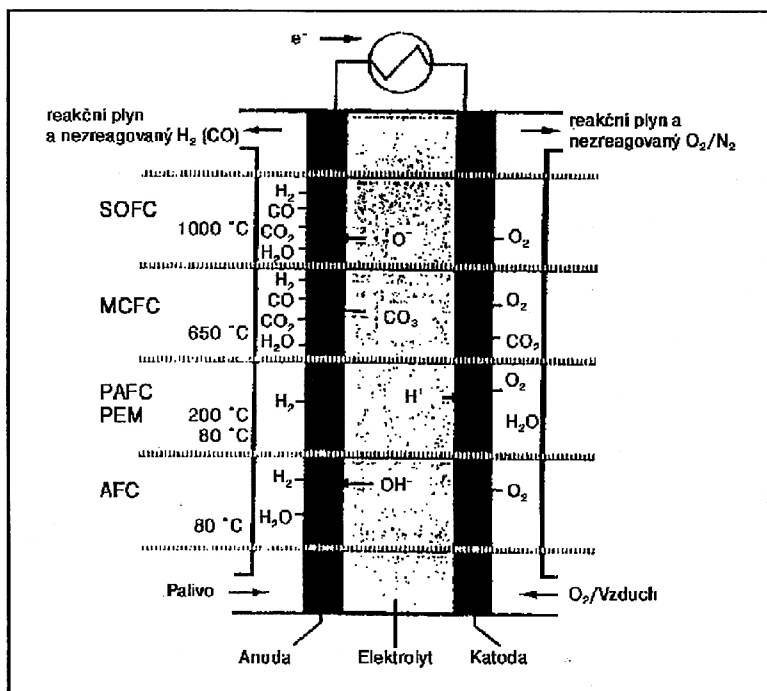
## 10. Elektrochemická výroba elektřiny s palivovými články

### 10.1 Palivové články

Palivové články mění v procesu obrácené elektrolyzy chemickou energii přímo v elektrickou energii. Poněvadž neprobíhá Carnotův cyklus, dosahuje se účinnosti 70 %, tj. podstatně více, než u elektráren spalující fosilní palivo.

Palivové články se rozlišují podle své pracovní teploty a elektrolytů. Použité zkratky jsou odvozeny z anglických názvů elektrolytů. Pro kombinovanou teplotěnskou výrobu jsou zajímavé tři typy palivových článků:

- články s kyselinou fosforečnou (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC);
- články z karbonátových tavenin (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC);
- články s keramickými oxidy (Solide Oxid Fuel Cell, SOFC).



Obr. 1: Druhy palivových článků

Palivový článek s kyselinou fosforečnou je uspořádán podobně jako baterie nebo akumulátor. Mezi dvěma elektrodami z poréznych grafitových desek – anodou a katodou – je jako elektrolyt kyselina fosforečná, která se při pracovní teplotě beztlakově pracujícího článku cca 205 °C chová stabilně. Elektrody jsou opatřeny vrstvou platiny.

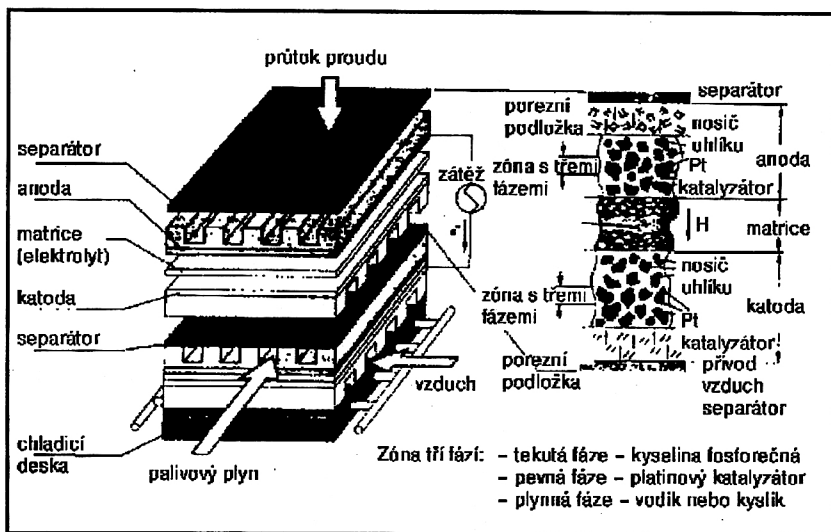
Při relativně nízké pracovní teplotě je zemní plyn – na rozdíl od vodíku – příliš málo reaktivní (netečný). Proto je v předřazených pracovních fázích – reformingové a konverzní

reakci – transformován na plyn obsahující vodík, který se kontinuálně přivádí k anodě (ke katodě proudí vzduch – kyslík). Při následující chemické reakci vzniká čistá voda.

Elektrony (e) uvolňované při dílčí reakci na anodě – disociací molekuly vodíku – proudí elektrickým vodičem od anody ke katodě a vykonávají elektrickou práci.

Vodíkové ionty (protony,  $H^+$ ) difundují ke katodě elektrolytem, který je pro elektrony nepropustný. Tam reagují vodíkové ionty s kyslíkovými ionty a s elektrony proudícími vnějším elektrickým okruhem na molekuly vody.

Při 25 °C vychází teoretické napětí článku  $U_0 = 1,23$  V. Toho se však v praktickém provozu vlivem vnitřních ztrát ani zdaleka nedosahuje. Typická napětí článku se pohybují kolem 0,7 V. Aby se dosáhlo co možná kompaktního uspořádání, naskládají se shora uvedené prvky nad sebou do kolon (bloku), přitom vzniká sendvičové uspořádání. Jednotlivé články jsou zapojeny sériově, aby se dosáhlo požadovaného výkonu. Část kolony (bloku) je naskicována v obrázku. Dělicí deska (nahore) má dvojitý účel: odděluje anodu, ke které proudí vodíkem bohatý plyn, od katody nad ní ležícího článku, k níž proudí vzduch, a vytváří elektrické spojení mezi oběma články. Nazývá se proto rovněž bipolární deskou.



Obr. 2: Sestava palivového článku s kyselinou fosforečnou (PAFC)

Žebra mezi anodou, resp. katodou, a dělicí deskou zaručují rovnoměrné obtékání elektrod vodíkem, příp. kyslíkem. Elektroda je z vysoce porézního grafitu s jemně rozptýleným platinovým katalyzátorem. Matrice elektrolytu má strukturu pletiva ze SiC vázaného teflonem a slouží k pojmání elektrolytu a jeho akumulaci. Kyselina fosforečná, která má při provozní teplotě podobu želatiny, je v matici fixována. Aby byl odpor proti transportu vodíkových iontů co nejmenší, jsou žádoucí co nejtenší vrstvy. Celková tloušťka jednoho článku činí 4,8–5 mm.

Elektrochemické články svou účinností předčí klasické zdroje. Běžně činí 40 % a v dohledné době to má být až 60 %. Připočte-li se k vyrobené elektrině i nemalé kvantum tepla, jež vzniká při reakci, celková účinnost palivových článků se přehoupne přes hranici 80 %.

Články přitom produkují podstatně méně oxidu uhličitého. U palivových článků rovněž odpadají problémy s emisemi oxidu dusnatého.

Protože průměrné pracovní teploty se pohybují okolo 200 °C, lze teplo uvolněné při reakci úspěšně využívat při všech druzích vytápění a dosáhnout celkového stupně využití paliva až 85 %. Mají však výrazně nižší poměr výkonu k hmotnosti, a proto jsou vhodné jako stabilní zdroje tepla a elektřiny. Primárním palivem je nejčastěji zemní plyn, který se v zařízení reformuje na vodík s obsahem CO menším než 2 %. Ke katodám se přivádí vzduch o přirozeném složení, bez odstraňování CO<sub>2</sub>.

Palivové články lze rozlišovat podle druhu elektrolytu.

## 10.2 Nizkoteplotní palivové články

Palivové články s elektrolytem (30 % KOH). Rozmezí pracovních teplot je 60 až 90 °C. Maximální dosažitelná elektrická účinnost teoreticky 83 %, prakticky 60 %. Zkrácené označení AFC (Alkaline Fuel Cell).

Články s katexovou iontoměničovou membránou vedoucí proud ionty H<sup>+</sup> (protony). Pracovní teploty 60 až 130 °C. Elektrické účinnosti stejně jako u článků AFC. Zkratková označení SPFC (Solid Polymer Membrane Fuel Cell) nebo PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane FC).

Alkalické AFC nebo membránové PEMFC jsou lehké články s vysokou hodnotou poměru výkonu k hmotnosti. Z tohoto hlediska jsou vhodné pro mobilní zařízení. Byly použity pro kosmické projekty (Gemini, Apollo) a rovněž pro vojenské účely. Předpokládá se, že v budoucnosti mohou být využívány v městské hromadné dopravě i v individuální dopravě. Palivem jsou čistý vodík a kyslík.

Odpadní teplo se využívá k ohřevu vzduchu nebo vody. Měrné náklady na realizovaná zařízení byly velmi vysoké, mezi 15 000 USD/kW<sub>el</sub> [kilowatt elektrického výkonu – pozn. redakce] u AFC a až 25 000 USD/kW<sub>el</sub> u PEMFC.

## 10.3 Středoteplotní palivové články

Palivové články s kyselinou fosforečnou (přibližně 103 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Pracovní teploty 160 až 220 °C. Dosažitelná elektrická účinnost článku teoreticky 80 %, prakticky 55 %, dosažitelná hodnota pro celé zařízení včetně krytí vlastní spotřeby a transformace na střídavý proud je asi 45 %. Zkrácené označení PAFC (Phosphoric Acid FC).

Palivem může být zemní plyn, metan nebo přímo čistý vodík. Hlavními částmi zařízení jsou vlastní článek, reformér k úpravě paliva, výměníky tepla, tlaková adsorpce a systém k čištění vodíku, regulace obsahu vody v plynech apod.

Měrné náklady na realizovaná zařízení poměrně rychle klesají a dosáhly již úrovně 2 500 USD/kW<sub>el</sub>.

## 10.4 Vysokoteplotní články

Články s taveninou, tvořenou alkalickými uhličitany, nasáknutou v keramické membráně. Proud vedou ionty CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Rozmezí pracovních teplot je 600 až 650 °C. Dosažitelné elektrické účinnosti: teoreticky 78 %, prakticky na článku 55 až 65 %, v celém systému 48 až 55 % při vnějším reformingu paliva a až 60 % při vnitřním reformingu paliva přímo v zařízení, v němž je palivový článek zabudován. Zkratkové označení MCFC (Molten Carbonate FC).

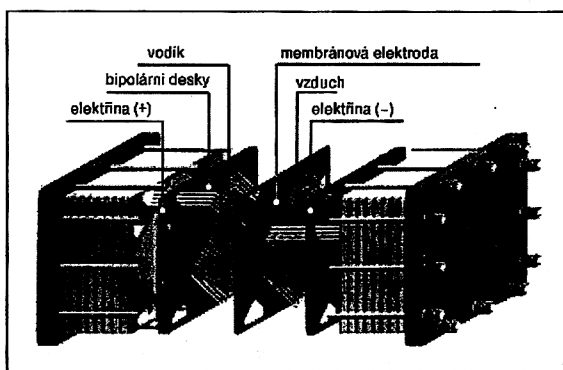
Palivové články s pevným elektrolytem (keramikou), obsahujícím jako základní složku ZrO<sub>2</sub>. Proud vedou ionty O<sub>2</sub><sup>2-</sup>. Pracovní teploty jsou vysoké 800 až 1050 °C. Dosažitelné elektrické účinnosti jsou teoreticky 73 %, prakticky na celém zařízení pak 55 %, pracuje-li bez reformingu paliva (u těchto článků není nutná), nebo až 60 % při vnitřním reformingu paliva v článku. Zkratkové označení je SOFC (Solid Oxide FC).

Typy MCFC a SOFC se dosud průmyslově nevyrábějí. Pro tyto typy je rozhodující technika přípravy keramických sintrovaných součástí – desek, rámečků, tubulárních reaktorů apod. Vzhledem k vysokým pracovním teplotám je nutné používat velmi kvalitní materiály i pro nejrůznější přídavná či pomocná zařízení jako jsou výměníky tepla, katalytické reaktory, zařízení plynů.

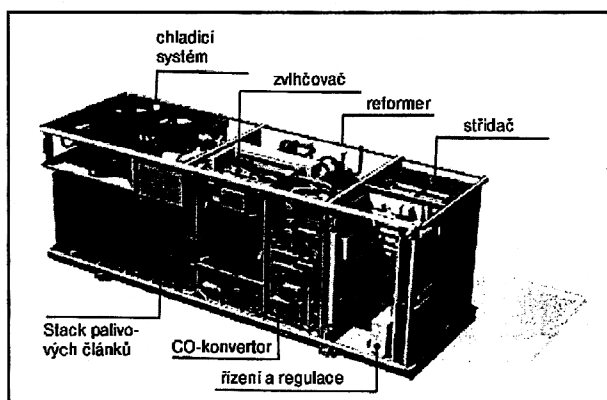
Články MCFC využívají jako hlavní stavební materiál keramiku.

Elektrolytem je tavenina  $\text{LiKCO}_3$ . S ohledem na pracovní teploty nad  $600\text{ }^\circ\text{C}$  se na kovové součásti používají žáruvzdorné austenitické oceli. Palivem zde může být metan, zemní plyn, uhelný plyn nebo čistý vodík. Oxidační látkou je vzduch bez úpravy složení nebo čistý kyslík. Jsou vhodné jako stabilní teplotenské zdroje ve spojení s paroplynovým zařízením. Cílová pořizovací měrná cena pro rok 1998 byla odhadnuta na  $2\,000\text{ USD/kW}_{el}$ .

Články SOFC mají tuhý elektrolyt z oxidické keramiky s kyslíčnickem zirkoničitým  $\text{ZrO}_2$ . Jsou ještě ve stadiu výzkumu a vývoje – přesto byla vytyčena cílová cena těchto zdrojů, zatím bez udání časového limitu, na  $2\,000\text{ USD/kW}_{el}$ . Velkou výhodou těchto zařízení je, že není nutný reforming paliva. Sortiment paliv je přitom stejný jako u článků MCFC.



Obr. 3: PEM – palivové články



Obr. 4: Komponenty PEM-zařízení s palivovými články

## 10.5 Současné využití různých druhů palivových článků (rok 2000)

Ze šhora uvedených technologických koncepcí je současné využití následující:

### 1. Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC)

Tento článek je vyvinut nejdále a komerčně se využívá (200 kWh<sub>el</sub> – zařízení). Demonstrační zařízení se provozovala úspěšně se zemním plynem ve výkonovém rozsahu mezi 50 kWh<sub>el</sub> až 11 MW<sub>el</sub>. Zařízení měla na počátku účinnost 40 % (1 generace) avšak po 30 000 h klesla účinnost na 35 %. Blokovaná teplárna s palivovými články PAFC nedosahuje, pokud jde o využití paliva, úrovně blokovaných tepláren s plynovými motory. V současné době (2000) činí specifické investiční náklady 6 000 DEM/kW a blokovaná teplárna s palivovými články je oproti blokované teplárně motorové konkurenceschopná. Při sériové výrobě by mohly náklady klesnout na 2 000 až 2 500 DEM/kW.

### 2. Vysokoteplotní palivové články (Molten Carbonate – MCFC) a články s keramickými oxidy (Solide Oxid Fuel Cell – SOFC)

Články (Molten Carbonate – MCFC) a články s keramickými oxidy (Solide Oxid Fuel Cell – SOFC) mají výhodu, že při vysokých teplotách nastává interní reforming (přeměna zemního plynu na plyn s vysokým obsahem vodíku), čímž je dosaženo vysokých účinností. Kromě toho nejsou zvláštní požadavky na čistotu plynu, pokud jde o CO. Procesní teplo je při vysoké teplotě dobře využitelné. Sice jsou v provozu první demonstrační zařízení s výkonem 100 kWh<sub>el</sub> až 2 MW<sub>el</sub> a další se plánuje, avšak tržní konkurenceschopnost lze očekávat teprve střednědobě, až budou ukončeny dlouhodobé zkoušky a bude známá nákladová degrese při sériové výrobě.

### 3. Polymerní membránové články (PEFC) jsou z důvodu nízké provozní teploty a vysoké dynamiky vhodné pro mobilní nasazení. První demonstrační autobusy, jakož i (v širším měřítku) osobní vozidla s PEFC články na vodík jsou v provozu v USA a Kanadě. Ve srovnání s ostatními technologiemi palivových článků má PEFC-článek v důsledku vývoje pro automobily podstatnou výhodu při zavádění na trh pro stacionární užití. Problematika vhodné akumulace vodíku jakožto paliva vedla alternativně k použití metanolu u vozidel. To ovšem komplikuje přeměnu na vodík. Snižuje se celková účinnost celého řetězce přeměn a rostou náklady. Kromě toho vzniká CO<sub>2</sub> a malé množství dalších škodlivin. U modifikace PEFC, u tzv. přímého metanolového článku (PMFC) se metanol přeměňuje elektrochemicky přímo.

Druhý vývojový směr využití PEFC představuje vedle tepláren též malé jednotky o výkonu 1–5 kWh<sub>el</sub>. Dále se v malém rozsahu využívají alkalické palivové články (AFC) jak pro mobilní, tak pro stacionární účely.

### Elektrická účinnost palivových článků

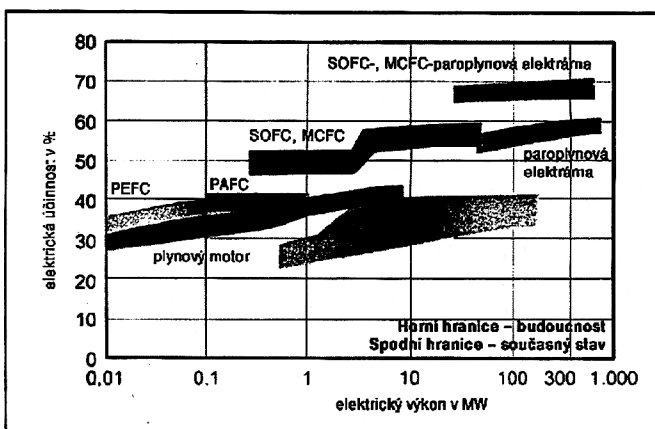
Vysoká elektrická účinnost patří jak při mobilním, tak stacionárním užití k podstatným výhodám palivových článků. Typický jízdní cyklus osobního automobilu s benzinovým motorem má netto účinnost 23 % (v budoucnosti až 26 %), zatímco pohon s palivovými články s metanolem 33 % a s vodíkem až 40 %.

### Emise škodlivin

Vedle vysoké účinnosti a nízké emise CO<sub>2</sub> jsou přímé emise zanedbatelné. Při provozu na vodík jsou emise nulové, při reformingu plynu vcelku nízké.

Sektor	Užití	Problémy
Přenosná zařízení	<ul style="list-style-type: none"> <li>● nouzové napájení elektrif.</li> <li>● kancelářská komunikace</li> <li>● volný čas</li> <li>● ostrovní provoz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● specifická váha akumulátoru</li> <li>● znovunabíjené</li> <li>● distribuce H<sub>2</sub></li> <li>● spolehlivost, bezpečnost</li> </ul>
Mobilní zařízení	<ul style="list-style-type: none"> <li>● osobní automobily</li> <li>● užitková vozidla</li> <li>● kolejová vozidla</li> <li>● lodě, letadla, astronautika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● náklady</li> <li>● studený start</li> <li>● váha</li> <li>● účinnost</li> <li>● chlazení</li> <li>● zájem zákazníků</li> </ul>
Stacionární zařízení	<ul style="list-style-type: none"> <li>● domácí vytápění</li> <li>● decentrální kogenerace</li> <li>● průmyslová kogenerace</li> <li>● centrální výroba elektřiny</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● náklady na liber. trhu</li> <li>● životnost</li> </ul>

Obr. 1: Oblast využití a problematika palivových článků



Obr. 2: Elektrická účinnost elektráren spalujících zemní plyn ve výkonovém rozsahu 0,01 až 1 000 MW

### Kumulovaná spotřeba a řetězce přeměn palivových článků

Při posuzování celkové ekologické bilance užití palivových článků je nutno vzít v úvahu kumulovanou spotřebu energie v celém řetězci přeměn, tj. potřebu energie k výrobě palivových článků až po likvidaci. V tabulce jsou uvedeny možné redukce nasazením palivových článků pro vybrané problémy životního prostředí jako výsledek celkových ekologických bilancí. Velké přednosti jsou jednak v oblasti úspor primárních zdrojů a redukci skleníkových plynů, jednak ve snížení negativního působení na životní prostředí (okyselení půdy, přehnojení), kancerogenní (rakovinové) složky. Palivové články v režimu kogenerace snižují oxidy dusíku, které se vyskytují u plynových motorových kogenerací (plynové turbíny a motory) a

dále snižují vznik přízemního ozonu. Totéž platí o mobilních (automobilových) pohonech s vodíkem, které snižují skleníkový efekt o 30 % a okyselení půdy o 75 %.

### Další výhody palivových článků

Výhodou je bezhlučnost, modulová konstrukce a vysoký ukazatel měrné výroby elektřiny, což hraje u kogenerace značnou roli. Při mobilním užití je možnost brzdnou energii uložit zpět do baterie (Puffer).

Oblast nasazení	mobilní		decentrální kogenerace		průmyslová kogenerace		centrální výroba elektřiny	
	PEFC (H <sub>2</sub> )	PEFC (Me OH)	PEFC*	PEFC*	SOFC**GT	SOFC/GT	SOFC/GT	SOFC/GT
Technologie palivových článků	benzin. motor <sup>1)</sup>	benzin. motor <sup>1)</sup>	motor. kog.	motor. kog. <sup>2)</sup>	plyn. turbína	plyn. turbína <sup>2)</sup>	GUD zemní pl.	GUD zemní pl. <sup>2)</sup>
Porovnávací technologie								
redukce energie	-14 %	+11 %	+26 %	-39 %	-12 %	-47 %	-9 %	-36 %
skleníkový efekt	28 %	13 %	13 %	13 %	12 %	47 %	10 %	34 %
okyselení půdy	-66 %	-52 %	-57 %	-57 %	-68 %	-80 %	-31 %	-71 %
přehnojení	-69 %	-63 %	-84 %	-84 %	-87 %	-68 %	-57 %	-44 %
kancerogenita	-98 %	-95 %	-77 %	-89 %	-77 %	-97 %	-54 %	-92 %
- Redukce PEFC (H <sub>2</sub> /Me OH) + Zvýšení	Možné redukce různých působení na životní prostředí nasazením pal. článků ve srovnání s pokrokovou technologií (status 2010)							
Příklad vyhodnocení: náhrada automobilu na benzin vozidlem s paliv. článkem na vodík redukuje skleníkový efekt o 28 %.								

\* Polymerní – elektrolytický membránový palivový článek (PEFC) a palivem vodík/metanol

\*\* Solid Oxide Fuel Cell s plynovou turbínou

1) benzin v l/100 km

2) mezní hodnota s mixem elektřiny a hořáky na zemní plyn



## 11. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla palivovými články – Bloková teplárna PC 25 s palivovými články (fy ONSI)

V roce 1993 byla uvedena do provozu blokovaná kogenerační jednotka na palivo zemní plyn nebo vodík (vodík je získáván konverzí ze zemního plynu), přičemž je provedeno odsíření. Jako elektrolyt je použita kyselina fosforová. Dosáhne se teploty 200 °C. Výkon činí 200 kW.

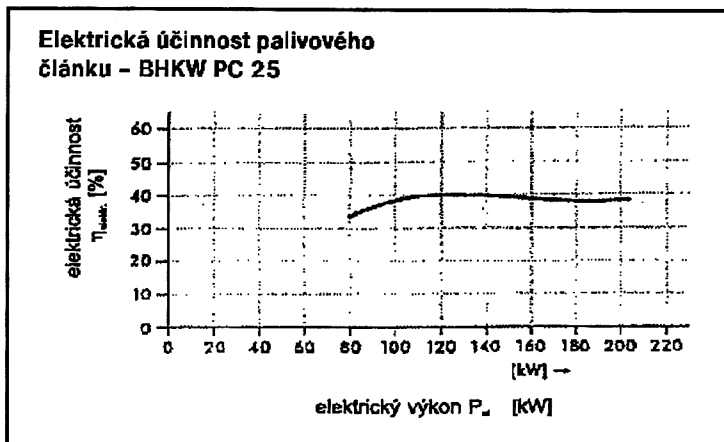
Bloková teplárna s palivovými články PC 25 je umístěna v kontejneru o rozměrech 7,5 m (délka), 3 m (šířka), 3,5 m (výška), v něm jsou umístěny všechny potřebné provozní a elektrotechnické komponenty. Celková hmotnost zařízení je 28 t.

Konvenčními provozními postupy (odsíření, reforming a konverze) se ze zemního plynu vytvoří vodíkem bohatý plyn pro pochod v palivovém článku. Výsledný plyn pro provoz palivového článku obsahuje – je-li jako vstup použit zemní plyn – cca 80 % objemového vodíku. Teplo vzniklé při elektrochemické výrobě proudu se vyvádí a přes výměník dává k dispozici odběrateli.

Blokové teplárny s palivovými články, které instalovaly Ruhrgas AG a Thyssengas GmbH, jsou v provozu téměř nepřetržitě od září, resp. října 1992. Vždy po 2 000 h byla provedena při provozu, tj. bez přerušení výroby proudu, předvídaná údržba.

### Elektrický výkon

Protože blokovaná elektrárna s palivovými články vykazuje zvlášť dobré vlastnosti při dílčím zatížení, zkoumají obě společnosti elektrickou účinnost, množství získatelného tepla a emise škodlivin v závislosti na elektrickém výkonu.



Obr. 1: Elektrická účinnost palivového článku v závislosti na elektrickém výkonu

Obr. 1 ukazuje dosažitelnou elektrickou účinnost při použití zemního plynu kvality L. Je zřejmé vidět, že elektrická účinnost zůstává ve velkém rozsahu výkonu mezi 100 a 200 kW téměř konstantní. Maximální elektrické účinnosti se dosahuje při 120 kW a obnáší cca 40 %.

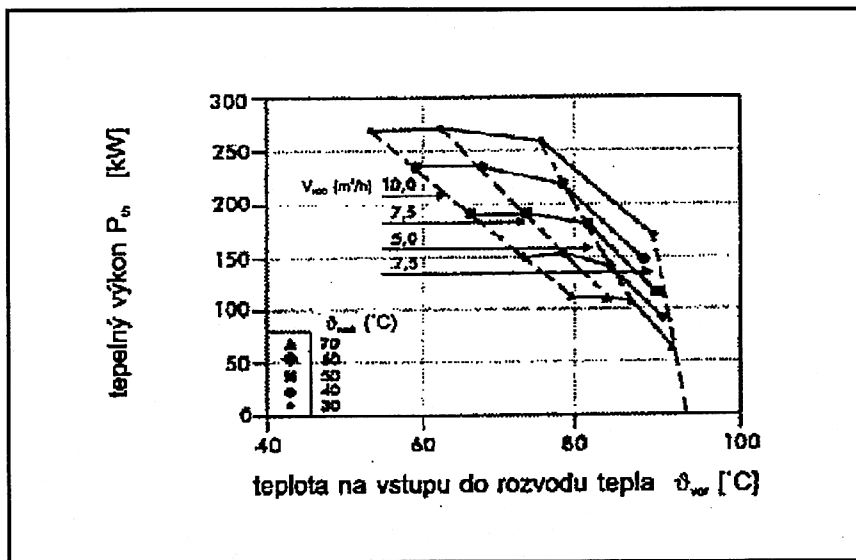
### Tepelný výkon

Tepelný výkon blokované teplárny jako funkce elektrického výkonu v případě vyvedení tepelného výkonu ze zařízení instalovaného u Thyssengas ukazuje obr. 2. Získatelný tepelný výkon roste kontinuálně s elektrickým výkonem od hodnoty cca 80 kW. Spotřebitel tepla na

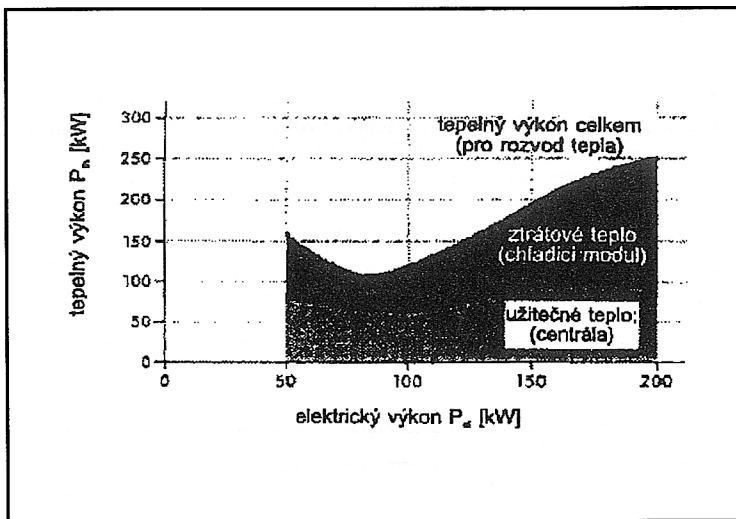
území závodu však potřebují maximálně cca 95 kW trvalého příkonu, takže je zapotřebí teplo přesahující jeho potřebu odvádět chlazením.

Obrázek ukazuje výsledky simulace různých spotřebitelů tepla provedené u Ruhrgas AG jako příklad pro dva elektrické výkony ( $P_{el} = 200$  kW, resp. 100 kW). Zde bylo podchyceno jen teplo využitě, nikoliv ta část, která se odváděla chladičem dodaným rovněž firmou ONSI.

Je bezprostředně patrná závislost tepelného výkonu na vratné teplotě a průtoku vody (jako teplotonosné látky). Srovnání objasňuje také vliv elektrického výkonu na využitelné (užité) teplo). Tak např. vyplývá z obr. 2, že při  $P_{el} = 200$  kW a teplotním poměru teploty vody na vstupu do rozvodu tepla ku teplotě vratné (60 °C) je tepelný výkon 235 kW, což odpovídá tepelné účinnosti cca 45 %. Při stejném teplotním poměru vychází při  $P_{el} = 100$  kW tepelný výkon  $P_{th} = 90$  kW, což odpovídá tepelné účinnosti asi 36 %.



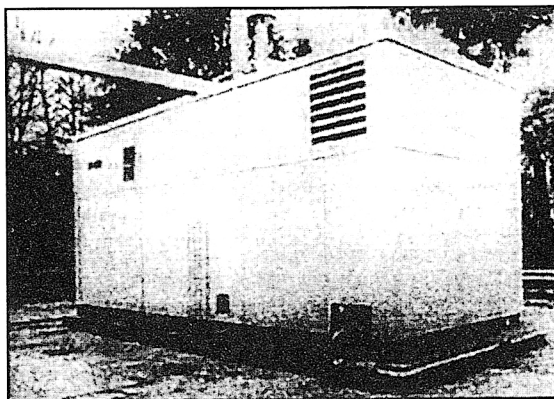
Obr. 2: Tepelný výkon jako funkce teploty na vstupu do rozvodu tepla při  $P_{el} = 200$  kW



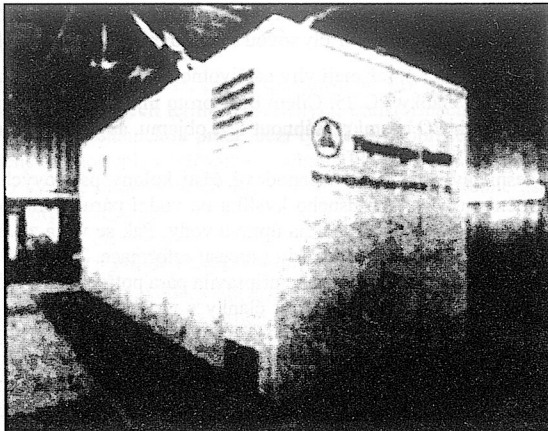
Obr. 3: Tepelný výkon blokové teplárny s palivovými články

#### Instalace a uvedení do provozu

Bloková teplárna s palivovými články typu PC 25 se hodí k umístění uvnitř i vně budov. Ruhrgas AG se rozhodla pro umístění vně, zatímco u Thyssengas GmbH byla umístěna ve zkušební hale. Obě instalace jsou zachyceny na obr. 4 (Ruhrgas AG) a obr. 5 (Thyssengas GmbH). Protože bylo zařízení PC 25 koncipováno podle amerických pravidel, bylo nutno k získání provozního povolení v rámci individuálního přejímání prvků zařízení žádat o jejich připuštění podle německého práva. K tomu cíli byl oběma podniky pověřen Rýnsko-vestfálský spolek technického dozoru (RWTÜW) porovnáním amerických a německých pravidel a prověřením kompatibility „Material Test Report“ (MTR) a „Manufacturers Data Report“ (MDR) s příslušnými německými ustanoveními.



Obr. 4: Blokovaná teplárna s palivovými články PC 25 Ruhrgas v Dorsten



Obr. 5: Blokovaná teplárna s palivovými články PC 25 Thyssengas v Duisburgu

Dále bylo nutno porovnat tlakový chladicí systém, který byl postaven podle pravidel publikovaných americkou společností strojních inženýrů (ASME) a slouží k odvádění reakčního tepla, s technickými pravidly pro parní kotle německého výboru pro parní kotle (DDA) a Spolků technického dozoru.

Srovnání vztahující se k použitým materiálům a výrobě ukázaly dalekosáhlou kompatibilitu s požadavky německých pravidel. Horkovodní atmosférický, zemním plynem topený ohřívač horké vody, který je k dispozici pro najíždění zařízení, byl zařazen ve smyslu nařízení pro parní kotle jako parní kotol. Povolení k provozu pokusného zařízení bylo uděleno podle předlohy pozitivního vyjádření dle § 10 nařízení o parních kotlech příslušných úřadů průmyslového dozoru při respektování některých speciálních podkladů.

Bezpečnostní zkoušky zařízení a celé centrály v Dorsten a Duisburgu i tlakové zkoušky pojišťovacích ventilů provedené během instalace nedaly žádný důvod k námitkám, takže palivové články byly v září, resp. v říjnu 1992 dány úspěšně do provozu.

### Program a výsledky pokusů

V rámci oběma společnostmi předpokládaných zkoušek stojí v popředí použití zemního plynu různé jakosti, jak se v příslušných dodavatelských územích vyskytuje.

V rámci pokusů, při nichž se zkoumá chování palivových článků, se počítá s dále uvedenými jakostními znaky zemního plynu, jenž se značně liší ve složení a spalném teple.

Thyssengas GmbH:	L-plyn; $H_{o,n} - 10,3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ; neodorizovaný nebo odorizovaný THT (tetrahydrothiopenem); H-plyn; $H_{o,n} - 11,2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ; neodorizovaný nebo odorizovaný THT; H-plyn; $H_{o,n} - 12,1 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ; neodorizovaný nebo odorizovaný THT.
Ruhrgas AG:	L-plyn; $H_{o,n} - 10,2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ; neodorizovaný; H-plyn; $- 12,1 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ; neodorizovaný; směs zkapalněného plynu a vzduchu s různými poměry míchání.

Použitím organických látek s obsahem síry, které se přidávají z bezpečnostních důvodů k zemnímu plynu rozváděnému místní plynovou sítí, zanesou se do zemního plynu stopová množství síry (cca  $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), jež mají vliv na životnost odsiřovacího zařízení, vestavěného do systému s palivovými články PC 25. Cílem bylo proto mj. stanovit životnost interního odsiřovacího zařízení. Obsah CO nesmí přesáhnout 1 % objemu, aby se nepoškodil v palivových článcích použitý platinový katalyzátor.

Vyrobený procesní plyn se přivádí k anodové části kolony palivových článků a tam se elektrochemicky mění za účasti vzdušného kyslíku na vodní páru. Vzniklá vodní pára kondenzuje a je vedena do vnitřního zařízení na úpravu vody. Pak se voda zavádí do primárního chladicího okruhu a jako pára pak přivádí do procesu reformace. V normálním případě není nutné žádné dodatečné napájení vody, aby se připravila pára potřebná pro reforming.

Stejnoseměrný proud dodávaný palivovými články s napětím cca 200 V a o intenzitě cca 1 050 A je transformován na napětí 600 V a posléze změněn na střídavý (trojfázový střídavý). Jakost proudu se upravuje podle kvalitativních požadavků veřejné sítě a frekvence se automaticky synchronizuje s frekvencí sítě. Teplota vzniklé při elektrochemické výrobě proudu se vyvádí a přes výměník dává k dispozici odběrateli. Poněvadž reakční teplo centrály PC 25 je funkcí elektrického výkonu, je oběma provozovateli zkoumáno množství tepla, které je při různých stavech zatížení k dispozici odběrateli. Maximálně použitelná teplota v přívodní větvi je  $90^\circ\text{C}$ .

U Ruhrgas AG se vyvinuté reakční teplo zavádí zpět do chladiče, s nímž lze nastavit různé teploty v přívodu a vratné větvi, příp. různé průtoky. Toto uspořádání připouští simulaci různých uživatelů, aby pak bylo možno získat podklady o tepelných výkonech, dosažitelných při různých teplotních spádech a různých elektrických výkonech. Na základě toho se dají sestavit pole charakteristik, jež dovolují automatické přizpůsobení získávaného proudu k požadovanému tepelnému výkonu, takže se může uskutečňovat quasi potřebou tepla vedený provoz blokové teplárny s palivovými články.

U Thyssengas se teplo dodává místní tepelnou sítí do kanceláří, dílen a laboratorních budov na území závodu, kde slouží k vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. Přitom se získaly u konkrétního objektu první praktické zkušenosti o vyvedení užitkového tepla. Dále lze vyvodit přímé porovnání s dosud pro výrobu tepla používanými atmosférickými plynovými kotle s celkovým tepelným výkonem 418 kW.

Obě společnosti vybavily svoje zkušební stanoviště pro trvání první jednorozhodné fáze pokusu rozsáhlou analytikou a sběrem měřených dat. Získaná analytická data jsou vždy dodatečně namátkově ověřována mokřými chemickými postupy nebo jinými srovnatelnými postupy z hlediska jejich přesnosti. Kalorimetrie použité u Thyssengas k určení kvality užitého zemního plynu podléhají cejchovní povinnosti a jsou každý týden kalibrovány přísežnými znalci. U Ruhrgas se uskutečňuje analýza plynu měsíčně centrální laboratoří. Meteorologická stanice slouží k automatickému podchycení podmínek okolního prostředí.

Jak Ruhrgas AG, tak i Thyssengas nasazují PC 25 výlučně v paralelním provozu se sítí. Zpravidla se vyrobená elektrina spotřebuje na příslušném území závodu. V období nízkého zatížení, kupříkladu na konci týdne, se přebytečný proud dodává do veřejné sítě VEW AG, případně Městských podniků v Duisburgu AG.

V rámci vědeckých zkoušek jsou u obou zařízení prováděny technicko vědecké pokusy, na kterých budou pracovat kvalifikované výzkumné instituce. Mimoto byla dojednána spolupráce s N. V. Nederlandse Gasunie, Groningen. Po úspěšném zakončení tohoto programu je zařízení s palivovými články Thyssengas GmbH ve spolupráci s Městskými podniky Düren provozováno poloprovodně v podmínkách blízkých realitě po tři roky jako blokova teplárna, aby se prokázala výkonnost a poskytla data o své odolnosti a životnosti. Se stejným cílem je zařízení s palivovými články Ruhrgas AG po ukončení jednorozhodného pokusného provozu instalováno v Městském podniku v Bochumi a tam zkoušeno z hlediska praktické použitelnosti.

## 12. Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla, termokomprese, předčerpávání tepla, to vše jsou v principu synonyma pro jeden děj. Na rozdíl od všech termodynamických transformačních oběhů, kde dodáváme teplo, abychom dostali mechanickou práci, běží tyto oběhy obráceně. Přívodem mechanické práce a nízkopotenciálního tepla dostáváme tepelnou energii s vyšším obsahem exergie. Někdy však ani tuto vysoce hodnotnou energii nepotřebujeme a potřebné „stlačení“ provedou místo kompresoru sorpční reakce.

### 12.1 Fyzikální principy využití energie okolí

Využití energie okolí (země, voda, vzduch) je umožněno na základě fyzikálních (termodynamických) závislostí, zejména první a druhé termodynamické věty a termodynamické transformace.

První věta vyjadřuje nezničitelnost energie při její transformaci, i když každá přeměna je spojena se ztrátami (např. třením atd.). Reverzibilní pochody jsou jen teoretickým ideálem, kterého se v praxi nedá dosáhnout. Z toho důvodu není možné realizovat „perpetuum mobile“, o což se v minulosti snažilo mnoho lidí (před objevem zákonů termodynamiky i vědců).

Druhá termodynamická věta vyjadřuje, že teplo se nedá beze zbytku převést na jiné formy energie. Kdyby tak tomu nebylo, bylo by možné zkonstruovat tzv. perpetuum mobile druhého řádu; např. by bylo reálné zařízení, které by z mořské vody získalo teplo, jímž by se poháněla loď, přičemž ochlazená voda by se vracela do moře a toto ochlazovala (lze však využít teplotních rozdílů v moři).

Stupeň transformovatelnosti	Formy energie
1 Formy energie neomezeně transformovatelné	energie potenciální, kinetická, tlaková užitečná práce, energie mechanická a elektrická
2 Formy omezeně transformovatelné	vnitřní energie systému, který není v rovnováze s okolím, teplo o teplotě $T > T_0$ , energie chemická (výhřevnost paliv)
3 Formy netransformovatelné	vnitřní energie systémů jsoucích v rovnováze s okolím, teplo o teplotě okolí, výtlačná práce proti atmosférickému tlaku

Tab. 1: Hierarchie forem energie podle jejich transformovatelnosti

#### 12.1.1 Energie a entropie

Pro všechny ireverzibilní pochody v přírodě je příznačné, že neustále klesá množství energie využitelné pro konání práce. Přesněji je tato okolnost popsána entropií, což je stavová veličina

$$\left( S = \frac{dQ}{dT} \right)$$
 látky, kterou chceme popsat, přičemž vyjadřuje diferenciální vztahy množství tepla k teplotě v ohraničeném (uzavřeném) systému. Reverzibilní a ireverzibilní proces se odlišuje tím, že v prvním případě je entropie konstantní, v druhém entropie látky narůstá. Z toho odvodil R. Clausius v minulém století „tepelnou smrt“ vesmíru na základě vyrovnání teplot a dosažení maxima entropie.

Druhá termodynamická věta i pojem entropie platí pro uzavřené systémy. Tento předpoklad však neplatí pro vesmír a rovněž v atomové fyzice ztrácí smysl. V každém případě však přírůstek entropie platí pro všechny fyzikální systémy a všechny technologie přeměn energie, které lze v budoucnu vytvořit. Tím je dána i určitá omezenost využití a přeměn energie a předurčena budoucnost energetiky.

### 12.1.2 Energie = exergie + anergie

**Exergie** je ta část, která může být transformována beze ztrát na vyšší formy energie, hlavně na energii mechanickou, zbytek tepelné energie – **anergie** – může sloužit jen k ohřívacím účelům. Jestliže exergii během transformace ztrácíme, znamená to, že jsme jí dovolili přejít na anergii. Součet těchto dvou komponent během transformace je stálý. Všechny prakticky známé tepelné procesy jsou nevratné, jejich průběh neumíme obrátit (škracení par, přestup tepla z teplejší na chladnější látku).

1. věta termodynamiky: Zákon o zachování energie	Součet exergie a anergie zůstává konstantní při všech procesech. Energii nelze zničit.
2. věta termodynamiky: Zákon o znehodnocování energie	Při všech nevratných procesech se mění exergie na anergii. Exergie zůstává konstantní jen u úplně vratných procesů.
Doplňek 2. věty: Nemožnost perpetua mobile 2. druhu	Není možné žádným způsobem přeměnit anergii na exergii.

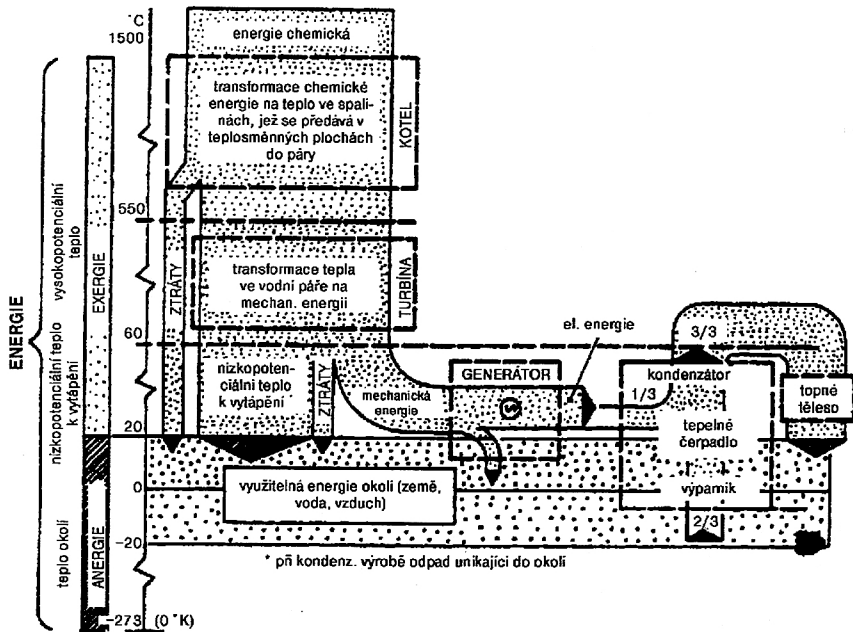
Tab. 2: Formulace 1. a 2. věty termodynamiky pomocí exergie

### 12.1.3 Levotočivý Carnotův kruhový oběh

Pomocí levotočivého Carnotova kruhového oběhu, technicky realizovaného jako tepelné čerpadlo, lze transformovat část anergie, tj. energie okolí, na teplo o vyšší teplotě a použít pro vytápění.

Zařízení	Užití tepla	Zdroj odpadního tepla pro čerpadlo
Prádelny Textilní závody – barvírný papírny Zemědělské provozy	teplá voda  teplá voda teplá voda teplá voda, otop vybraných prostorů	odpadní voda z praní  odpadní teplá voda odpadní teplá voda odpadní vzduch z chlévů a lhní
Klimatizační zařízení  Sušárny	ohřev čerstvého vzduchu předehřev sušičiho vzduchu	odcházející znečištěný vzduch odpadní vlhký vzduch ze sušičiho procesu
Průmyslové provozy	teplá voda otop	chladicí voda s nízko- potenciálním teplem

Tab. 3: Možnosti využití tepla tepelnými čerpadly

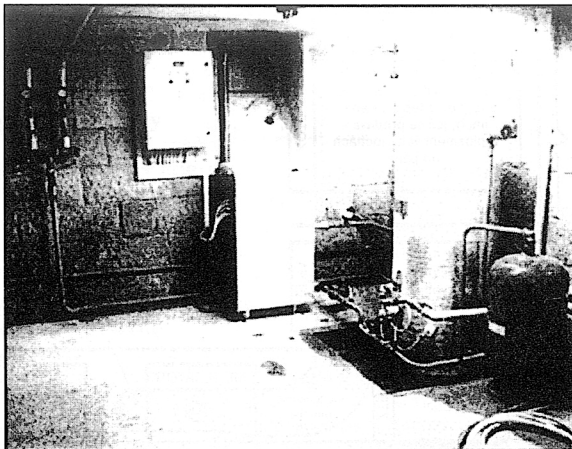


Obr. 1: Celkový tok energie při jednotlivých druzích transformace energie primárních zdrojů

Typ čerpadla ochlazuje se/ohřívá se	Možnosti použití
vzduch/voda	univerzální typ, pro ústřední vytápění
vzduch/vzduch	jako doplňkový zdroj tepla též pro teplovzdušné vytápění, klimatizaci
voda/voda	pro využití odpadní tepla, geotermální energii
solanka/voda	pro ochlazování půdy, povrchové vody, pro nízkoteplotní zdroje tepla obecně
voda/vzduch	pro teplovzdušné vytápěcí systémy

Tab. 4

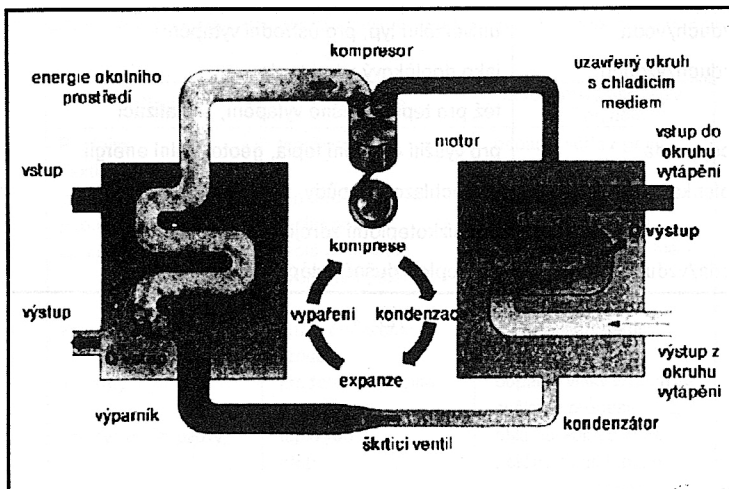




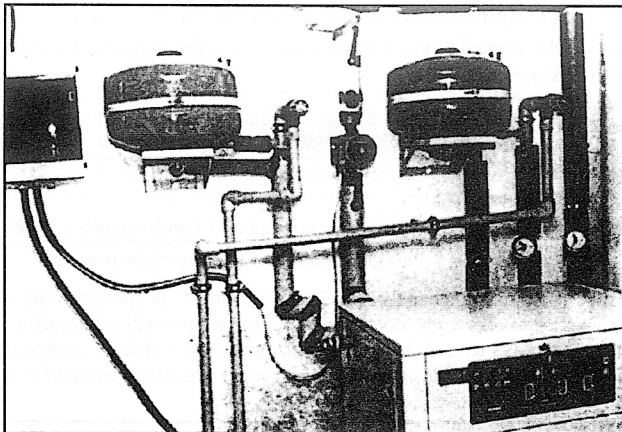
Obr. 2: Pohled do kotelny s tepelným čerpadlem

### 12.2. Termodynamický princip vytápění tepelným čerpadlem

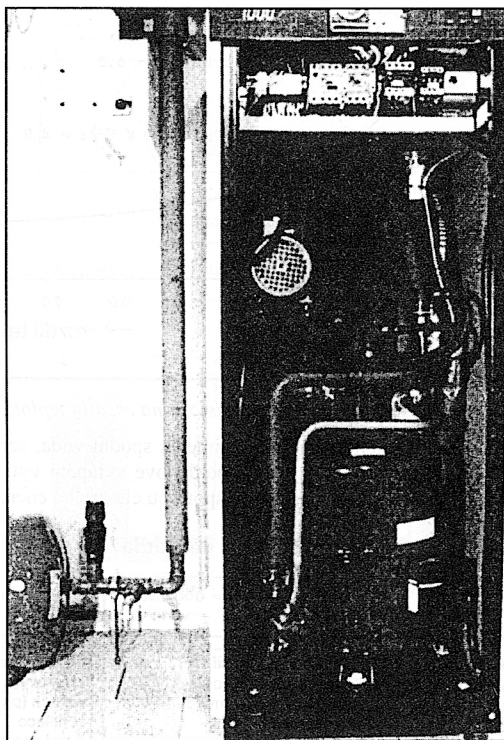
Kruhový oběh (proces) tepelného čerpadla odpovídá termodynamicky procesu v chladničce, přičemž teplo (anergie vzduchu, země, vody, odpadního tepla) se předává ve výparníku a odebírá v kondenzátoru (užité teplo s vyšší teplotou). Pracovní prostředek (chladiivo) je tekutina, která se odpařuje již při nízkých teplotách. Cirkuluje v okruhu, přičemž nastává postupně odpaření, komprese, zkapalnění a expanze. Jde o obrácený oběh, než je v chladničce. V této souvislosti je vhodné poznamenat, že tento termodynamický proces se např. v domácnostech používá k výrobě chladu (chladničky, mrazničky, klimatizace) téměř ve 100 %, zatímco k výrobě prostorového tepla (vytápění) jen v 1–2 %.



Obr. 3: Princip tepelného čerpadla



*Obr. 4: Pohled do kotelny rodinného domku a instalaci tepelného čerpadla*



*Obr. 5: Pohled na vnitřek tepelného čerpadla*

### 12.2.1 Účinnost tepelného čerpadla s elektrickým pohonem

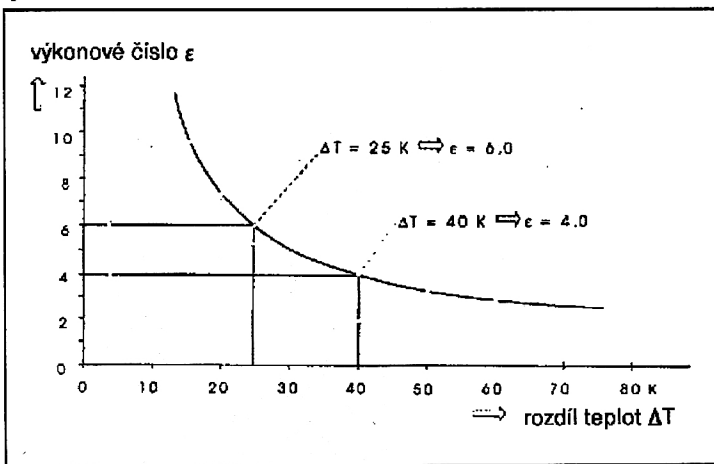
Účinnost tepelného čerpadla s elektrickým pohonem je charakterizována svým:

- výkonovým faktorem (číslem);
- pracovním faktorem (číslem).

$$\text{Výkonový faktor (číslo) } e = \frac{\text{tepelný výkon odevzdaný kondenzátoru}}{\text{výkon pohonu tepelného čerpadla}};$$

$$\text{Pracovní faktor (číslo) } b = \frac{\text{množství tepla odevzdané v kondenzátoru za rok}}{\text{energie k pohonu TC (kompresoru) za rok}}.$$

Pracovní číslo 4 vyjadřuje, že v průběhu topné sezóny byla spotřebována jedna jednotka pro pohon TČ a tři jednotky byly odebrány z okolního prostředí (energie) a čtyři jednotky představují užité teplo. Pro dosažení vysokého pracovního čísla je rozhodující co možná nejmenší rozdíl mezi teplotou zdroje okolí (země, voda, vzduch) a dopřednou teplotou systému vytápění.



Obr. 6: Výkonové číslo v závislosti na rozdílu teplot

Konstantní teplotu během celého roku mají zejména: spodní voda, zemní teplo a odpadní tepla (z průmyslu a domácnosti). Nízkoteplotní podlahové vytápění vytváří nejlepší předpoklady pro vysoké pracovní číslo a tím pro nízkou spotřebu elektrické energie.

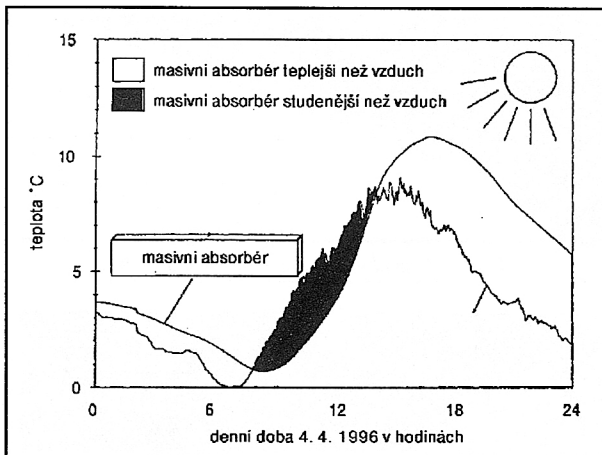
### 13.2.2 Zdroje tepla (energie) pro tepelná čerpadla

povrchová voda	podzemní voda	odpadní teplo	oběhová voda	vzduch	zemní zdroje
říční voda, mořská voda, jezerní voda	spadní voda, studniční voda, hlubinná voda, termální voda	chladicí voda, odpadní voda z průmyslu, z domácnosti	sif CZT, vodovodní síť, procesní voda	okální vzduch, výfukový vzduch (plyny), ventilace domácností, procesní teplo, absorbery	zemní ventilační sandy, ze mni kolektroy, horizontální geotermické teplo

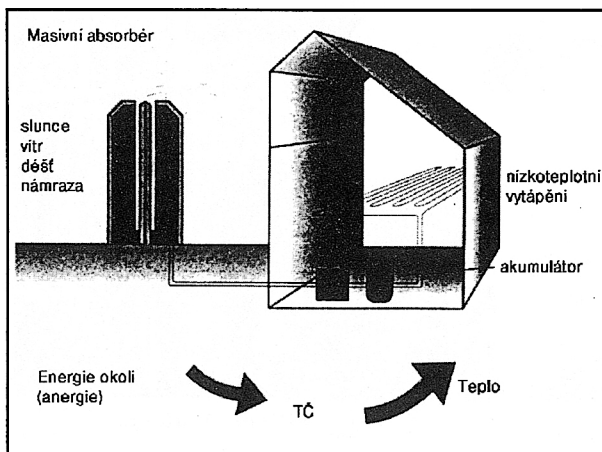
## Teplota ovzduší

Teplota ovzduší je k dispozici všude, podléhá však během roku teplotním výkyvům. Využití ovzduší pro TČ není problematické, avšak je cenově dražší. Nabízí se provedení TČ vzduch/voda pro umístění vně, nebo uvnitř objektu. Většinou je nutný bivalentní provoz, poněvadž pracovní číslo je nižší než u systémů s půdním kolektorem.

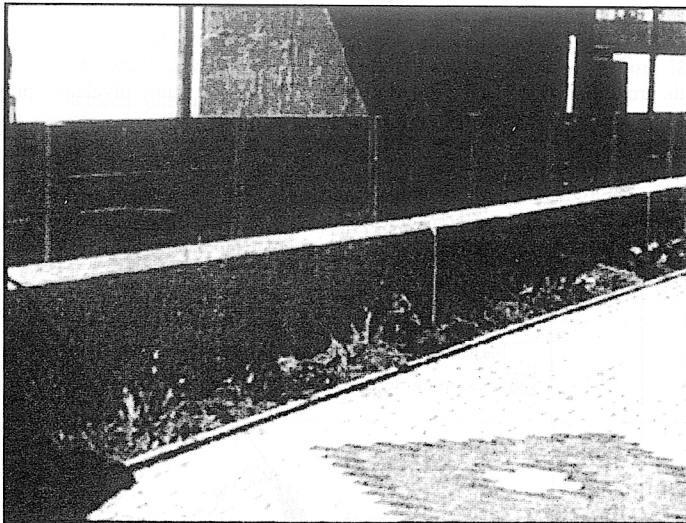
Zvláštním případem je využití tepla ovzduší přímým ozářením masivního tělesa Sluncem (Trompeho stěna), např. betonové stavební prvky ve formě bloků, stěn, ohrad apod. Využívá se absorpční technologie, přičemž kolektor je zabudován do masívu stavebního prvku (získání tepla je stejné jako při použití pro sluneční kolektory). Absorpční plochy činí cca 1/3 otáčené plochy. Absorpční tělesa nepodléhají žádnému omezení z hlediska předpisů pro životní prostředí.



Obr. 7: Akumulace solárního zařízení v masivním absorptéru



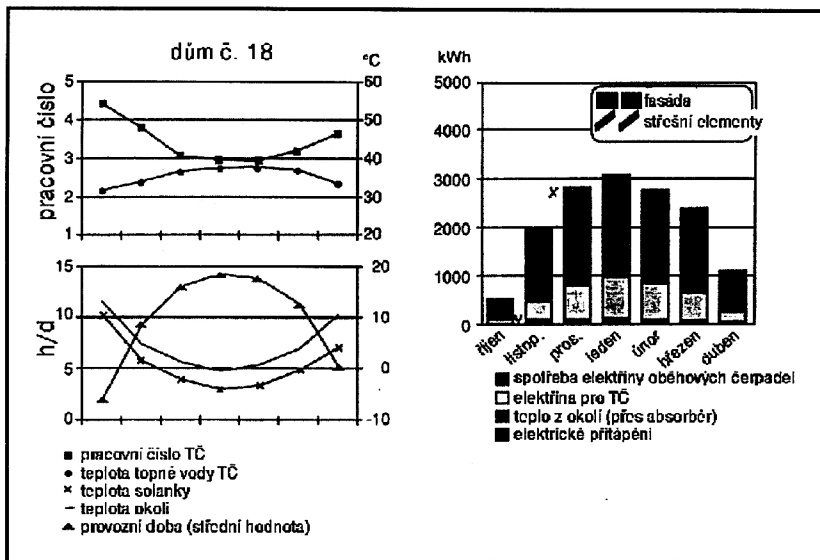
Obr. 8: Princip otočného systému s masivním absorptérem



*Obr. 9: Zahradní zídka jako masivní absorbér*



*Obr. 10: Dům s garáží jako absorbérem*



Obr. 11: Provozní údaje domu během topného období 95/96

Rozsah teploty vzduchu (vnějšího ovzduší) je  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V tomto případě je možné jednotlivý rod. dům většinou provozovat monovalentně (bez druhého zdroje tepla) do teploty ovzduší  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při nižších venkovních teplotách je možné zapnout přídavné elektrické vytápění. Při správném dimenzování systému s TČ pokrývá přídavné elektrické vytápění 5 až 10 % roční spotřeby tepla. Zvláštní výhodou je jednoduchá instalace – bez zemních prací nebo vrtů.

### Teplota vody

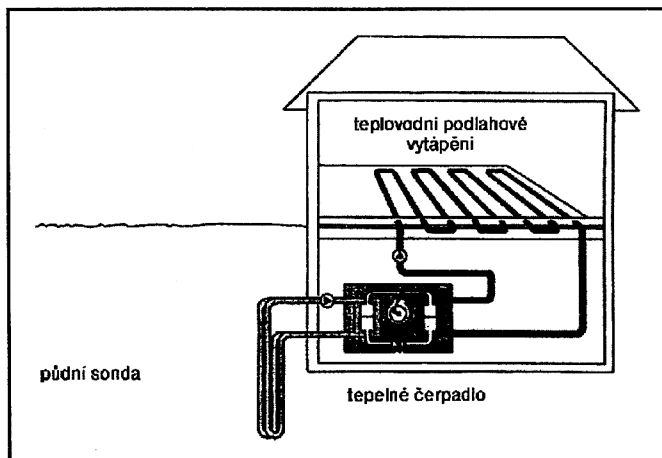
Spodní voda akumuluje sluneční teplo. I při nejstudenějších zimních dnech neklesá teplota spodní vody pod  $8\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což je optimální teplota pro nasazení TČ. Spodní voda však není všude v dostatečné kvalitě k dispozici. V zahraničí je nutný úřední vodo hospodářský souhlas.

### Teplota země (půdy)

#### Zemní kolektory

Rovněž teplo půdy je důsledkem slunečního záření, které je buď přímým ozářením nebo prostřednictvím deště a větru přijímáno do půdy. Akumulované teplo v půdě se přebírá horizontálně položeným výměníkem – zemními kolektory a dodává do TČ. Tyto kolektory se používaly již v sedmdesátých letech. Při správném dimenzování lze dosáhnout přijatelné pracovní číslo. Nejlépe se osvědčilo uložení do hloubky 1,2 až 1,5 m. Teplota pracovní látky může v zimě poklesnout až na  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , avšak brzo na jaře nastává regenerace.

V minulosti při velké spotřebě tepla objektů (před nařizením k tepelné izolaci) bylo zapotřebí velkých ploch. Dimenzování závisí na vlastnostech půdy. Možný zisk výkonu činí 20 až 40 W/m délky trubky. Nejlepší zkušenosti byly zaznamenány při položení s 25–40cm roztečí trubek. Často lze výměník upevnit podle úprav vnějších ploch např. zahrady.



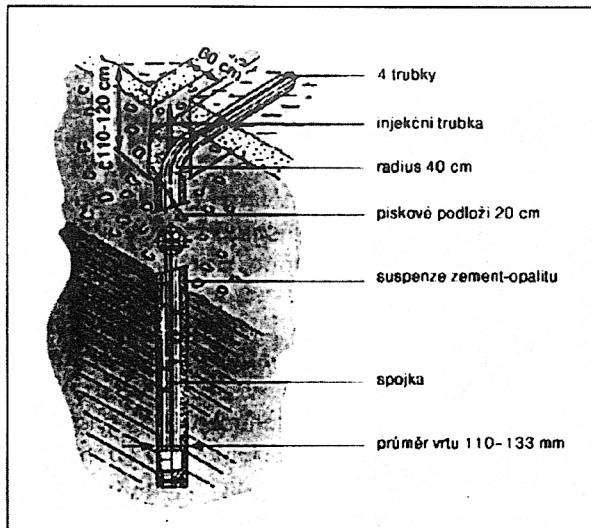
Obr. 12: Schéma půdní sondy a podlahového vytápění

#### Vertikální půdní sondy

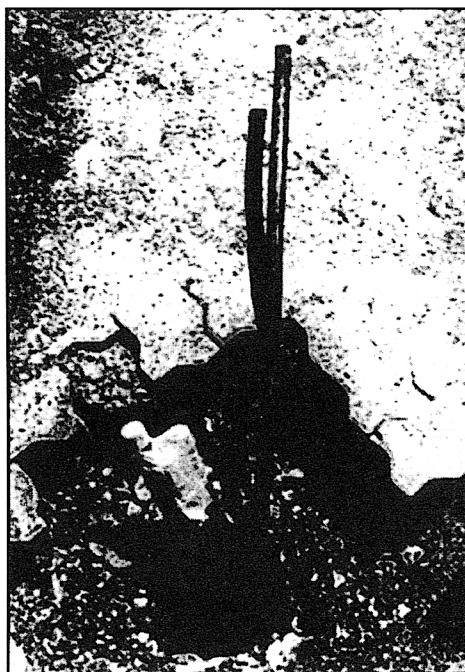
Půda má od hloubky 15 m téměř konstantní, roční dobou neovlivněnou teplotu cca 10 °C. Půdní sondy se provádějí do hloubky 30 až 100 m a to pomocí vrtacích souprav. Osvědčila se sonda ve tvaru U (obr.) Pracovní látka (voda s prostředkem proti zamrznutí) proudí trubkami z umělé hmoty z rozdělovače ve dvou paralelních trubkách dolů, cirkuluje dvojitou trubkou ve tvaru U nebo speciální hlavici a vrací se zpět k rozdělovači – sonda tvoří dvě dopředné a dvě zpáteční trubky (průměr trubky 25 až 32 mm). Půdní vrt se naplní pak tekutým plnidlem (např. bentonit) tak, aby byl zajištěn přechod tepla z půdy do sondy. Současně se tím zamezí propojení různých horizontů spodní vody.

obytná plocha m <sup>2</sup>	Specifické tepelné zatížení (W/m <sup>2</sup> )			
	30	40	50	60
100	70	100	120	140
125	90	120	150	180
150	110	140	180	210
175	130	170	210	250
200	140	190	240	290

Tab. 5: Potřeba plochy pro horizontální kolektor v závislosti na obytné ploše a specifickém tepelném zatížení

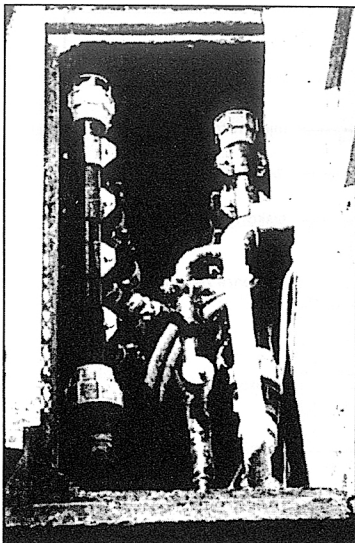


Obr. 13: Schéma zemní U-trubkové sondy

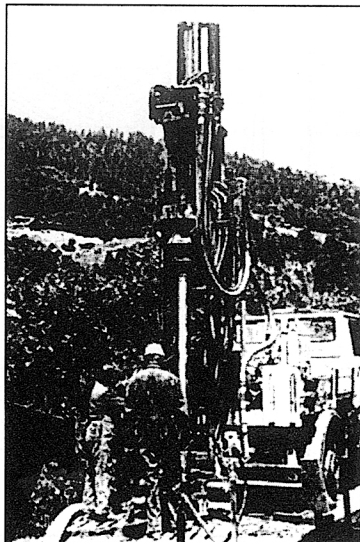


Obr. 14: Napojení na sondu po naplnění vrtu bentonitem

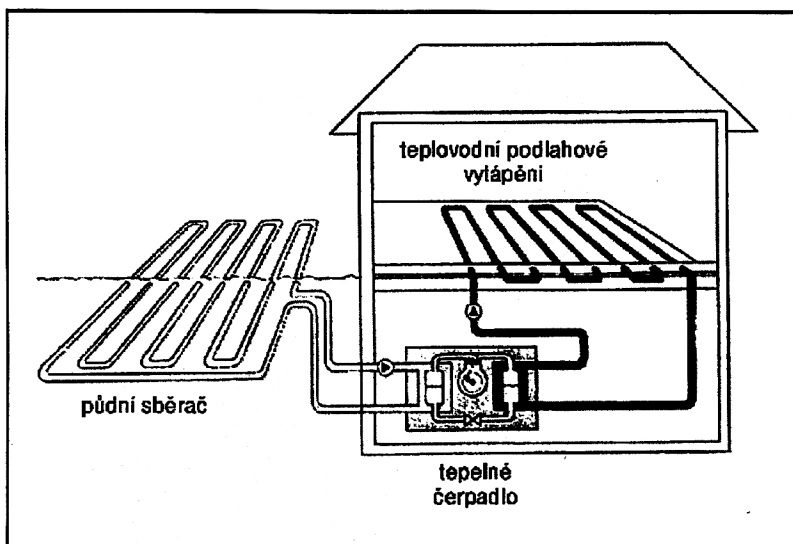




Obr. 15: Sběrač a rozdělovač v šachtě pod oknem sklepa



Obr. 16: Půdní sonda, vrtání až do 100 m hloubky

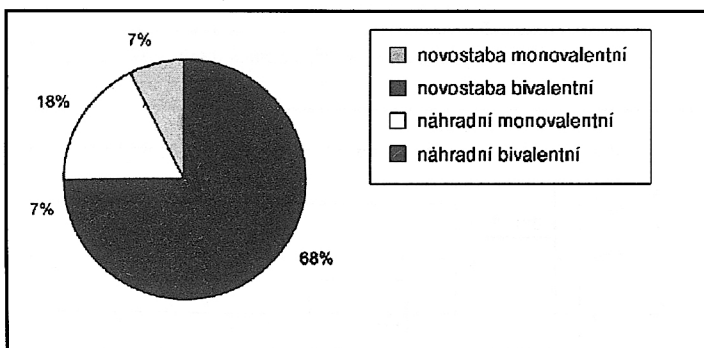


Obr. 17: Schéma plošného trubkového sběrače a vytápění pomocí TČ

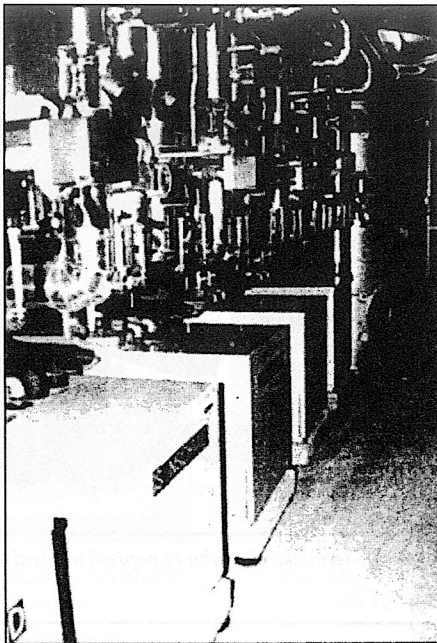
Při suché písčité půdě je možné použít více paralelních sond.



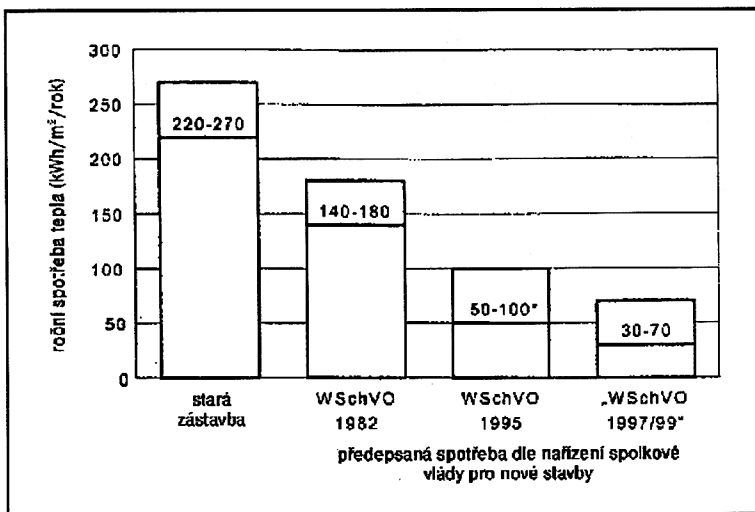
Obr. 18: Solárně-termická zástavba (v popředí masivní absorbér)



Obr. 19: Způsoby provozu TČ v roce 1994 (SRN)



Obr. 20: Více TČ pro řadu rodinných domků nebo větší objekty



Obr. 21: Roční spotřeba tepla staré zástavby a nové zástavby dle nařízení spolkové vlády SRN 1982, 1995 a 1999

### 12.3 Současný rozvoj systémů s tepelným čerpadlem ve světě

Rozvoj systémů s TČ jak v Evropě, tak i v zámoří závisí na mnoha faktorech zejména na:

- klimatické situaci;
- výstavbě obytných domů a předpisů na tepelnou izolaci;
- otopném systému.

Až do olejové krize 1973/74 bylo nasazení TČ omezené. V osmdesátých letech byl pozitivně zhodnocen ekologický přínos k redukci skleníkových plynů a TČ byla zařazena do programu úspor.

#### SRN

Současný rozvoj TČ se opírá o podporu státu, spolkových zemí a energetických společností na základě zákona o podpoře obnovitelných zdrojů. Stát podporuje instalaci TČ ve výši 300 DEM/kW až do výkonu 15 kW a 100 DEM při výkonu přes 100 kW.

V zařízení však nesmí být jako pracovní prostředek či chladivo použitý H-FCKW (fluorchlorovodíkové směsi). Je nutno výpočtem doložit u TČ vzduch/voda pracovní číslo větší než 3,3 a u ostatních TČ větší než 3,8. Další podporu obdrží investoři od energetické společnosti ve výši 500 až 4 000 DEM podle velikosti TČ.

Pokud jde o TČ poháněné spalovacím motorem (tj. termicky), musí investor prokázat roční topný faktor větší než 1,3. Doposud činila podpora 3,4 milionů DEM pro investice TČ ve výši 18 milionů DEM, tj. průměrná výše podpory činila 19 %. Zvláštní podpora existuje při výstavbě rodinných domů. Půjčky investorům jsou splatné během 25 let, přičemž prvních 5 let je osvobozeno od placení úroků. Rovněž spolkové země přispívají na instalaci TČ.

#### Švýcarsko

Instalaci TČ podporuje stát a jednotlivé kantony. 75 % se instaluje v novostavbách, z toho je 85 % monovalentních a 15 % bivalentních.

#### Francie

V současné době je ze 26 milionů bytů 1,2 % vybaveno klimatizací (na bázi TČ). V roce 1995 bylo instalováno cca 140 000 klimatizačních zařízení pro jednotlivé místnosti.

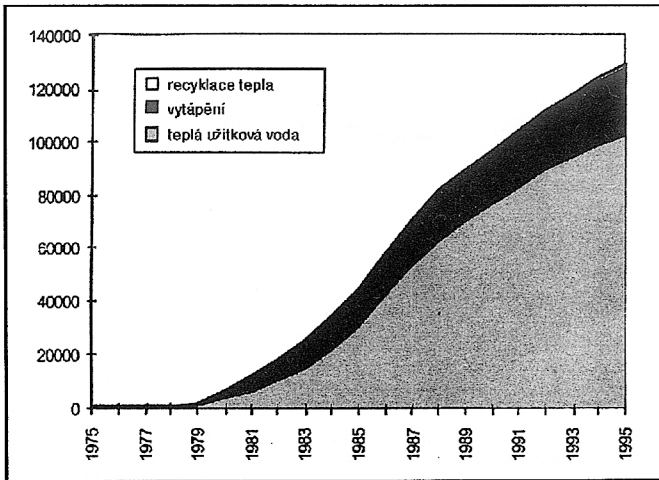
#### Rakousko

V Rakousku se TČ používá převážně pro ohřev teplé vody (TUV).

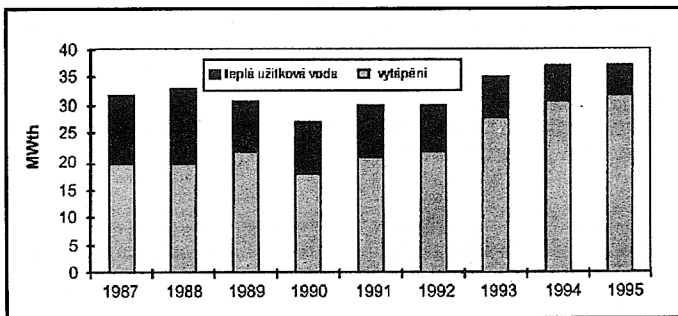
#### Skandinávie

Pro Skandinávii jsou charakteristické dva faktory:

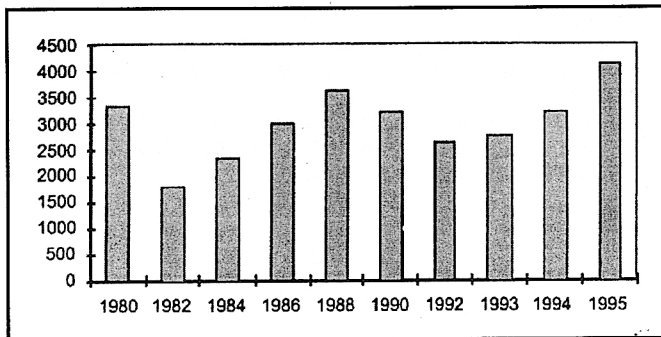
- Ve Švédsku se po olejové krizi instalovaly velká TČ (technický výkon jednotky až 35 MW). Jako zdroj tepla se využila voda z jezer a moře, rovněž odpadní voda z biologických čistíček.
- V důsledku tradičně vysokého podílu přímotopů bylo nutné provádět rekonstrukci. V současné době je ve Švédsku v provozu 250 000 TČ, přičemž se počítá se zdvojnásobením. V Norsku se ročně instaluje cca 2 000 TČ.



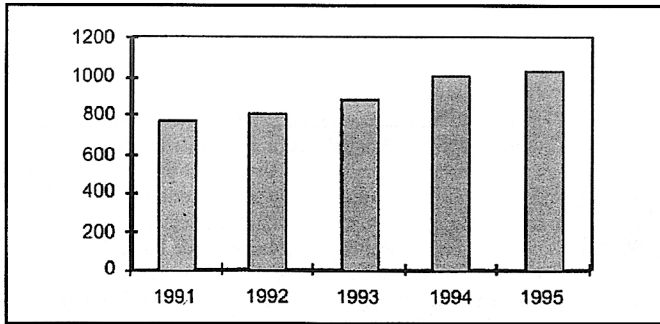
Obr. 22: Instalované zařízení s TČ (kumulované) v Rakousku



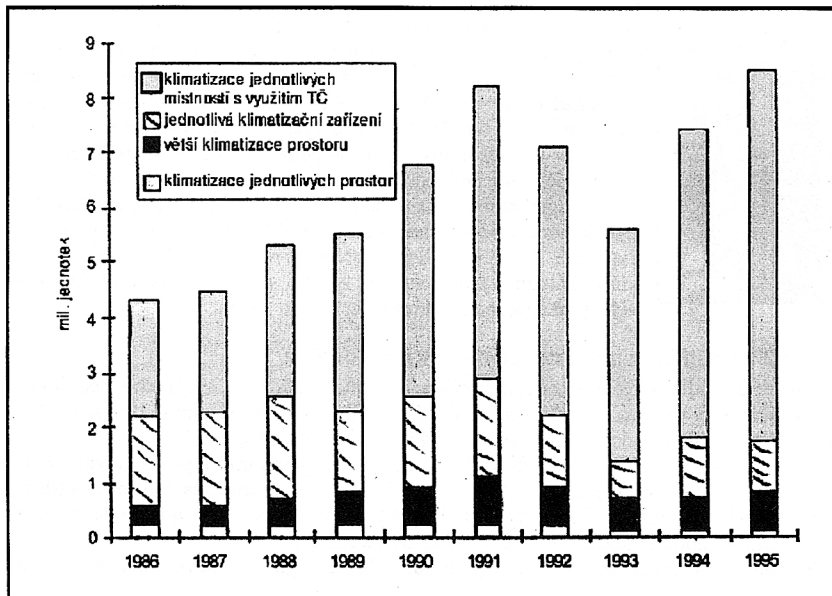
Obr. 23: Ročně instalovaný topný výkon ( $MW_{th}$ ) s TČ v Rakousku



Obr. 24: Počet TČ prodaných ve Švýcarsku



Obr. 25: Tepelná čerpadla vzduch/vzduch, dodané jednotlivě v USA (mimo klimatizace)



Obr. 26: Tuzemský prodej klimatizačních zařízení – tepelných čerpadel v Japonsku

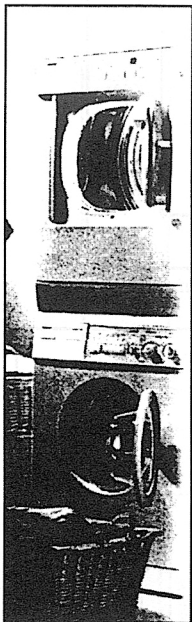
### Japonsko

Zatímco v Evropě se TČ využívají téměř výhradně pro vytápění, v Japonsku pak pro klimatizaci s eventuálním přídavným zařízením na vytápění. V roce 1995 bylo v Japonsku instalováno 6,8 miliónu klimatizačních jednotek (obr. 26). Podíl zařízení pro účely chlazení činí cca 15 %. Velkému rozšíření TČ a klimatizaci přispívá mírná zima (vysoké pracovní číslo TČ).

### USA

Situace v USA obdoba jako v Japonsku, tj. převládají klimatizační jednotky.

### 12.3.1 Nové použití tepelných čerpadel



Sušička prádla byla poprvé představena v roce 1997 v SRN firmou Oeko-Lavaterm WP.

Dosavadní sušičky prádla, ať již s otevřeným odvodem páry, nebo kondenzační, patří k největším spotřebitelům energie v domácnostech. Pro jeden cyklus trvajících 60 až 90 minut při 3 až 4 kg prádla spotřebují 2,6 až 3,5 kWh, protože horký vzduch proháněný ventilátorem několika proudy bubnem, jehož otáčením se prádlo přehazuje, odvádí teplo bez užítku do okolí. Vývojářům AEG se podařilo miniaturizovat a do krajnosti zjednodušit tepelné čerpadlo s elektrickým teplosměnným médiem tak, aby nejméně 50 % dosud unikajícího tepla se vracelo do sušicího okruhu. Ventilátoru, který udržuje oběh horkého vzduchu, je místo odporových těles předřazen lamelový kondenzátor, jehož trubkami protéká médium stlačené kompresorem, ohřáté na 60 °C. Ochladené médium po průchodu expanzním ventilem v podobně řešeném výparníku odebírá teplo proudy vzduchu na výstupu z bubnu. Vlhkost odčerpáná z prádla se přitom sráží ve vodním kondenzátoru a shromažďuje se ve sběrné nádobce napojené na domovní instalaci. Nákupní cena 2 600 DEM je sice vysoká, avšak úsporami energie se zaplatí už v průběhu roku běžného používání, neboť spotřeba elektrické energie klesla pod jednu polovinu. Ventilátor, buben a mikroprocesorová řídicí automatika vystačí jen s 1,4 kWh na cyklus. Průměrná západoevropská domácnost pere a v sušičkách suší kolem 500 kg prádla ročně. Razantní snížení spotřeby přinese velké úspory energetice a tím i ekologii, výrobci sušiček s tímto systémem pak vzhledem k jejich výrazně levnějšímu provozu mohou počítat.

### 12.3.2 Použití TČ z pohledu energetických podniků

Tepelné čerpadlo „vyrobí“ ekologický výkon, je neúčinnější a z nákladového hlediska nejvýhodnější řešení vedoucí ke zmírnění emisí oxidu uhličitého a vytváří tím možnost pro dosažení vytčeného cíle v podobě snížení emisí oxidu uhličitého o 25 %.

Tepelné čerpadlo nabízí šanci k prodeji elektrické energie na trhu s prostorovým vytápěním, a to téměř výlučně v pásnu nízkého zatížení. Díky výlučnému zásobování elektrickou energií, obzvláště v novostavbách s co možná malou potřebou tepelné energie, bude držen dosavadní značný podíl domácností na odbytu elektrické energie.

Pro podniky, které se nepřímo podílejí na obchodu s energií, se objevuje možnost nabízet na trhu alternativní topné systémy, které by v příslušné oblasti zásobování mohly pro dodavatele představovat hospodárné optimum. Zákazníkovi může být nabídnuta nákladově výhodná jednoduchá topná technika, která má své přednosti v ochraně životního prostředí a která vytváří image dodavateli elektrické energie.

Další racionální využití elektrické energie, z části rovněž u tepelných čerpadel, ale i u jiných aplikací, umožní otevření trhu s elektrickou energií.

Technika vytápění pomocí tepelných čerpadel je hotova a je připravena k využití. Musí se však „jen“ razantnějším způsobem a ve stále větší míře protlačovat na trh. Tuto šanci by měly využít především energetické podniky a pomocí dobře prováděného marketingu nabídnout zákazníkovi pro něj velice zajímavé řešení.