

# Chemie životního prostředí II

## Chemie technosféry a atmosféry

(II\_03)

# Technosféra - Výroba energie a její vliv na životní prostředí

Ivan Holoubek

**RECETOX, Masaryk University, Brno, CR**

[holoubek@recetox.muni.cz](mailto:holoubek@recetox.muni.cz); <http://recetox.muni.cz>

# Globální primární produkce E

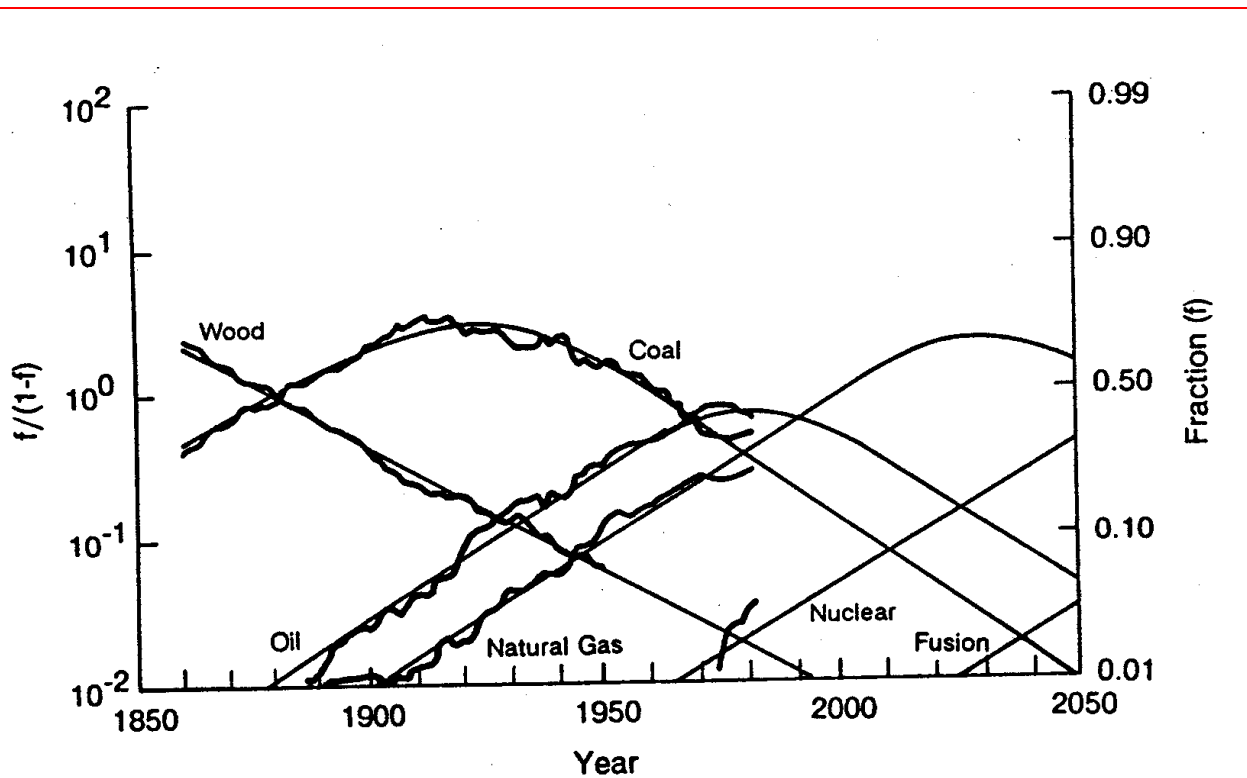


FIGURE 1 Historical and projected trends in global primary energy consumption. The amount of energy (tons of coal equivalent) from each source is plotted as a fraction  $f$  of the total energy market, with  $\log f/(1 - f)$  as the ordinates. The smooth secular trends are the model estimates based on historical data; irregular lines are historical data. SOURCE: Marchetti and Nakicenovic (1979).

# Globální primární produkce E

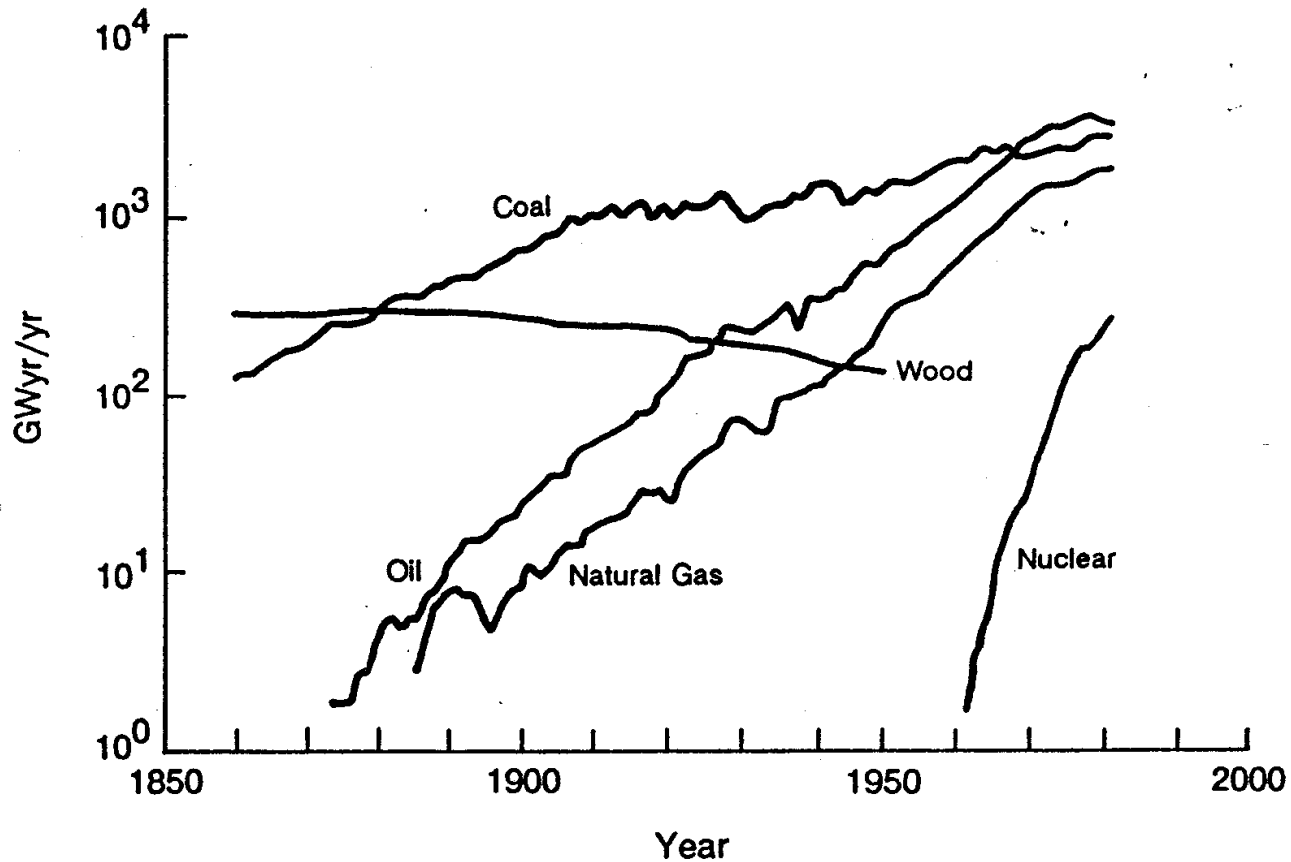
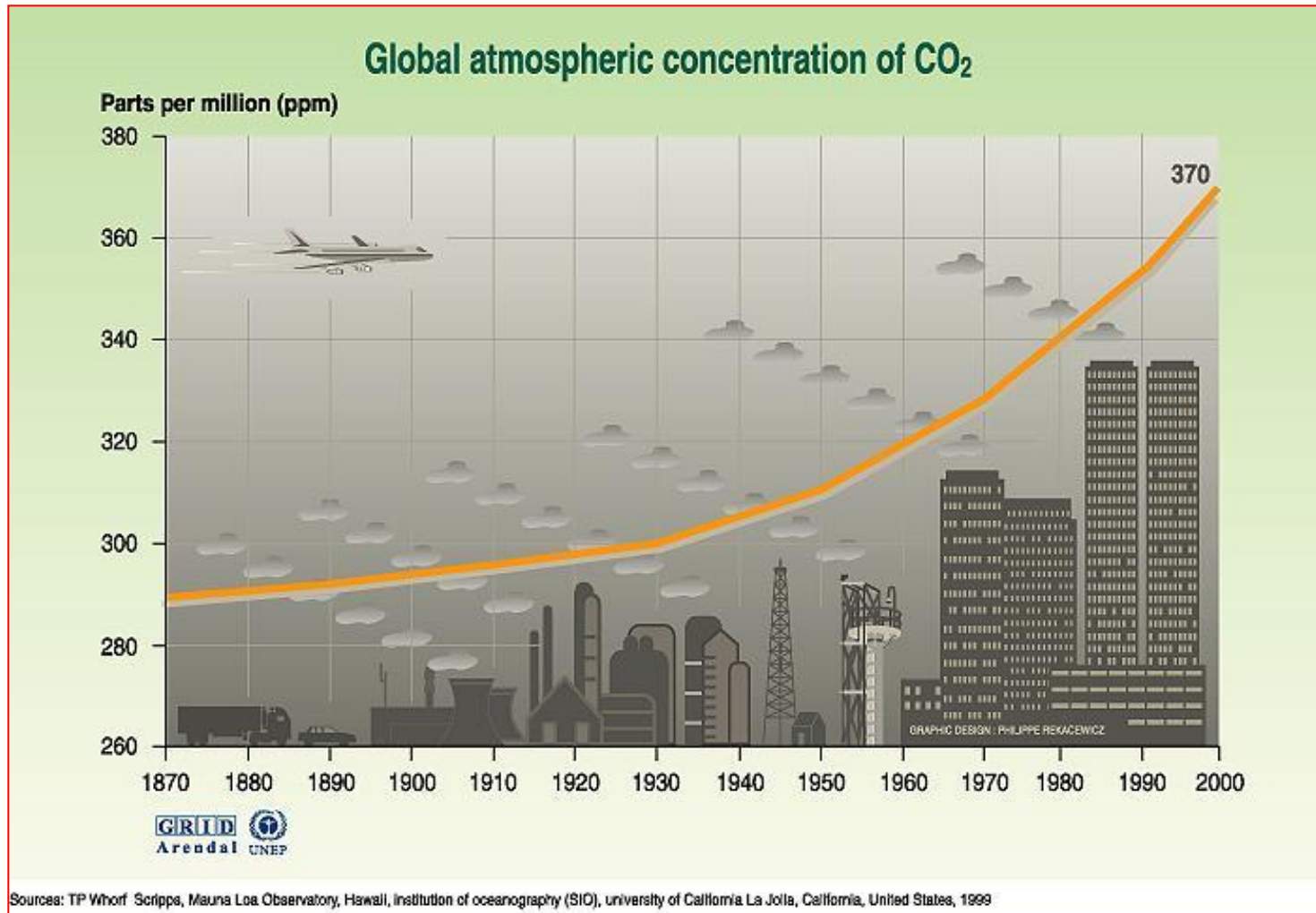


FIGURE 2 World primary energy consumption (in gigawatt-years per year). SOURCE: Grubler and Nakicenovic (1988, p. 15).

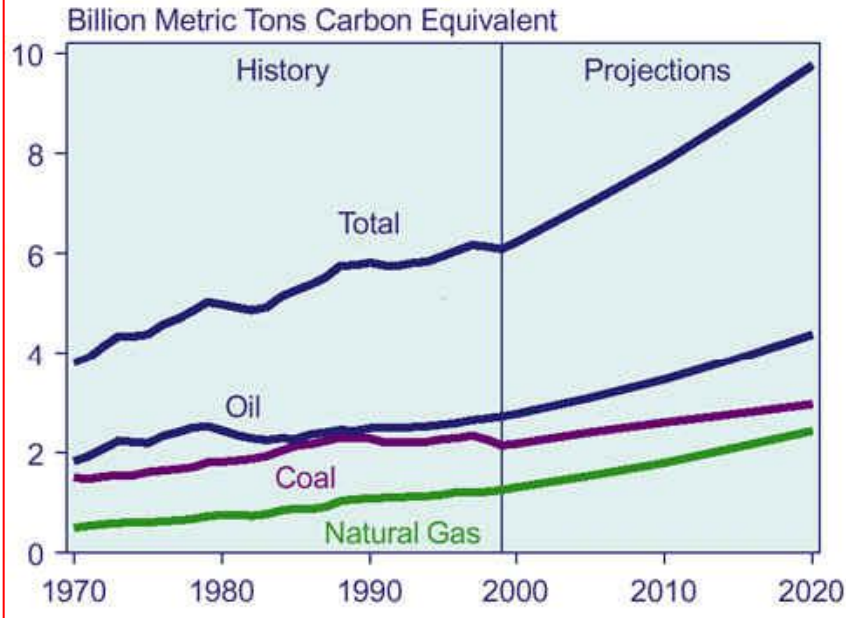
# Globální atmosférické koncentrace CO<sub>2</sub>



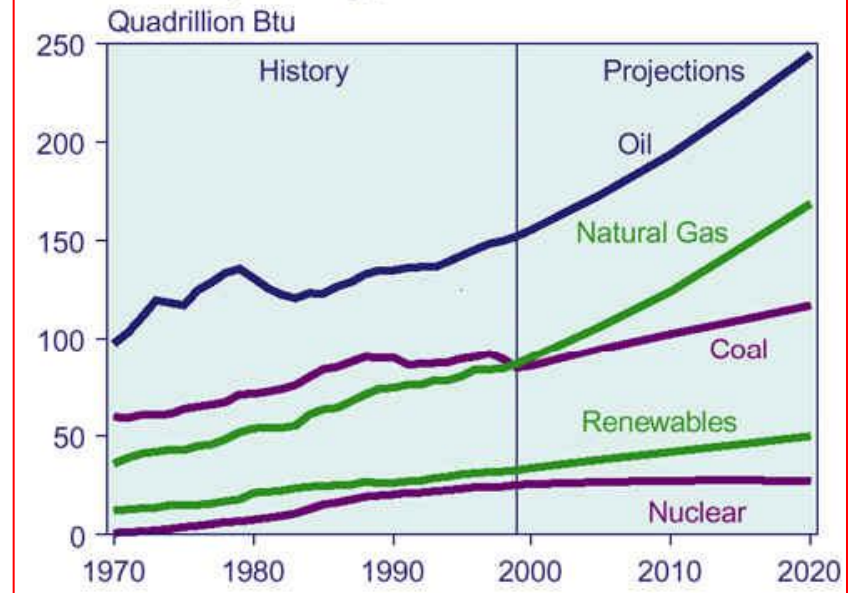


# Globální spotřeba paliv a globální emise CO<sub>2</sub> z různých typů paliv, 1970- 2020

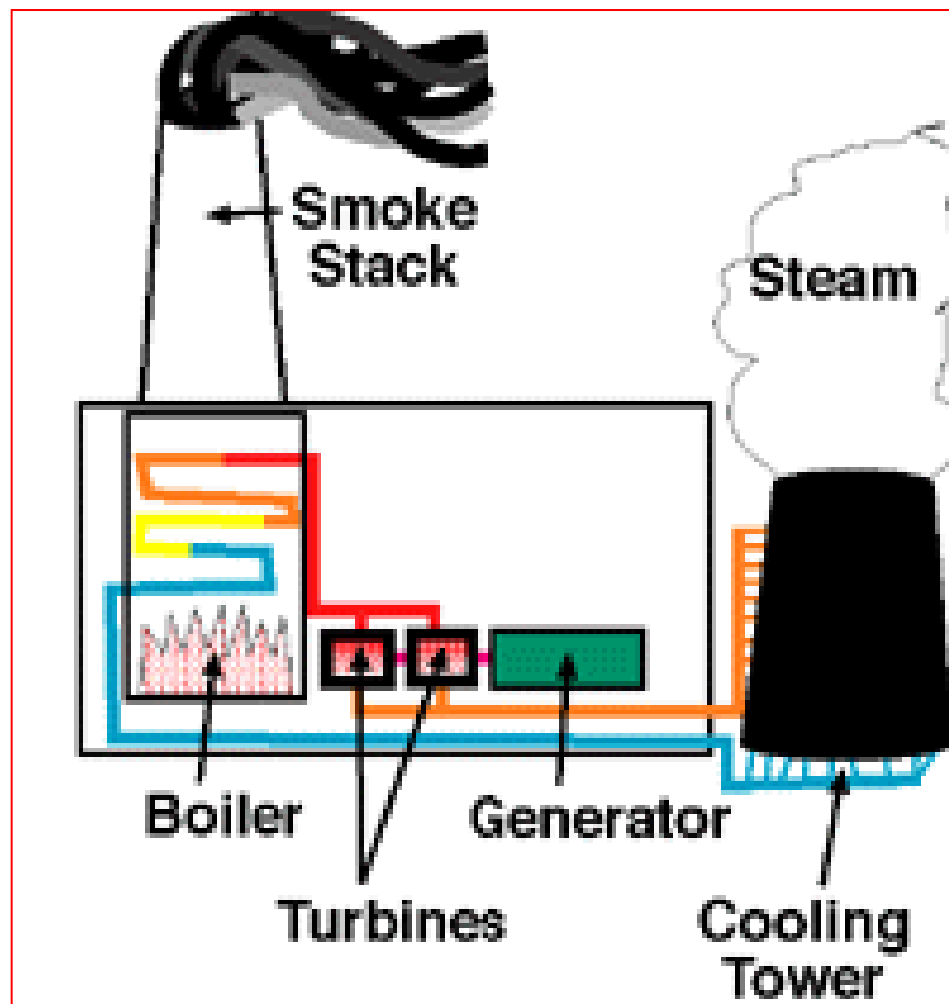
World Carbon Dioxide Emissions by Fuel Type, 1970-2020



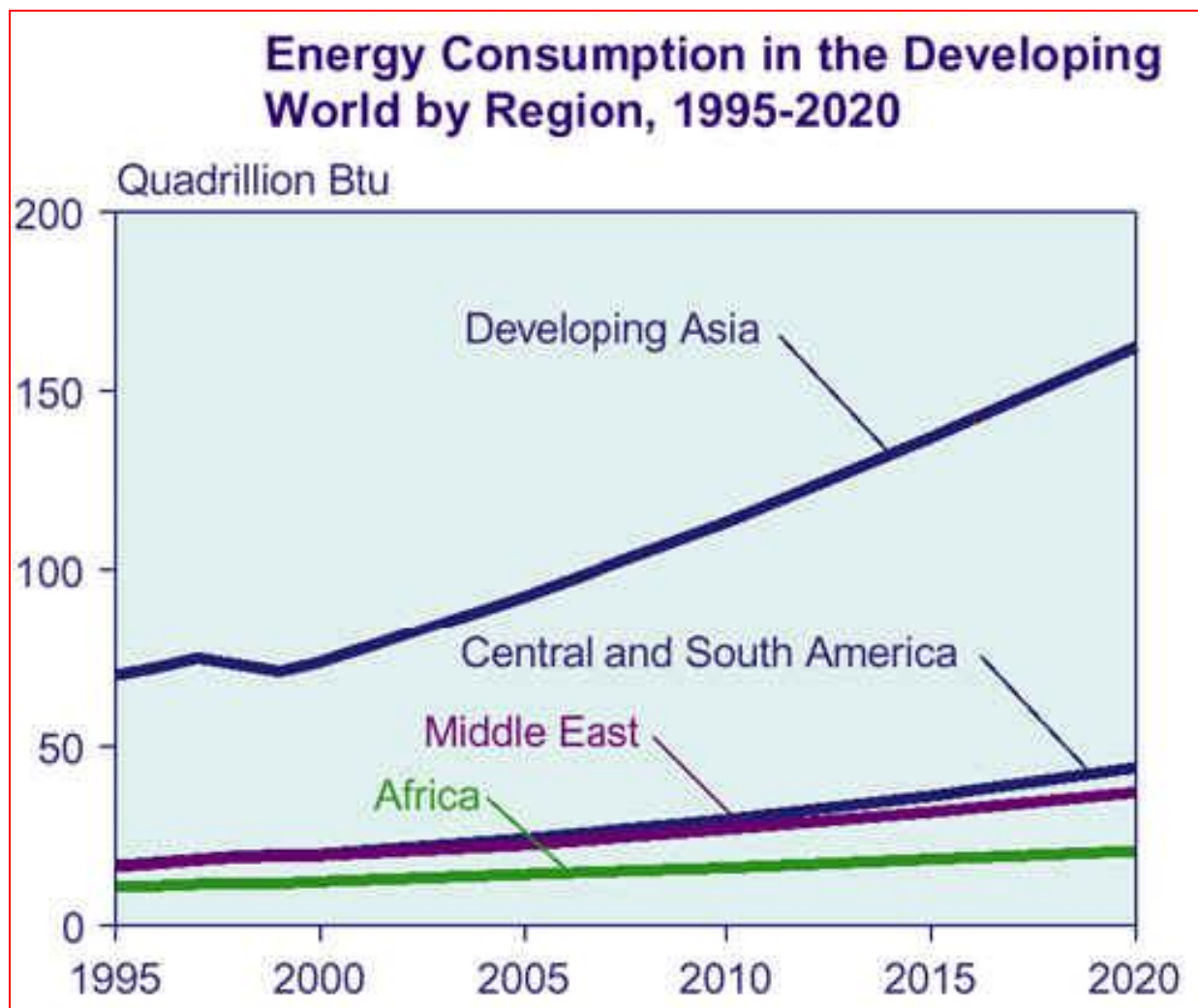
World Energy Consumption by Fuel Type, 1970-2020



# Spalování fosilních paliv



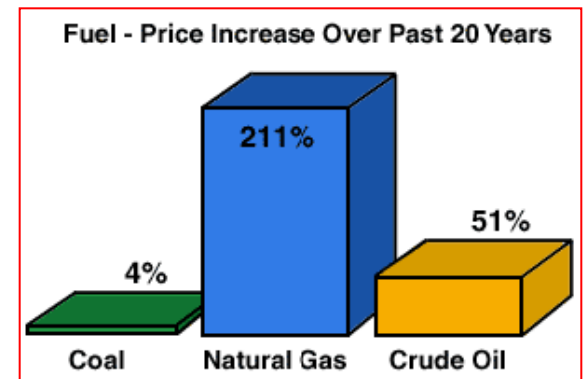
# Spotřeba E v rozvojových zemích, 1995-2020



# Fosilní paliva



<b>COAL</b>	<b>210 YEARS</b>
<b>OIL</b>	<b>42 YEARS</b>
<b>GAS</b>	<b>60 YEARS</b>
<b>PROVED RESERVES AT CURRENT CONSUMPTION RATES</b>	





# Zdroje znečištění prostředí

## TĚŽEBNÍ ČINNOST

- ↪ uhlí - hlušina
- ↪ kovy, rudy - hlušina
- ↪ ropa – úniky
- ↪ narušení krajiny

## ZPRACOVÁNÍ UHLÍ

- ↪ těžba – (S), hlušina, zásahy do krajiny
- ↪ doprava

### využití:

- ↪ výroba energie a tepla
- ↪ výroba koksu
- ↪ výroba plynu
- ↪ úprava
- ↪ surovina pro chemický průmysl

# Povrchový důl na hnědé uhlí

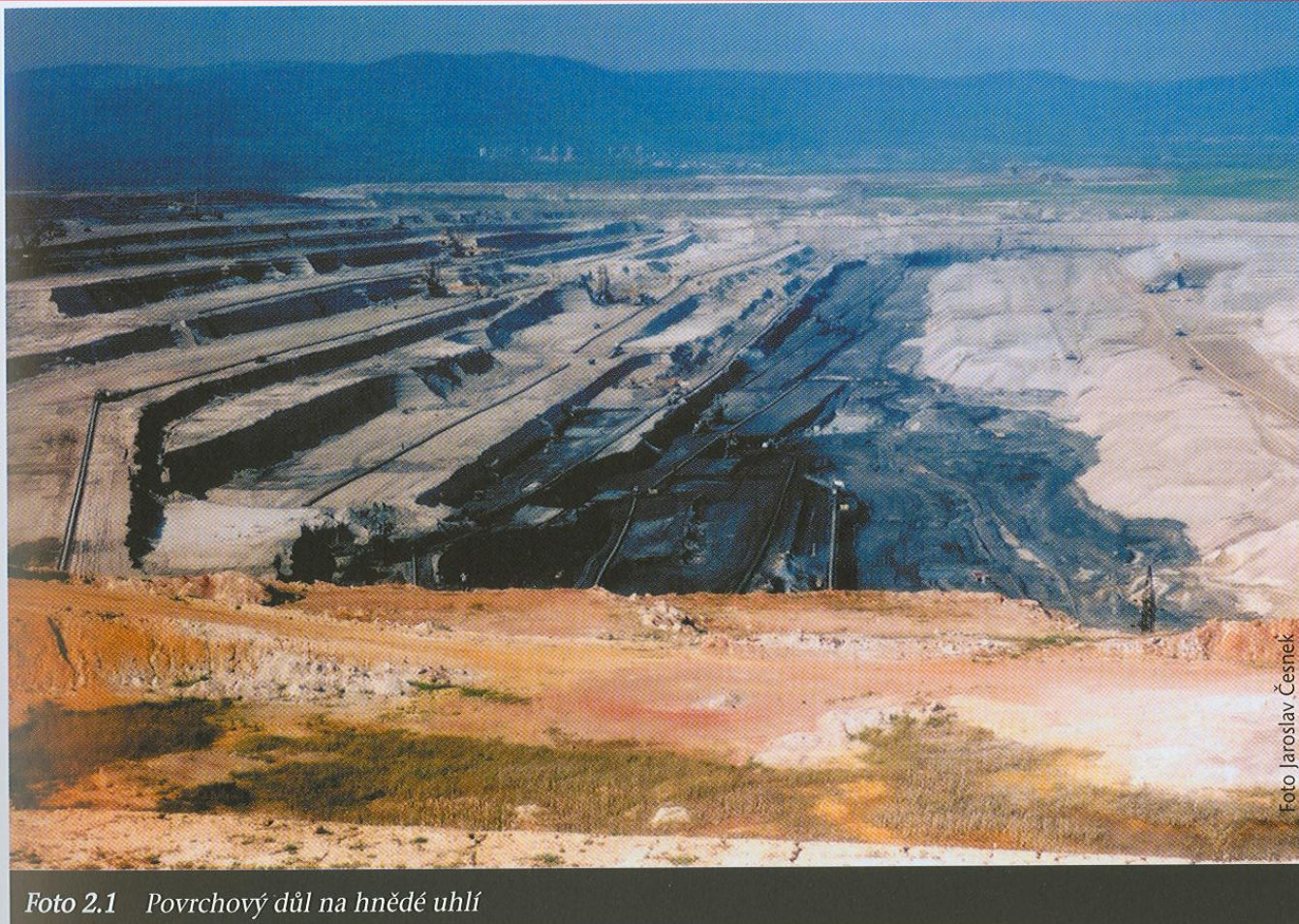


Foto 2.1 Povrchový důl na hnědé uhlí

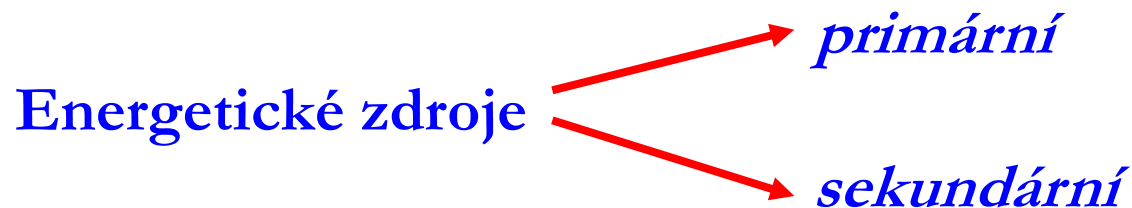


# Povrchová těžba uhlí



Foto 3.4 Povrchový důl na hnědé uhlí

# Výroba energie

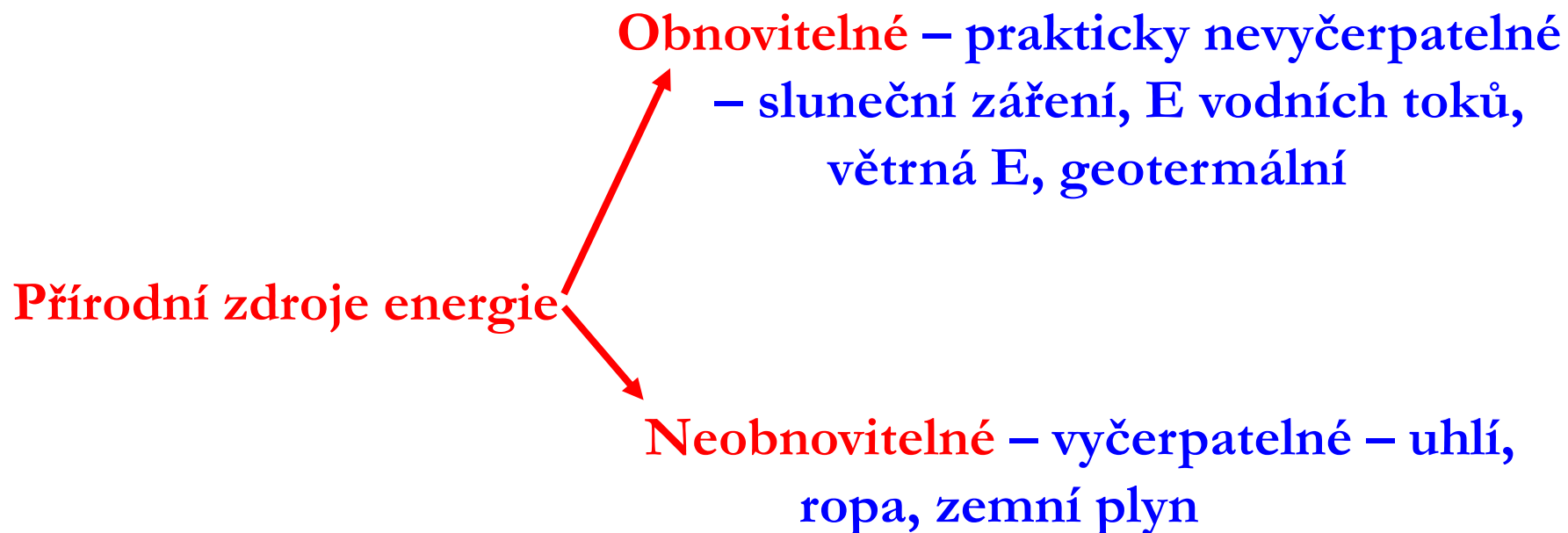


**Primární** - získané přímo z přírody (dřevo, uhlí, ropa, uranová ruda)

**Sekundární** - úpravou primárních zdrojů a jejich přeměnou (svítiplyn, brikety, benzín, nafta, topné oleje )



# Výroba energie



# Obnovitelné zdroje

Primární

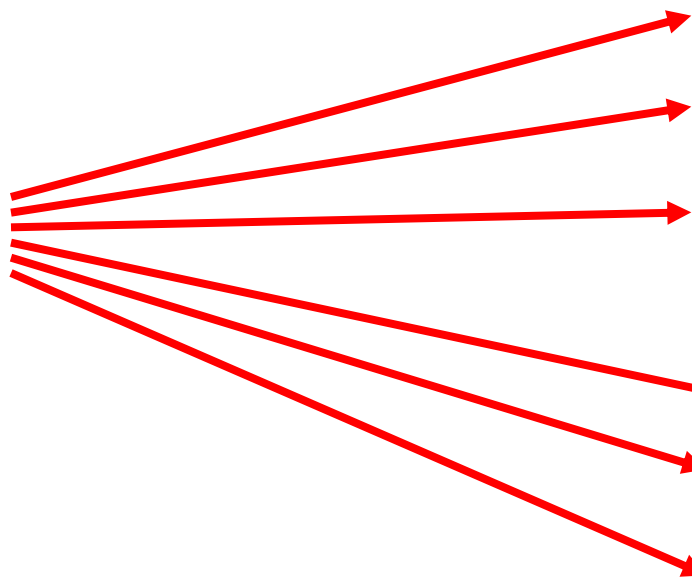


Využitelná forma E

Rozpad radionuklidů  
uvnitř země

Geotermální

Záření z kosmického  
prostoru



Sluneční

Vodních toků

Ledovců

Větrná

Mořských vln a proudů

Chemická

Pohyb planet

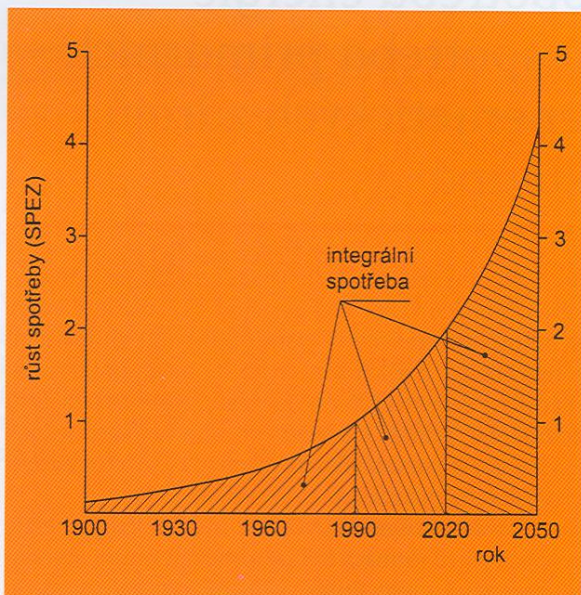


Příliv, odliv

# Nárůst počtu obyvatel a spotřeby E

	1950	1980	1990	2000	Nárůst
Počet obyvatel (mld)	2,5	4,4	5,2	6,1	2,44-krát
Spotřeba primární E (mld. tmp)	2,0	11,8	19,0	29,0	16,94-krát
Spotřeba E /obyv. (tmp /obyv.)	1,04	2,7	3,65	4,75	

# Růst spotřeby primárních zdrojů



**Obrázek 1.1**

Růst spotřeby primárních energetických zdrojů (SPEZ) pro konstantní meziroční přírůstek  $q = 1,024$  (v roce 1990 je bráno  $SPEZ = 1$ ) a integrální spotřeba primárních energetických zdrojů za určité období:

integrální spotřeba

od počátku průmyslové éry do roku 1990  $(IS)_1 = 42,7$

integrální spotřeba 1990–2020  $(IS)_2 = 43,2$

integrální spotřeba 2020–2050  $(IS)_3 = 88,2$

integrální spotřeba 1990–2050  $(IS)_{1+2+3} = 131,4 = 3,1 \cdot (IS)_1$

**Tabulka 2.5**

Spotřeba primárních energetických zdrojů (PEZ) podle druhů (v procentech) v jednotlivých částech světa v roce 2002, zdroj British Petroleum

Oblast světa - PEZ	Ropa	Zemní plyn	Uhlí	Jaderná energie	Vodní energie
Evropa	33	33	18	10	6
Amerika	40	25	19	7	9
Střední východ	52	46	1,5	-	0,5
Afrika	40	20	30	1	9
Asie a Austrálie	36,5	11	44	4	4,5
Svět celkem	37,5	24	25,5	7	6

# Vývoj energetiky

**Tabulka 1.9**

Některé charakteristiky scénáře WEC 1993 pro rok 2050 a 2100, rozšířeno a doplněno autorem

Scénář WEC	Rok	A		B		C	
		1990	2050	2100	2050	2100	2050
Celková spotřeba PEZ <sup>20</sup> (Gt <sub>oe</sub> /rok)	8,8	27	42	23	33	15	20
Z toho: fosilní paliva (%)	77	58	40	57	33	58	15
jaderná energie (%)	5	14	29	15	28	8	11
nové obnovitelné zdroje (%)	2	15	24	14	26	20	50
Průměrný meziroční přírůstek spotřeby energie (%)	-	1,89	1,43	1,61	1,21	0,89	0,75
Počet roků pro zdvojnásobení spotřeby energie	-	37	49	43	58	78	93

<sup>18</sup> WEC – World Energy Council.

<sup>19</sup> IEA – International Energy Agency.

<sup>20</sup> PEZ – primární energetické zdroje.



# Skladba spotřeby primárních zdrojů v ČR a EU

**Tabulka 2.3**

Skladba spotřeby primárních energetických zdrojů (PEZ, v procentech) v České republice a v Evropské unii

Druh PEZ	Česká republika		Evropská unie (EU 15)
	rok 2000	předpoklad roku 2005	rok 2001
Hnědé uhlí	37	30	15 <sup>3</sup>
Černé uhlí	18	15	
Ropa	16	16	41
Zemní plyn	19	20	22
Jaderná energie	8	16	15
Obnovitelné zdroje	1,9	3	7
Odpady	0,1	-	-
Celkem	100,0	100	100

<sup>2</sup> WEC – World Energy Council.

<sup>3</sup> Uhlí celkem.

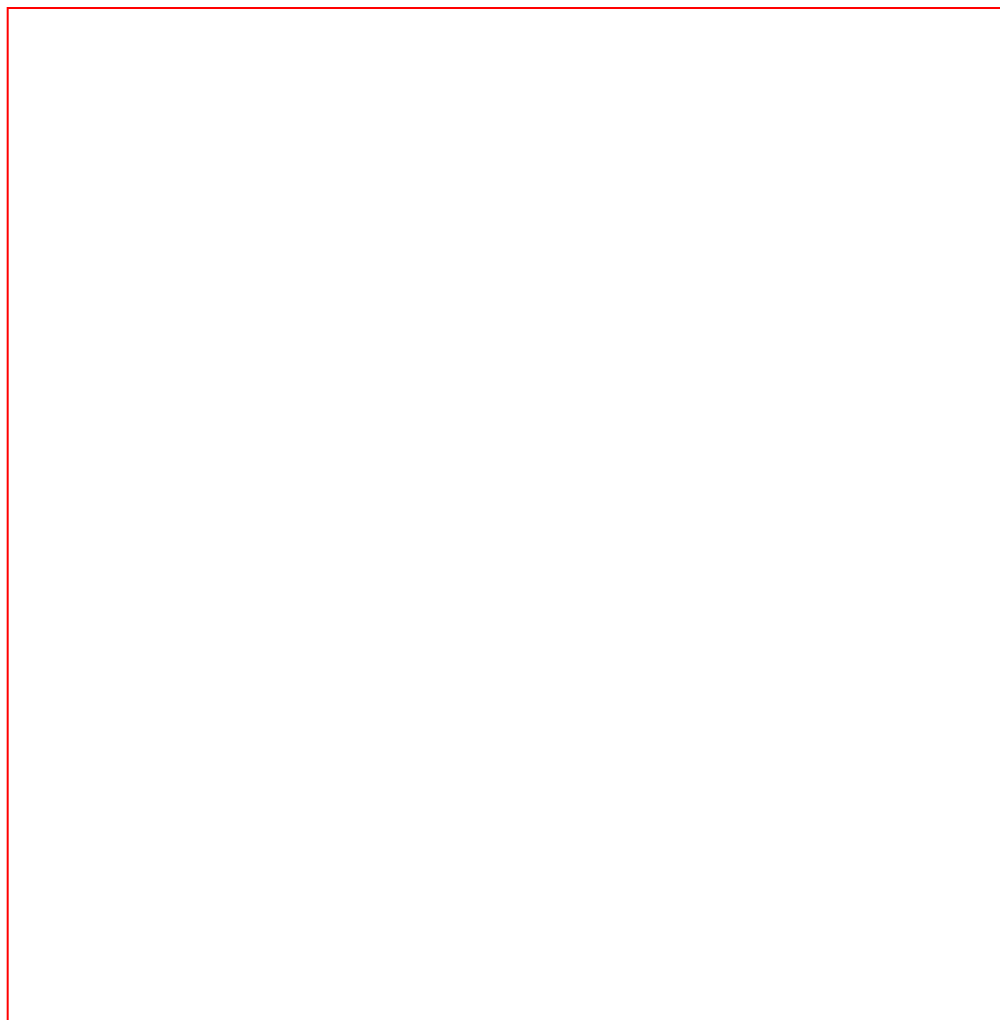
# Energetické problémy ČR

- ↪ vyčerpané prvotní energetické zdroje
- ↪ zanedbatelná zásoba ušlechtilých paliv
- ↪ energetická náročnost ekonomiky
- ↪ relativně nižší úroveň zhodnocení paliv a energie

## Možná opatření:

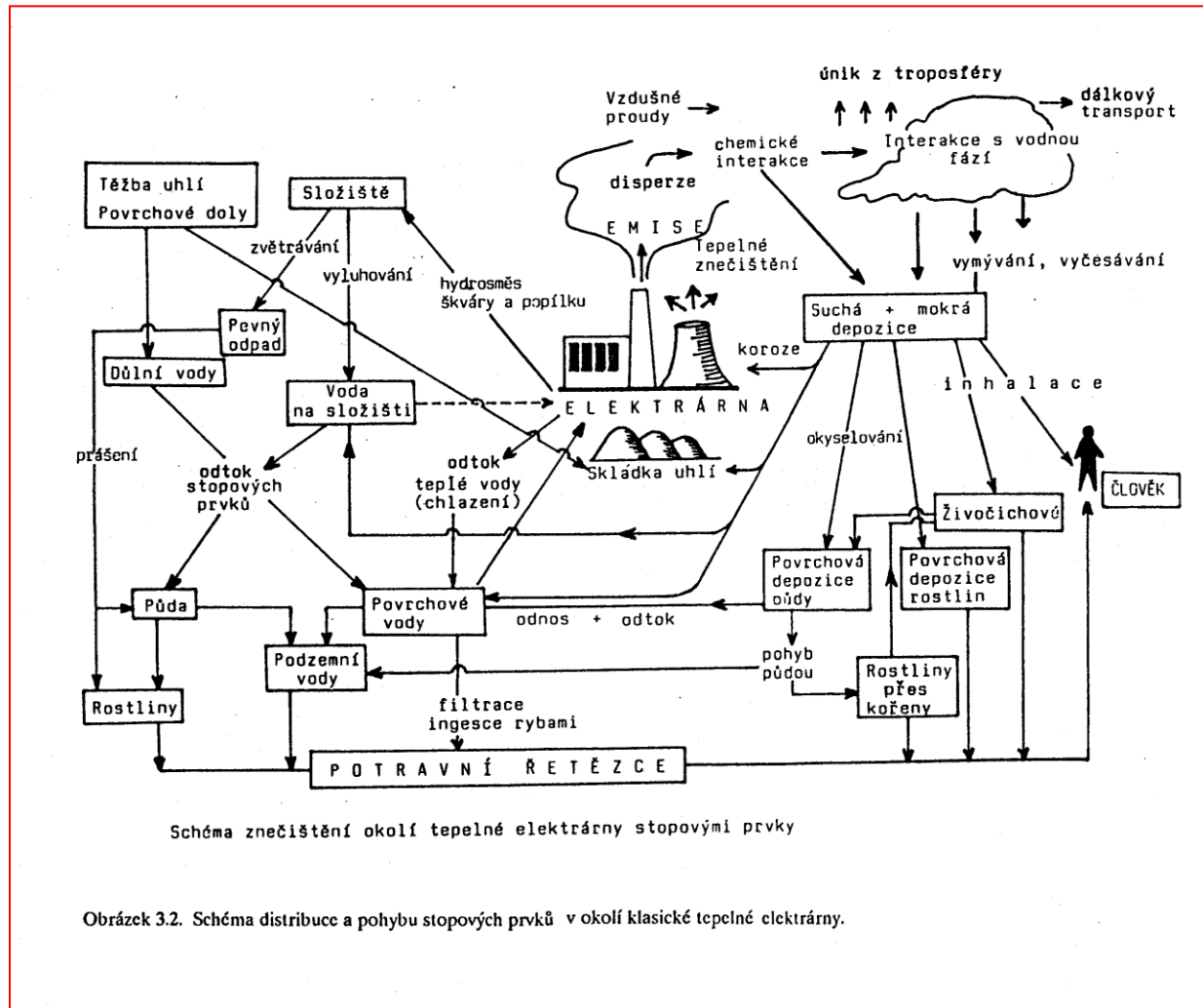
- ↪ zvýšení účinnosti při využívání E a orientace na úsporná opatření (krátkodobé hledisko)
- ↪ vývoj a zavádění technologií usnadňujících přechod a zplynování (střednědobé)
- ↪ uplatnění nefosilních zásob E (dlouhodobé)
- ↪ restrukturalizace průmyslu
- ↪ snížení energetické náročnosti

# Elektrárna Mělník





# Distribuci stopových prvků v okolí tepelné elektrárny



# Možná opatření pro snížení vlivů tepelných elektráren na ŽP

- ↪ **zvýšení rozptylu – extrémně vysoké komíny**
- ↪ **jednorázová opatření k dočasnému zlepšení:**
  - na vstupu – použití kvalitnějšího paliva
  - na výstupu – chemické vázání škodlivin
- ↪ **použití kontinuálních metod odsiřování méně hodnotných paliv a tuhých paliv s vysokým obsahem síry**
- ↪ **použití bezodpadových technologií**

# Hlavní způsoby omezování plynných emisí

- ↪ **odsiřování paliv**
  - zplyňování paliv s následným zachycením  $H_2S$
- ↪ **desulfurace spalin**

200 MW – spaliny 1 – 1,2 mil.  $m^3 \cdot h^{-1}$  plynu ( $T = 130 - 180 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

## ČR:

Hnědé uhlí – popel, S, As

Jedno z hlavních paliv do roku 2000:

- ↪ zhoršující se kvalita
- ↪ soustředění jeho spalování do elektráren vybavených odsiřovacím zařízením
- ↪ zplyňování uhlí s velkým obsahem síry

# Hlavní způsoby omezování plynných emisí

## Ropa:

- ↪ nejpoužívanější energetický zdroj
- ↪ surovinová základna petrochemického průmyslu
- ↪ spalování odpadů z petrochemie
- ↪ těžké topné oleje – S – odstranění technologicky možné
- ↪ vyšší cena (hydrogenace H<sub>2</sub>S)
- ↪ lehké topné oleje – malospotřebitelé ve městech

**Zemní plyn:** - *nejušlechtilejší palivo* – náročné technologické procesy, komunální bytová sféra, surovina pro chemický průmysl

# Vliv energetiky na ŽP

**Kombinace výroby tepla a elektřiny:**

účinnost klasické elektrárny – max. 40%

kombinace - ~ 70%

rozvod tepla - emise se nezmenšují, ale jsou soustředěny na jedno místo

**Hlavní problémy: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, prach, těžké kovy, PAHs .....**

	Uhlí	Topný olej	Zemní plyn
SO <sub>2</sub> (bez odsíření) [t.r <sup>-1</sup> ]	120 000	38 600	20
SO <sub>2</sub> (odsíření) [t.r <sup>-1</sup> ]	24 000	2 000	0
NO <sub>2</sub> (bez) [t.r <sup>-1</sup> ]	27 000	26 000	13 400
TČ (bez) [t.r <sup>-1</sup> ]	270 000	26 000	518
TČ ( s čistěním) [t.r <sup>-1</sup> ]	2 000	150	4
Radioaktivní látky [Mbq.r <sup>-1</sup> ]	740	18,5	0
Odpadní teplo [mld kWh.r <sup>-1</sup> ] 15%	1,64	1,71	2,2
Spotřeba chladicí vody [mld l.r <sup>-1</sup> ]	10 000	10 000	10 000

# Výroba energie

## Alternativní způsoby

# Alternativní způsoby výroby energie

	Experimentální	Poloprovaz	Prototyp	Průmyslově
Geotermální	X	X	X	X
E přílivu a odlivu	X	X	X	X
E mořských vln	-	~ 1990	1995 – 2000	> 2000
Větrná	X	X	1985	> 1995
Sluneční	x	1980 – 1985	~ 1985	> 1985
Jaderní štěpení – tepelné reaktory	X	X	X	X
- rychlé reaktory	X	X	X	X
Termojaderná fúze.	X	X	~ 1990	- 2000
Zplyňování uhlí	X	X	X	X
Vodíkové hospodářství	x	> 1985	~ 1990	> 2000
Fotosyntéza CH <sub>4</sub>	X	X	~ 1990	> 2000

# Předpokládaný příspěvek nových obnovitelných zdrojů energie

**Tabulka 2.4**

*Předpokládaný příspěvek nových obnovitelných zdrojů energie (OZE) a jejich podíl na všech primárních energetických zdrojích (PEZ) v roce 2020 podle WEC 2000*

Druh OZE	Minimum		Maximum	
	Mt <sub>oe</sub>	%	Mt <sub>oe</sub>	%
Biomasa	243	45	561	42
Solární energie	109	20	355	26
Jiné (vítr, geotermální, malé vodní elektrárny)	187	35	429	32
Celkem	539	100	1 345	100
Podíl ze všech PEZ (%)	3 až 4		8 až 12	



# Využití sluneční energie

## Výhody:

- ↪ prakticky nevyčerpatelné zdroje E
- ↪ čistý zdroj
- ↪ žádné palivové náklady

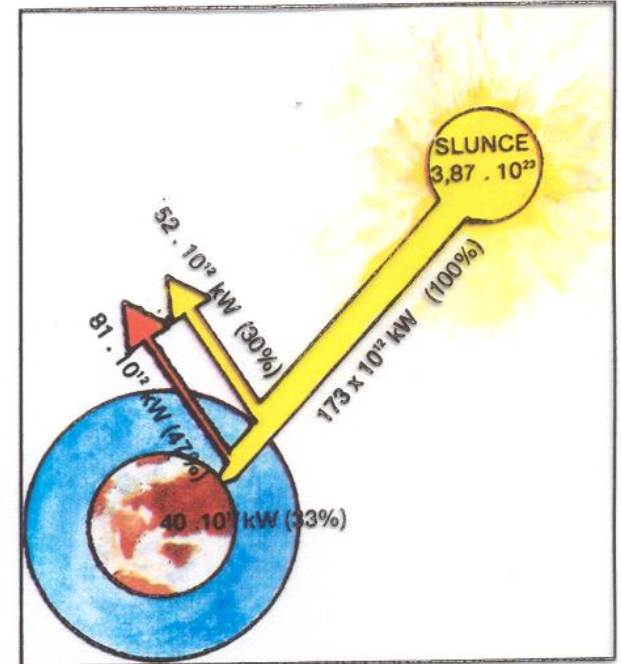
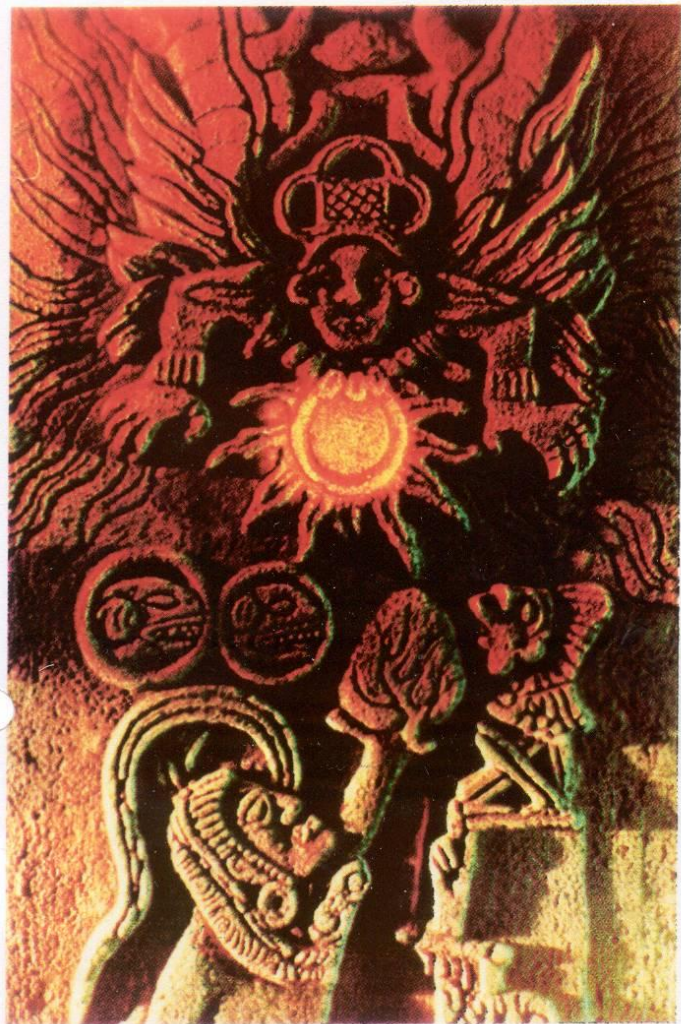
## Nevýhody:

- ↪ malá výkonová hustota
- ↪ proměnlivost intenzity záření
- ↪ vysoké náklady na skladování E
- ↪ vysoké měrné investiční náklady

## Možnosti využití:

- ↪ ohřev vody
- ↪ sušení zemědělských produktů
- ↪ čerpání vody
- ↪ vytápění a klimatizace budov
- ↪ výroba elektřiny
- ↪ tavba kovů

# Využití sluneční energie

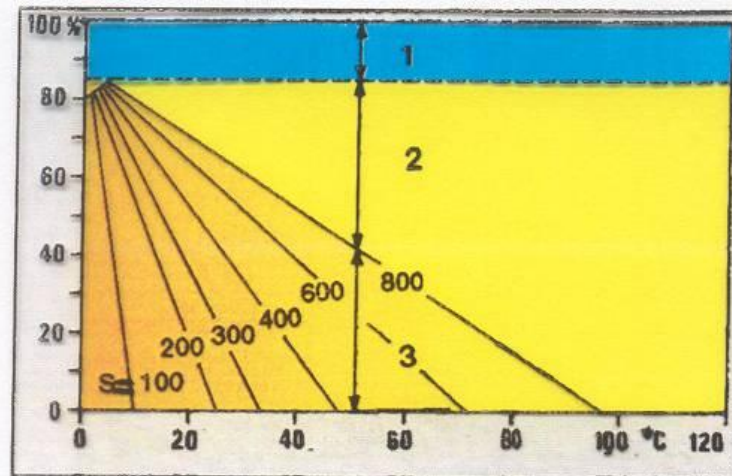
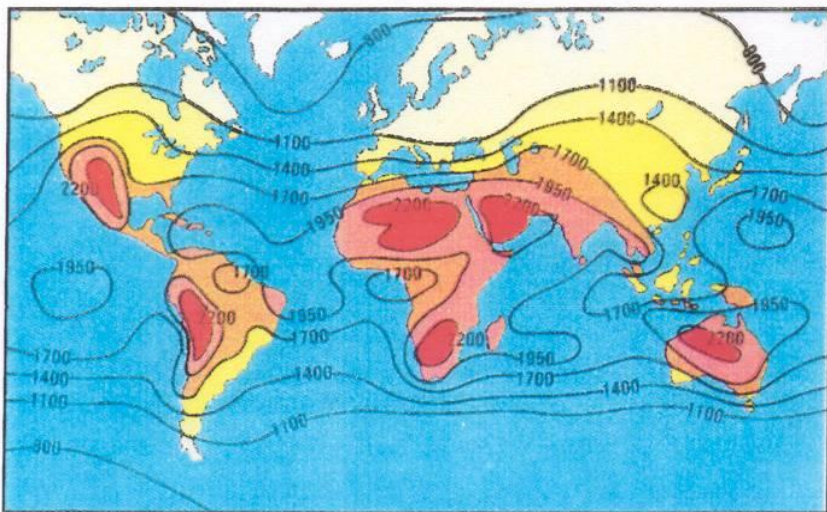


Jaká část výkonu slunečního záření dopadne na zemský povrch?

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

# Využití sluneční energie

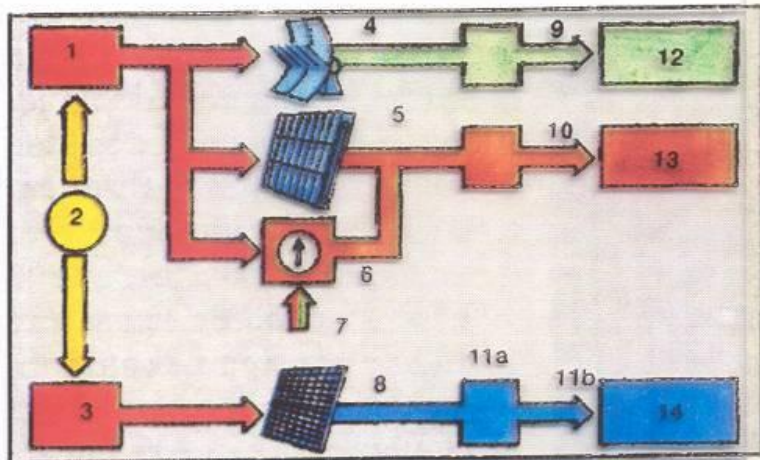
Mapa průměrného ročního slunečního svitu v různých částech světa (v kWh/m<sup>2</sup> za rok). V Československu Slunce svítí na většině míst 1500–1700 hodin za rok, na jihu pak 1700 až 1900 hodin ročně. Za jeden den dopadnou v chladnějších místech 2 až 3 kWh sluneční energie na m<sup>2</sup> plochy, v letních měsících je to 4,5 až 5,5 Wh/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>.



Charakteristika účinnosti plochého kolektoru s jednoduchým zasklením při rozdílné intenzitě dopadu slunečních paprsků  $S$  ( $S = \text{W/m}^2$ ). Na obrázku jsou jako příklad vyznačeny tepelné ztráty při teplotním rozdílu  $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $S = 800 \text{ W/m}^2$ . 1 – optické ztráty 2 – tepelné ztráty 3 – užitečný výkon 4 – účinnost 5 – teplotní rozdíl absorbér/vnější vzduch  $T$



# Využití sluneční energie



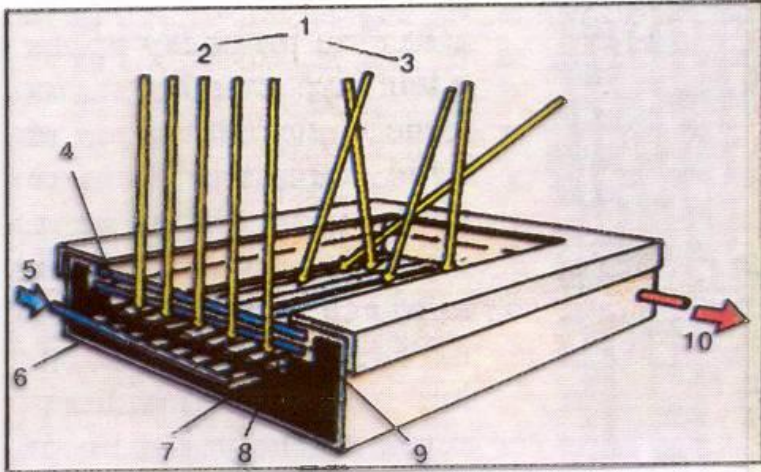
## Různé způsoby využívání sluneční energie:

- 1 - Výroba tepla
- 2 - Slunce
- 3 - Výroba elektřiny
- 4 - Parabolické zrcadlo
- 5 - Sluneční kolektor
- 6 - Tepelné čerpadlo
- 7 - Elektřina nebo plyn
- 8 - Fotovoltaické články
- 9 - Pára
- 10 - Látka k přenosu tepla
- 11a - Přenosové a řídicí systémy
- 11b - Elektřina
- 12 - Vysokopotenciální teplo: průmyslové využití, výroba elektřiny
- 13 - Nízkopotenciální teplo: vytápění místností, příprava teplé vody
- 14 - Elektrický proud, napájení sítě, místní zásobování elektřinou

Stupeň koncentrace	Druh kolektoru	Teplota °	Účinnost%
bez koncentrace	ploché	60 až 200	max. 50
střední konc.	parabolický válec	250 až 700	max. 70
vysoká konc.	paraboloid	650 až 4000	max. 75

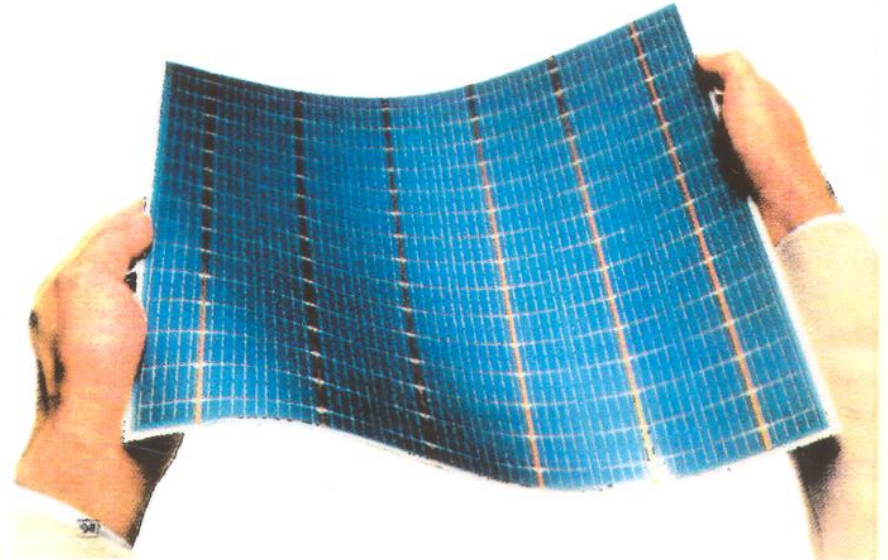
Zařízení	Užití tepla	Zdroj odpadního tepla pro čerpadlo
Prádelny Textilní závody - barvírny papírny Zemědělské provozy	teplá voda teplá voda teplá voda teplá voda, otop vybraných prostorů	odpadní voda z praní odpadní teplá voda odpadní teplá voda odpadní vzduch z chlévů a lhní
Klimatizační zařízení	ohřev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

# Využití sluneční energie



**Princip plochého kolektoru:** 1 - sluneční záření  
2 - přímé 3 - difúzní (rozptýlené) 4 - zakrytí jednou  
nebo dvěma skleněnými tabulemi 5 - vstup teplo-  
nosné látky 6 - rám 7 - tepelná izolace 8 - absor-  
bér 9 - těsnění 10 - výstup teplonosné látky

Supertenké ohebné sluneční baterie k nalepení na střechu elektromobi-  
lu, motorového člunu nebo pro přenosnou radiostanici.







# Využití sluneční energie

Největší současná sluneční elektrárna SEGS VIII v Kalifornii s výkonem 30 MW má v naklápěcích rámech celkem 1,5 miliónů zrcadlových desek.



Zavodňovací čerpadlo poháněné elektřinou ze solárního panelu.



Pojízdný sluneční sporák s akumulátorem tepla umožňuje vařit i večer.



Sluneční dům pro 18 rodin v Long Beach v Kalifornii.



# Využití větrné energie



Foto ČEZ

*Foto 7.3* Využití energie větru dnes  
– Větrná elektrárna Mravenečník



Foto Leonard Hobst

*Foto 7.4* Využití energie větru v minulosti  
– De la Mancha (Španělsko)



# Využití větrné energie

## Výhody:

- ↪ žádné palivové náklady
- ↪ minimální vliv na ŽP (narušení vzhledu, nebezpečí pro ptáky)

## Nevýhody:

- ↪ malá výkonová hustota
- ↪ proměnlivá intenzita větru
- ↪ vysoké náklady na skladování

## Možnosti využití:

- ↪ zásobování odlehlých oblastí elektrickou energií (zemědělské farmy v rozvojových zemích)

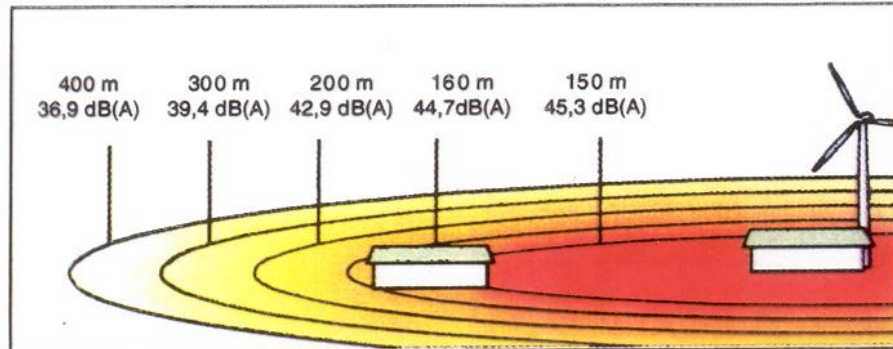
# Využití větrné energie



Byl prvním živel, který se člověku podařilo spoutat a využít jako věčné se obnovující energii.

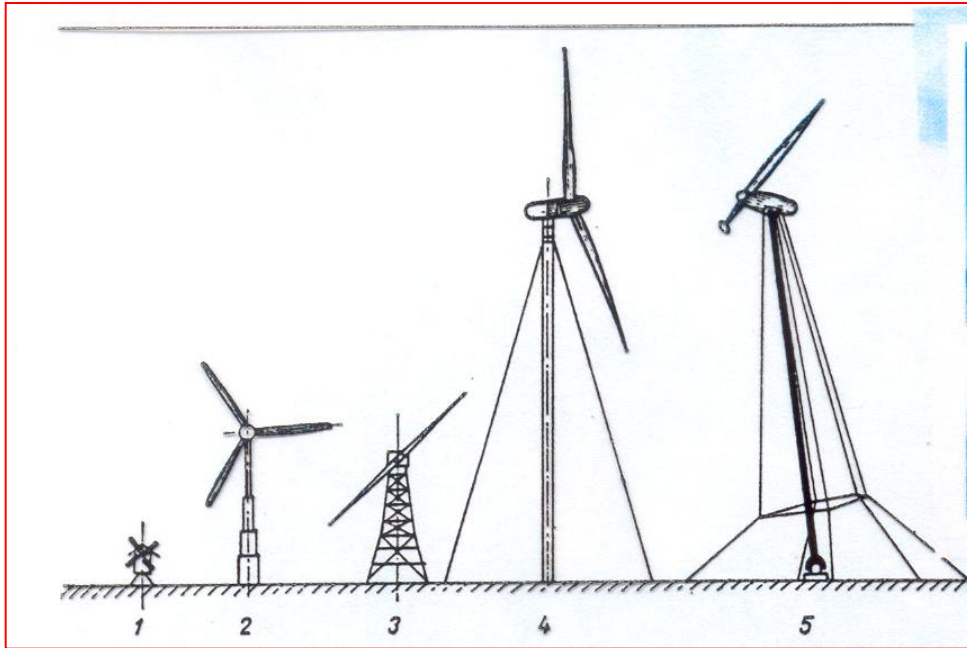


Pohled na větrnou farmu ve Velké Británii

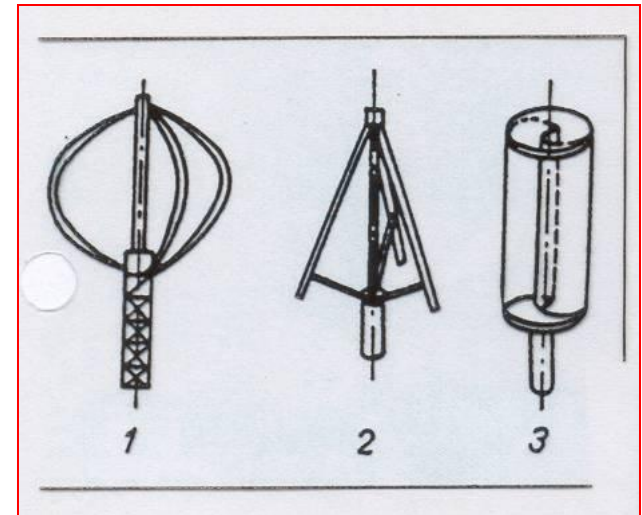


Hlučnost větrné elektrárny vyjádřená hladinou akustického tlaku v různých vzdálenostech. Pro srovnání: 40 až 60 dB odpovídá obvyklé mluvě či živé ulici.

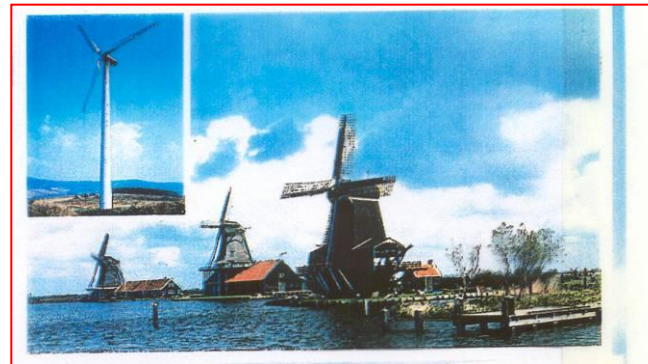
# Využití větrné energie



**Příklady 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 GROWIAN o výkonu do 2 až 3 MW (SRN) 5 - jednokřídlová větrná elektrárna budoucnosti, výkon až 10 MW**



**Rotory větrných elektráren se svislou osou: 1 - typ Darrieus  $\Phi$  2 - typ Darrieus  $\Delta$  3 - typ Savonius**





# Využití větrné energie

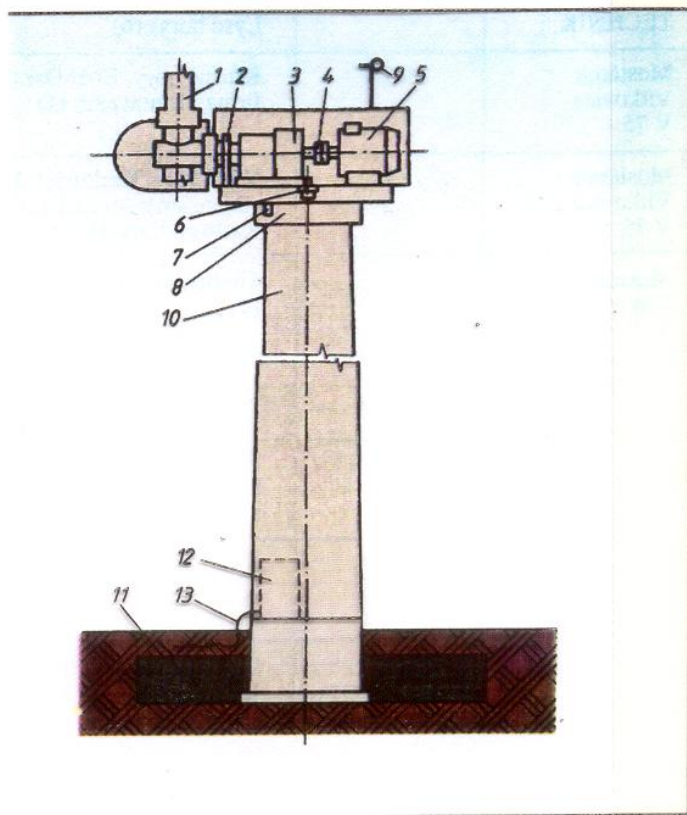
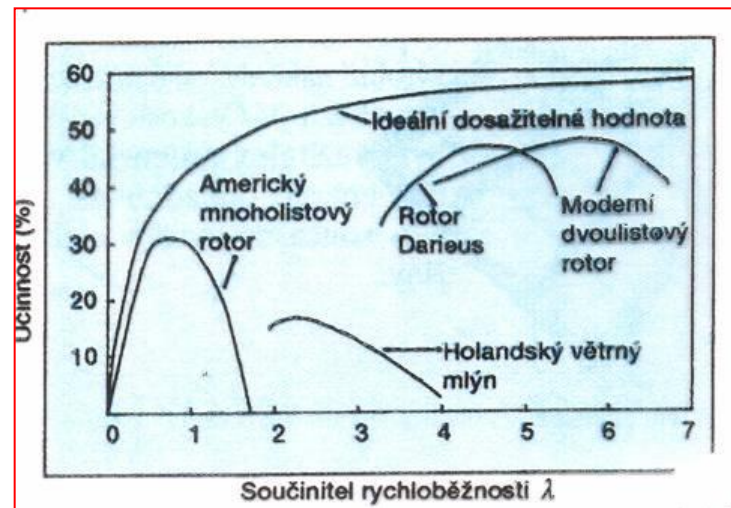
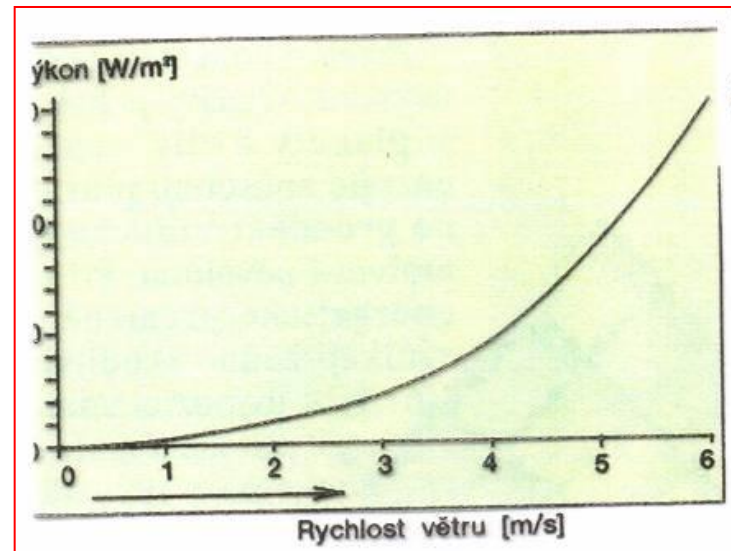


Schéma větrné elektrárny

1 - rotor s rotorovou hlavicí, 2 - brzda rotoru, 3 - planetová převodovka, 4 - spojka, 5 - generátor, 6 - servopohon natačení strojovny, 7 - brzda točny strojovny, 8 - ložisko točny strojovny, 9 - čidla rychlosti a směru větru, 10 - několikadílná věž elektrárny, 11 - betonový armovaný základ elektrárny, 12 - elektrorozvaděče silnoproudého a řídicího obvodu, 13 - elektrická přípojka



# Využití větrné energie

Beaufortova stupnice slouží k odhadování síly větru z projevů jeho účinků na různé předměty. Pro pozorování na pevnině bylo stanoveno 12 stupňů.

Beaufortův stupeň	Označení a rozpoznávací znaky větru	Rychlost	
		(m.s <sup>-1</sup> )	(km.h <sup>-1</sup> )
0	bezvětrí; kouř stoupá kolmo vzhůru	0,0-0,2	1
1	vánek; směr větru je pozorovatelný podle pohybu kouře, vítr však ještě nepůsobí na větrnou korouhev	0,3-1,5	1-5
2	slabý vítr; je cítit v tváři, listí stromů šelestí, obyčejná korouhev se začíná pohybovat	1,6-3,3	6-11
3	mírný vítr; listí stromů a větvičky v trvalém pohybu, vítr napíná praporky a slabě čerří hladinu stojaté vody	3,4-5,4	12-19
4	dost čerstvý vítr; zvedá prach a útržky papíru, pohybuje slabšími větvemi stromů	5,5-7,9	20-28
5	čerstvý vítr; listnaté keře se začínají hýbat, na stojatých vodách se tvoří menší vlnky se zpětnými hřebeny	8,0-10,7	29-38

Beaufortův stupeň	Označení a rozpoznávací znaky větru	Rychlost	
		(m.s <sup>-1</sup> )	(km.h <sup>-1</sup> )
6	silný vítr; pohybuje tlustými větvemi, telegrafní dráty sviští, deštník působí nesnáze	10,8-13,8	39-49
7	prudký vítr; pohybuje celými stromy, znesnadňuje chůzi	13,9-17,1	50-61
8	bouřlivý vítr; ulamuje větve, znemožňuje chůzi proti němu	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 pustošení	28,5-32,6	103-117
12	orkán; ničivé účinky (odnáší střechy, demoluje těžké objekty)	32,7	118 a více



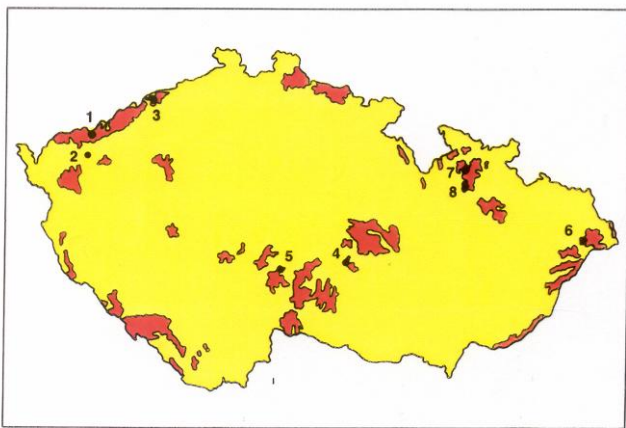
# Využití větrné energie

**Tabulka 7.9**

Průměrná rychlost větru podle tříd oblastí a typů krajiny a měrný příkon (na jednotku plochy opisované vrtulí), podle P. Erbana [35]

	Třída oblastí	Rychlost větru (m/s)	Měrný příkon (W/m <sup>2</sup> )
1	chráněná krajina	větší než 6,0	větší než 250
	otevřená krajina	větší než 7,5	větší než 500
	pobřeží moře	větší než 8,5	větší než 700
	otevřené moře	větší než 9,0	větší než 800
	kopce, hřebeny hor	větší než 11,2	větší než 1 800
2	chráněná krajina	5,0 až 6,0	150 až 250
	otevřená krajina	6,5 až 7,5	300 až 500
	pobřeží moře	7,0 až 8,5	400 až 700
	otevřené moře	8,0 až 9,0	600 až 800
	kopce, hřebeny hor	10,0 až 11,5	1 200 až 1 800
3	chráněná krajina	4,5 až 5,0	100 až 150
	otevřená krajina	5,5 až 6,5	200 až 300
	pobřeží moře	6,0 až 7,0	250 až 400
	otevřené moře	7,0 až 8,0	400 až 600
	kopce, hřebeny hor	8,0 až 10,0	700 až 1 200
4	chráněná krajina	3,5 až 4,5	50 až 100
	otevřená krajina	4,5 až 5,5	100 až 200
	pobřeží moře	5,0 až 6,0	150 až 250
	otevřené moře	5,5 až 7,0	200 až 400
	kopce, hřebeny hor	7,0 až 8,5	400 až 700
5	chráněná krajina	menší než 3,5	menší než 50
	otevřená krajina	menší než 4,5	menší než 100
	pobřeží moře	menší než 5,0	menší než 150
	otevřené moře	menší než 5,5	menší než 200
	kopce, hřebeny hor	menší než 7,0	menší než 400

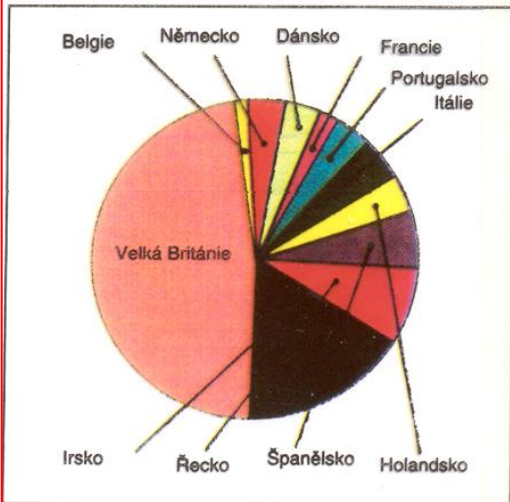
# Využití větrné energie



Odhad instalovaného a cílového výkonu větrných elektráren v Evropě

Země	Instalovaný výkon (MW) březen 1993	Cílový výkon (MW) rok 2000-2005
Dánsko	475	1 500
Německo	130	250
Holandsko	110	1 000
Španělsko	45	90
Řecko	18	400
Itálie	7	300

Využití větrných zdrojů v Evropě



# Využití větrné energie

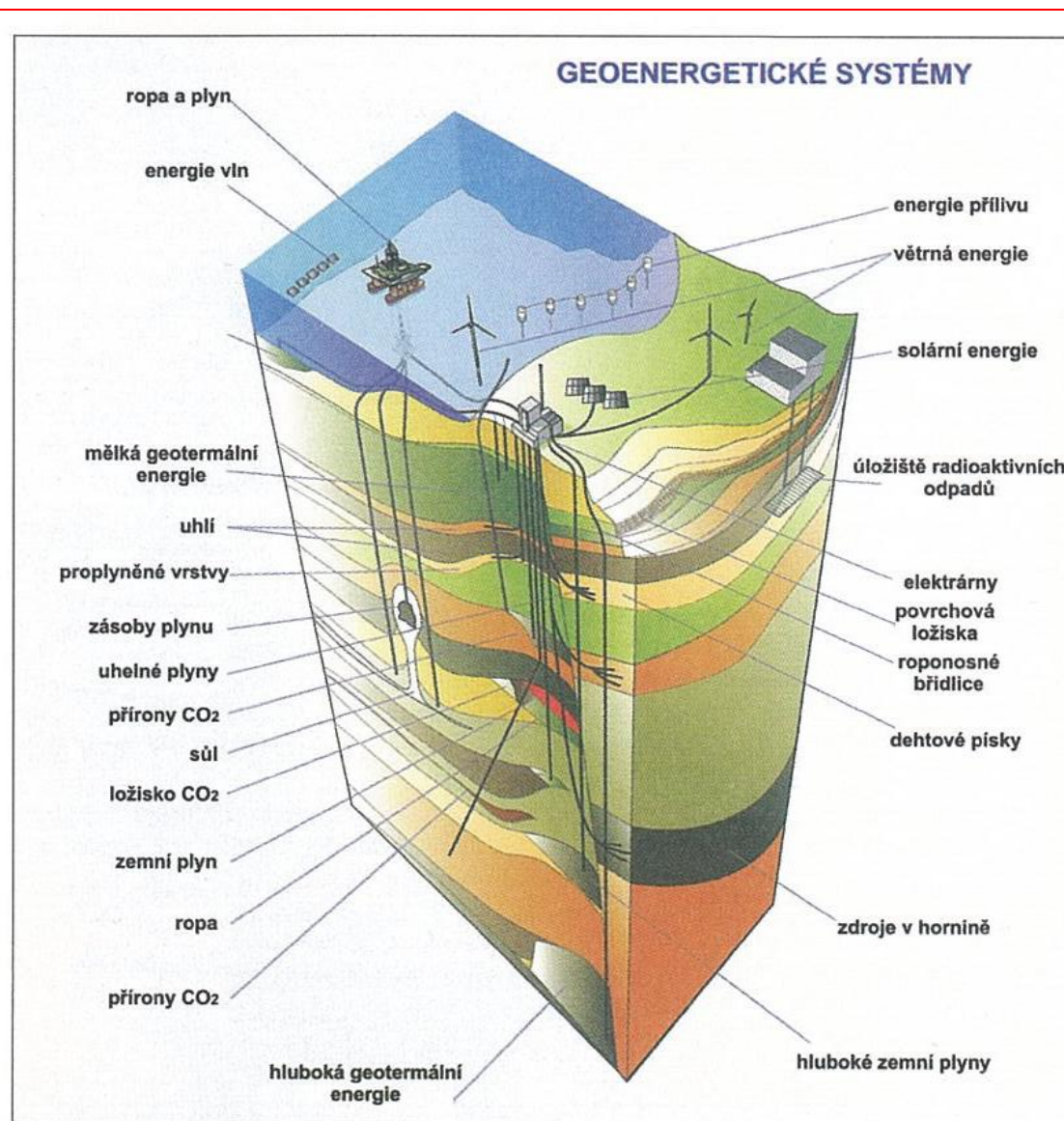
**Tabulka 7.10**

*Průměrná rychlost větru v některých místech v České republice podle dlouhodobých měření  
Hydrometeorologického ústavu*

Místo	Nadmořská výška (m)	Rychlost větru (m/s)
Benecko	880	4,9
Brno-Tuřany	238	3,2
Litomyšl	360	3,2
Liberec	400	3,1
Jeseník	671	3,1
Hradec Králové	276	2,9
Cheb	474	2,8
Zlín	261	2,3
Praha-Uhřetěves	298	2,2
Havlíčkův Brod	455	1,7
Klatovy	430	1,5
České Budějovice	388	1,4
Ústí nad Labem	155	1,4



# Geoenergetické systémy



*Schematicky zobrazené energetické systémy v zemské kůře.*



# Využití geotermální energie



# Využití geotermální energie

## Výhody:

- ↪ žádné palivové náklady

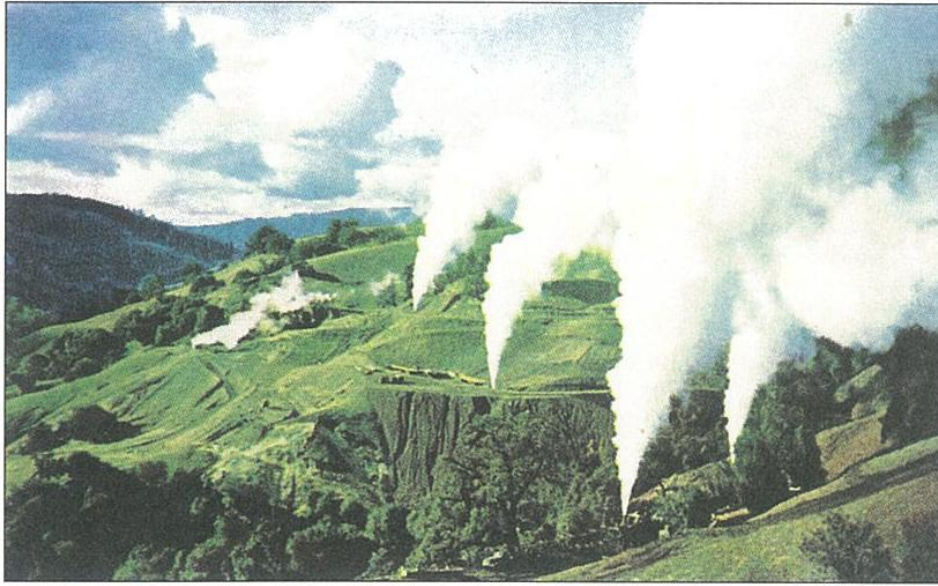
## Nevýhody:

- ↪ omezený počet vhodných lokalit
- ↪ relativně nízký výkon bloku
- ↪ korozní problémy (obsah chemikálií ve vodě a v páře)
- ↪ emise  $H_2S$ ,  $NH_3$ ....

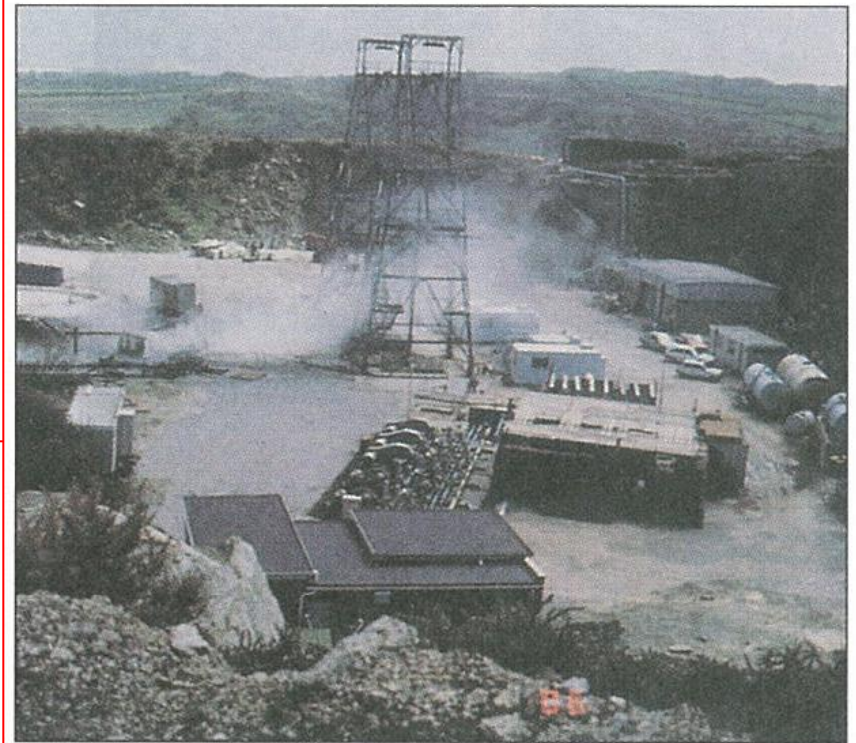
## Možnosti využití:

- ↪ vytápění domů a skleníků
- ↪ výroba elektřiny

# Geotermální pole



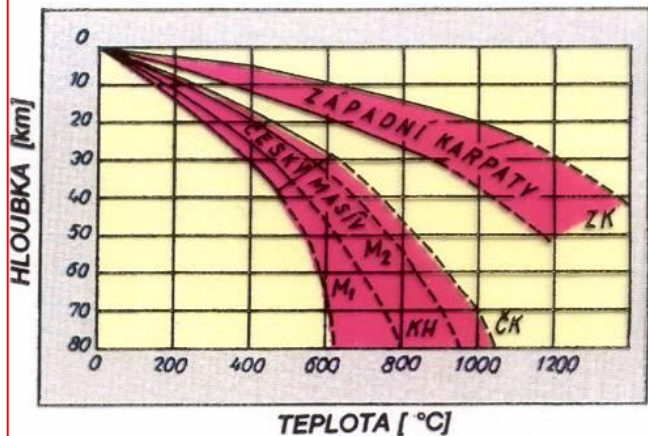
*Geotermální pole The Geysers v Kalifornii.*



*Geotermální pole v britském Cornwallu.*



# Využití geotermální energie



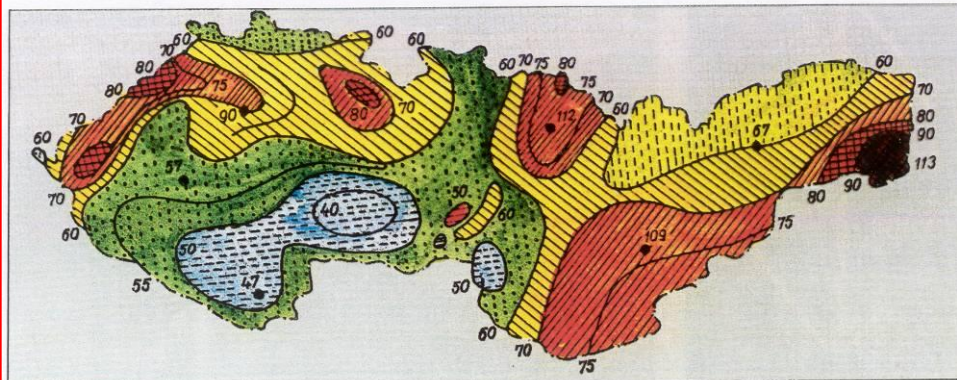
Růst teploty v zemské kůře na území ČSFR.

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> – pod Českým masívem

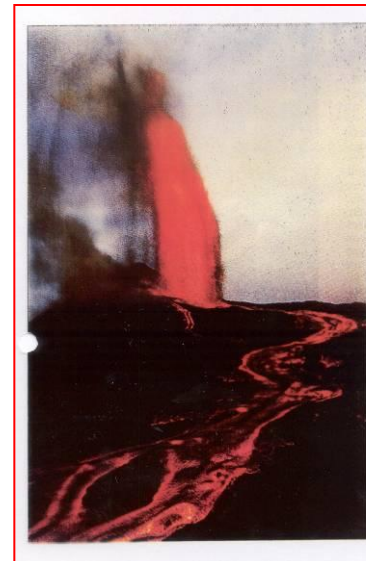
KH – pod Krušnými horami

ČK – pod Českou křídou

ZK – pod Karpaty

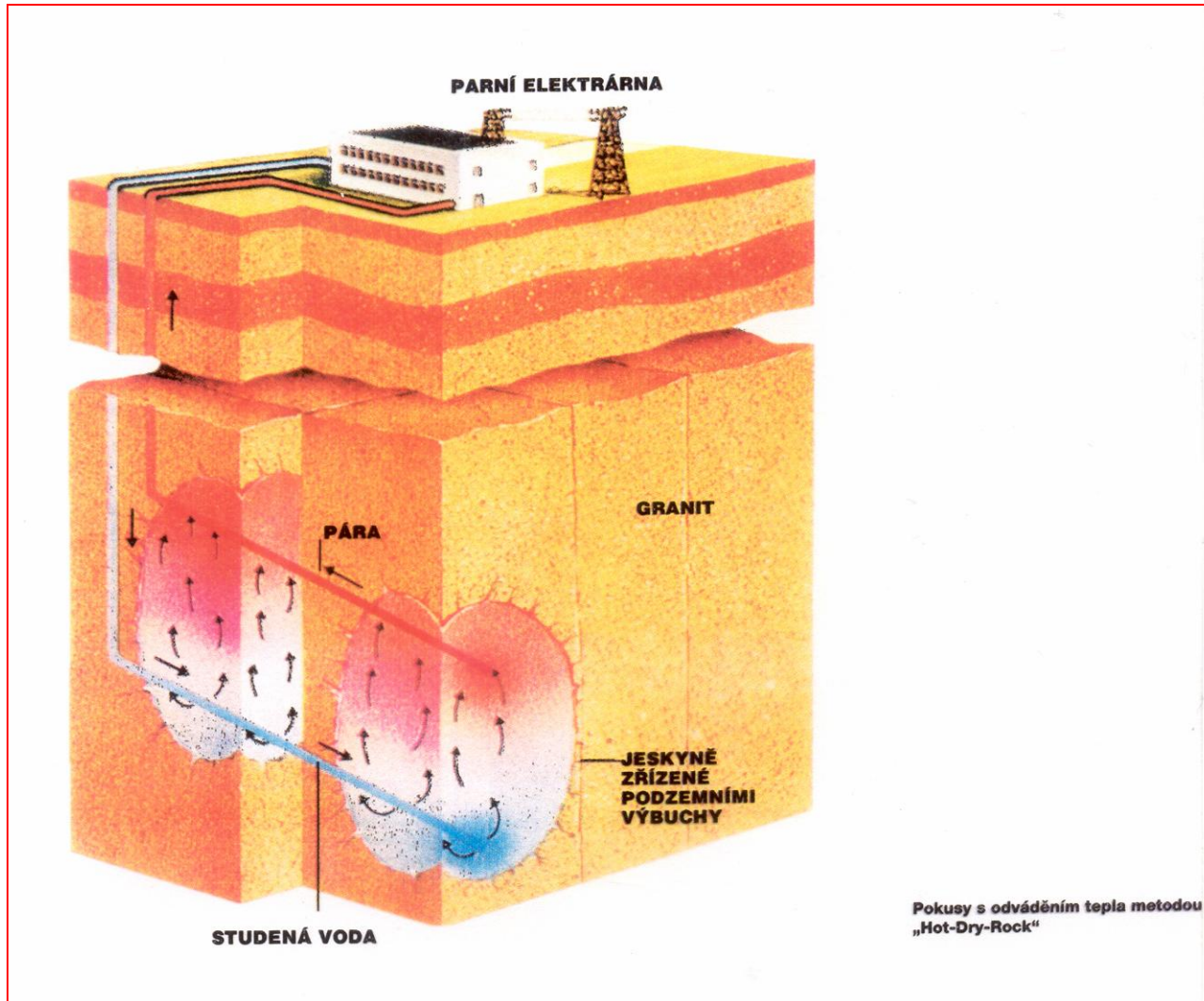


Tepelný výkon geotermálních zdrojů na území ČSFR. Isočary vymezují místa shodné geotermální aktivity (mW/m<sup>2</sup>).





# Využití geotermální energie



# Využití geotermální energie

Zemské teplo jako trvalý zdroj energie

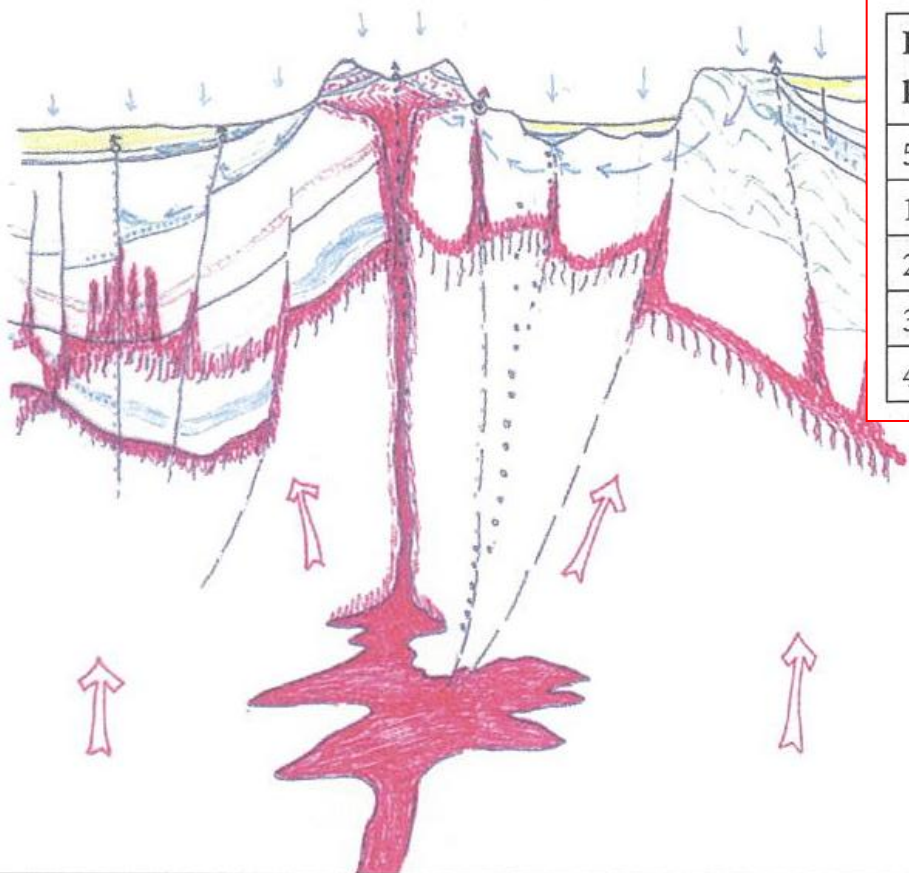


Schéma výstupu zemského tepla z magmatického krbu.

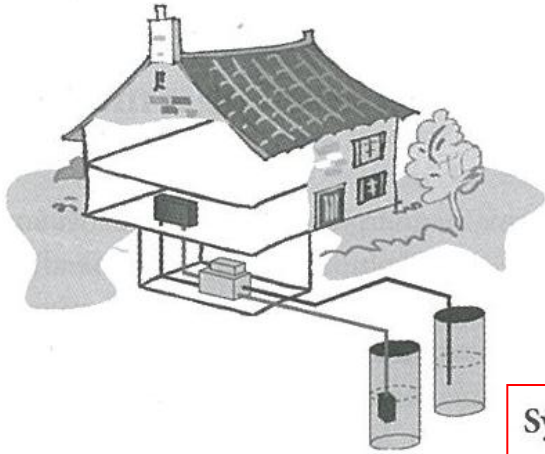
Růst teploty s hloubkou v kontinentální a oceánské kůře

Hloubka pod povrchem	Teplota ve °C	
	uprostřed kontinentu	uprostřed oceánu
50 km	500	750
100 km	750	1100
200 km	1100	1600
300 km	1200	1650
400 km	1400	1750

# Systemy získávání primárních zdrojů zemského tepla

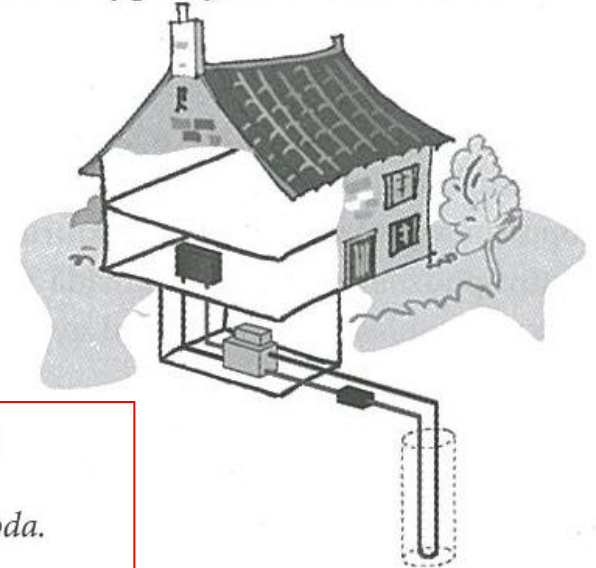
## System voda – voda

Obr. 6 Primární zdroj pro systém voda – voda.



## System země – voda svislý výměník

Obr. 7 Primární zdroj pro systém země – voda.



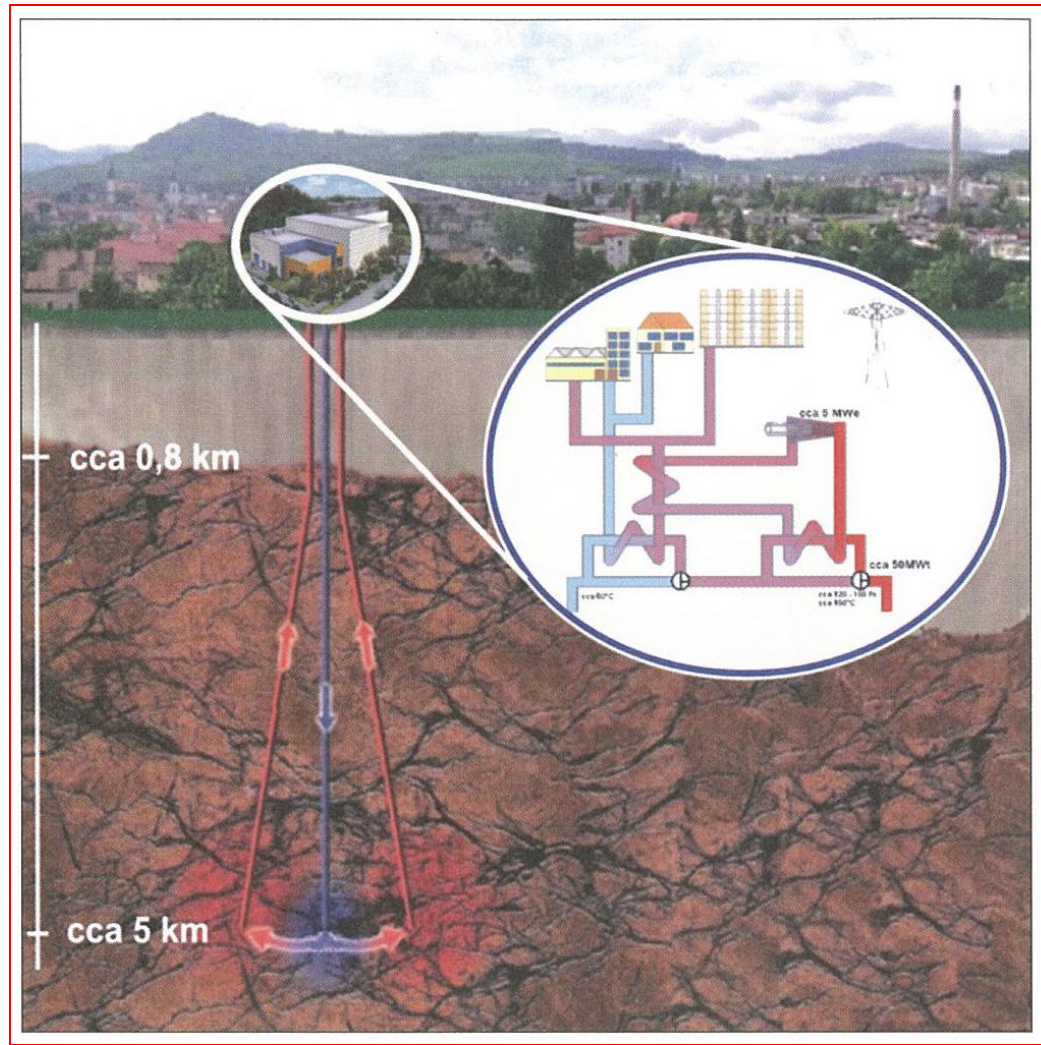
## System země – voda vodorovný výměník

Obr. 8 Primární zdroj pro systém země – voda.

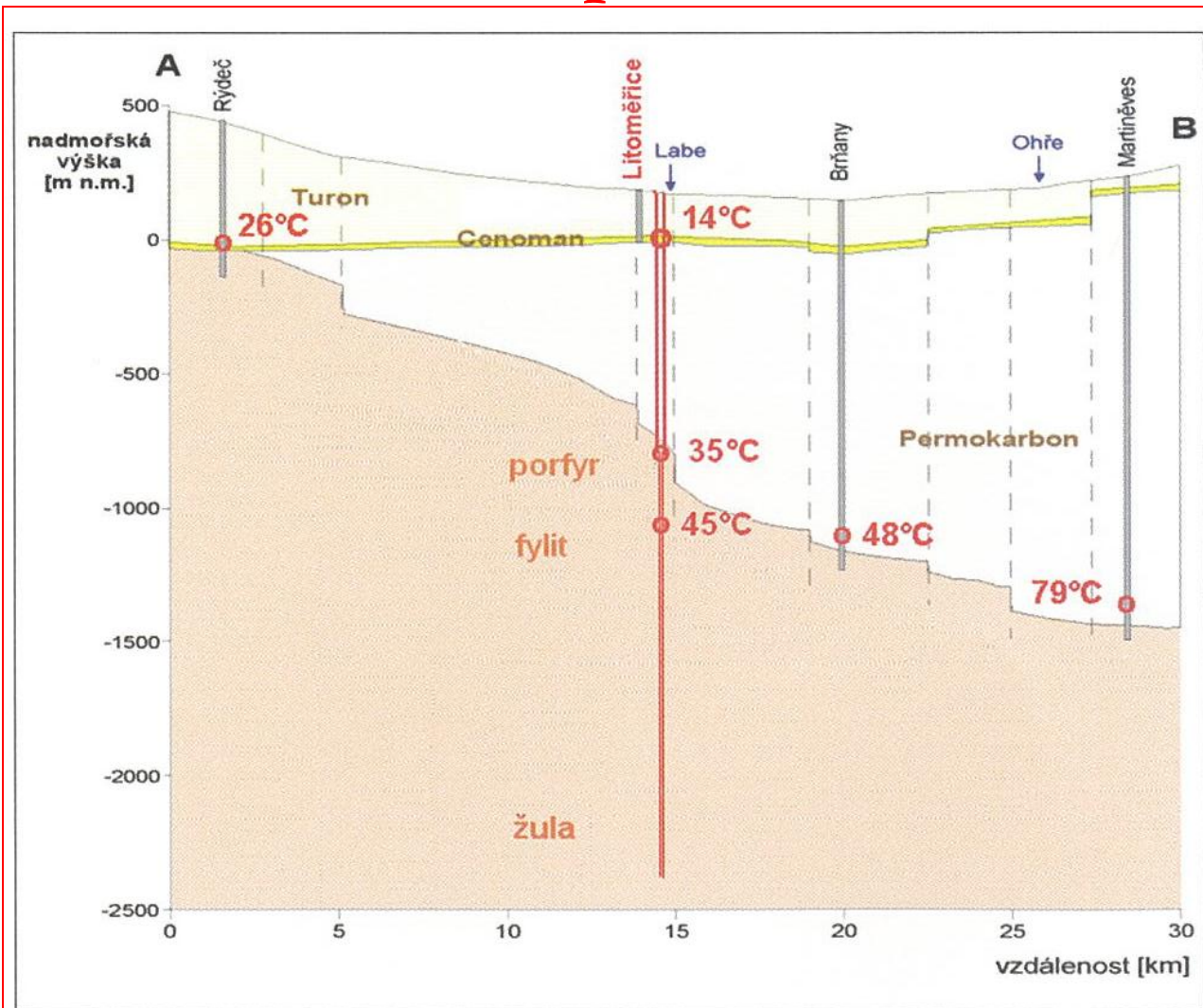




# Systemy získávání primárních zdrojů zemského tepla



# Systemy získávání primárních zdrojů zemského tepla

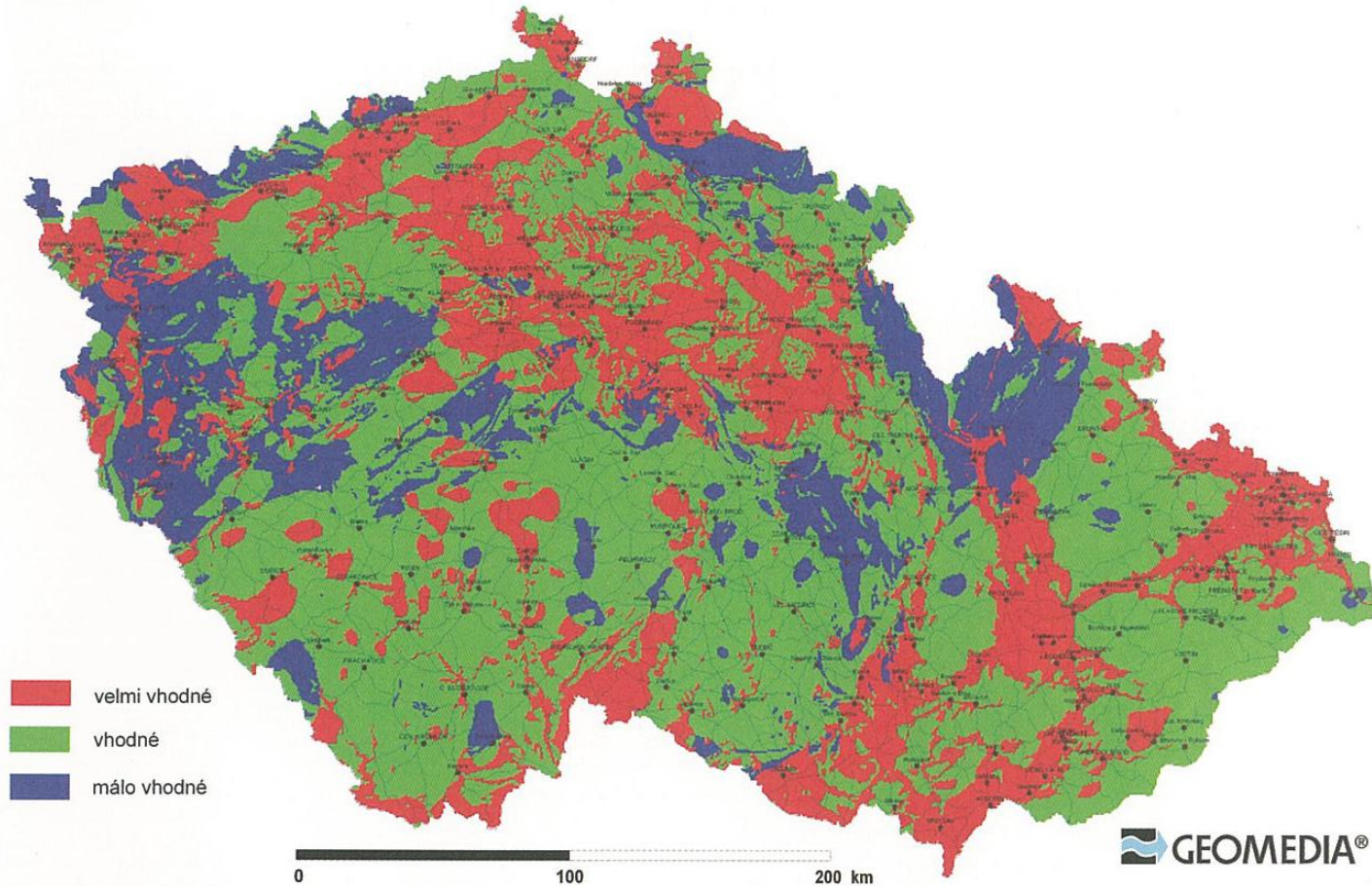


Schematicky znázorněné technické a geologické podklady současného projektu na využití zemského tepla v Litoměřicích.



# Plošná klasifikace ČR z hlediska vhodnosti využití zemského tepla

*Plošná klasifikace České republiky z hlediska vhodnosti využití zemského tepla*





# Využití tepelné energie oceánů

## Výhody:

- ↪ žádné palivové náklady
- ↪ čistý zdroj E

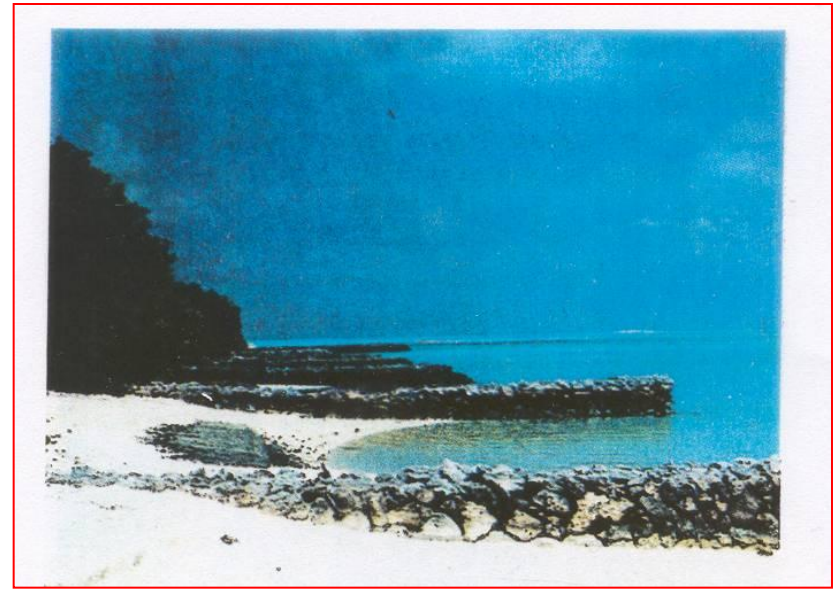
## Nevýhody:

- ↪ nízká účinnost přeměny E
- ↪ korozní problémy zařízení
- ↪ problémy s vývojem velkoplošných výměníků tepla, turbin, čerpadel

## Možnosti využití:

- ↪ výroba elektřiny a její využití na produkci  $H_2$ ,  $N_2$ , U z mořské vody

# Využití tepelné energie oceánů



▲ Zobrazení teplotního rozložení vod na povrchu oceánu (pohled ze satelitu). Oranžová a žlutá barva odhalují víry teplého Golfského proudu, zelená a modrá studených proudů. Tyto víry promíchávají sloupce vody až ke dnu a víří usazené kaly.

# Využití kinetické energie oceánů – energie mořských vln

## Výhody:

- ↪ žádné palivové náklady
- ↪ čistý zdroj E

## Nevýhody:

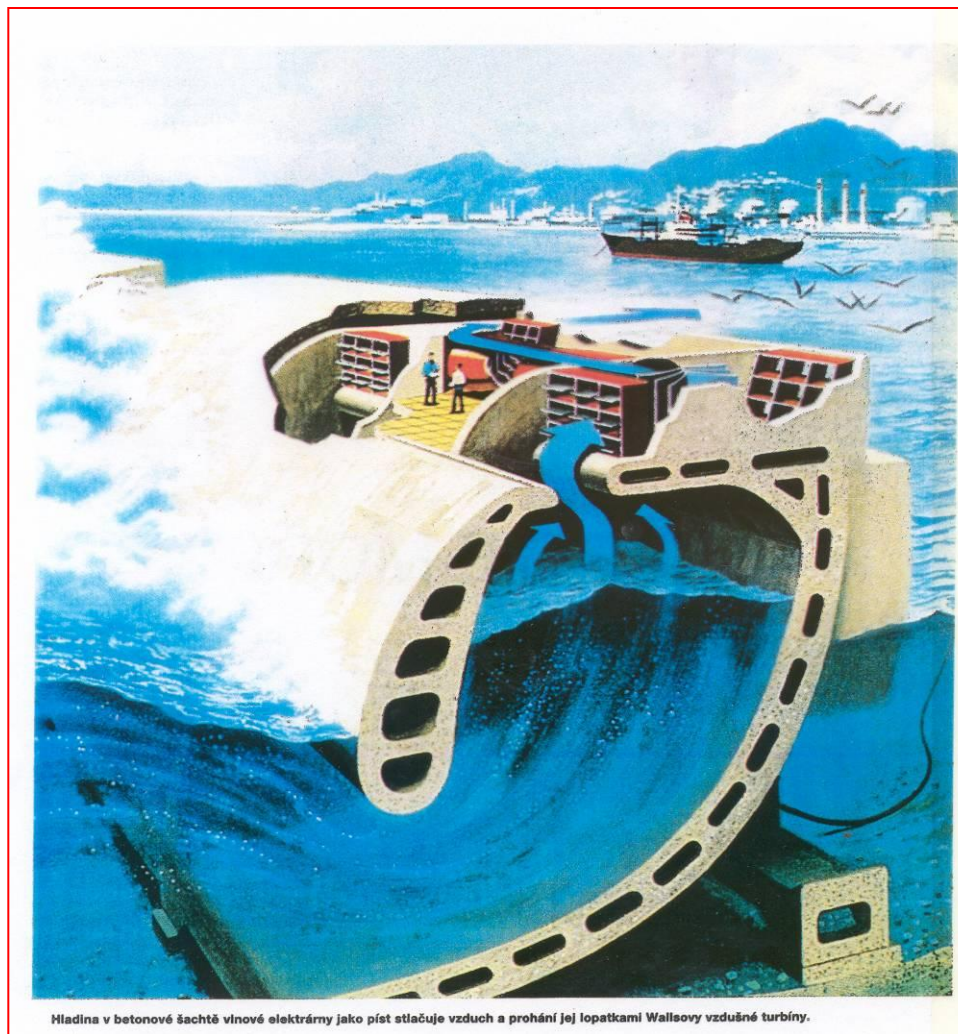
- ↪ malá výkonová hustota

## Možnosti využití:

- ↪ výroba elektřiny a její využití na produkci H<sub>2</sub>, U ....



# Využití kinetické energie oceánů – energie mořských vln



# Využití vodní energie

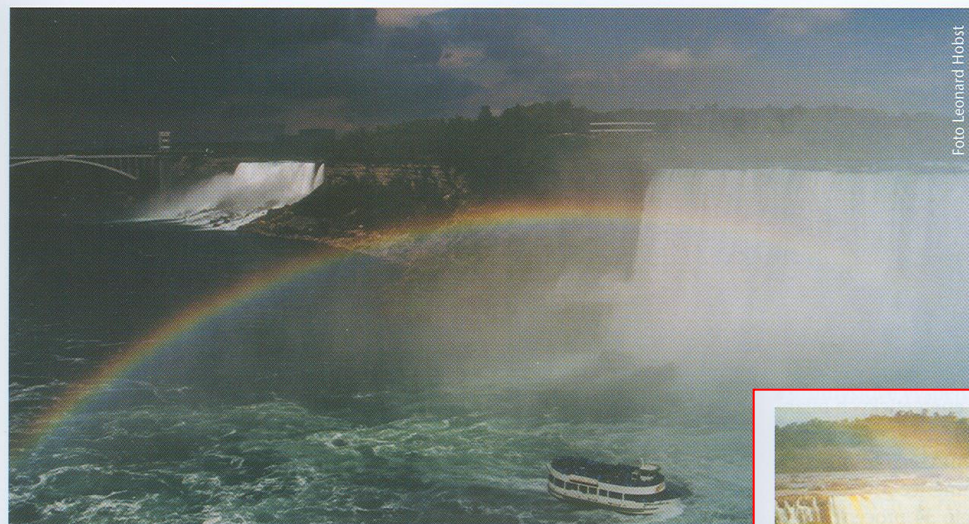


Foto Leonard Hobst

Foto 7.1 Vodní energie – Niagarské vodopády (USA, Kanada)

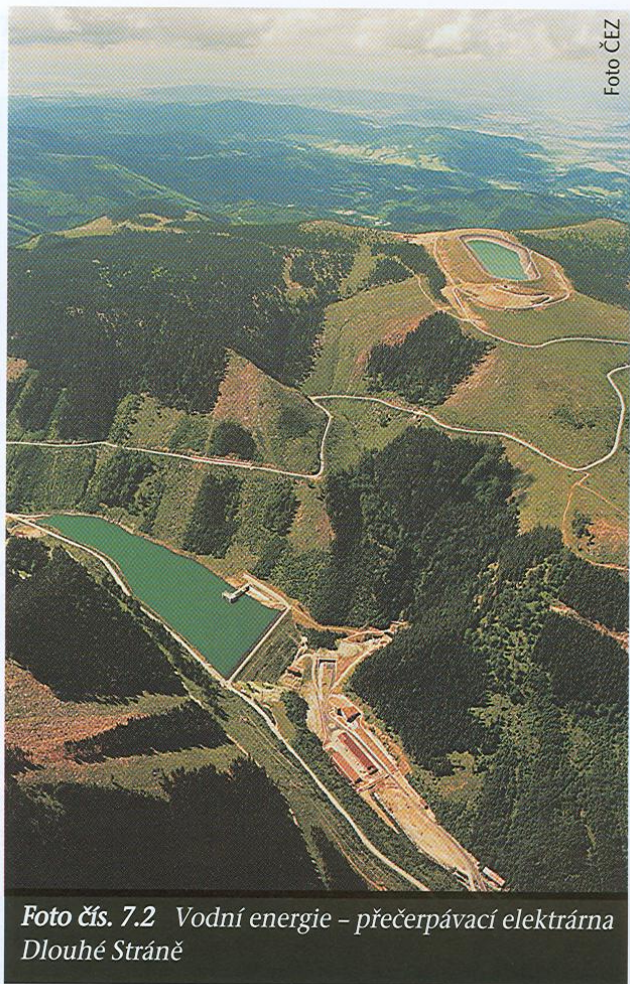


Foto Leonard Hobst

Foto 2.3 Vodní energie – vodopády Iguatzu (Brazílie)



# Využití vodní energie





# Využití biomasy

## FOTOSYNTÉZA A PŘEMĚNA BIOLOGICKÉ HMOTY:

### Výhody:

- ↪ maximální využití zemědělských, lesních a městských odpadů na výrobu E
- ↪ možnosti využití dosud neobdělávané půdy

### Nevýhody:

- ↪ nízká účinnost přeměny sluneční E
- ↪ vyžaduje velké plochy na pěstování rychle rostoucích rostlin a dřevin
- ↪ nákladná příprava půdy (odvodňování bažin a močálů)

# Využití biomasy

## Možnosti využití:

- ↪ výroba kapalných a plynných paliv
- ↪ pyrolýzou (plyn, topný olej)
- ↪ fermentací

Co je to biomasa? Je to jakýkoli materiál organického původu, tedy živočišné, rostlinný a jejich odpady. V našich podmínkách lze využívat zejména dřevě a dřevní odpad z lesů, odpady z obilnin (sláma, kukuřičné lístky), zvířecí exkrementy (výkaly), odpady z čištění odpadních vod, organické části městských odpadů, energetické kultury (rostliny s vysokým energetickým obsahem, řepka na výrobu nafty, ...).



biomasa, jak ji všichni známe



- suché procesy (termochemická přeměna)
  - spalování,
  - zplyňování,
- mokré procesy (biochemická přeměna)
  - fermentace,
  - anaerobní vyhnívání (bioplyn).

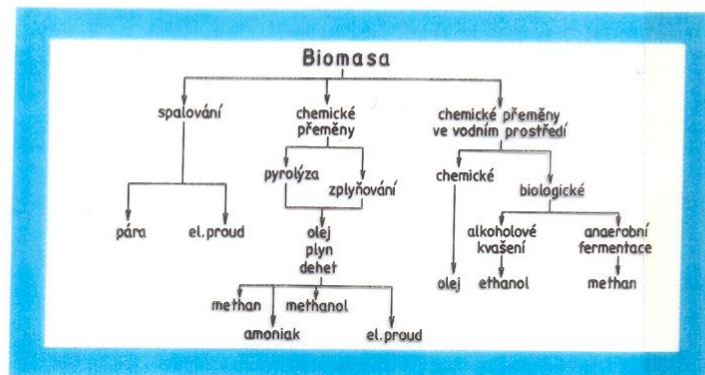
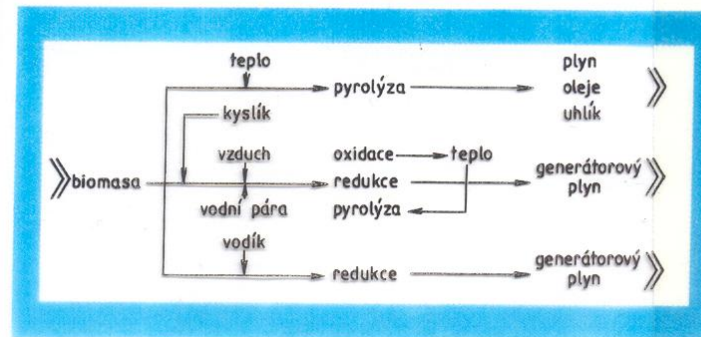
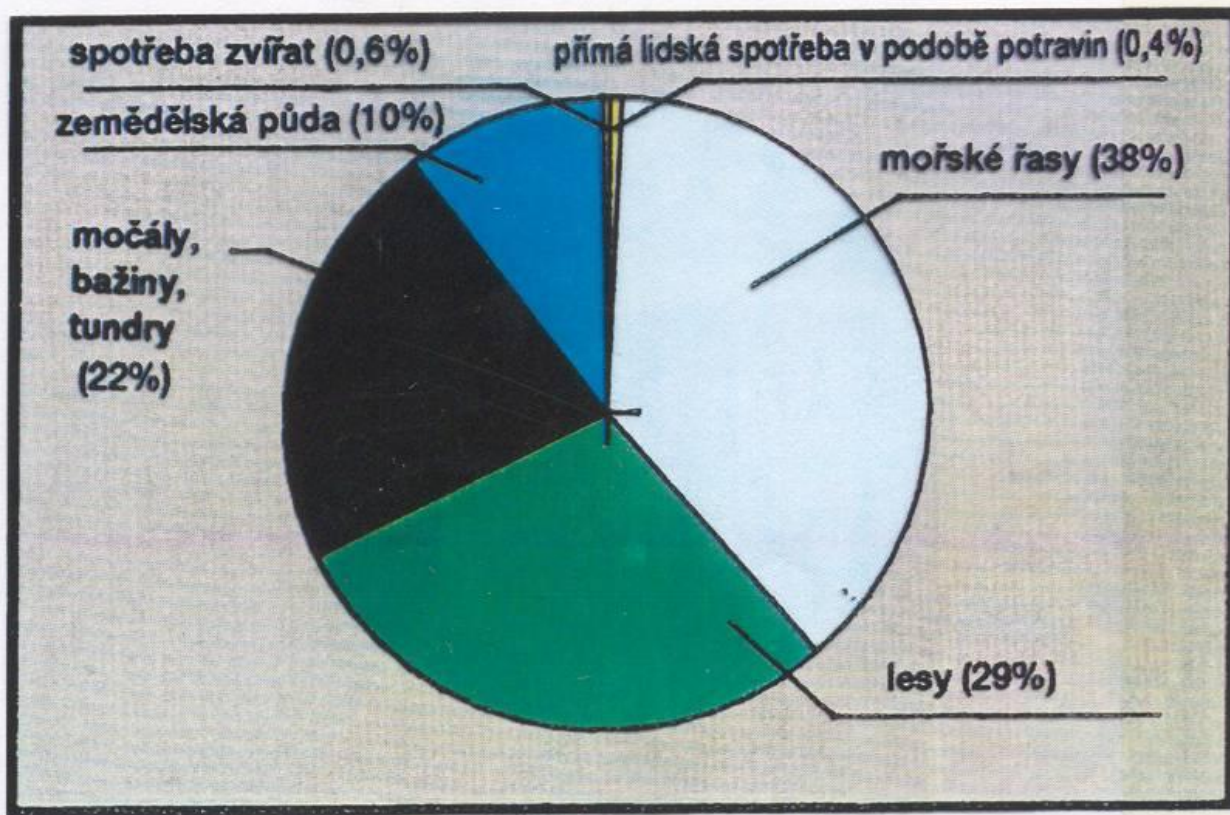


Schéma přeměny energie biomasy v jiné formy energie



Procesy zplyňování

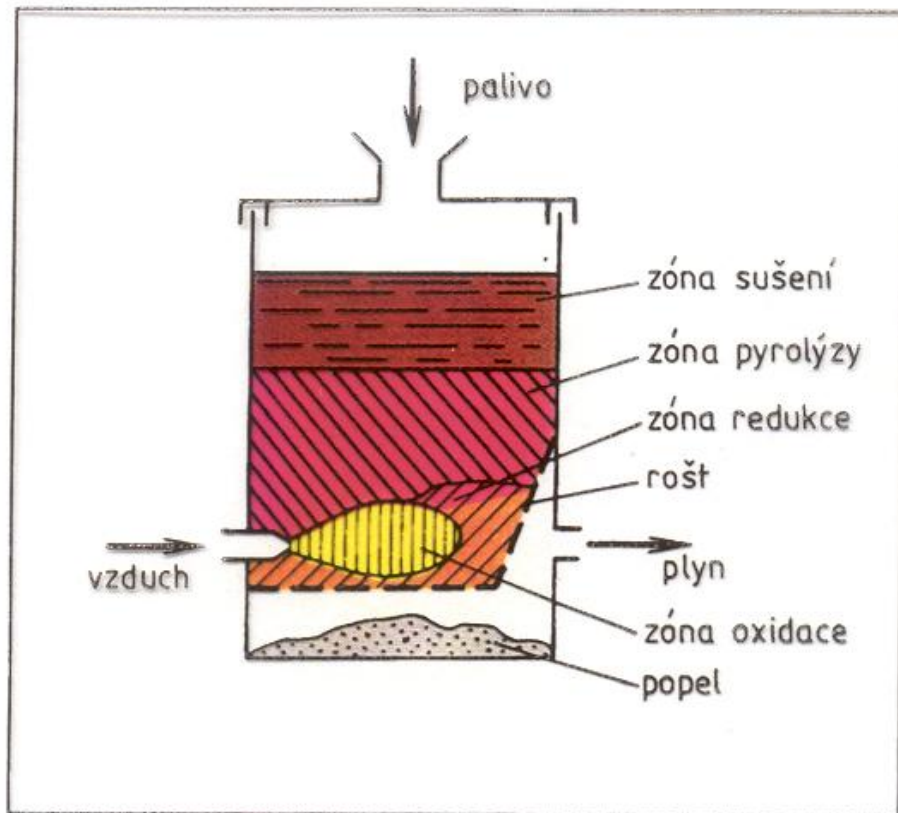
# Energetický potenciál biomasy



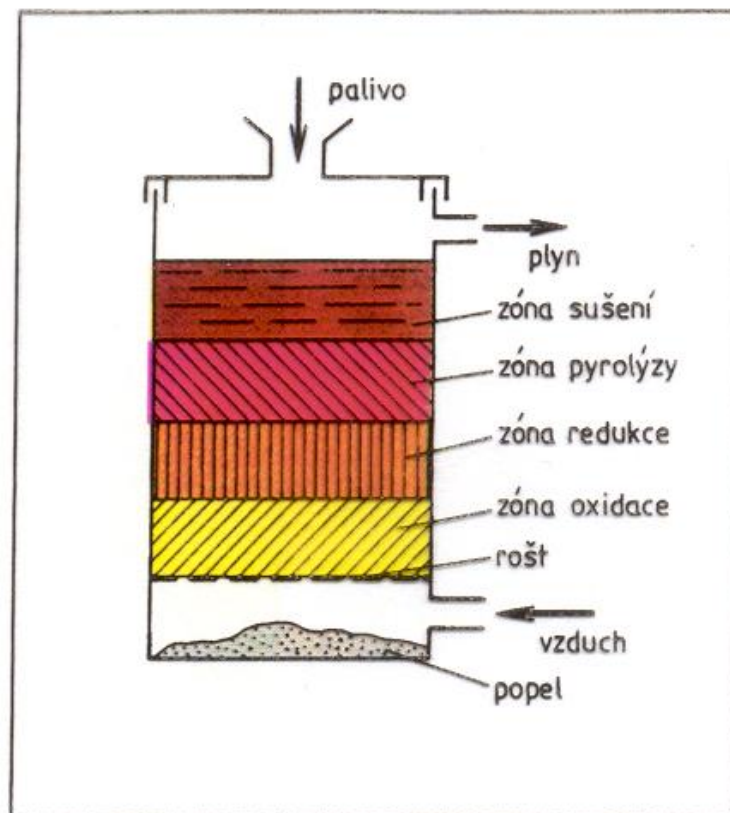
Rozdělení energetického potenciálu biomasy.



# Výroba bioplynu

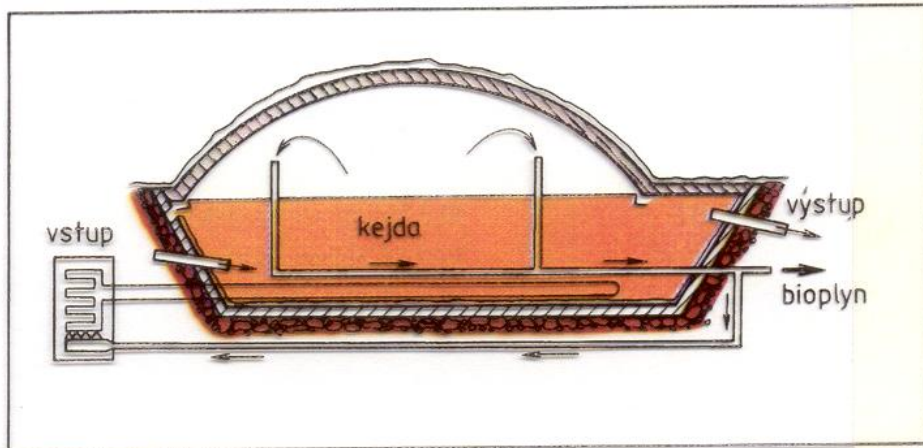


Zplyňovač s příčným prouděním



Protiproudý zplyňovač

# Výroba bioplynu



Plug-flow systém s pevným plastovým krytem

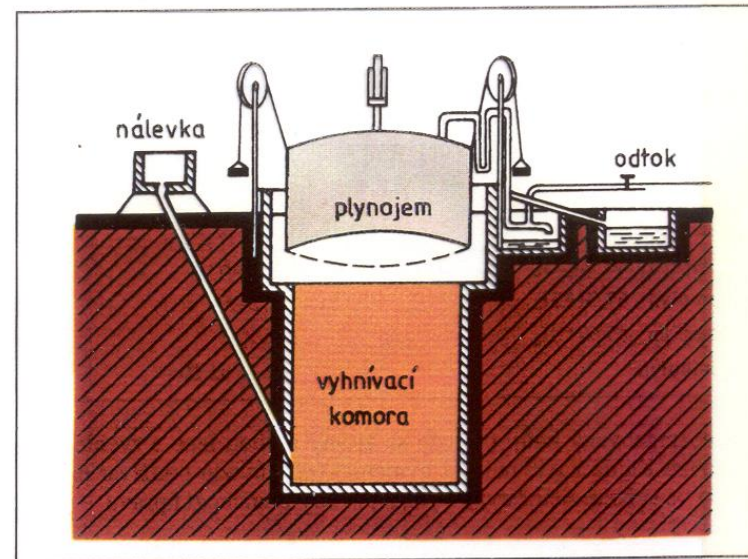


Schéma zařízení na výrobu bioplynu používané v Indii

Obecně lze pro odhad bioplynového potenciálu v hnoji použít přibližné údaje:

1 kráva (500 kg) .....	25 MJ/den
1 prasnice (150 kg) .....	7 MJ/den
10 prasat (60 kg/ks) .....	32 MJ/den
200 ks drůbeže .....	36 MJ/den



# Předpokládaný vývoj využití biomasy v ČR

**Tabulka 7.6**

Předpokládaný vývoj využití biomasy v České republice podle Státní energetické koncepce z roku 2004, množství energie v PJ,<sup>22</sup> podle [98]

Rok	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Biomasa	18	62	121	146	173	228	242
Druhotné teplo	20	20	20	20	20	20	20
Ostatní OZE <sup>23</sup>	6	9	13	14	15	14	13
Odpady	0	2	5	7	7	7	8
Celkem	44	93	159	187	215	269	283
Podíl biomasy (%)	40,9	66,7	76,1	78,1	80,5	84,8	85,5

<sup>22</sup> PJ – Petajoule =  $1.10^{15}$  J.

<sup>23</sup> OZE – obnovitelné zdroje energie.

<sup>24</sup> Z tohoto zorného úhlu je možné hodnotit i rozhodnutí ze začátku roku 2005 v České republice spálit určité množství pšenice v elektrárnách. Jde rovněž o bioprodukt, jejíž původní určení nebylo energetické, a proto výnos biomasu je menší. Rovněž spalení v elektrárnách není optimální řešení. Vhodnější by byla výroba bioetanolu, který lze přidávat do benzínu (viz poznámka <sup>26</sup>).

Na druhé straně ve světě, kde miliony lidí žijí v podvýživě a děti umírají hladem, se takové řešení jeví přinejmenším jako krajně neetické a dokládající neschopnost lidí lépe zorganizovat život na této planetě. A z toho vyplývají vážné obavy autora o možnostech lidského rodu zvládnout problém globálního oteplování Země.



# Předpokládaná skladba bioenergetických zdrojů v ČR v roce 2010

Tabulka 7.7

Předpokládaná skladba bioenergetických zdrojů v České republice v roce 2010, podle V. Petříkové [128]

Druh biomasy	celkem		z toho	
	%	PJ	teplo (PJ)	elektřina (GWh)
Dřevo a dřevní odpad	24,8	33,1	25,2	427
Sláma z obilnin a olejnin	11,8	15,7	11,9	224
Energetické rostliny uměle pěstované	47,1	63,0	47,7	945
Bioplyn	16,3	21,8	15,6	535
Biomasa celkem	100,0	133,6	100,4	2 231

# Elektrolýza vody

## Elektrolýza

Elektrolýza je nejznámější způsob výroby vodíku z vody. V současné době je účinnost elektrolýzy asi 75 procent. Očekává se však, že do roku 2020 by mohla dosáhnout až 83 procent.

Při masivním nasazení vodíkové energetiky lze počítat s elektrolýzou ve dvou výkonově velmi rozdílných oblastech. První oblastí, s velkými výkony, bude výroba vodíku v jaderných elektrárnách v době jejich odlehčení. Toto odlehčení je jednak krátkodobé v průběhu dne, mimo špičky v elektrizační soustavě, jednak dlouhodobé, sezonní, například v našich evropských podmínkách od pozdnějšího jara do počátku podzimu.



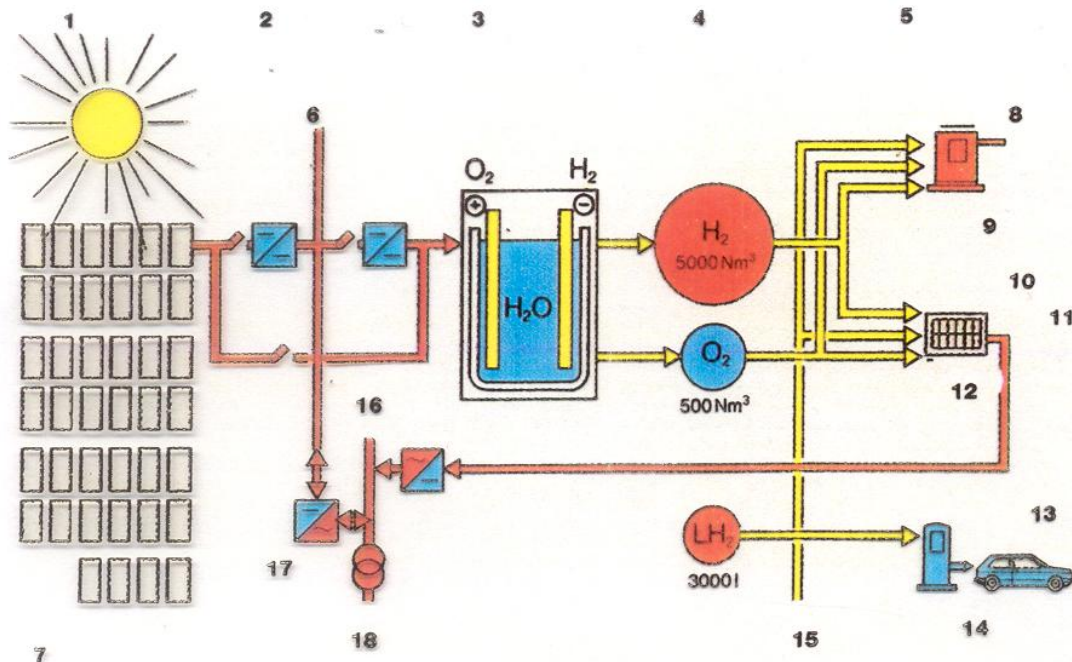


# Elektrolýza vody

Druhou oblastí nasazení elektrolýzy bude decentralizovaná výroba vodíku pro automobilovou dopravu v oblastech, kam nebudou zasahovat systémy pro rozvod vodíku. Elektrická energie bude odebírána obecně z elektrizační soustavy, ale mohou být využity i místní zdroje elektrické energie. To bude jednak v oblastech, kam nezasahuje ani elektrizační soustava, jednak při využívání místních obnovitelných zdrojů energie, které se vyznačují velkým kolísáním výkonu. Příkladem může být využívání větrné energie a výroba vodíku může být vhodný akumulární článěk v energetickém řetězci [143].

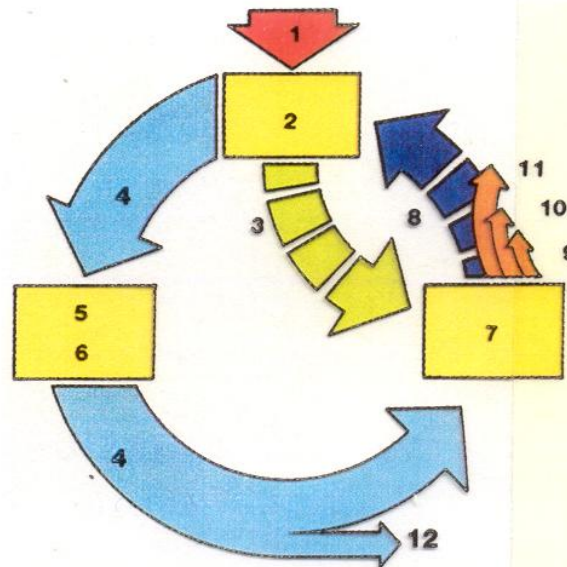


# Elektrolýza vody



Demonstrační jednotka elektrolyzáru:

- 1 - Výroba „sluneční“ elektřiny
- 2 - Rozvod elektrického výkonu
- 3 - Výroba vodíku a kyslíku
- 4 - Zásobníky
- 5 - Spotřebitelé
- 6 - Stejnoseměrná sběrnice 0,3–0,43 kV
- 7 - Sluneční panely 280 kW
- 8 - 40 kW teplo
- 9 - Ohříváč
- 10 - 86 kW elektřina
- 11 - 42 kW teplo
- 12 - Palivové články
- 13 - Pohon
- 14 - Tankovací stanice LH<sub>2</sub>
- 15 - Zemní plyn
- 16 - Střídavá sběrnice 0,4 kV
- 17 - Měnič proudu
- 18 - Elektrická síť 20 kV



Uzavřený cyklus vodíku a kyslíku:

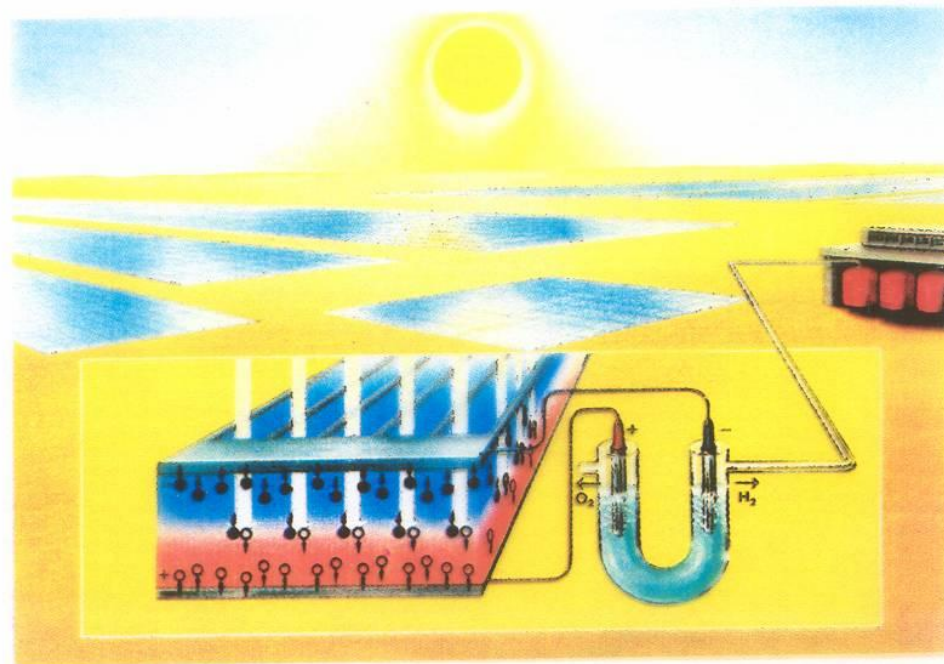
- 1 - Sluneční elektřina
- 2 - Elektrolyza
- 3 - Kyslík
- 4 - Vodík
- 5 - Skladování
- 6 - Doprava potrubím
- 7 - Spalování
- 8 - Voda
- 9 - Elektrický proud
- 10 - Teplo
- 11 - Pohonné hmoty
- 12 - Chemie

# Elektrolýza vody



▶  
**Solární plantáž zásobující elektrolyzéry na výrobu vodíku rozkladem vody.**

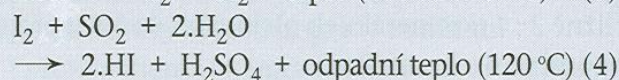
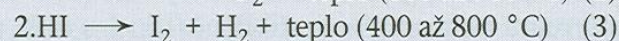
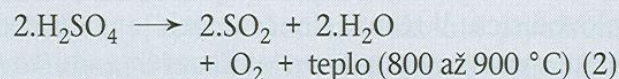
◀  
**Vodíko-kyslíkový palivový článek s výkonem 100 kW ve funkci přenosné „balené“ elektrárny.**



# Vysokoteplotní rozklad vody

## Vysokoteplotní rozklad vody

Vysokoteplotní rozklad vody, označovaný též termochemická výroba vodíku, je založen na řadě chemických reakcí. Podle [166] je hlavním kandidátem těchto procesů proces síra-vodík, který sestává ze tří chemických reakcí:



Reakce (2) rozkladu kyseliny sírové probíhá za použití katalyzátoru. Důležitým procesním prvkem je jod (I).

Zdrojem tepla budou vysokoteplotní jaderné reaktory. Z důvodů bezpečnosti se předpokládá, že jaderný reaktor bude od výroby vodíku vzdálen nejméně 1 km. Pro transport vysokopotenciálního tepla se předpokládají roztavené soli.

Podle japonských rozborů jsou náklady na výrobu vodíku vysokoteplotním rozkladem vody na úrovni asi 60 procent nákladů na výrobu vodíku elektrolýzou.



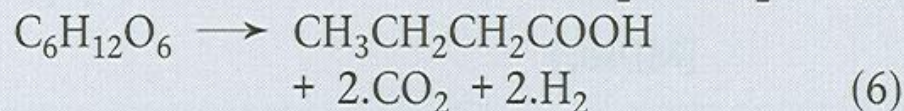
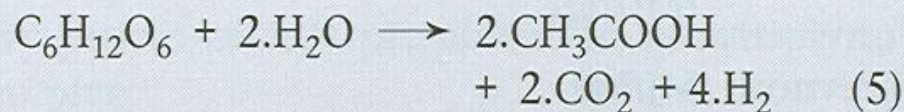
# Biologické metody výroby vodíku

## Biologické metody výroby vodíku

Biologické metody výroby vodíku mohou být:

1. biofotolýza vody s pomocí řas a cyanobakterií,
2. fotodekompozice uhlovodíkových sloučenin pomocí bakterií schopných provádět fotosyntézu (fotosyntetické bakterie),
3. fermentací uhlovodíkových sloučenin,
4. hybridní systémy využívající fotosyntetické a fermentační bakterie.

Výchozí surovinou je glukóza, sacharóza, celulóza a podobně a jejich směsi. Nejdůležitější jsou reakce:



# Biologické metody výroby vodíku

Vedlejším produktem reakce (5) je kyselina octová, dalším vedlejším produktem reakce (6) je butyrát (másel-man). Rovněž při těchto procesech je možné separovat a ukládat oxid uhličitý.

Obecně jedinými ekologicky akceptovatelnými způsoby výroby vodíku jsou postupy, v nichž zdroj pro výrobu vodíku je nefosilní, nejčastěji je to voda, a rovněž zdroj energie vkládané do vodíku je nefosilní. Nefosilním zdrojem vkládané energie může být sluneční energie nebo větrná energie, ale oba tyto energetické zdroje se vyznačují velmi malou hustotou disponibilních energetických toků. Přesto mohou být v některých případech výhodné pro distribuovanou výrobu vodíku. Jediným nefosilním a dostatečně masivním energetickým zdrojem je však jaderná energie.



# Porovnání měrných akumulčních kapacit pro různé typy skladování vodíku

**Tabulka 9.2**

Porovnání měrných akumulčních kapacit pro různé typy skladování vodíku

Skladované médium	Podíl vodíku (kg <sub>H</sub> /kg)	Měrná objemová kapacita (kg <sub>H</sub> /m <sup>3</sup> )	Energetická hmotnostní hustota (MJ/kg)	Energetická objemová hustota (MJ/m <sup>3</sup> )
MgH <sub>2</sub>	0,070	101	9,94	14,34
Mg <sub>2</sub> NiH <sub>4</sub>	0,0316	81	4,49	11,50
VH <sub>2</sub>	0,0207	-	2,97	-
FeTiH <sub>1,9</sub>	0,0175	96	2,48	13,63
TiFe <sub>0,7</sub> Mn <sub>0,2</sub> H <sub>1,9</sub>	0,0172	90	2,44	12,79
LaNi <sub>5</sub> H <sub>7,0</sub>	0,0137	89	1,94	12,64
R.E.Ni <sub>5</sub> H <sub>6,7</sub>	0,0135	90	1,91	12,79
Kapalný vodík	1	71	142,0	10,08
Plynný vodík:	10 MPa	8,3	142,0	1,18
	20 MPa	1	16,6	2,36
Benzin (pro srovnání)	-	-	47,3	35,50



# Porovnání vlastností důležitých pro spalování pro vodík a metan

Tabulka 9.1

Porovnání vlastností důležitých pro spalování pro vodík a metan

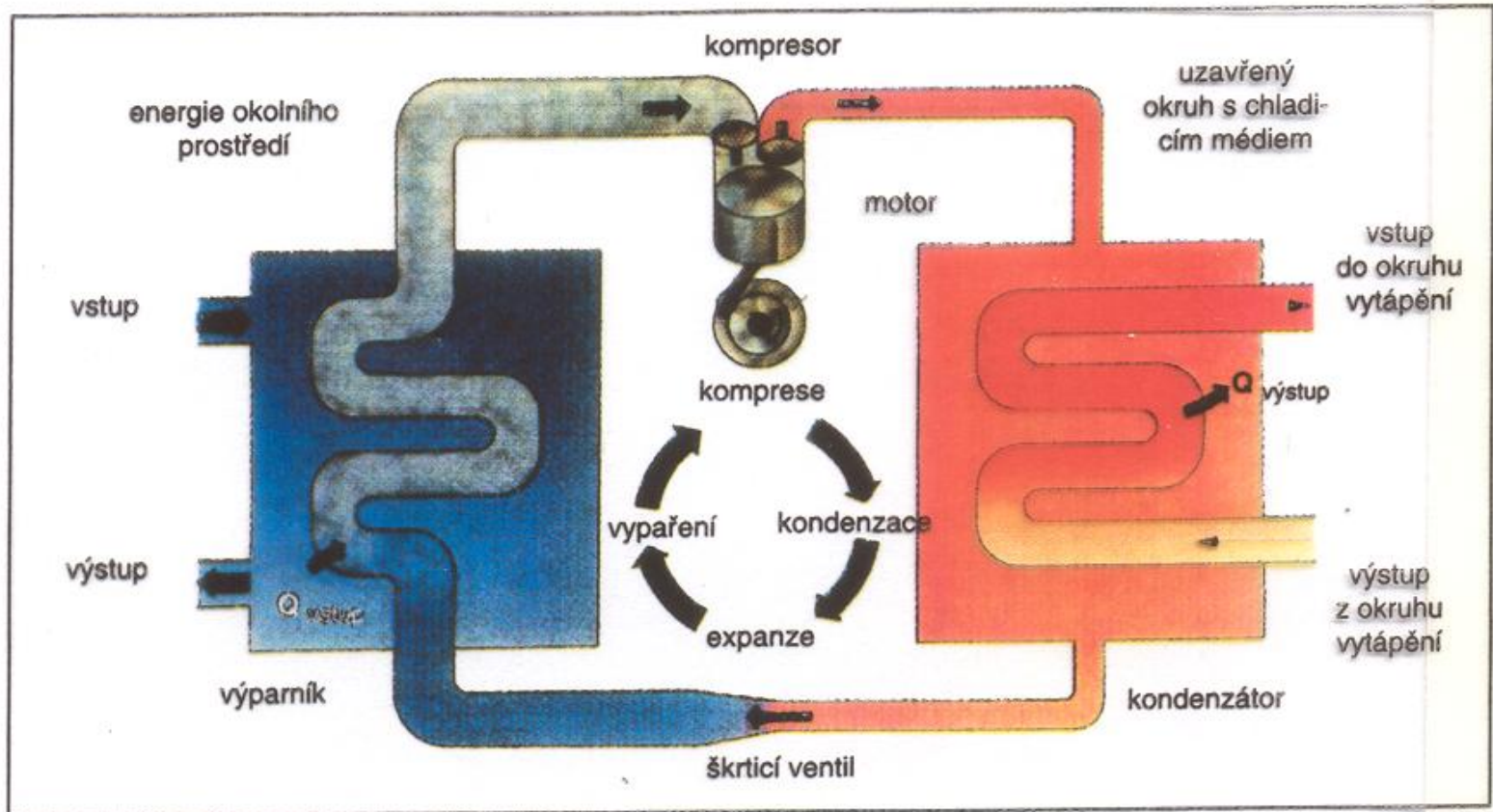
Vlastnost plynu	Vodík	Metan
Spalné teplo: [MJ/kg]	142,00	55,61
[MJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> ]	12,77	39,86
Výhřevnost: [MJ/kg]	119,62	49,95
[MJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> ]	10,76	35,80
Rychlost hoření ve vzduchu [cm/s]	350	43
Stechiometrická spalovací teplota ve vzduchu [K]	2 370	2 227
Oblast zápalnosti [%vol]	4 až 75	5 až 15

<sup>9</sup> Základní vlastnosti vodíku: teplota zkvalnění za normálního tlaku je -259,2 °C, hustota za normálních podmínek (0 °C, 760 torr) je 0,089987 kg/m<sup>3</sup>, kritický stav: teplota -140,7 °C, tlak 3,76 MPa, hustota 310 kg/m<sup>3</sup>, hustota kapaliny při teplotě varu a za normálního tlaku 875 kg/m<sup>3</sup>, spalné teplo 142,2 MJ/kg.

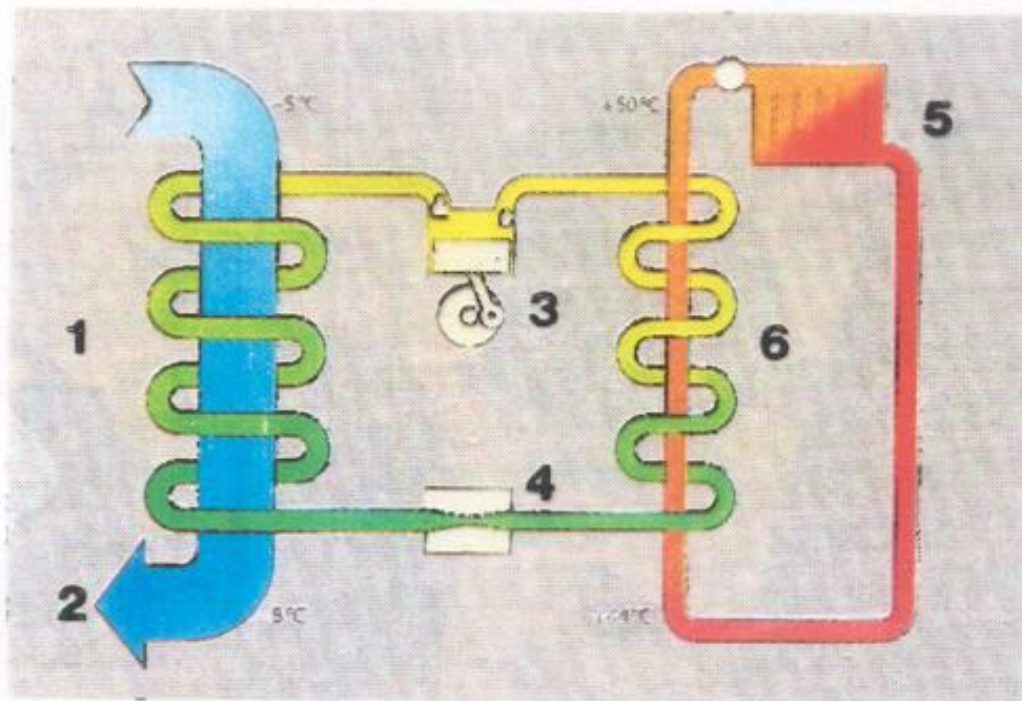
<sup>10</sup> Takzvaná CO-Shift Reakce, nebo též WGS – Water Shift Reaction, za použití katalyzátoru.

<sup>11</sup> Viz 10. kapitola.

# Tepelná čerpadla



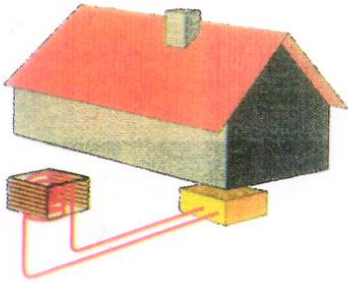
# Tepelná čerpadla



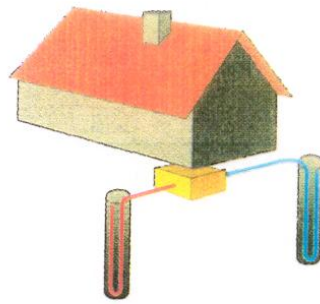
**Princip elektricky poháněného tepelného čerpadla:**  
1 – výparník 2 – ochlazení prostředí 3 – kompresor  
4 – škrticí ventil 5 – topný radiátor 6 – kondenzátor



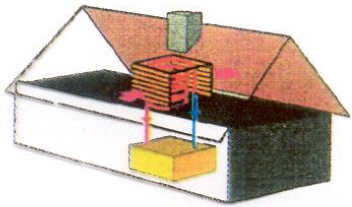
# Tepelná čerpadla



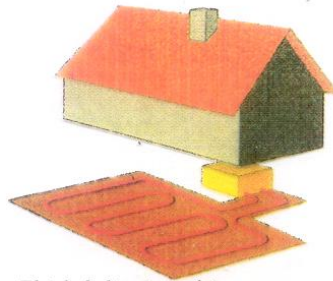
Získávání tepla z okolního vzduchu



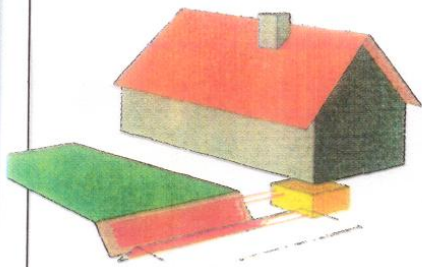
Získávání tepla z hlubinných vrtů



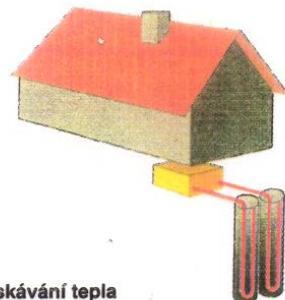
Získávání tepla z odpadního vzduchu



Získávání tepla z půdy

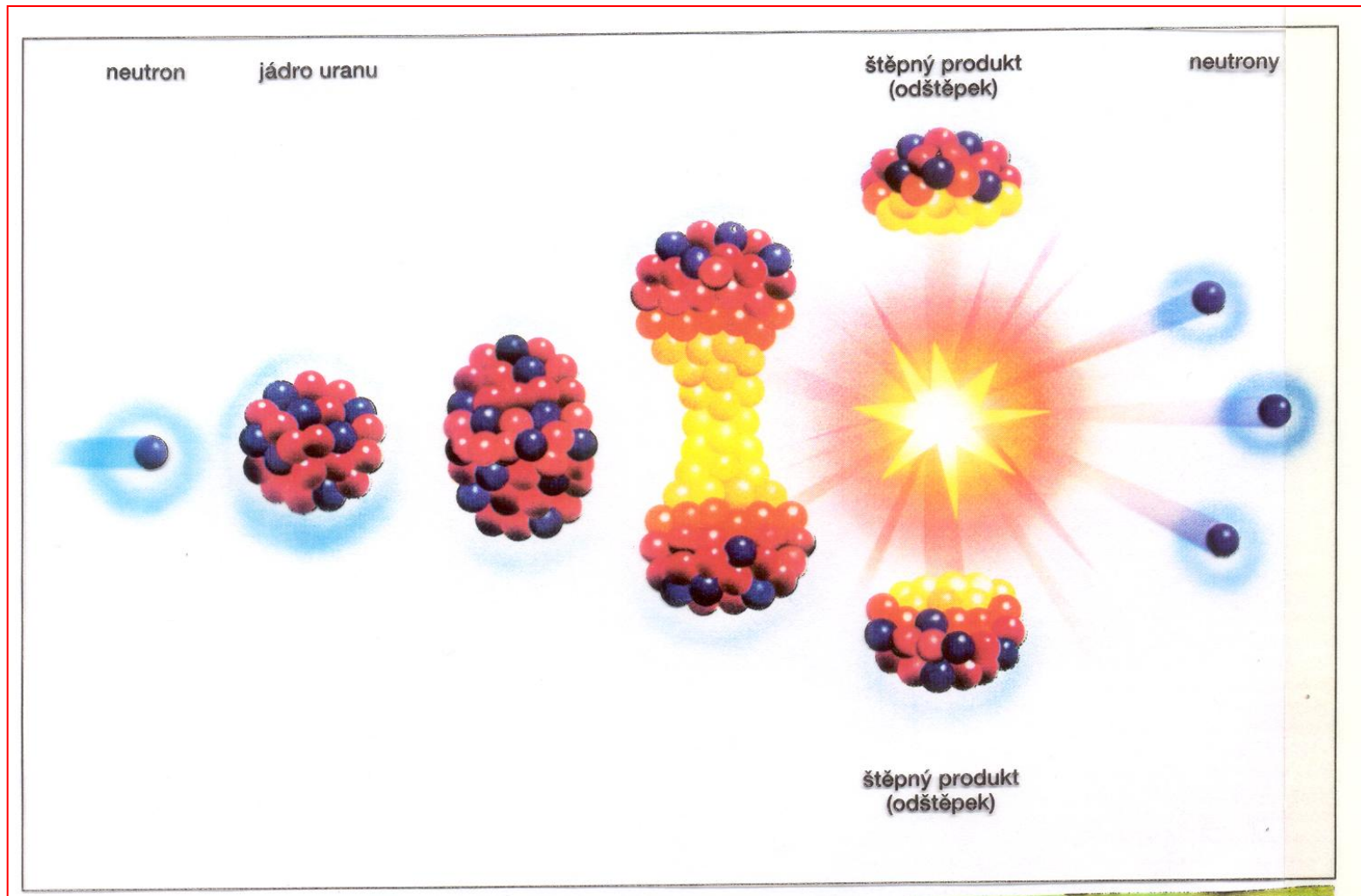


Získávání tepla z povrchových vod

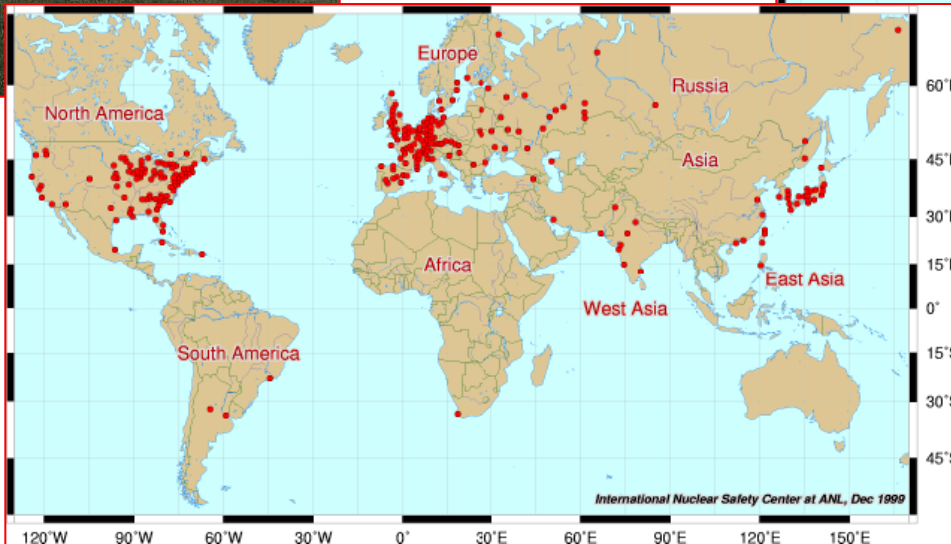
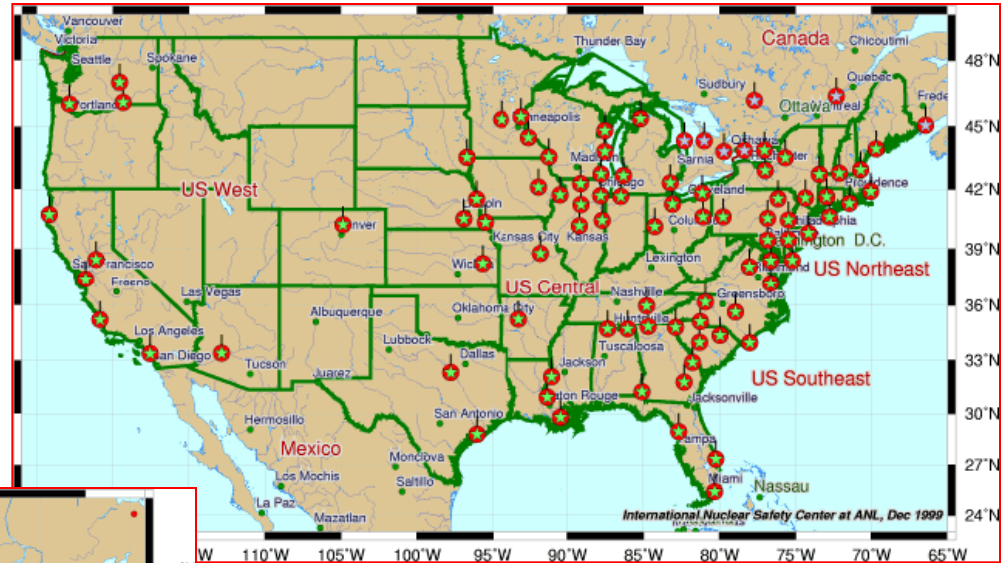


Získávání tepla ze dvou studní

# Jaderná energetika



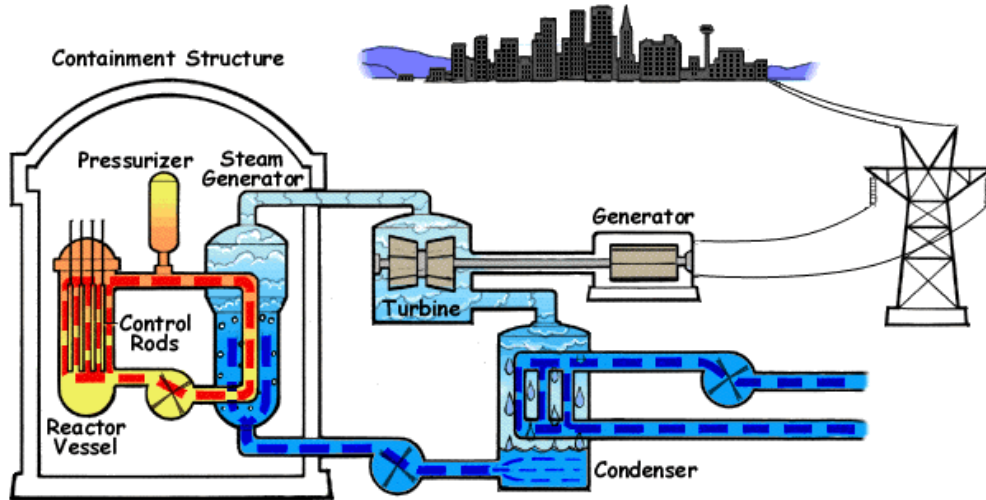
# Jaderná energetika



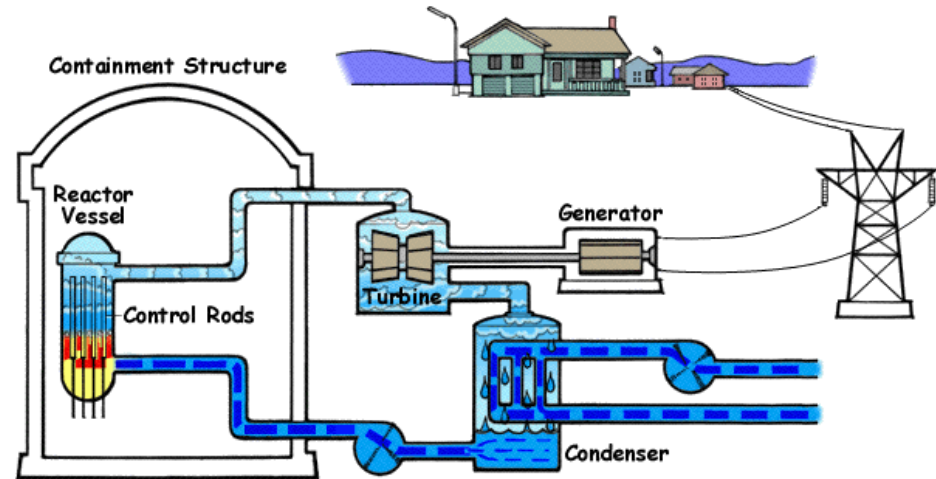


# Jaderná energetika

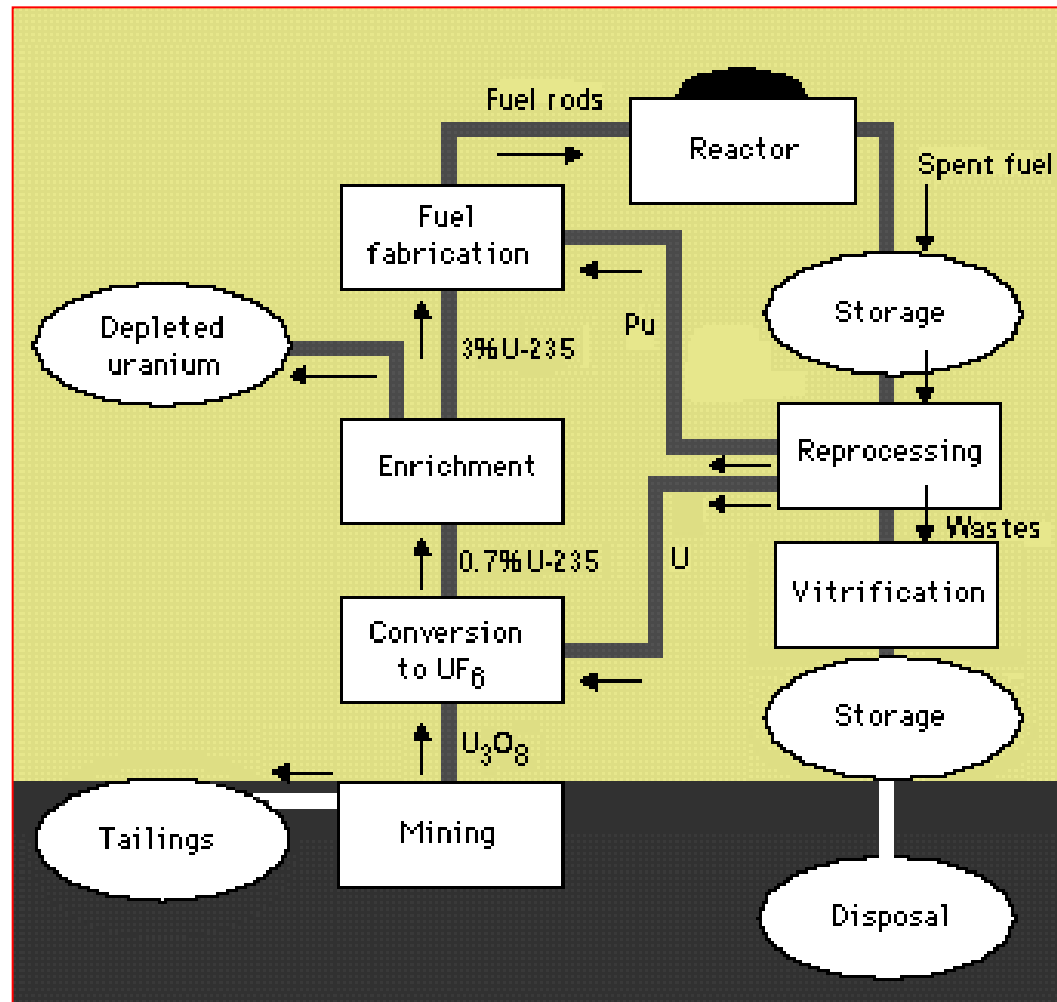
## The Pressurized Water Reactor (PWR)



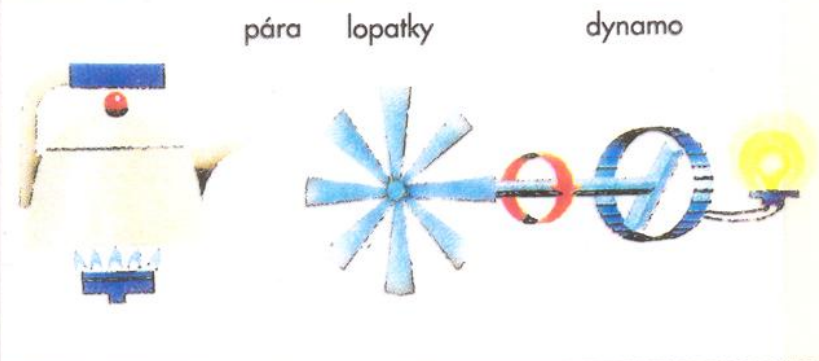
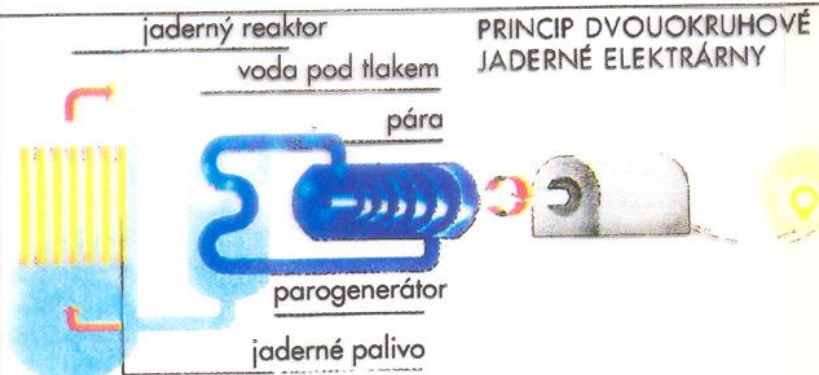
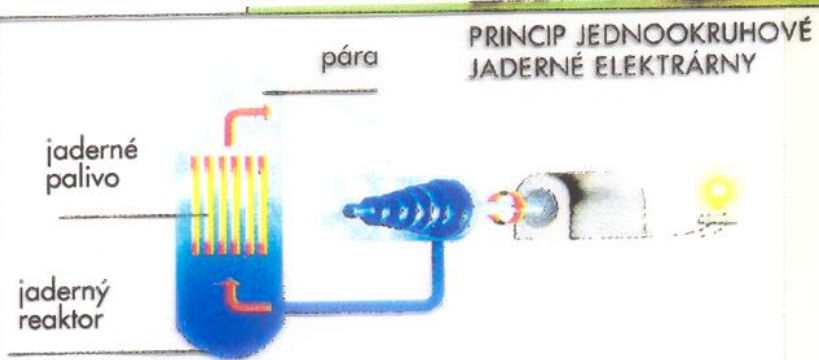
## The Boiling Water Reactor (BWR)



# Jaderná energetika

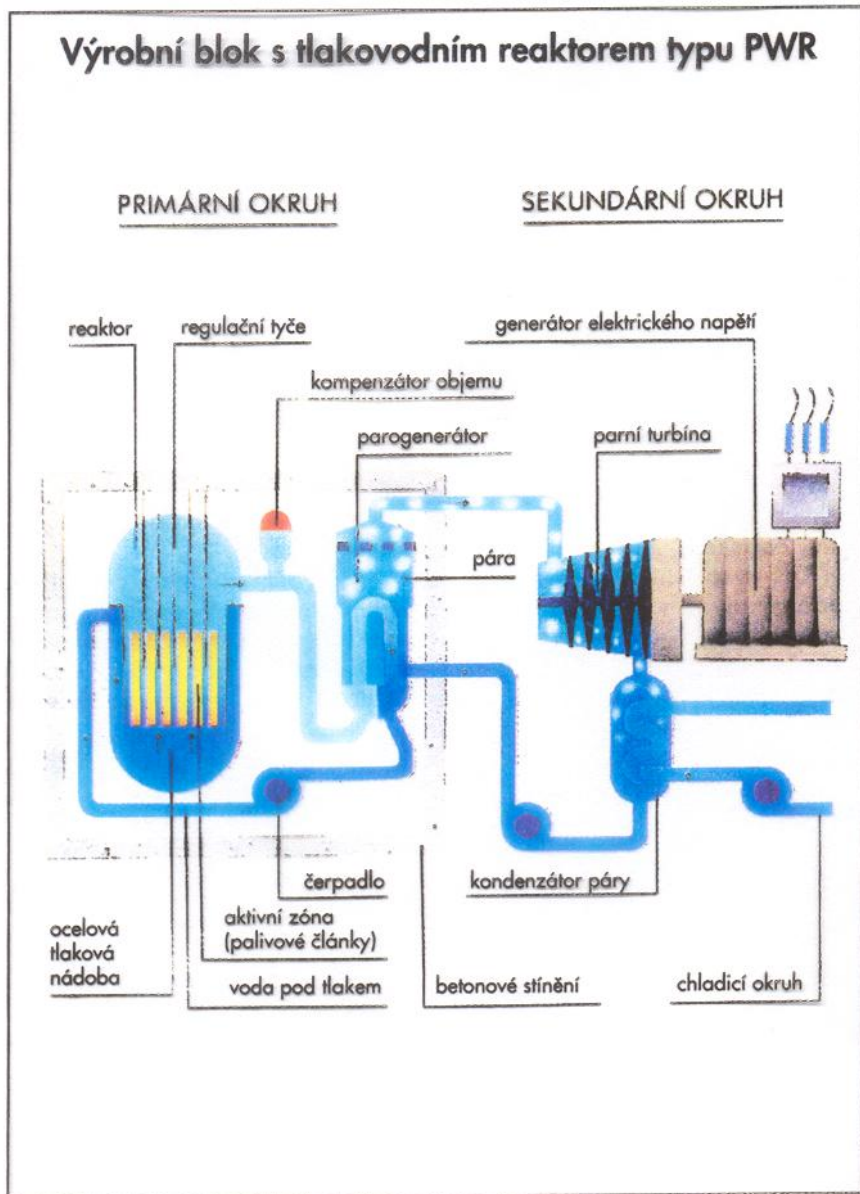


# Jaderná energetika

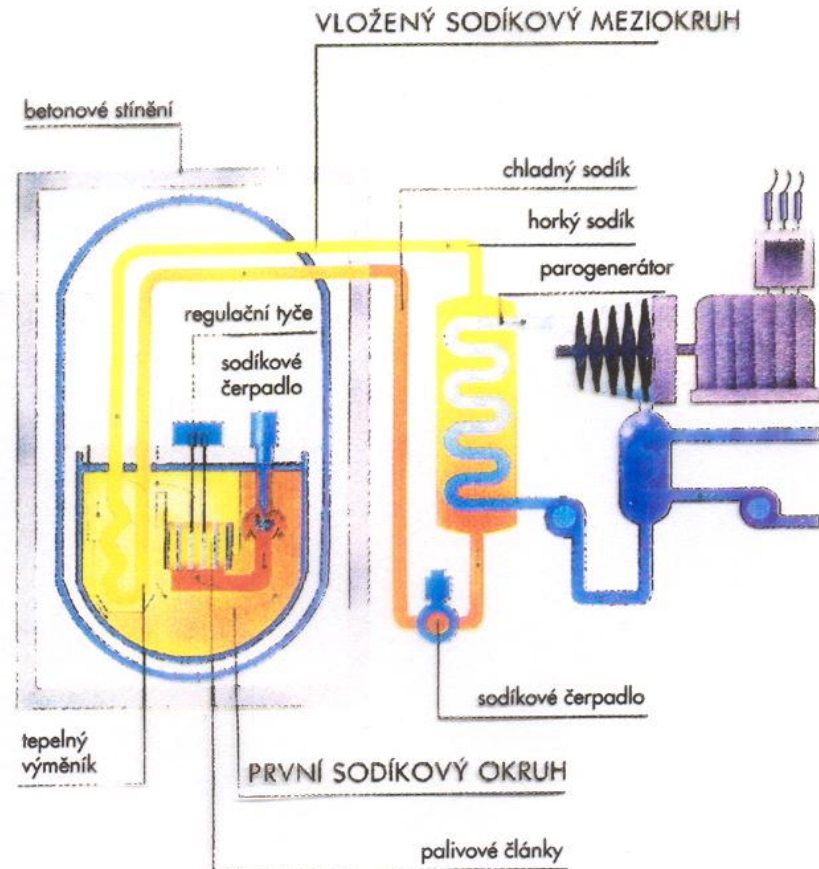




## Výrobní blok s tlakovodním reaktorem typu PWR

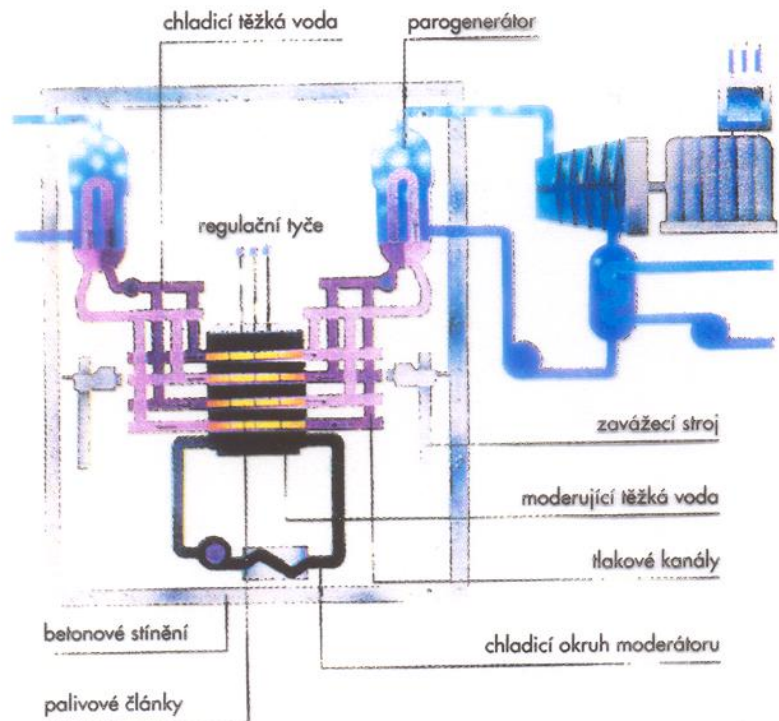


## Výrobní blok s rychlým množivým reaktorem typu FBR



# Jaderná energetika

## Výrobní blok s těžkovodním reaktorem typu Candu



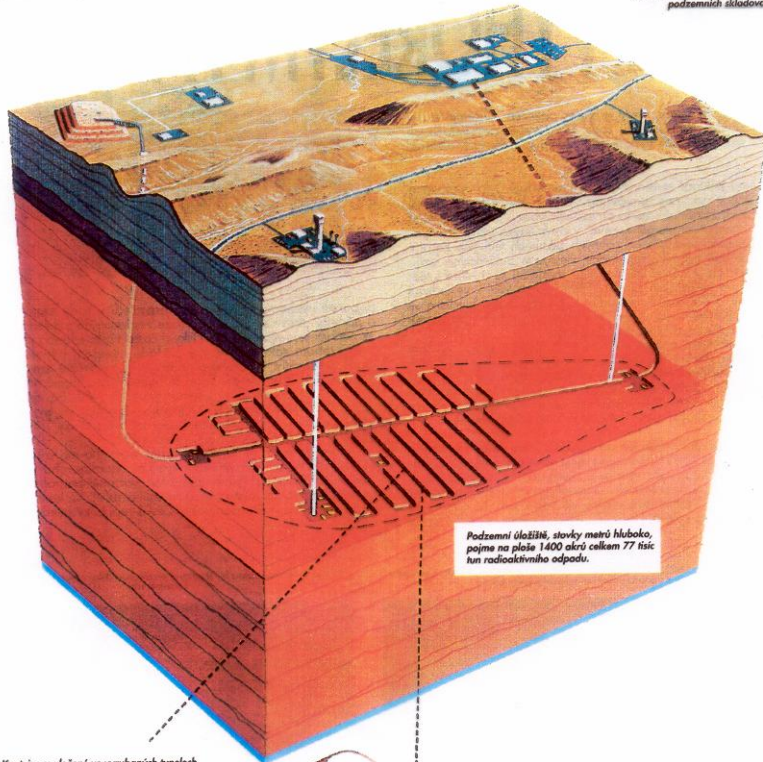
# Jaderná energetika



# Jaderná energetika

Vykřezaný vulkanický popel a prach bude uložen na povrchu. Po ukončení provozu s ním budou zasypány skladovací tunely.

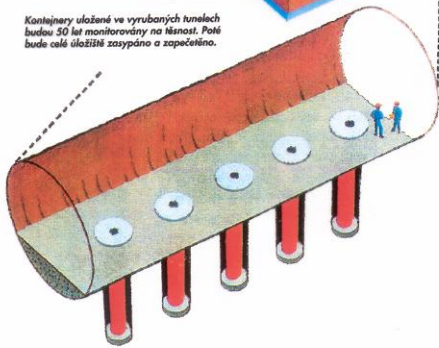
Radioaktivní odpad bude na místo přivezen po železnici nebo kamiony. V příjiznících budovách jej přemístí do ocelových nebo měděných kontejnerů a poté převezou do podzemních skladovacích prostor.



Podzemní úložišť, stovky metrů hluboko, pojme na ploše 1400 akřů celkem 77 tisíc tun radioaktivního odpadu.

Kontejnery uložené ve vybraných tunelech budou 50 let monitorovány na těsnost. Poté bude celé úložišť zasypáno a zapečetěno.

Připravované konečné úložišť vyhořelého paliva v nevoláském pohorí Yucca Mountains (USA). Se zahájením provozu se počítá po roce 2010.



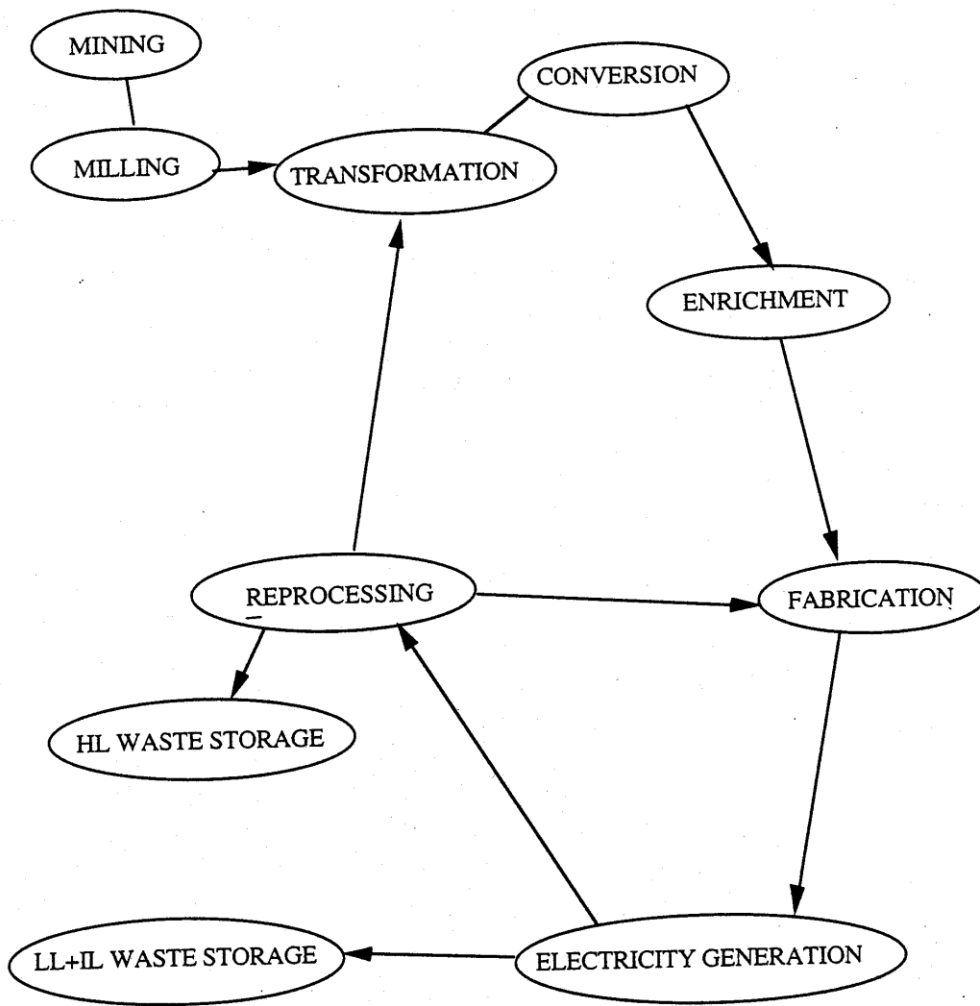
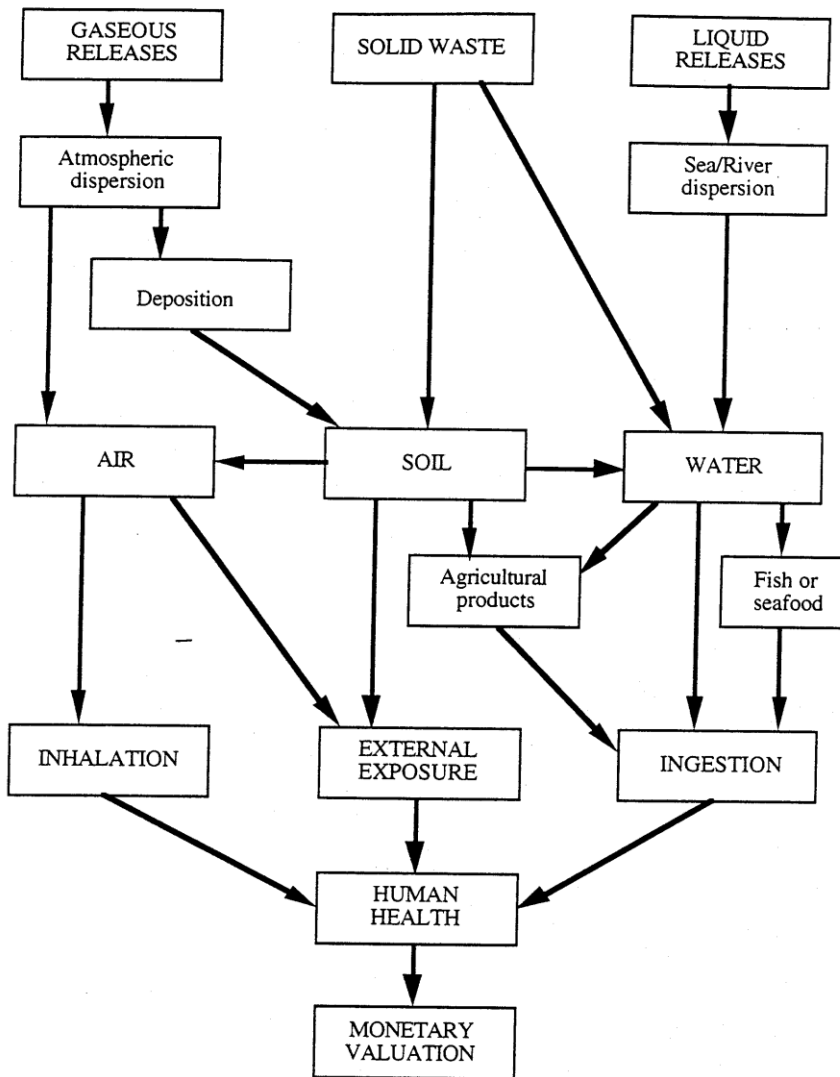
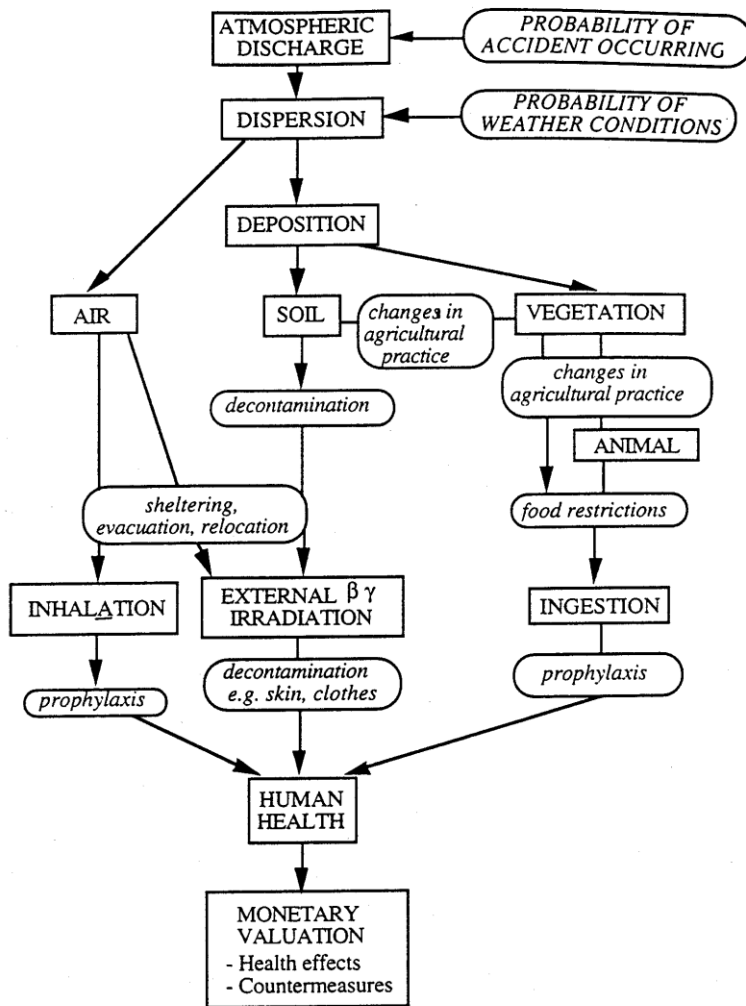


Figure 1. The nuclear fuel cycle

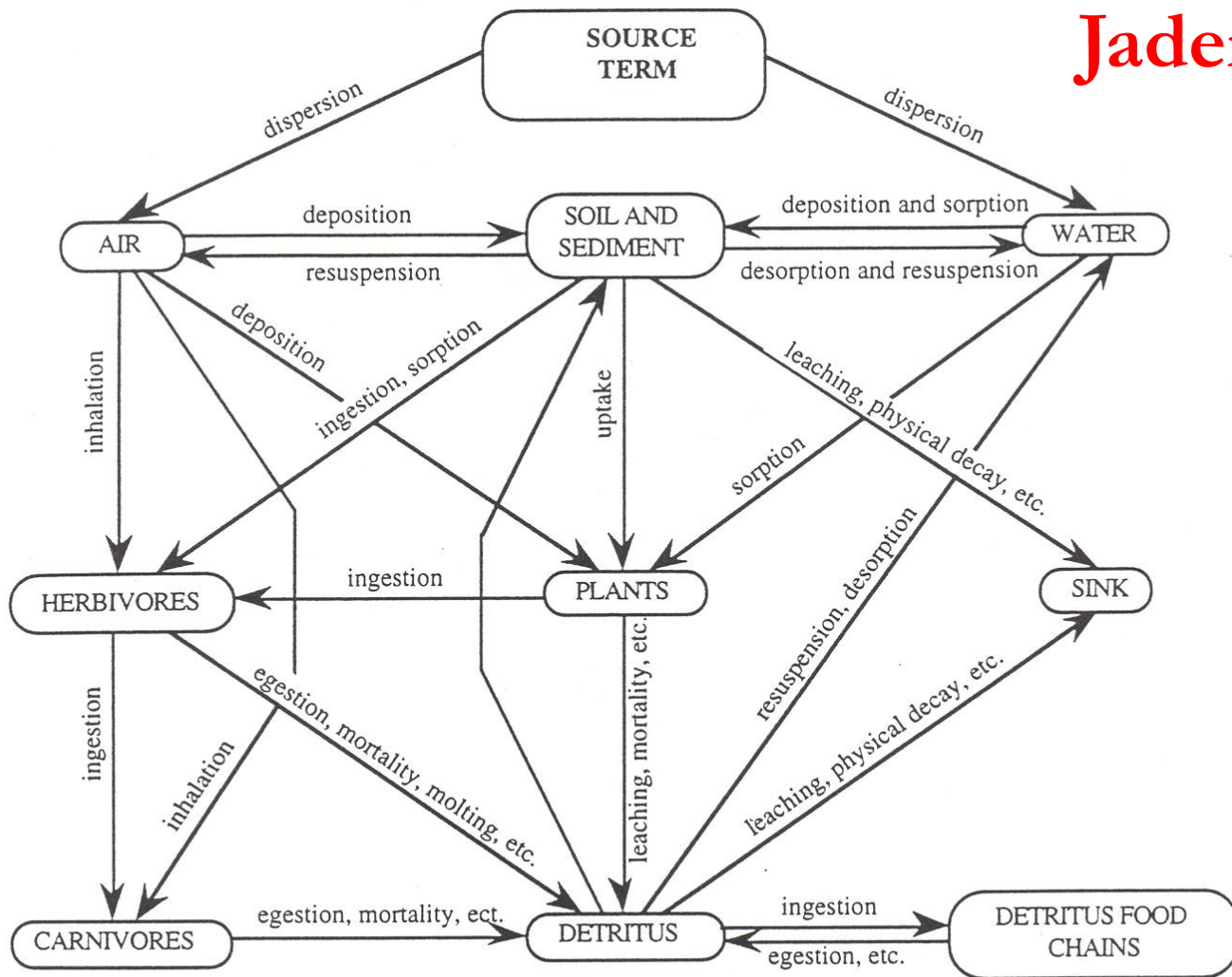


Impact pathways for the release of radioactivity in the environment





Pathways for a severe accidental release



Details of the transport processes of radio nuclides in ecosystems The boxes represent ecosystem components and the arrows represent the flow of materials.



# Jaderná energetika





# Jaderná energetika



Foto 8.2 Elektrická energie z uranu – Jaderná elektrárna Temelín



# Termonukleární syntéza



**Foto 8.3** TOKAMAK – příprava lidstva na energetické využívání termonukleární syntézy, pohled na budoucí umístění TOKAMAKu 500 MW v Cadarache, Francie



# Termonukleární syntéza

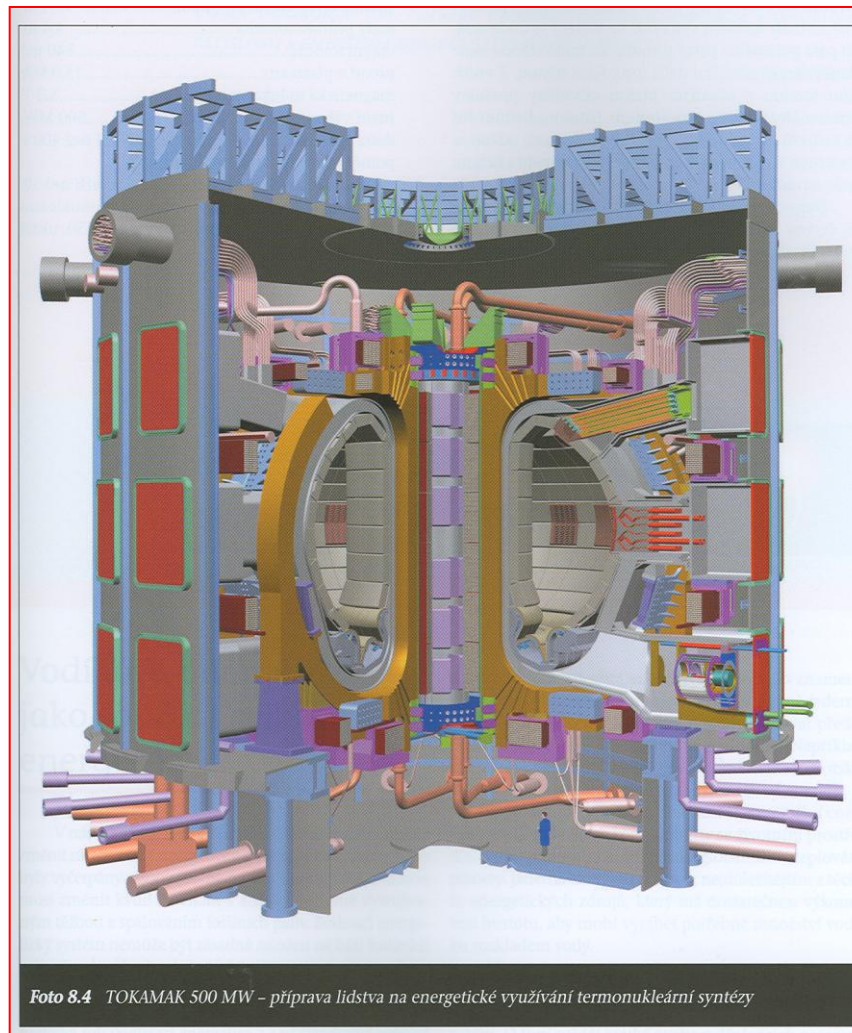
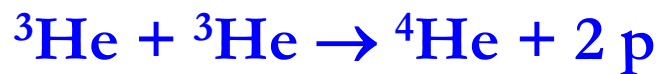
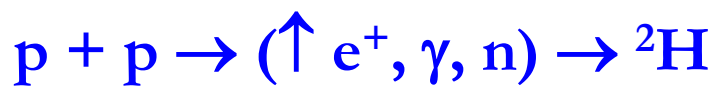


Foto 8.4 TOKAMAK 500 MW - příprava lidstva na energetické využívání termonukleární syntézy

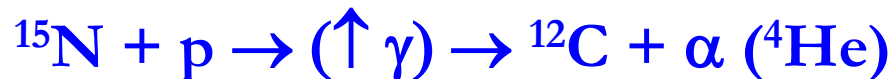
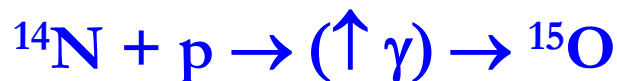
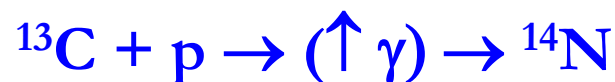


# Nukleární reakce

**p-p proces (hoření vodíku –  
10 milionů K):**

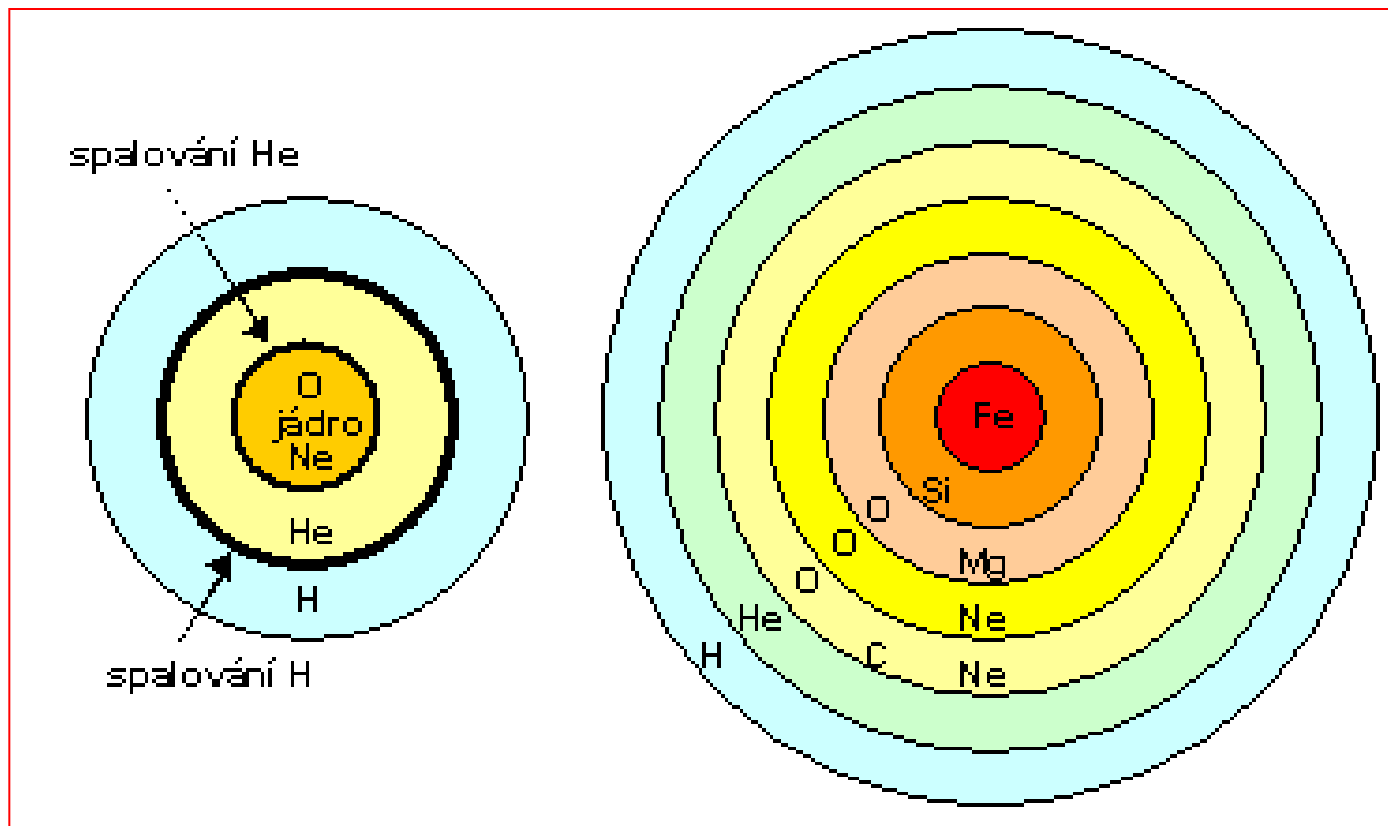


**CNO cyklus:**



# Těžké prvky

- ↪ pomalý záchyt neutronů – *s-proces* (slow)
- ↪ rychlý záchyt neutronů – *r-proces* (rapid) – následně  $b^-$  rozpad
- ↪ záchyt protonů – *p-proces*



# Předpokládaný příspěvek nových obnovitelných zdrojů E a jejich podíl na všech primárních energetických zdrojích

**Tabulka 2.4**

Předpokládaný příspěvek nových obnovitelných zdrojů energie (OZE) a jejich podíl na všech primárních energetických zdrojích (PEZ) v roce 2020 podle WEC 2000

Druh OZE	Minimum		Maximum	
	Mt <sub>oe</sub>	%	Mt <sub>oe</sub>	%
Biomasa	243	45	561	42
Solární energie	109	20	355	26
Jiné (vítr, geotermální, malé vodní elektrárny)	187	35	429	32
Celkem	539	100	1 345	100
Podíl ze všech PEZ (%)	3 až 4		8 až 12	



# Měrná produkce CO<sub>2</sub> při spalování různých paliv

Tabulka 4.10

Měrná produkce oxidu uhličitého při spalování různých paliv

Typ paliva	Výhřevnost (MJ/kg)	Měrná produkce CO <sub>2</sub> (kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /kg <sub>paliva</sub> )	Množství CO <sub>2</sub> vztažené na jednotku energie (kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /GJ)
Vodík plyný	120	0	0
Vodík kapalný	120	0	0
Uhlí černé	20 až 30	1,7 až 2,9	85 až 100
Uhlí hnědé	11 až 24	1,2 až 1,9	82 až 95
Zemní plyn	43 až 50	2,6 až 2,8	57 až 60
Ropa	40 až 45	3,0 až 3,2	72 až 77
Petrolej	40	3,1	77
Benzin	42	3,0	71
Nafta	39	3,2	82
Bionafta	39	3,2	82
Etanol	30	2,9	97
Dřevěné uhlí	25 až 30	2,0	71 až 75
Dřevo	10 až 20	1,0 až 1,8	90 až 95



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Inovace tohoto předmětu je spolufinancována  
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem  
České republiky**