

# Zelená chemie

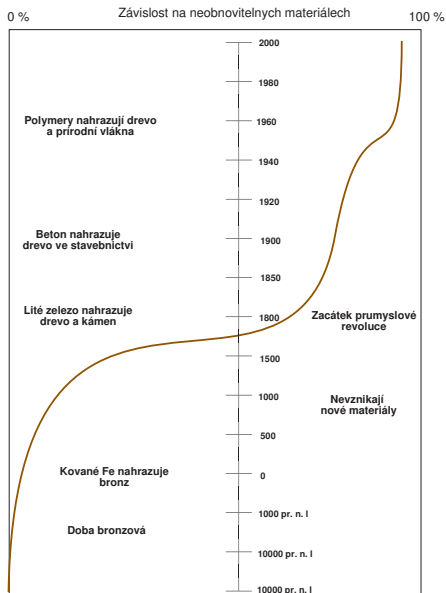
Obnovitelné a neobnovitelné zdroje surovin a energie

Jaromír Literák



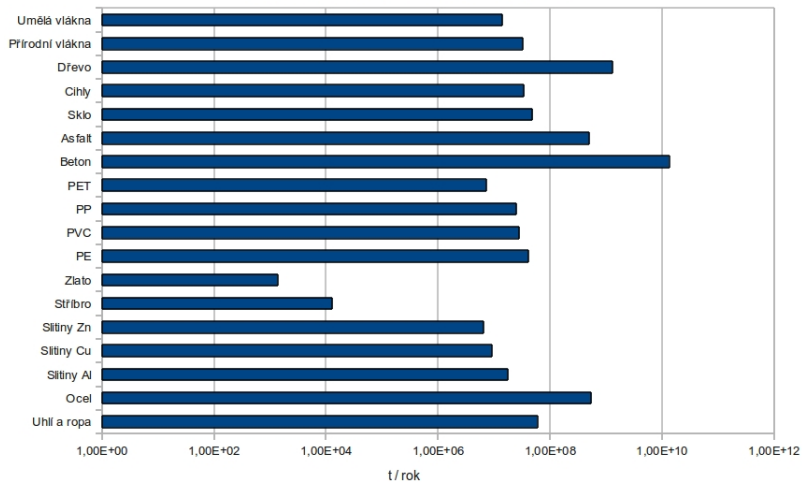
- Těžba surovin může představovat značnou část zátěže spojené s výrobou určitého produktu (petrochemie × farmacie).
- Suroviny a výchozí látky pocházející z obnovitelných nebo neobnovitelných (omezených) zdrojů.
- Kritériem je čas potřebný pro obnovu zdroje.
- *Obnovitelnost zdroje surovin nebo energie není jen otázkou environmentální, má také ekonomické a bezpečnostní souvislosti!*

# Distribuce produkce materiálů



# Historie užívání materiálů

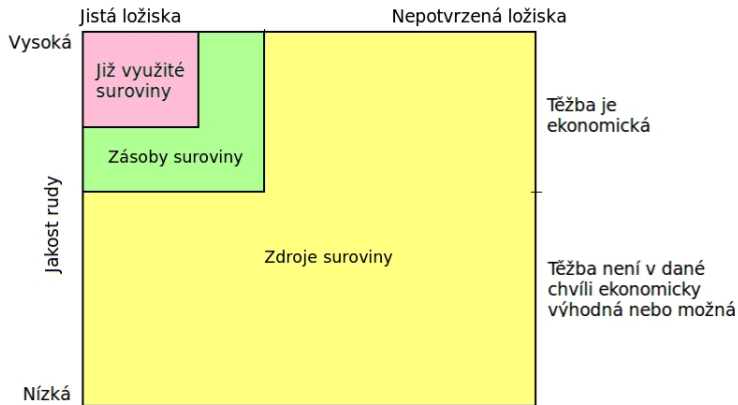
Roční celosvětová produkce materiálů



- V posledních několika staletích se lidstvo stalo **závislé** na neobnovitelných zdrojích surovin a energie.
- Při dostatku suroviny pocházející z omezeného zdroje odpovídá cena suroviny nákladům na její získání.
- Zdroje surovin jsou nerovnoměrně rozděleny.
- Závislost na určité surovině spojená s cizí kontrolou jejího zdroje vede ke zranitelnosti.

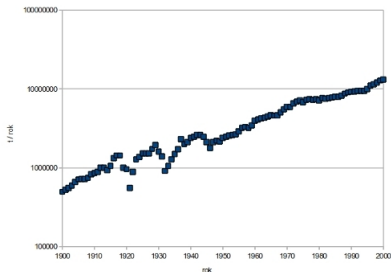
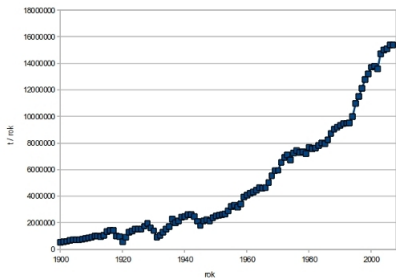
- **Zdroj suroviny** (resource) – množství suroviny, která byla již nalezena nebo která může být nalezena v budoucnu (odhad na základě extrapolace).
- **Zásoba suroviny** (reserve) – část známých ložisek, které jsou v danou chvíli dostupné a mohou být těženy.
- Změny velikosti zásob mohou být způsobeny:
  - Změnou ceny suroviny na trhu – s rostoucí cenou se vyplatí těžit i méně kvalitní rudu (ložiska) a naopak.
  - Zlepšení technologie těžby.
  - Náklady spojené s těžbou (ceny energií, práce...).
  - Legislativa.
  - Těžba a objevování nových ložisek.

# Zásoby a zdroje surovin, index spotřeby



# Zásoby a zdroje surovin, index spotřeby

- Produkce surovin **kolísá v čase**, v delším časovém intervalu však **dochází k růstu**, často exponenciálnímu.
- Světová produkce mědi:





- **Statický index spotřeby**

$$t_{ex,d} = \frac{R}{P}$$

kde  $R$  je velikost zásob,  $P$  je velikost roční spotřeby.

- **Růst produkce v čase**

$$\frac{dP}{dt} = \frac{r}{100} P$$

kde  $r$  je roční růst produkce v %.

$$\frac{dP}{P} = \frac{r}{100} dt$$

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = \int_{t_0}^t \frac{r}{100} dt$$

$$\ln \left( \frac{P}{P_0} \right) = \frac{r}{100} (t - t_0)$$

$$P = P_0 \exp \left( \frac{r}{100} (t - t_0) \right)$$

Množství suroviny vyprodukované:

$$Q = \int_{t_0}^t P dt = \int_{t_0}^t P_0 \exp \left( \frac{r}{100} (t - t_0) \right) dt =$$
$$\frac{100}{r} P_0 \left\{ \exp \left( \frac{r}{100} (t - t_0) \right) - 1 \right\}$$

- **Dynamický index spotřeby**

V okamžiku vyčerpání suroviny platí

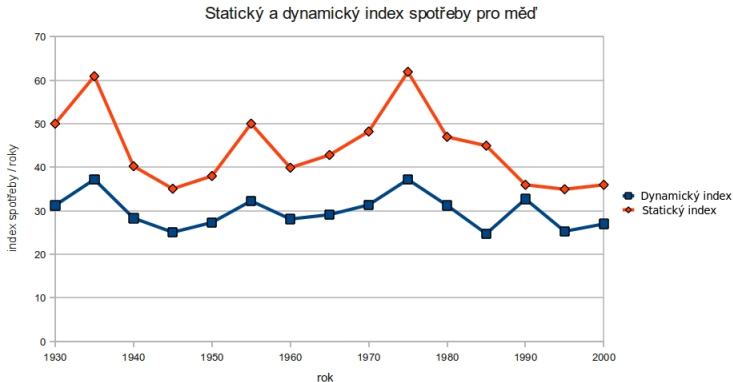
$$R = Q$$

odtud odvodíme dynamický index spotřeby:

$$t_{ex,d} = (t - t_0) = \frac{100}{r} \ln \left( \frac{r R}{100 P_0} + 1 \right)$$

# Zásoby a zdroje surovin, index spotřeby

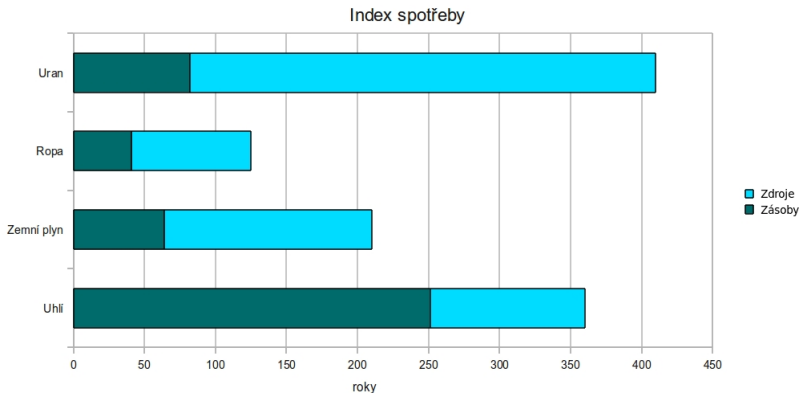
- Indexy spotřeby se mohou v čase měnit.
- Mají význam bezpečného období, kdy nedojde k vyčerpání zásob suroviny.
- Pro měď je od roku 1930:



## Zastoupení prvků v zemské kůře

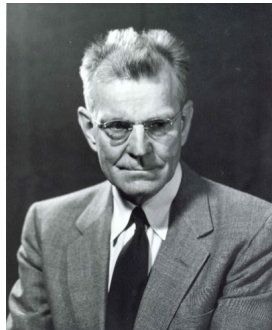
prvek	zastoupení / %
Kyslík	46,7
Křemík	27,7
Hliník	8,1
Železo	5,1
Vápník	3,6
Sodík	2,8
Draslík	2,6
Hořčík	2,1
Titan	0,6
Vodík	0,14
Fosfor	0,13
Uhlík	0,09
Ostatní	<1

# Zásoby a zdroje surovin, index spotřeby

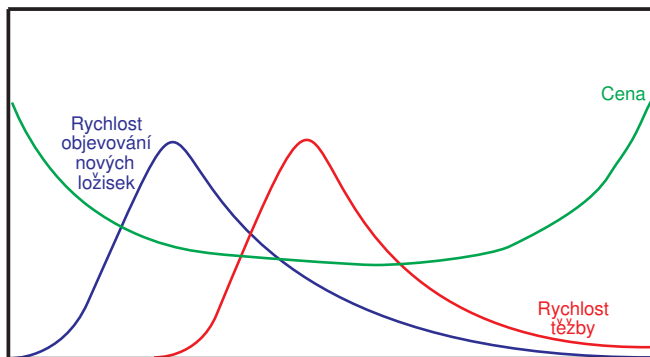


## **Marion King Hubbert** (1903–1989)

odvodil časový průběh množství vyprodukované ropy, závislost je do značné míry podobná Gaussově křivce (platí to na úrovni naleziště, státu, regionu, celého světa). V roce 1956 Hubbert předpověděl okamžik **ropného zlomu** (peak oil) pro USA na přelom 60. a 70. let (nastal v roce 1971). Celo-světový ropný zlom předpověděl na období 1995–2000.

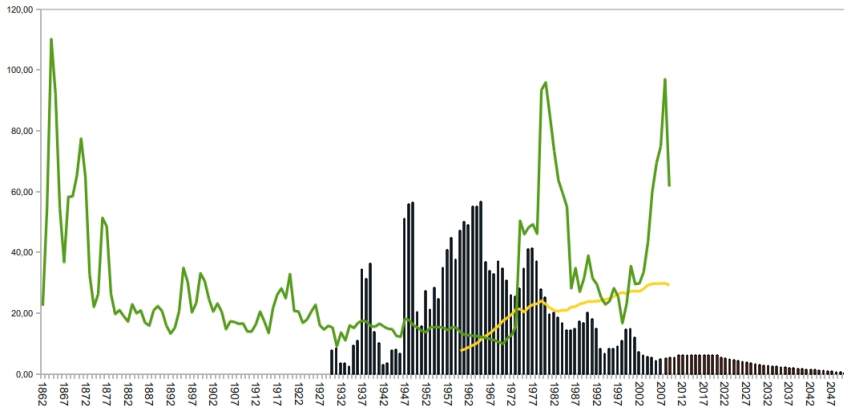


# Zásoby a zdroje surovin, index spotřeba





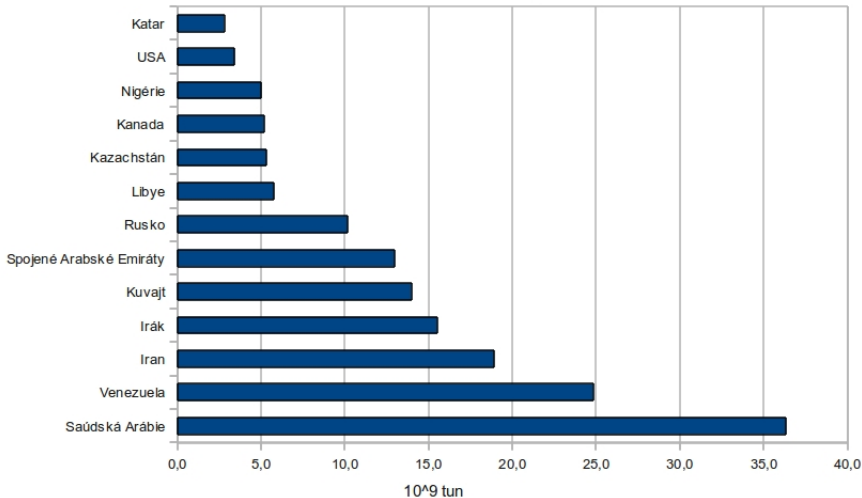
## Reálný vývoj produkce ropy, zásob a její ceny



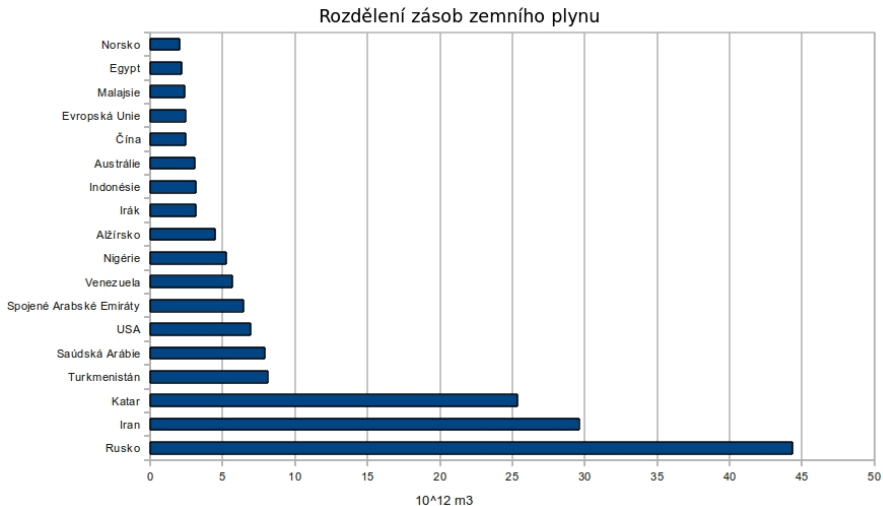
- Hubbertova křivka byla již mnohokrát potvrzena.
- Okamžik zlomu v produkci určité suroviny lze odhalit jen **zpětnou analýzou**.
- Produkce mnoha kovů již prošla zlomem, např. stříbro v roce 1990. Poptávku po stříbře však nezastavuje ani rostoucí cena.
- Ropný zlom je předpovídán v období 2015–2035.
- Zlom v produkci zemního plynu nastane přibližně 20 let po ropném zlomu.
- Nebezpečí kombinace ropného zlomu, stárnutí populace a klimatických změn.

# Světové rozdělení zásob ropy

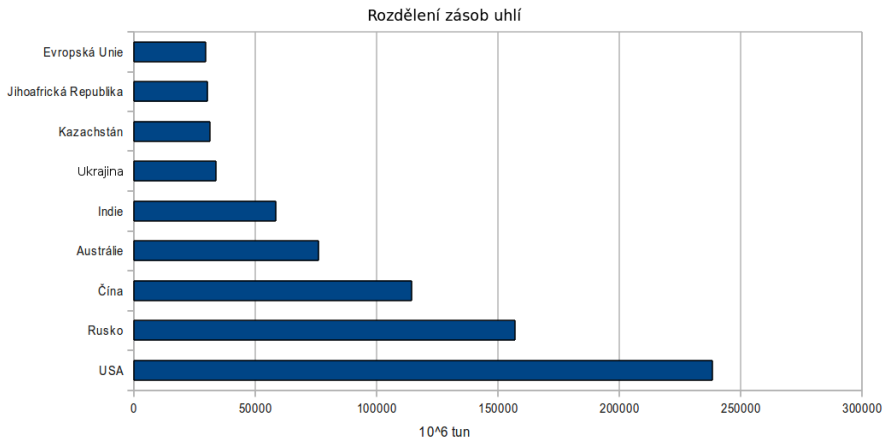
Rozdělení zásob ropy



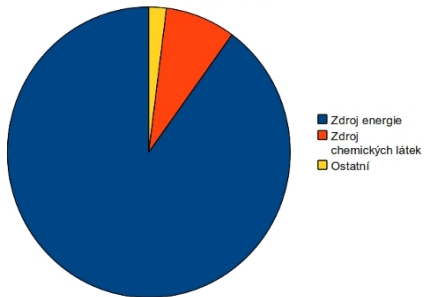
# Světové rozdělení zásob zemního plynu



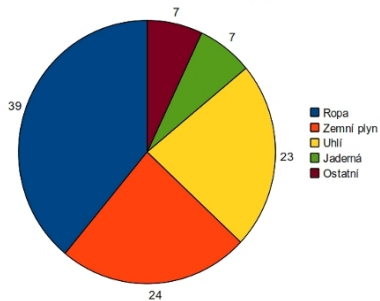
# Světové rozdělení zásob uhlí



Způsob využití ropy



Rozdělení světové produkce energie podle zdroje



## Srovnání výhřevnosti různých paliv

Palivo	MJ/l	MJ/kg
Lignit	–	18–22
Antracit	–	30–34
Ropa	38	44
Diesel	38	44
Benzín	35	45
Kerosin	35	43,8
Ethanol	23	31
Kapalný zemní plyn	25	55
Biomasa	–	14–17

- Zdroj paliv s velice příznivými vlastnostmi. **Zdroj levné energie.**  
Fyzicky pracující člověk má výkon asi 100 W, při hodinové mzdě 50 Kč je cena 1 kWh 500 Kč. Benzín který uvolní stejné množství energie, stojí asi 3 Kč.
- Zdroj výchozích surovin téměř všech organických technologií a procesů.
- Těžba ropy byla zahájena 27. srpna 1859 v Titusville, Pa, USA.
- Do 50. let 20. století byly Spojené státy největším světovým producentem ropy.
- Těžba ropy má několik fází, výtěžnost celkově obvykle nepřesahuje 40 % přítomné ropy.



- Existuje jen mizivá naděje na nalezení velkých ložisek snadno dostupné ropy.
- Průzkum a těžba na mořském dně je velmi nákladná.
- 80 % v současné době těžené ropy pochází z nalezišť objevených před rokem 1973.
- Nedochází k velkým investicím do rozšiřování kapacit ropného průmyslu. V současnosti je využito 95–99 % jeho kapacit.
- Změna technologií si vyžádá minimálně deset let, za ropu není v současné době náhrada.
- Nejistota ohledně skutečné velikosti ropných zásob.

# Konvenční ropa

Současná celosvětová spotřeba ropy je 84 milionů barelů za den, meziročně roste o asi 1,7 %.

**Konvenční ropa** je ropa získaná primárně z ropné studny. Světové zásoby konvenční ropy se odhadují na **1000–2000 miliard barelů**.



# Nekonvenční ropa

**Nekonvenční ropa** je ropa vyrobená z jiných zdrojů:

- Uhlí a zemní plyn.
- **Ropné písky** (tar sands, oil sands); obsahují ekvivalent **1000 miliard barelů** konvenční ropy. (naleziště Kanada, Venezuela).
- **Tmavé břidlice** (oil shales); obsahují ekvivalent až **3000 miliard barelů** konvenční ropy.

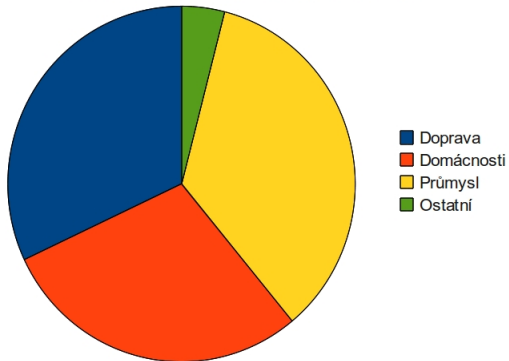


# ERoEI – Energy Returned on Energy Invested

Zdroj energie	Hodnota ERoEI
Ropa v počátcích těžby	100
Ropa v Texasu kolem roku 1930	60
Ropa na Blízkém východě v současnosti	30
Ropa mimo Blízký východ	10–35
Zemní plyn	20
Kvalitní uhlí	10–20
Nekvalitní uhlí	4–10
Vodní elektrárny	10–40
Větrné energie	5–10
Solární energie	2–5
Jaderná energie	4–5
Ropné písky	max. 3
Tmavé břidlice	max. 1,5
Biopaliva produkovaná v Evropě	0,9–4

# Rozdělení spotřeby energie podle odvětví

Rozdělení spotřeby energie podle odvětví



## Základem jsou také konečné zdroje:

- Slunce
- Gravitace Měsíce
- Jaderné štěpení v zemské kůře

**Vítr**, nedostatkem je nízká hustota energie ( $2 \text{ W/m}^2$ ).

**Sluneční záření**, v našich podmínkách hustota energie až  $50 \text{ W/m}^2$ . Způsob zachycení:

- Termální energie, účinnost až 50 %, málo hodnotná forma energie.
- Fotovoltaika, účinnost až 10–35 %.
- Růst biomasy, účinnost max. 1 %.

**Vodní energie**, hustota energie asi  $0,2 \text{ W/m}^2$ .

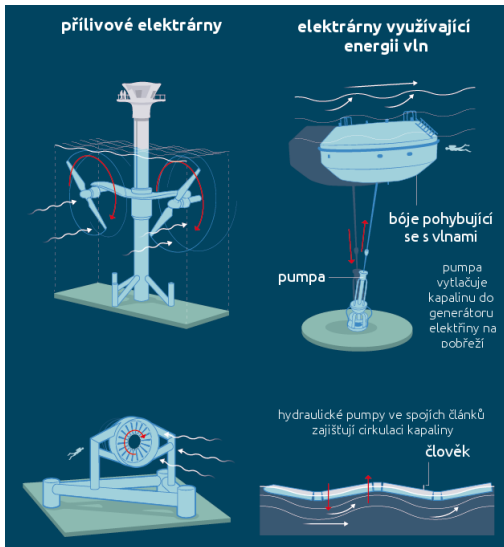
**Energie vln**, relativně vysoká hustota energie, až  $40 \text{ kW/m}$ , účinnost záchytu asi 30 %.

**Energie přílivu**, hustota energie asi  $3 \text{ W/m}^2$ .

Energie vln a přílivu by teoreticky pokryla současnou celosvětovou produkci energie. Problémem je však životnost zařízení vystaveného proudění mořské vody.

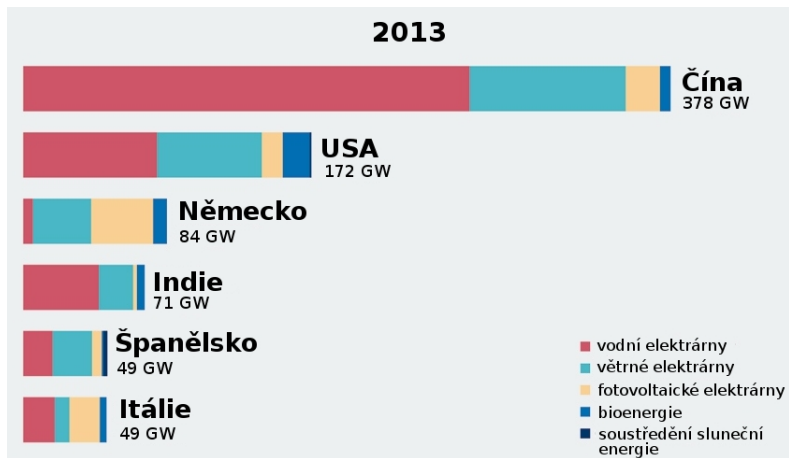
**Geotermální energie**, pro výrobu elektřiny je potřeba pára o teplotě  $200^\circ\text{C}$ , teplota v hloubce 10 km.

# Elektrárny využívající energie přílivu a mořských vln





# Využití obnovitelných zdrojů energie v roce 2013



- Navržena 1970.
- Alternativa k současné ekonomice založené na uhlovodících.
- Výhřevnost vodíku 119,55 MJ/kg
- **Vodík je nosičem energie!**
- V současné době získáván z 96 % **parním reformováním uhlovodíků.**



- Vodík je také vedlejším produktem **reformování uhlovodíků.**

## Metody výroby vodíku z udržitelných zdrojů:

- Biologická produkce vodíku: fermentace biologických odpadů, fotosyntéza řas.
- Elektrolýza vody.
- Fotoelektrochemické články („umělá fotosyntéza“, také spojená s redukcí  $\text{CO}_2$  na CO, vzniká syntézní plyn).
- Tepelný katalytický rozklad vody sluneční energií (800–1200 °C). Hydrasol II.

## Nevýhody vodíkové ekonomiky

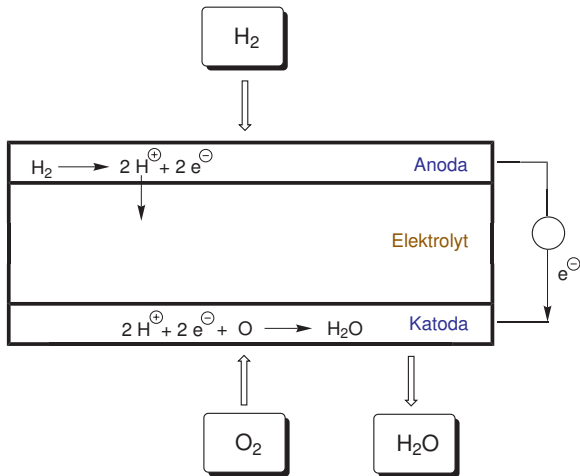
- Obtížná doprava a skladovatelnost.
  - Snadná difúze vodíku všemi materiály.
  - Křehnutí oceli.
  - Nesnadná zkapalnitelnost.

- Potřeba vybudování nové infrastruktury.
- Vysoké nároky na bezpečné zacházení.
- Možným řešením může být distribuovaná produkce vodíku reformováním methanolu.
- Skladování ve formě hydridu.
- Sorpce vodíku na porézní materiály.

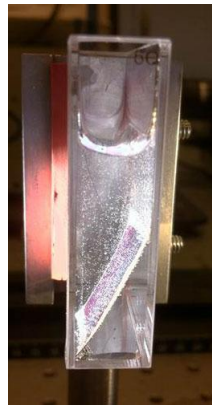
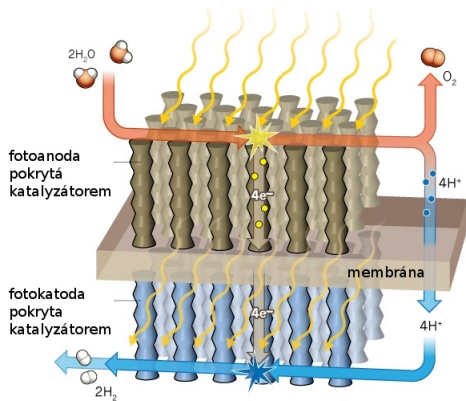
## Využití vodíku

- Spalování vodíku ve spalovacích motorech a turbínách.
- Vyšší účinnost převodu energie vykazují dražší palivové články.

# Vodíkový palivový článek



# Umělý list



Zatím chybí zařízení, které je současně levné, účinné a odolné.

- Připravován ze syntézního plynu.



- Zpětná reakce zdrojem vodíku (syntézního plynu).
- Surovina pro výrobu uhlovodíků (MTG proces, Mobil).
- Vysoké oktanové číslo, nízké cetanové číslo (spíše jako součást biodieselu).
- Palivo pro palivové články.
- Nízká výhřevnost (15,6 MJ/l).
- Potřeba vybudovat novou infrastrukturu pro jeho dopravu.
- Korozivní vlastnosti, relativní toxicita.
- Ethanolová ekonomika. . .