

Základy energetiky

Studijní materiály inovované o problematiku ekoinovací vytvořené v rámci řešení projektu: Inovace a rozvoj výuky ekoinovací v bakalářských oborech akreditovaných na FTOP VŠCHT Praha

Vyučující
Luděk Jelínek

Seznam přednášek

1. Úvod – zdroje a přeměny energie
2. Solární větrná a vodní energie
3. Voda a vodní pára – termodynamika
4. Klasická energetika I – kotle, parogenerátory, turbíny
5. Klasická energetika II – snižování dopadů na životní prostředí
6. Jaderná energetika
7. Chlazení
8. Předúprava vody
9. Ionexové technologie v úpravě vody
10. Membránové technologie v úpravě vody
11. Voda jako teplotnosné médium
12. Koroze v energetice

1. Úvod – zdroje a přeměny energie

Základy energetiky

Vyučující

Luděk Jelínek

Co vás čeká?

- Přednášky nejsou povinné
- Součástí předmětu jsou **cvičení**
- Podmínkou pro připuštění ke zkoušce je **zápočet!**

Pozn. Pro cvičení je nutná kalkulačka

Sylabus předmětu

1. Energetika, druhy a zdroje energie, **principy přeměny energie**, OZE
2. První věta termodynamická, **teplo a práce**.
3. Druhá věta termodynamická, **Carnotův cyklus**.
4. Obrácený Carnotův cyklus, **chlazení, tepelná čerpadla**.
5. Stavy vody a vodní páry, výpočty, diagramy vody a vodní páry PT, **PV, TS, HS**.
6. **Clausius-Rankinův cyklus**, schéma, **termická a termodynamická účinnost**
7. **Výroba páry, kotle, parní generátory**, dodatkové výhřevné plochy.

Sylabus předmětu

8. Energetická zařízení, **klasická elektrárna, jaderná elektrárna, kombinovaný cyklus.**
9. **Chladicí okruhy v energetice** a chemickém průmyslu, druhy okruhů, ztráty
10. **Úprava vody pro energetiku a průmyslové účely, filtrace, čiření, deionizace, demineralizace.**
11. **Kondicionace vody pro PG, úprava chladicí vody.**
12. **Ionexové a membránové technologie při úpravě vody, ionexy, reverzní osmóza, nanofiltrace.**
13. **Koroze a protikorozní ochrana energetických zařízení.**
14. **Energetika-ekonomie-ekologie. Ekologické dopady energetických výrob a jejich minimalizace.**

Skripta

- **Energetika**

Vošta Jan, Macák Jan, Matějka Zdeněk

1. vydání, 1999 (2007 dotisk)

243 Kč

ISBN 978-80-7080-358-5

- **Energetika - návody k výpočtům**

Macák Jan

1. vydání, 2001 (2007 dotisk)

138 Kč

ISBN 978-80-7080-464-3

Chemie v energetice

- Zpracování paliv (fosilní, jaderná, biomasa)
- **Spalování**
- **Štěpné reakce** - transmutace
- **Odsíření spalin**
- Nakládání s odpady
- **Úprava vody**
- Materiálové inženýrství
- **Koroze**



Zdroj obrázku: Microsoft.com

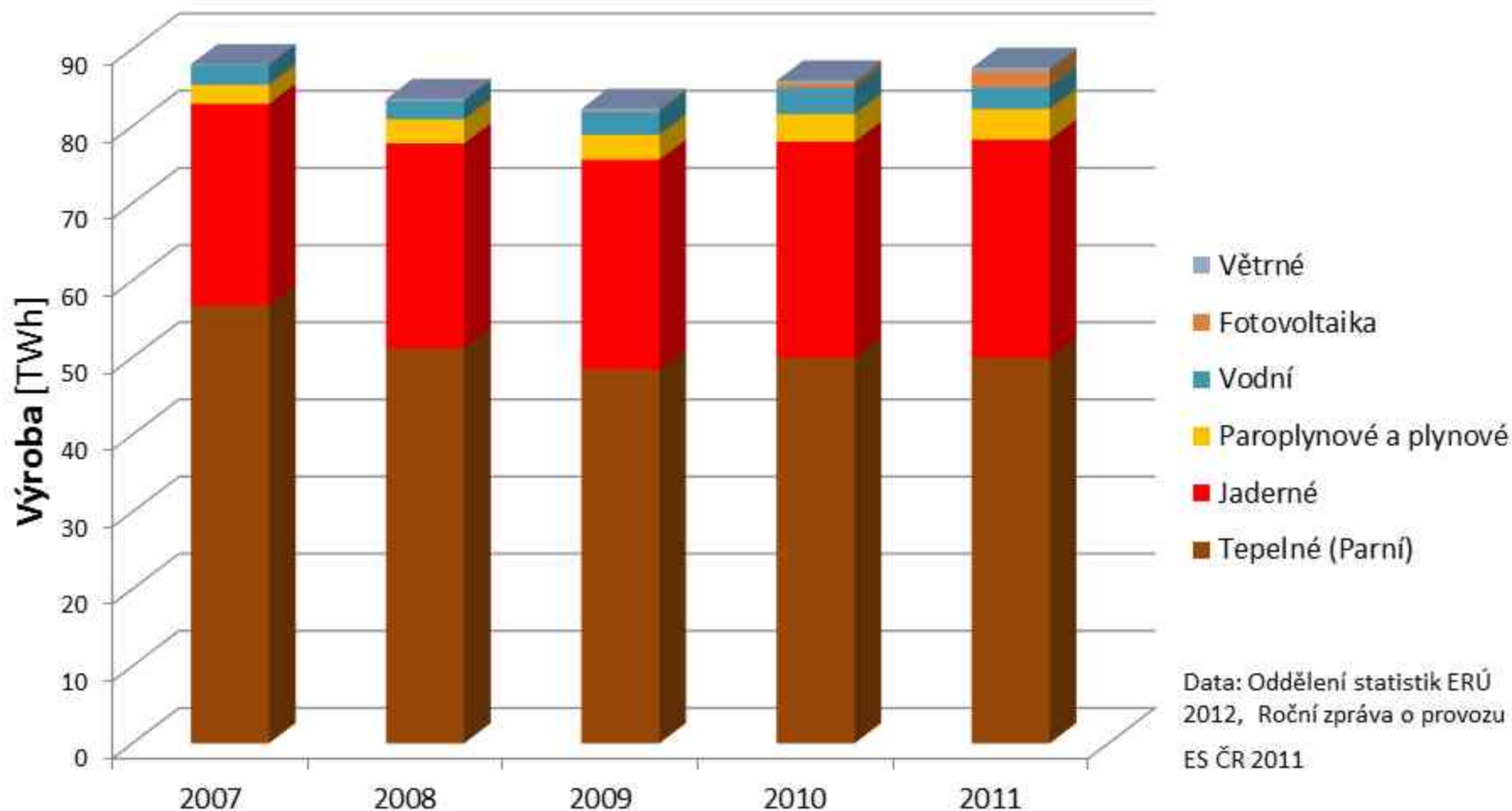
Elektroenergetika

- Distribuční a přenosová soustava
 - Efektivní hodnoty a výkon

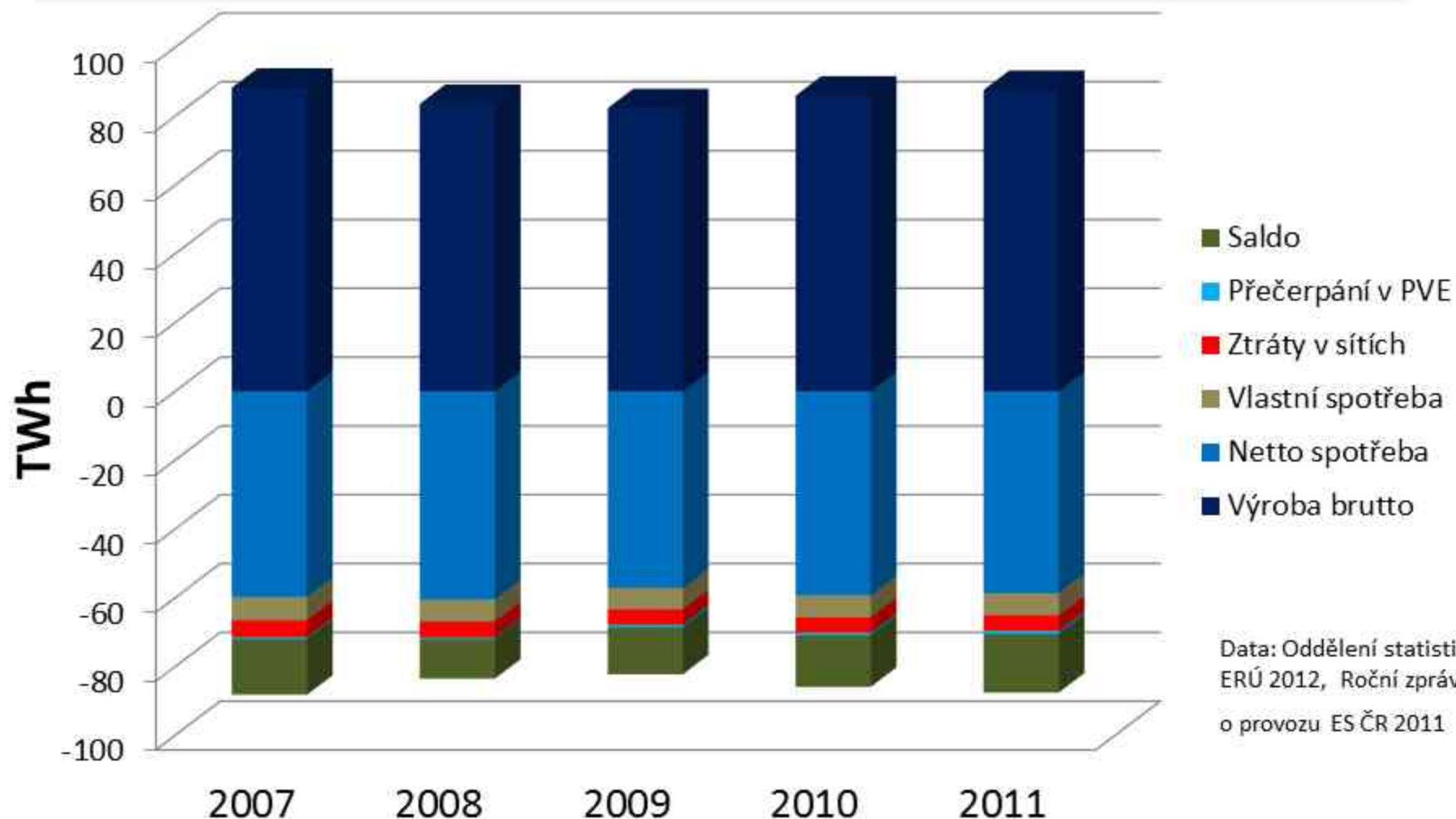
Energetika

- Energetika se dělí na mnoho odvětví, například dle zákona č. 458/2000 Sb. (Energetického zákona) na :
 - Elektroenergetiku
 - Plynárenství
 - Teplárenství
- Pro účely tohoto předmětu se energetikou rozumí **elektroenergetika**
- Problematika teplárenství bude zvlášť zmíněna v některých případech (horkovody, teplárenský kondenzát) a problematika plynárenství pak pouze okrajově v části věnované paroplynovému cyklu

Výroba elektrické energie



Bilance výroby



Data: Oddělení statistik
ERÚ 2012, Roční zpráva
o provozu ES ČR 2011

Pojmy přenosová a distribuční soustava

- „ ... **přenosovou soustavou** vzájemně propojený soubor vedení a zařízení **400 kV, 220 kV** a vybraných vedení a zařízení 110 kV, uvedených v příloze Pravidel provozování přenosové soustavy, sloužící pro zajištění přenosu elektřiny **pro celé území České republiky a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států ...**“
- „.... **distribuční soustavou** vzájemně propojený soubor vedení a zařízení o napětí **110 kV**, s výjimkou vybraných vedení a zařízení o napětí 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy, a vedení a zařízení o napětí **0,4/0,23 kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV** nebo **35 kV** sloužící k **zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území České republiky**“

Citace: Zákon č. 458/2000 Sb. (Energetický zákon)

Přenosová soustava ČR

Zdroj obrázku: www.ceps.cz
ČEPS, a.s., 2011 (oříznuto)



Efektivní hodnoty střídavého napětí a proudu

Kvadratický průměr
(Root Mean Square)

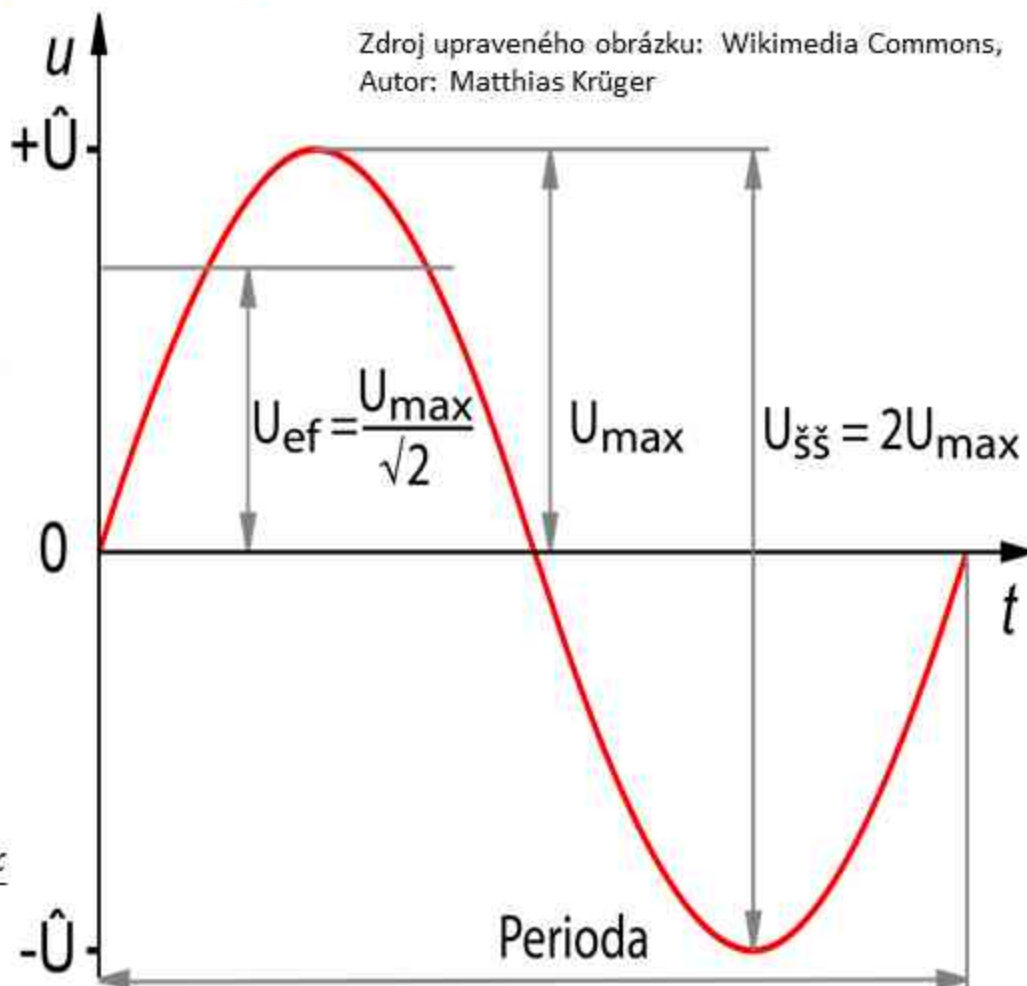
$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

Pro spojitou funkci – sinusoidu –
(např. střídavý I, U) kvadratický
průměr odpovídá efektivní
hodnotě:

$$I_{RMS} = I_{ef} = I_{max} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(t) dt}$$



$$I_{ef} = I_{max} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\pi - \frac{\sin 2\pi}{2} \right)} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$



Výkon střídavého proudu

$$i = I_{\max} \cos(\omega t),$$

$$u = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi)$$

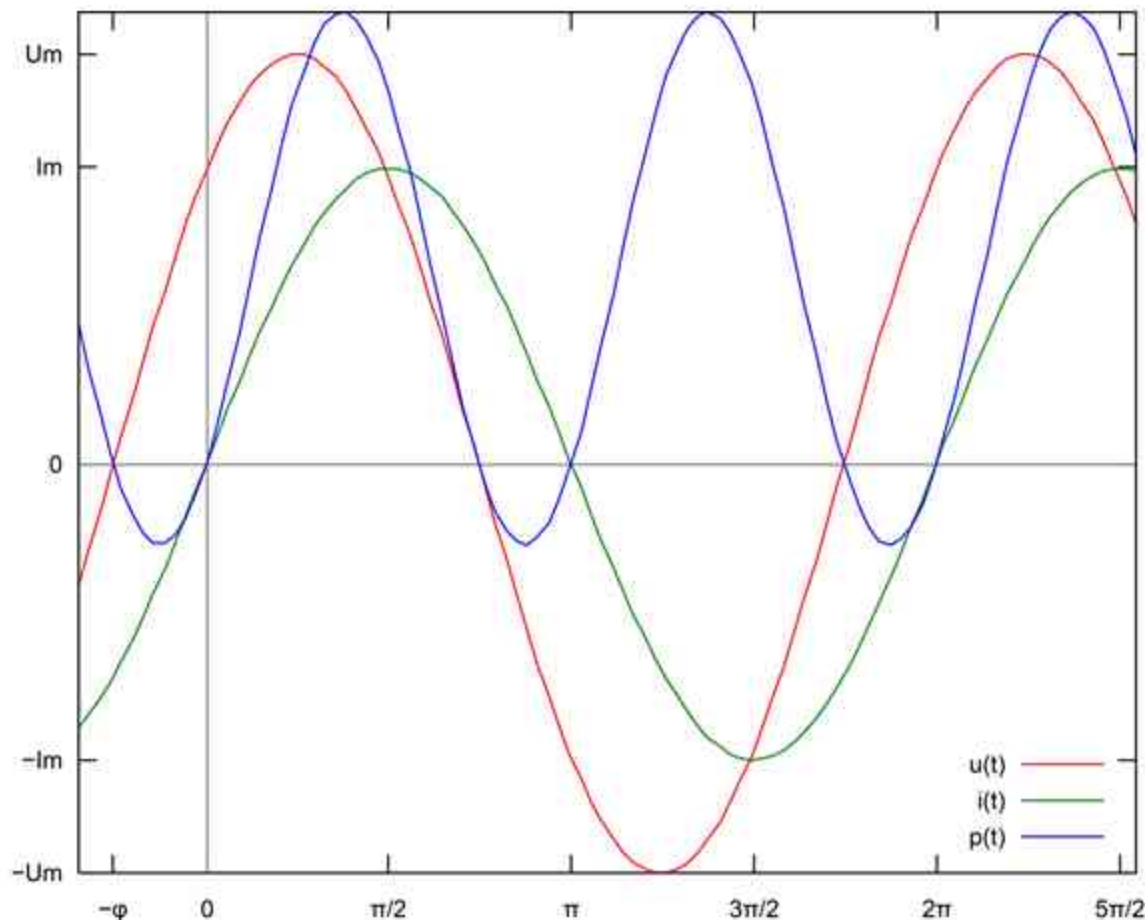
Okamžitý výkon p

$$p = u \cdot i$$

Skutečný výkon

$$P = U_{\text{ef}} I_{\text{ef}} \cos(\varphi)$$

Zdroj obrázku: Wikimedia Commons, Autor: Petr Kadlec, $\varphi = 1,1$



Jalový a zdánlivý výkon

Jalový výkon

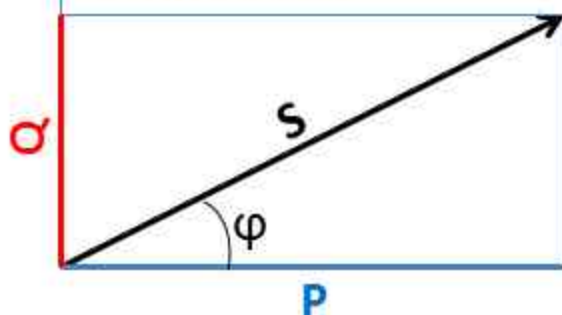
$$Q = U_{ef} I_{ef} \sin(\varphi)$$

je dán kapacitou a indukčností
obvodů

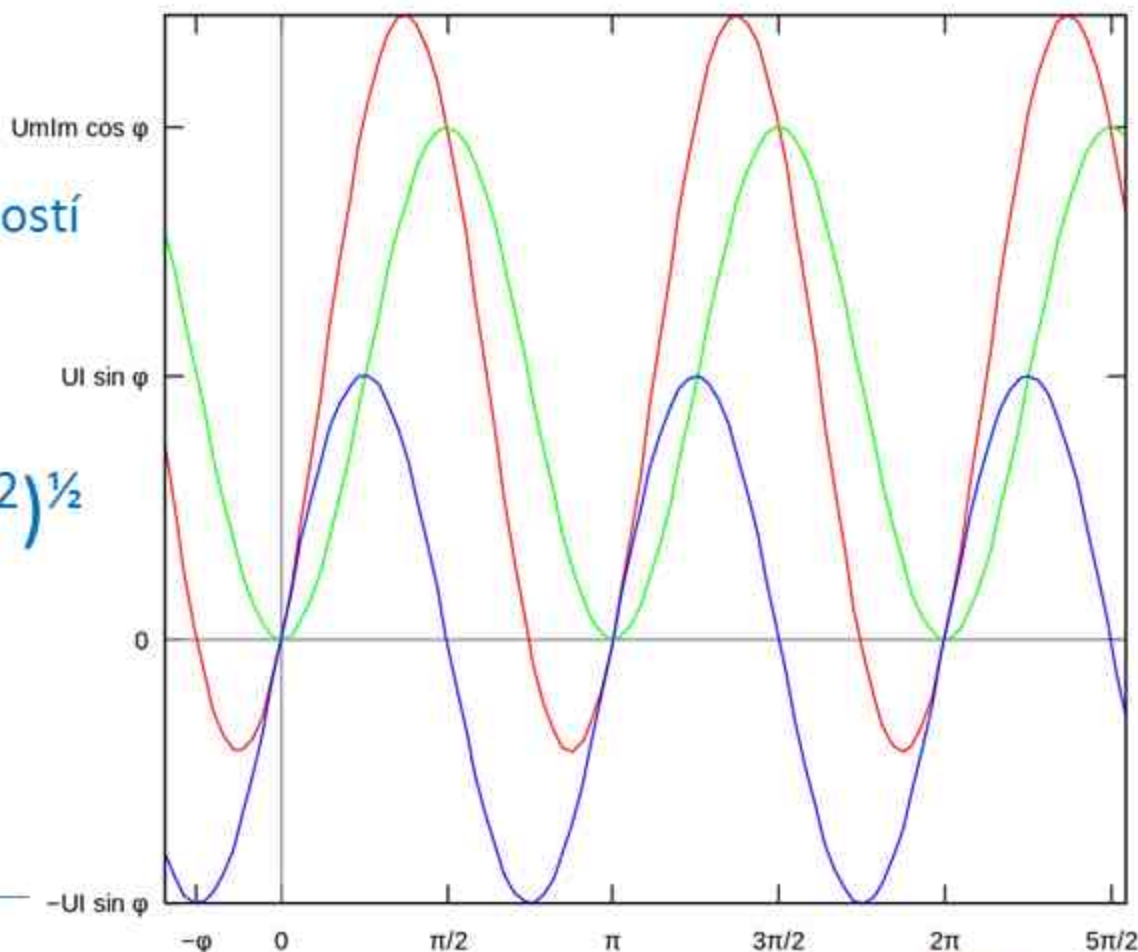
Zdánlivý výkon

$$S = U_{ef} I_{ef} = (P^2 + Q^2)^{1/2}$$

Jednotka VA



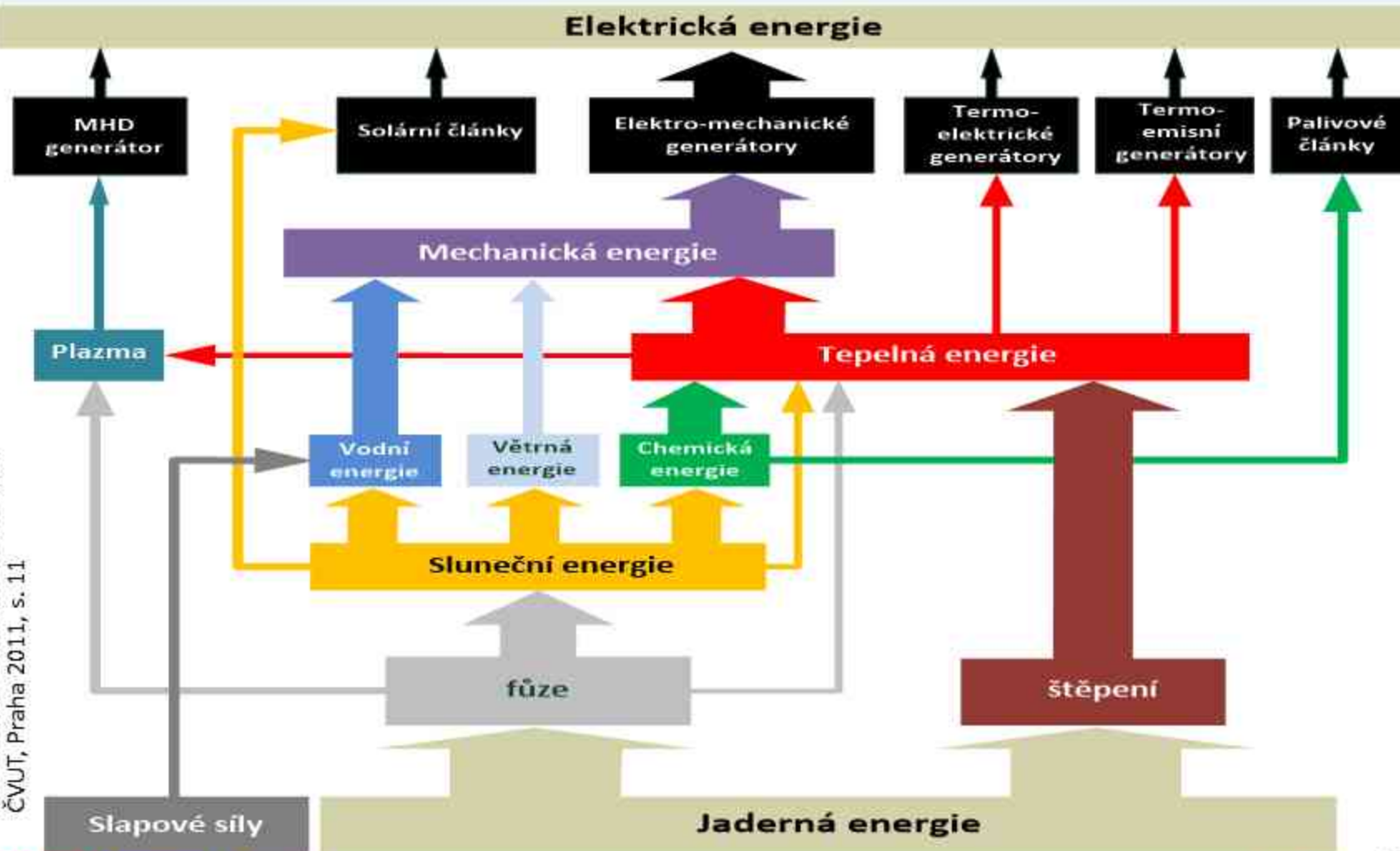
Zdroj obrázku: Wikimedia Commons, Autor: Petr Kadlec, $\varphi = 0,8$



Přeměny energie

- Slapové síly Měsíce a Slunce
 - Geotermální energie

Přeměny energie



Upraveno a doplněno dle: Doležal, J. a kol. *Jaderné a klasické elektrárny*, ČVUT, Praha 2011, s. 11

Gravitační síly

- Působením gravitace získáme jednu z mála „nejaderných energií“
- Slapové jevy
 - Přílivové elektrárny
- Částečně i geotermální energie
 - Flash steam elektrárny
 - Binární elektrárny (OCR)

Slapové síly Měsíce a Slunce

zdroj „nejaderné“ energie

A - Skočné dmutí nov / úplněk

B - Hluché dmutí

1. **Slunce**

$m = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$
 $r = 696\,000 \text{ km}$
 $l = 149\,600\,000 \text{ km}$

2. **Země**

$m = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$
 $r = 6378 \text{ km}$

3. **Měsíc**

$m = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$
 $r = 1738 \text{ km}$
 $l = 384\,400 \text{ km}$

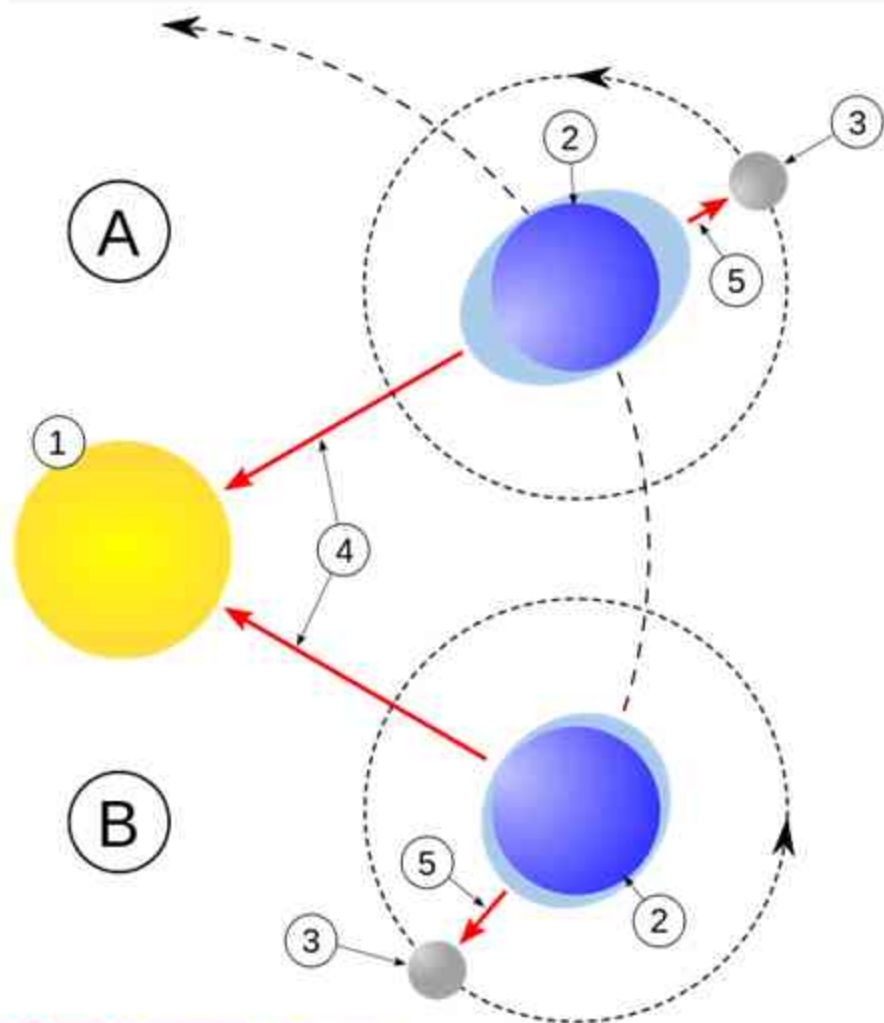
4. **Směr přitažlivosti slunce**

zrychlení v ose $5,2 \times 10^{-8} \text{ g}$

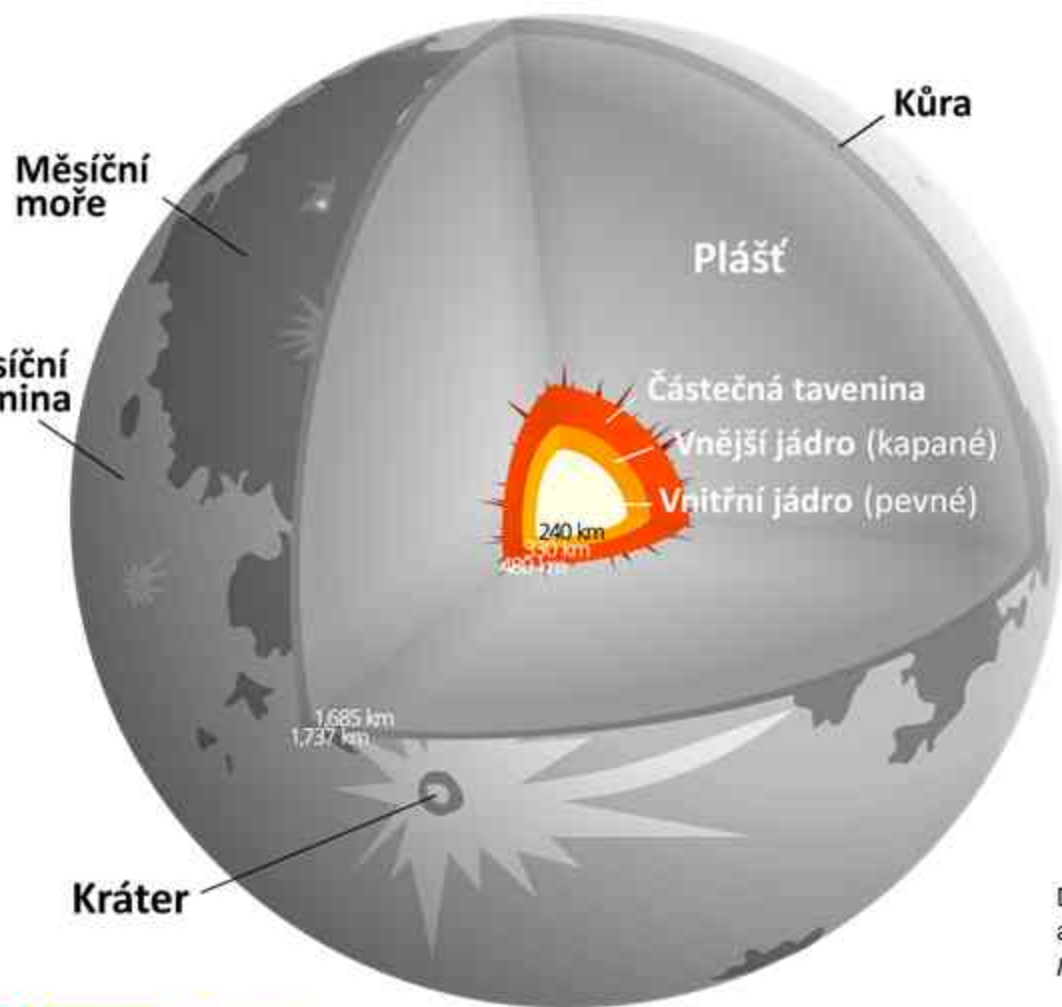
5. **Směr přitažlivosti měsíce**

zrychlení v ose $11,2 \times 10^{-8} \text{ g}$

Data: Pugh, D.T.; *Tides, Surges and Mean Sea-Level*;
John Willey & Sons: Chichester, 1987



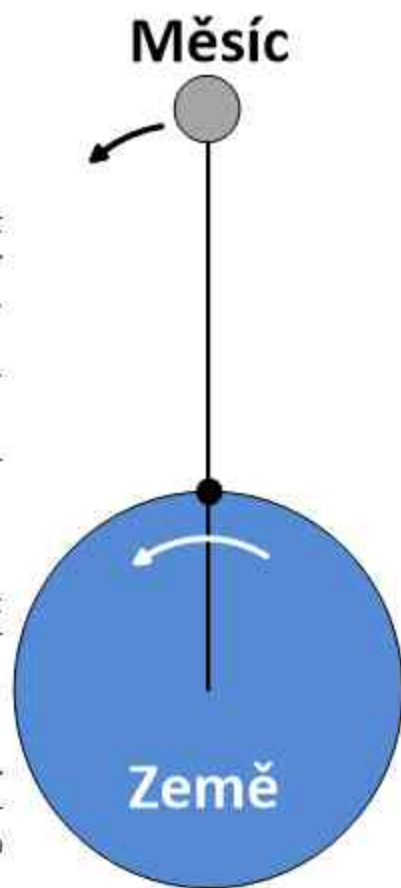
Struktura Měsíce



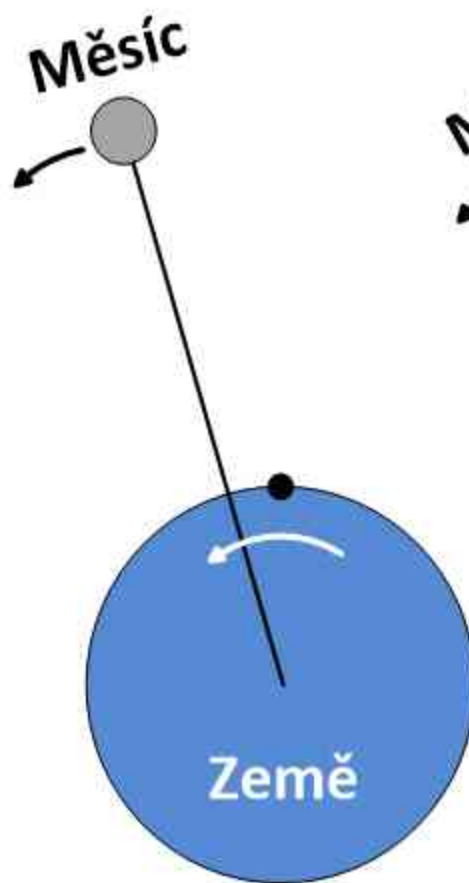
- Hustota $3346,4 \text{ kg/m}^3$
- Průměr jádra $< 350 \text{ km}$
- Kůra je silná jen asi 50 km
- Perioda oběhu rotace 27,321582 d (synchronní)

Data: Wiecek, M. et al. (2006). "The constitution and structure of the lunar interior". *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 60 (1): 221–364.

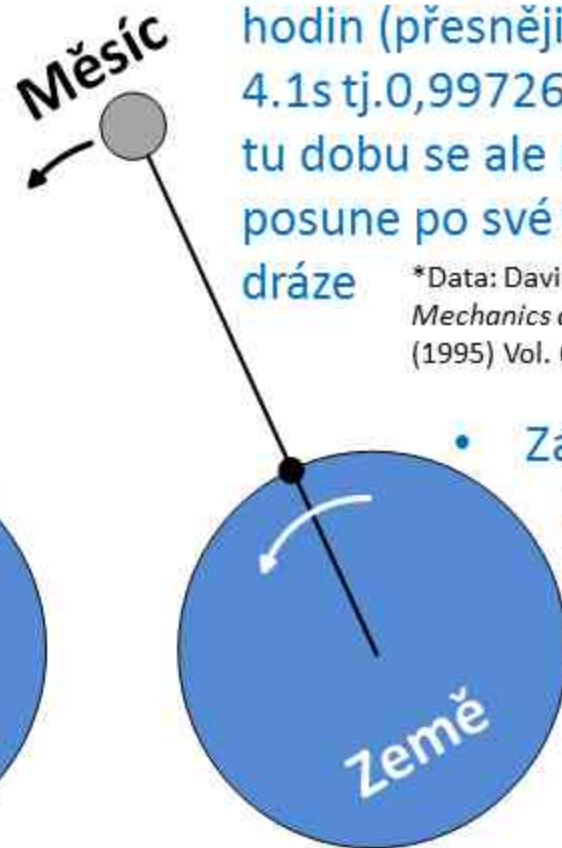
Soustava Země-Měsíc



$t = 0$



$t \approx 24 \text{ h}$



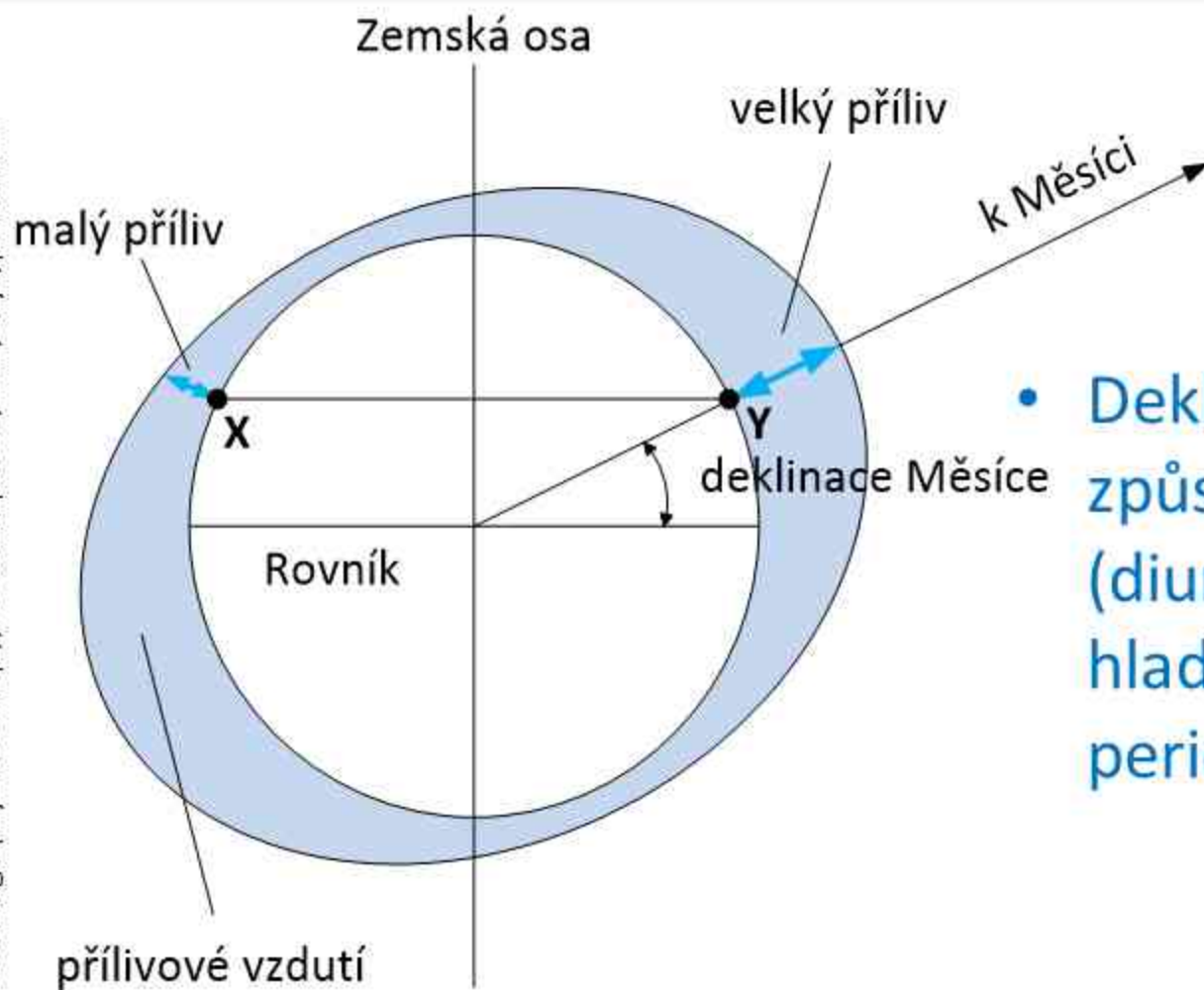
$t \approx 24 \text{ h } 50 \text{ min}$

- Země rotuje s periodou 24 hodin (přesněji* 23h 56m 4.1s tj. 0,99726968 dne) za tu dobu se ale měsíc posune po své oběžné dráze

*Data: Davies M.E. et al. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy* (1995) Vol. 63, No. 2, pp. 127-148

- Základní půldenní (semi-diurnální) složka přílivu (M_2) má tedy periodu 12h 25m

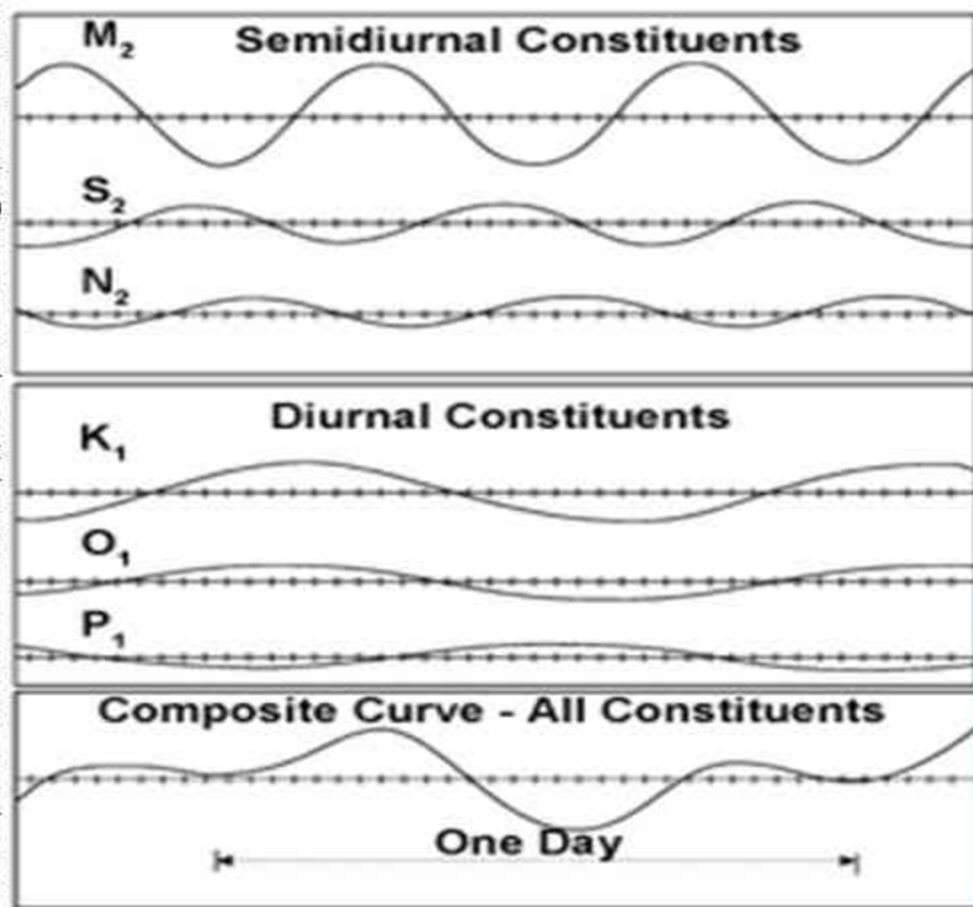
Vliv deklinace



- Deklinace měsíce způsobuje denní (diurnální) výkyvy hladiny (K_1) s periodou asi 23,93 h

Periody přílivu a odlivu

TIDAL PREDICTIONS



- Vzdutí hladiny je složeno z jednotlivých periodických příspěvků, hlavně:
 - Půldenní vliv měsíce (M_2)
 - Půldenní vliv slunce (S_2)
 - Jednodenní vliv měsíce (K_1)

Nejvyšší příliv

- 19,6 m - záliv Fundy (CA),
- 18 m - ústí řeky Gallegos (AR)
- 17,4 m - záliv Frobisher (Baffinův o., CA)
- 16,3 m - ústí řeky Severn (UK)

Zdroj: Mastný, P. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*, ČVUT, Praha 2011

Přehradní přílivové elektrárny

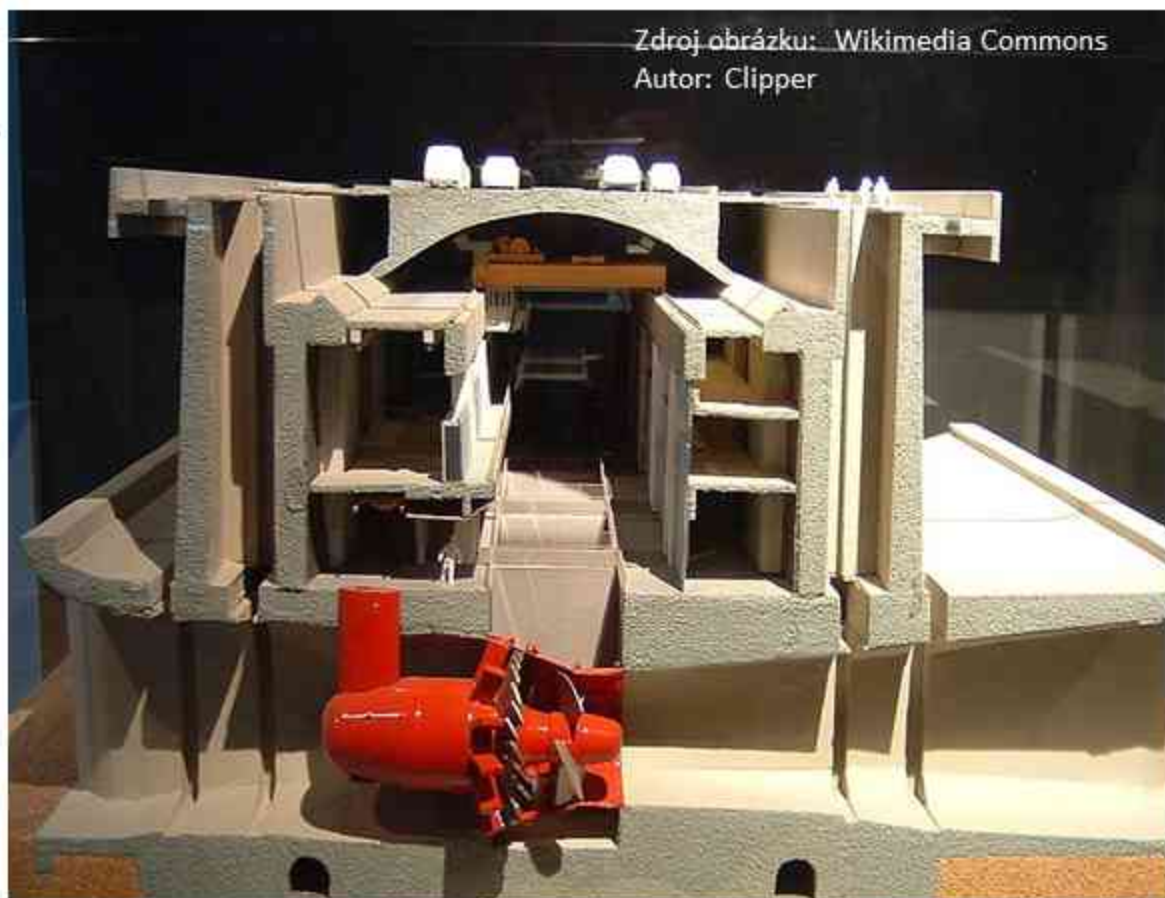
- Přehrazení zálivu nebo ústí řeky
- Využití potenciální energie přílivu

$$P_{PE} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h$$
$$= \rho \cdot g \cdot A \cdot v \cdot h$$

pro $h = 5 \text{ m}$, $v = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\eta = 1$

$$P_{PE} / A \text{ asi } 50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$$

Výpočet z: Mastný, P. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*, ČVUT, Praha 2011



Elektrárny využívající přílivové proudy

- Využití kinetické energie proudů
- Obdoba větrných elektráren

$$P_{KE} = \frac{1}{2} \rho \cdot Q \cdot v^2$$
$$= \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

pro $v = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\eta = 1$

$$P_{KE} / A \text{ asi } 500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Výpočet z: Mastný, P. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*, ČVUT, Praha 2011

Zdroj obrázku: Wikimedia Commons , Autor: www.tidalstream.co.uk



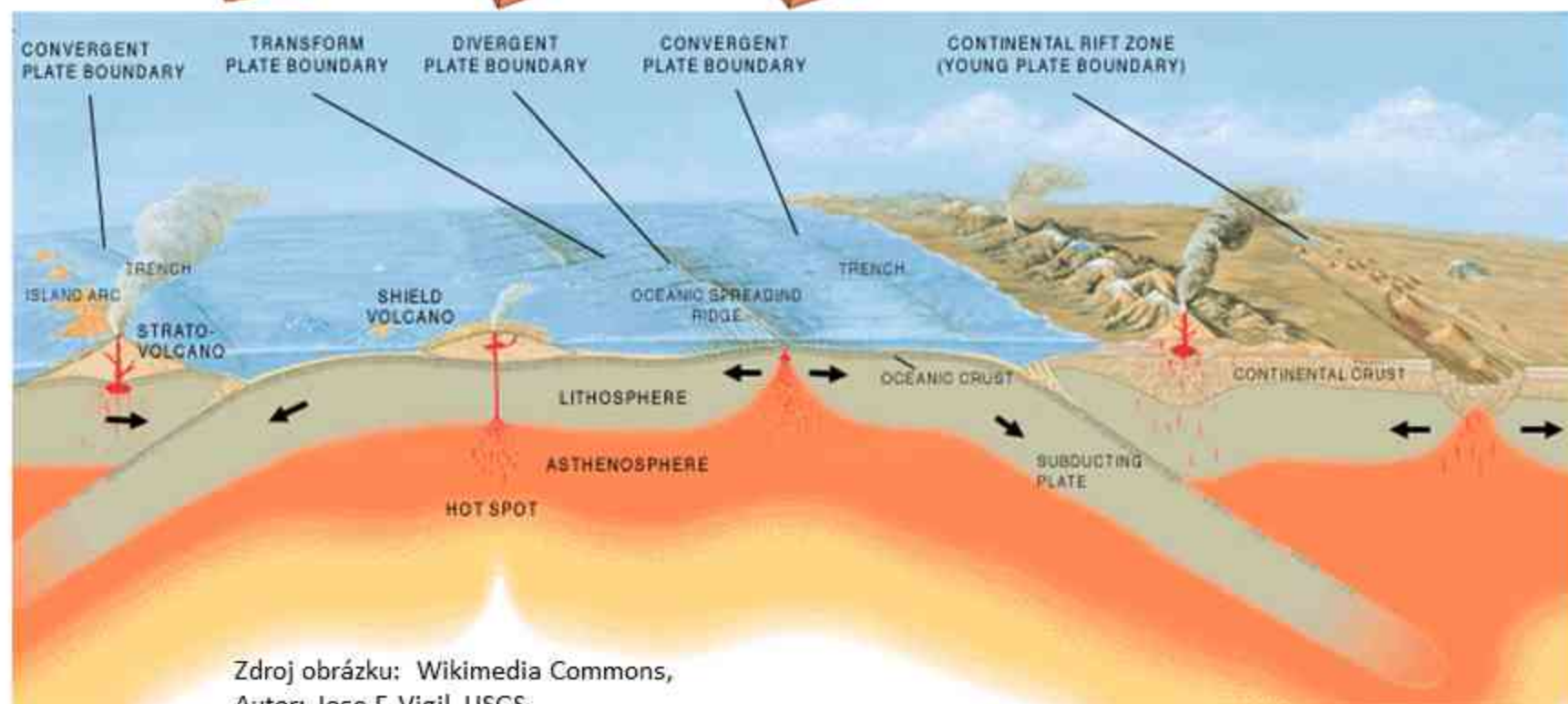
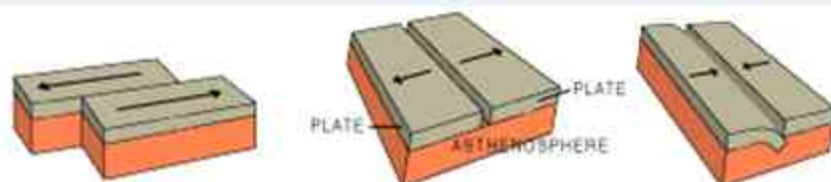
Struktura Země



- **80%** geotermální energie pochází z jaderného rozpadu ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U , a ^{40}K
- **20%** je zbytkové teplo tvorby (akrece) planety (gravitační energie)

Data: Turcotte, D. L.; Schubert, G. *Geodynamics* (2nd ed.), 2000
Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 136–137

Rozhraní tektonických desek

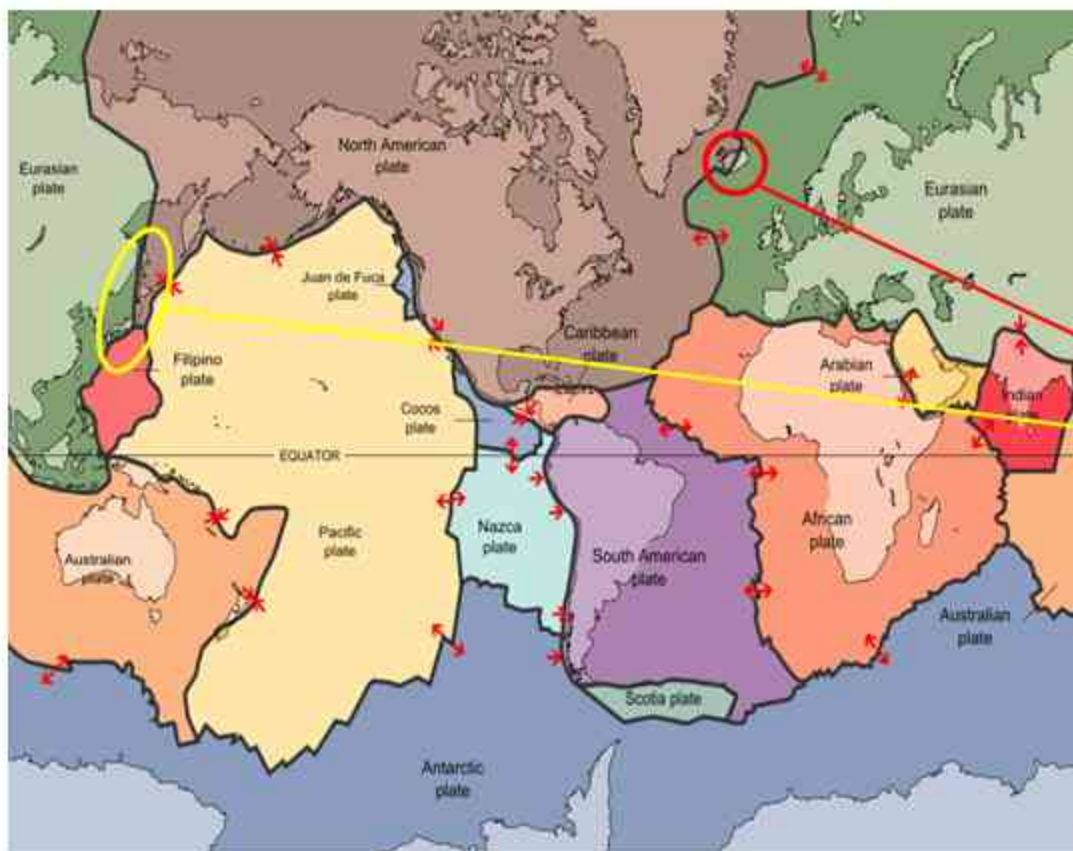


Zdroj obrázku: Wikimedia Commons,
Autor: Jose F. Vigil. USGS

Rozložení tektonických desek a využití geotermální energie

Zdroj obrázku: Wikimedia Commons , Autor: USGS

Využití geotermální energie v roce 2000



Země	Výkon [MWt]	Výroba [TJ/rok]
USA	3766	20302
Čína	2282	37908
Island	1469	20170
Japonsko	1167	26933
..	..	..
ČR	12,5	128

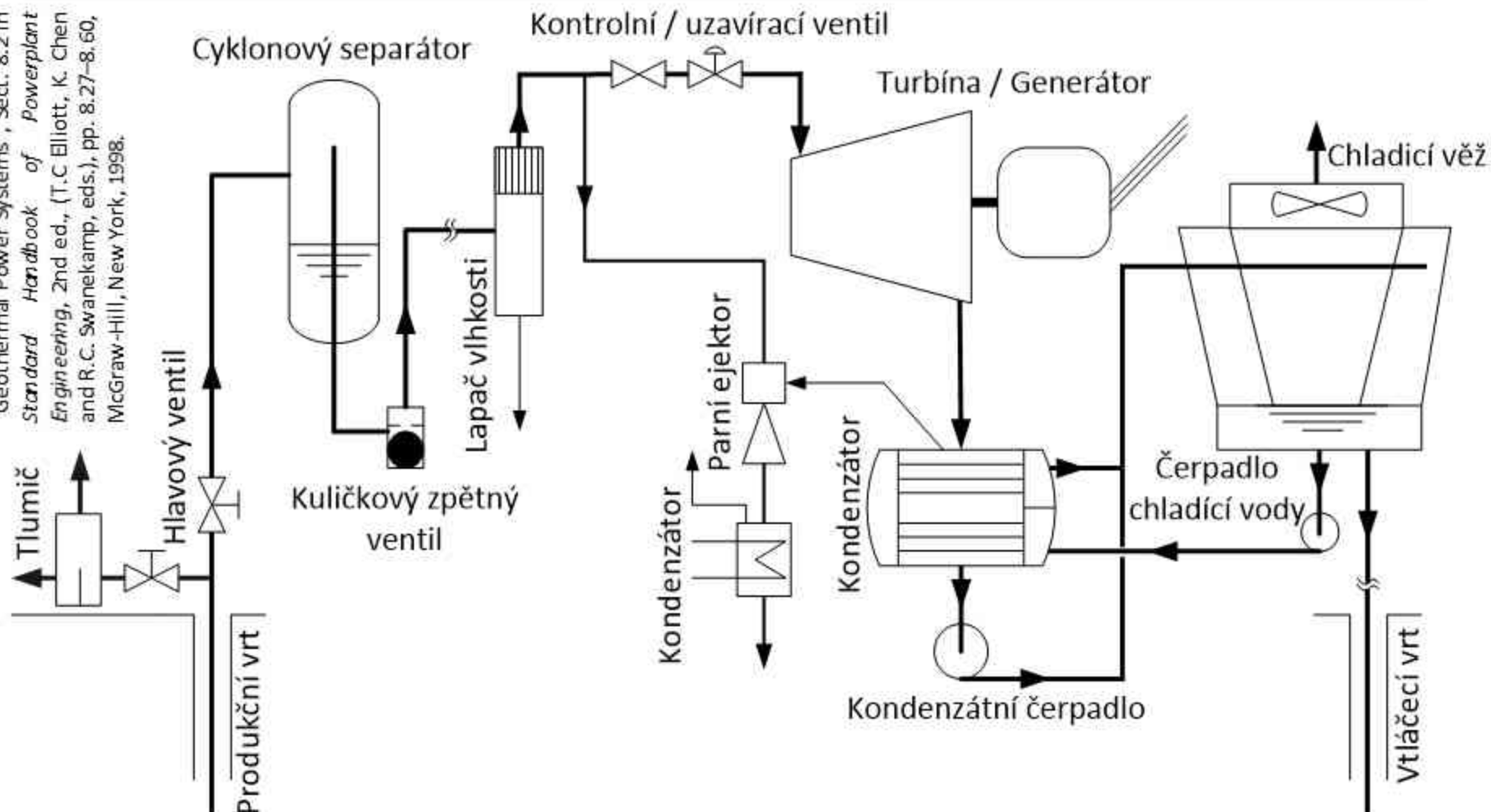
Data: LUND, J. W., and FREESTON, D., 2001. World-wide direct uses of geothermal energy 2000. *Geothermics* **30**, 29- 68.

Překresleno (přeloženo) podle: DiPippo, R., "Geothermal Power Systems", Sect. 8.2 in *Standard Handbook of Powerplant Engineering*, 2nd ed., (T. Elliott, K. Chen and R.C. Swanekamp, eds.), pp. 8.27–8.60, McGraw-Hill, New York, 1998.



Elektrárny využívající mokrou páru

Upraveno (přeloženo) podle: DiPippo, R., "Geothermal Power Systems", Sect. 8.2 in *Standard Handbook of Powerplant Engineering*, 2nd ed., (T.C Elliott, K. Chen and R.C. Swanekamp, eds.), pp. 8.27-8.60, McGraw-Hill, New York, 1998.



Binární systémy

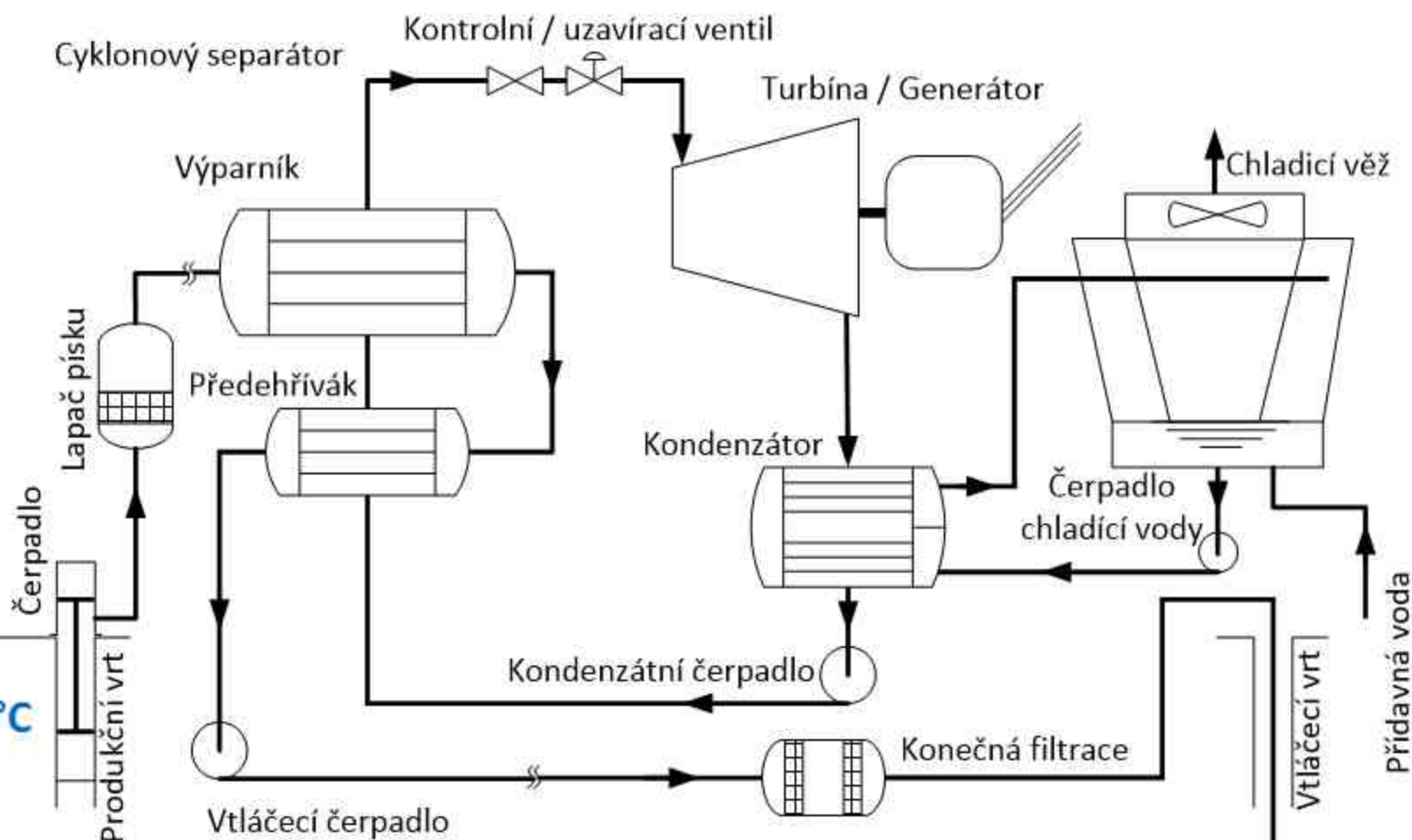
- Pro teplotu páry $< 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Vhodné pracovní médium (příklady viz tabulka) se ohřívá přes výměníky tepla a pohání turbínu

Látka	T_k [$^{\circ}\text{C}$]	P_k [MPa]	P_s @ 300 K [MPa]	P_s @ 400 K [MPa]
Propan	96,95	4,236	0,9935	n.a.
i-Butan	135,92	3,685	0,3727	3,204
n-Butan	150,8	3,718	0,2559	2,488
i-Pentan	187,8	3,409	0,09759	1,238
n-Pentan	193,9	3,24	0,07376	1,036
Amoniak	133,65	11,627	1,061	10,3
Voda	374,14	22,089	0,003536	0,24559

Zdroj: DiPippo, Ronald, *Geothermal Power Plants - Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact* (2nd Ed.), Elsevier 2008

Binární systém – základní schéma

Překresleno (přeloženo) podle: DiPippo, R., "Geothermal Power Systems", Sect. 8.2 in *Standard Handbook of Powerplant Engineering*, 2nd ed., (T.C Elliott, K. Chen and R.C. Swanekamp, eds.), pp. 8.27–8.60, McGraw-Hill, New York, 1998.

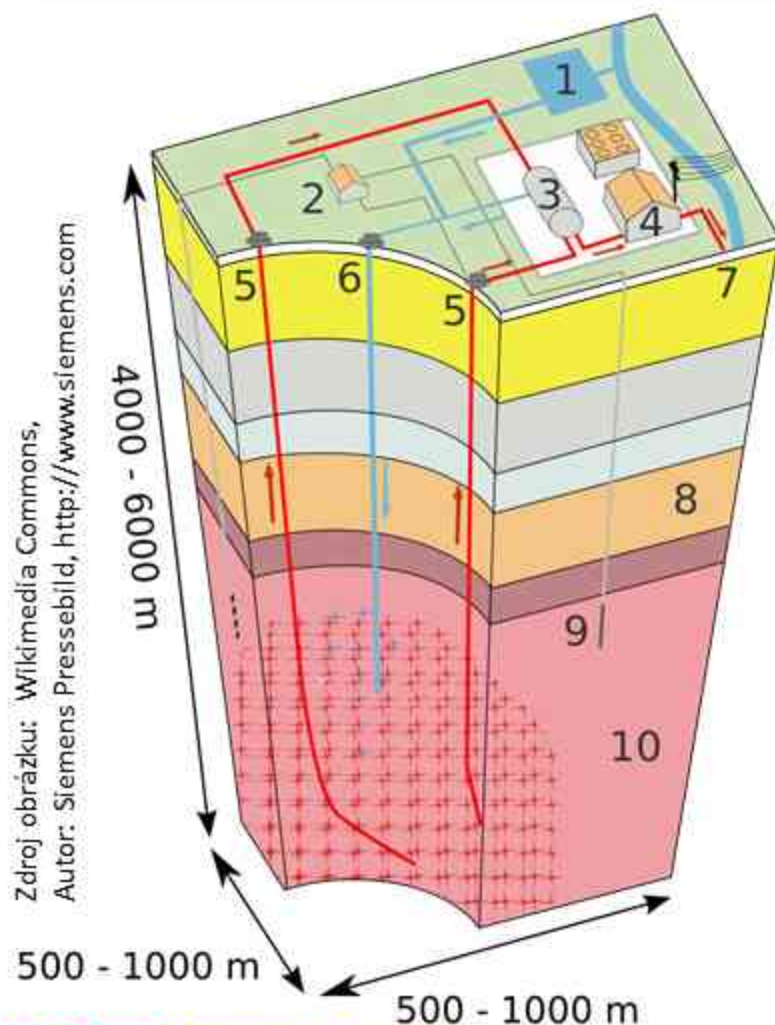


Pokročilé binární systémy

- Dvoutlaký systém
 - Využívá se vhodné médium při dvou různých tlacích
- Dvoukapalinový systém
 - Využívají se dvě pracovní média s vhodnými TD vlastnostmi
- Kalinův cyklus (bude později podrobně probrán)
 - Pracovní médium je směs NH_3 a vody
 - Využívá se rekuperace energie na výstupu z turbíny
 - Během cyklu se může měnit koncentrace roztoku NH_3

Zdroj: DiPippo, Ronald, *Geothermal Power Plants - Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact* (2nd Ed.), Elsevier 2008

Hot dry rock (HDR)



- 1: Zásobník vody
- 2: Čerpací stanice
- 3: Výměník tepla
- 4: Turbínová hala
- 5: Produkční vrt
- 6: Vtláčecí vrt
- 7: Teplá voda pro vytápění
- 8: Porézní hornina
- 9: Vrt
- 10: Pevná hornina