



INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



učitel chemie
CZ.1.07/2.2.00/15.0324

Investice do rozvoje vzdělávání

Inovace profesní přípravy budoucích učitelů chemie

CZ.1.07/2.2.00/15.0324

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



učitel chemie
CZ.1.07/2.2.00/15.0324

Investice do rozvoje vzdělávání

Mírové využití jaderné energie

Jiří Kameníček

Katedra anorganické chemie PřF UP Olomouc
jiri.kamenicek@upol.cz

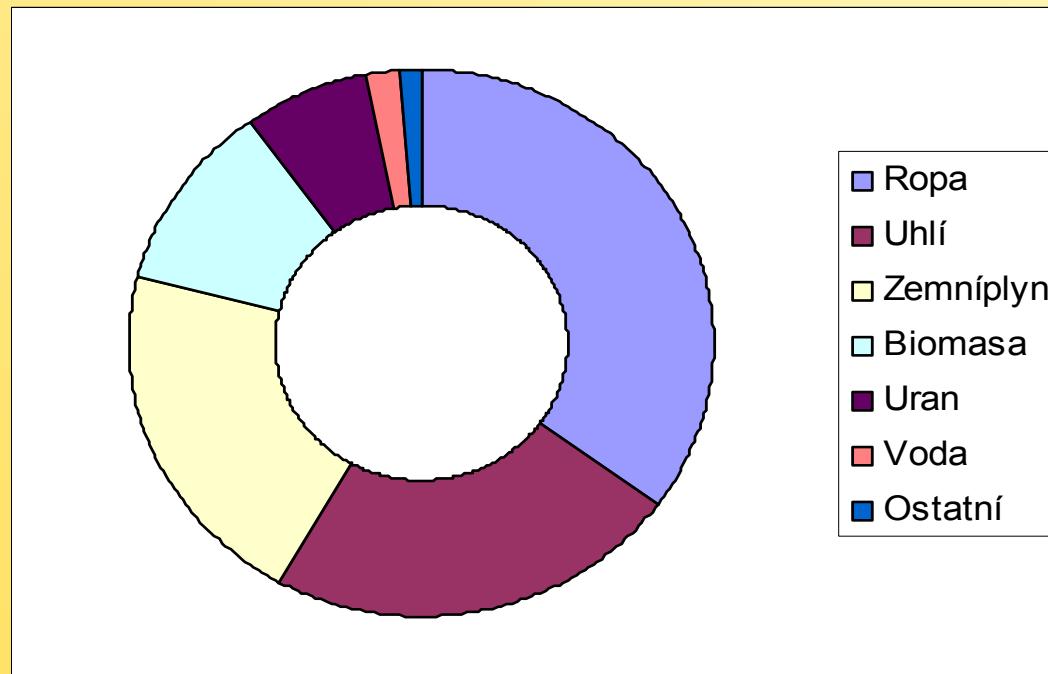
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Osnova

- Otázka získávání energie v budoucnosti
- Uran, izotopy, princip štěpné řetězové reakce
- Příprava jaderného paliva, obohacování
- Jaderný reaktor, atomová elektrárna
- Havárie jaderných elektráren
- Černobyl (fotografie, video)
- Klady a zápory jaderné energetiky
- Závěr

Možnosti získávání (elektrické) energie

- Spalování fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn – jsou to omezené, navíc neobnovitelné zdroje)
- Spalování biomasy a odpadů
- Přírodní zdroje (vodní, větrné, fotovoltaické, geotermální)
- Jaderná energie (štěpení jader, popř. termojaderná fúze)



URAN

Výskyt: smolinec (uraninit) U_3O_8 - obr.:
karnotit $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$



Izotopy:

^{238}U ... štěpitelný rychlými neutrony, 99,3%, $T = 5 \cdot 10^9$ let

^{235}U ... štěpitelný pomalými neutrony, 0,7 %, $T = 7 \cdot 10^8$ let (*)

^{234}U ... stopy, $T = 8 \cdot 10^5$ let

(*) Fenomén Oklo (Gabun, Afrika)...obsah ^{235}U je jen 0,3% !

Možné vysvětlení: přírodní atomový reaktor (?!)
(prokázán vyšší výskyt štěpných produktů)

Fyzikální podstata jaderné energie

- Hmotnostní schodek

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - M_j$$

Př.: Pro ${}^4\text{He}$ vychází $\Delta m = 0,03038 \text{ m}_u$

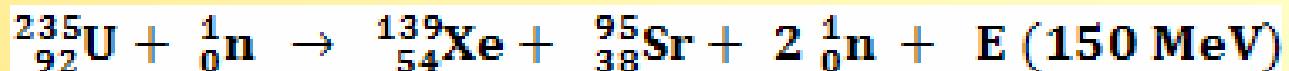
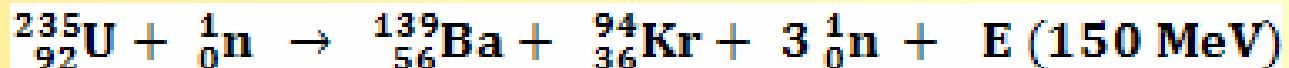
- Vazebná energie atomového jádra

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2$$

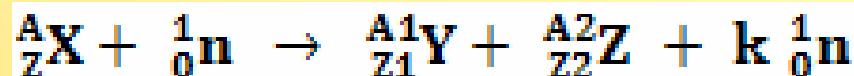
Př.: Pro ${}^4\text{He}$ je $\Delta W = 4,55 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 28,4 \text{ MeV}$

PRINCIP JADERNÉHO REAKTORU

- **ŠTĚPENÍ JADER** (Hahn, Meitnerová 1936), pomalé neutrony



Obecně:



přičemž: $Z_1 + Z_2 = Z$; $A + 1 = A_1 + A_2 + k$; $A_1/A_2 \approx 2/3$

- Štěpitelné jsou: ^{235}U , ^{239}Pu , nikoliv ^{238}U !!

Pozn.: Při reakci ^{238}U s rychlými neutrony běží reakce

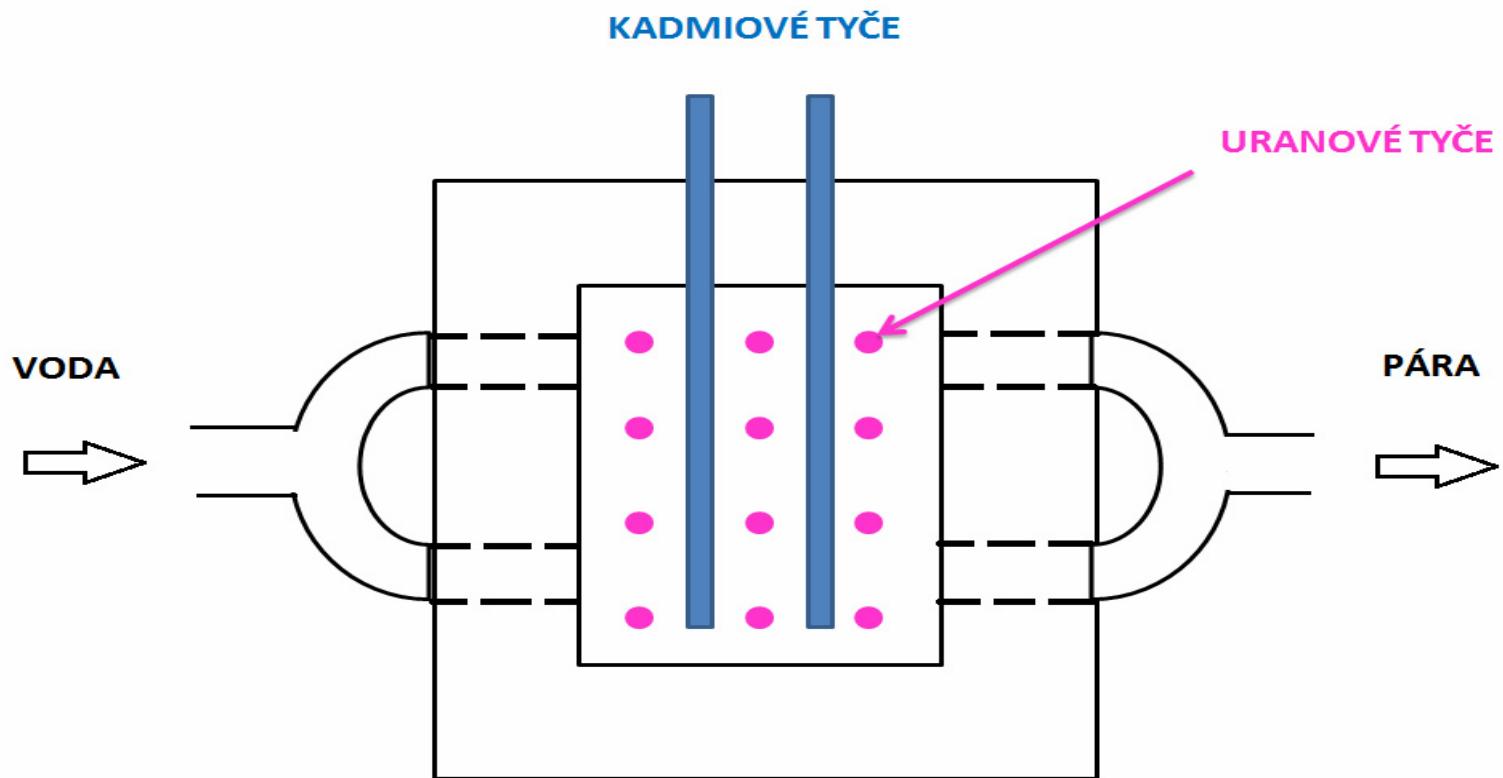


Jaderný reaktor

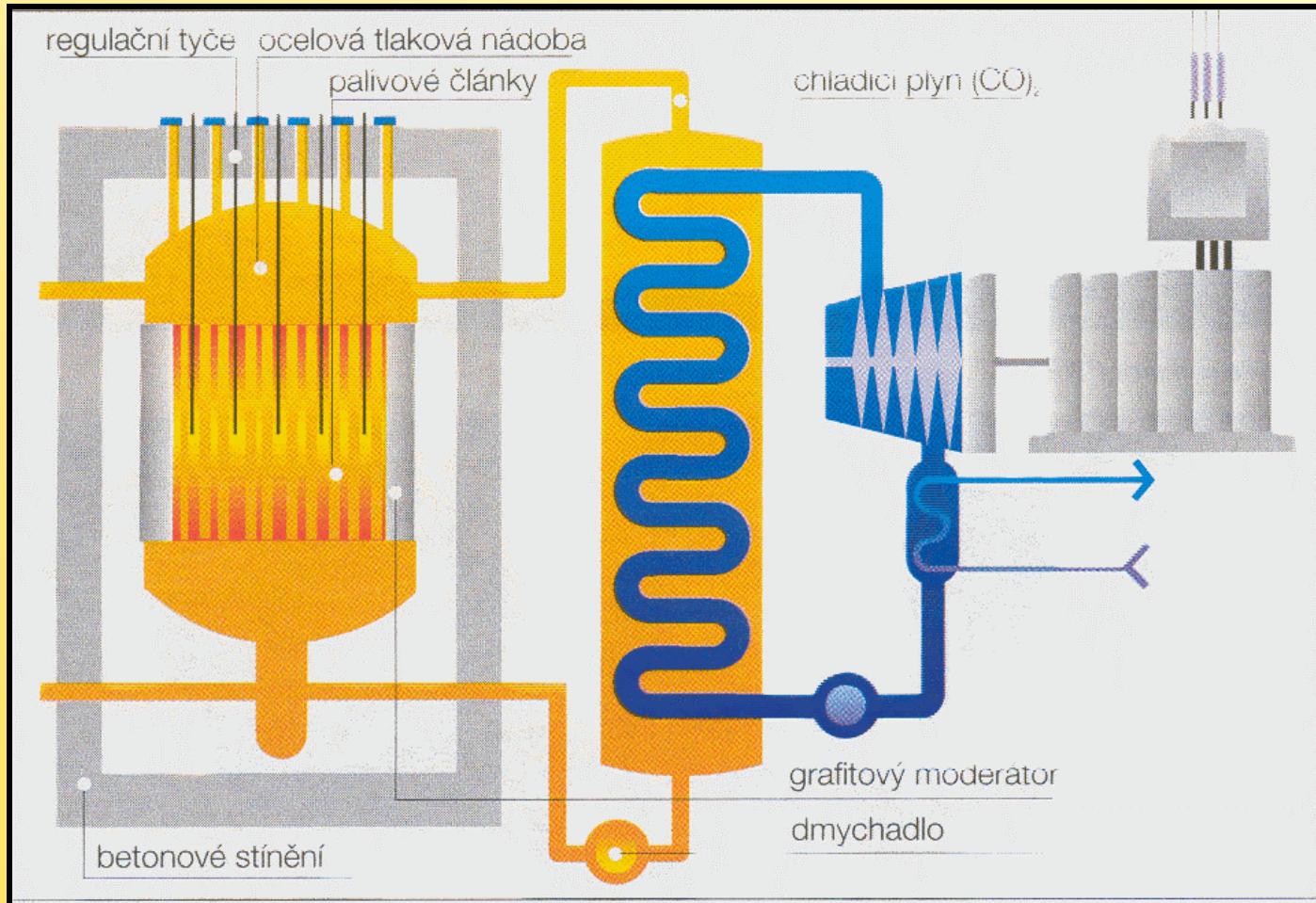
TYPY REAKTORŮ – pomalé neutrony

- Moderované grafitem (Černobyl)
- Lehkovodní (H_2O je moderátor i chladivo)
 - BWR s vroucí vodou (Fukušima)
 - PWR (VVER) voda pod tlakem 100 at
(Dukovany, Temelín)
- Těžkovodní (CANDU – Kanada, D_2O)
- Množivé reaktory (breedery) – rychlé neutrony, bez moderátoru; chlazení kapalným sodíkem

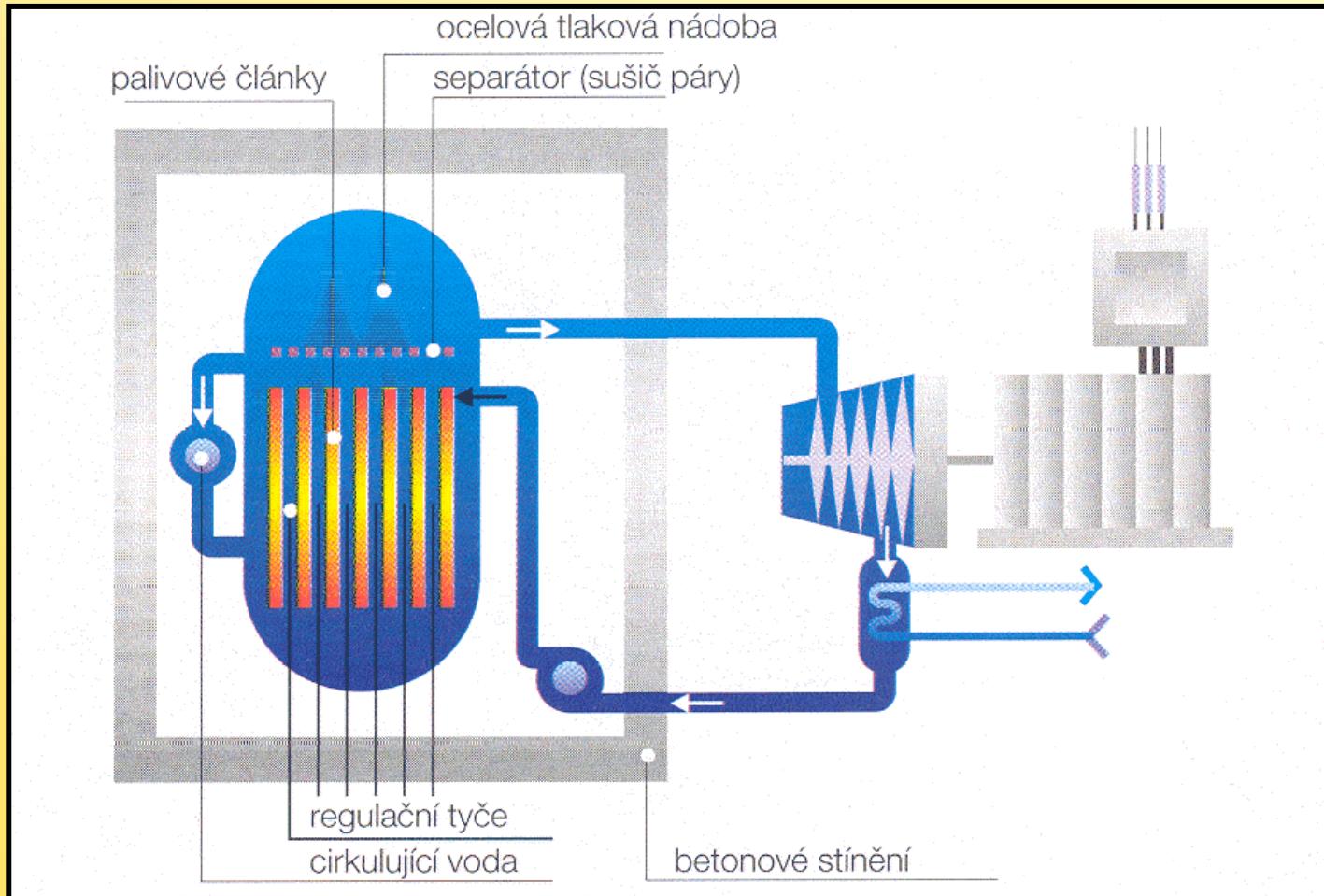
Základní schéma jaderného reaktoru



Jaderný reaktor moderovaný grafitem (dvouokruhový)

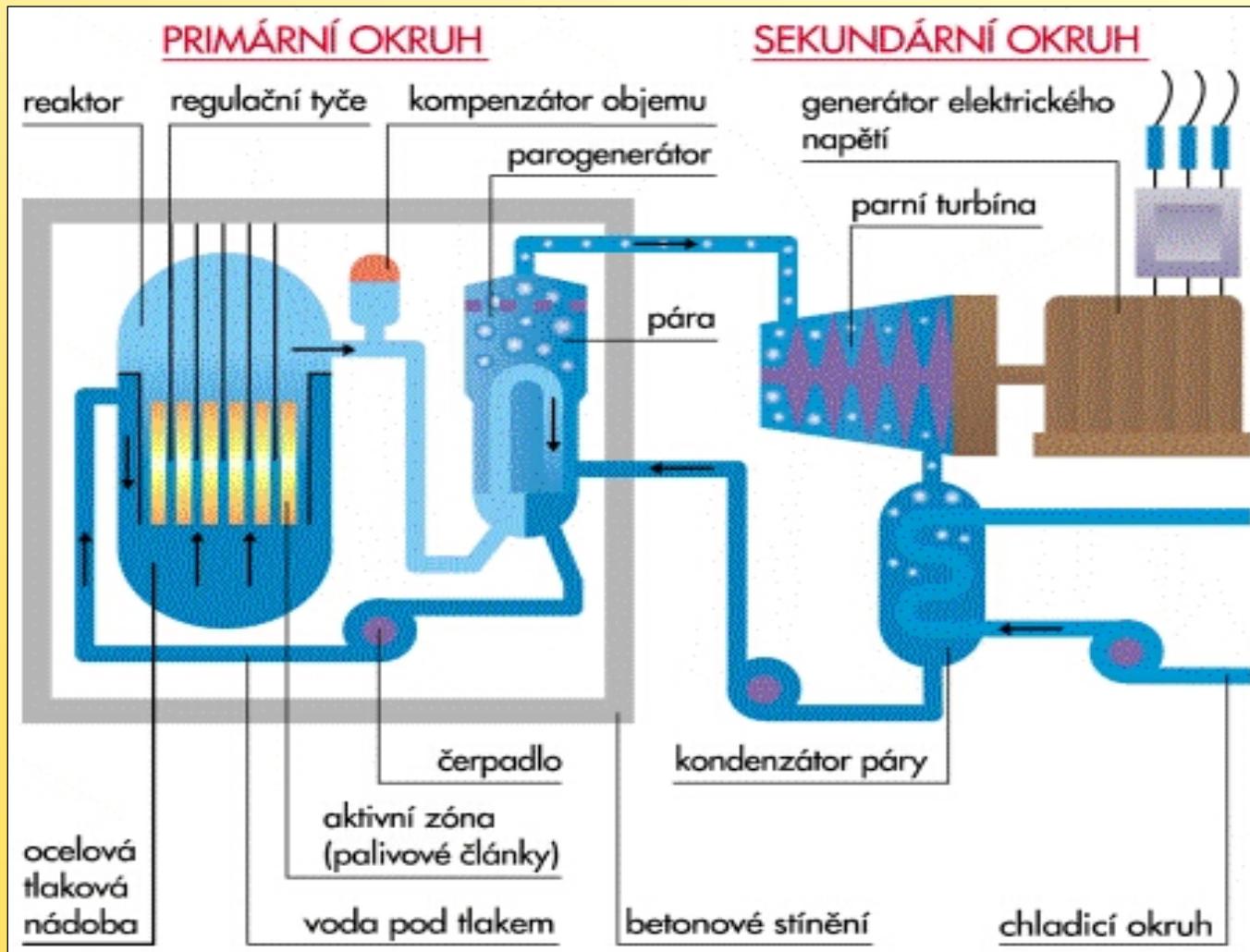


Lehkovodní jaderný reaktor BWR (jednookruhový)

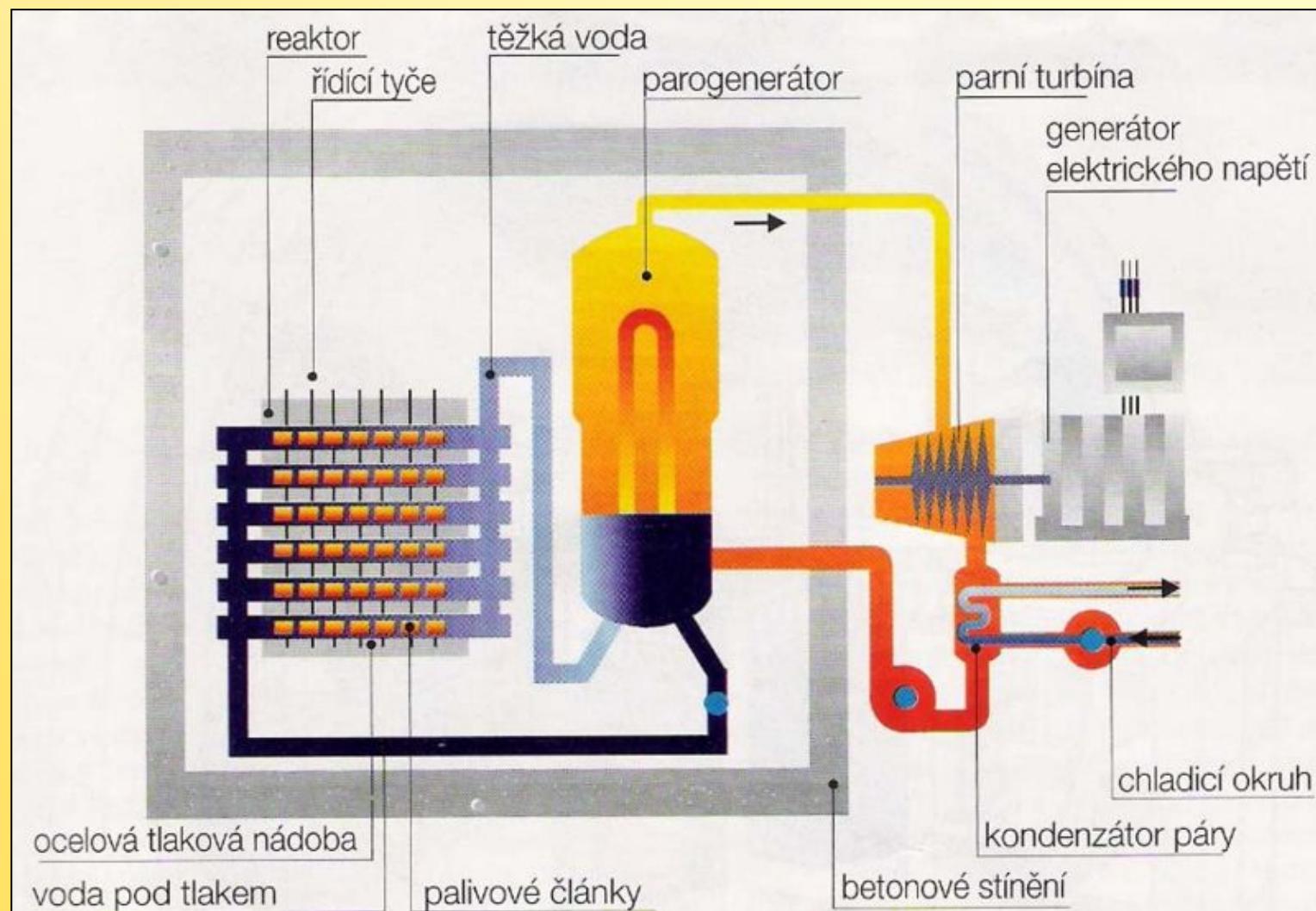


Lehkovodní tlakový reaktor PWR

dvouokruhový

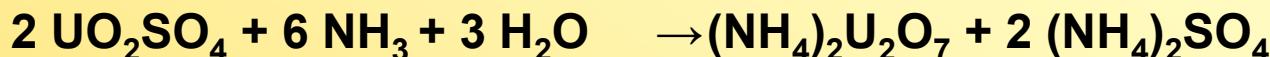


Těžkovodný reaktor (dvouokruhové schéma)



POSTUP VÝROBY PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ

1/ Těžba a úprava uranové rudy, příprava koncentrátu („yellow cake“)



2) Konverze uranového koncentrátu na plynný UF_6



3/ Obohacování (z 0,71% ^{235}U na cca 3%)

(UF_6 - difuzí nebo odstředivkami; nejnověji laserovou technikou)

4/ Rekonverze UF_6 na UO_2 (pozor na kritické množství!), lisování na tablety

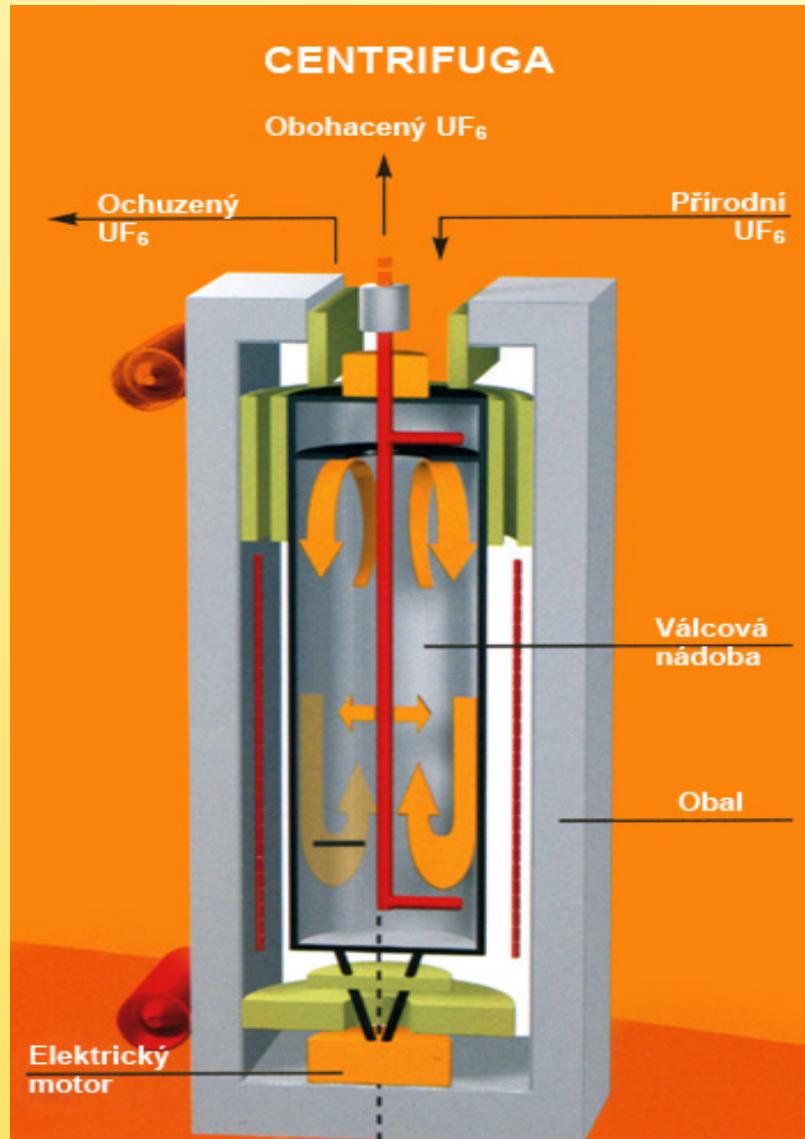


5/ Výroba vlastních palivových článků (plnění pelet s UO_2 do obalových trubek, grafitové matrice apod.)

6/ Zpracování vyhořelých článků, vrácení štěpitelných materiálů do cyklu

7/ Uložení radioaktivních odpadů (reaktor 1GW produkuje ročně cca 30 tun)

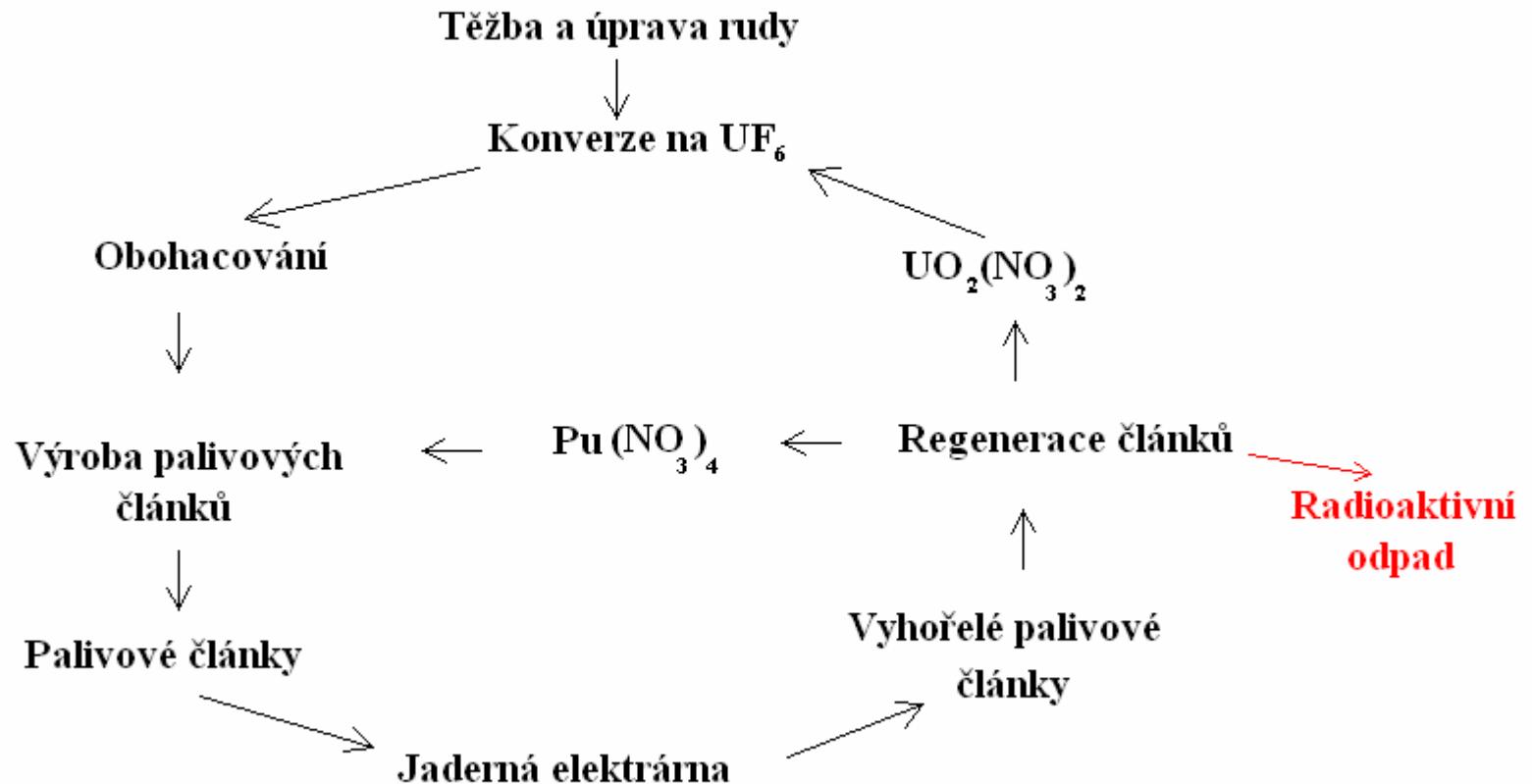
Centrifuga pro obohacování uranu



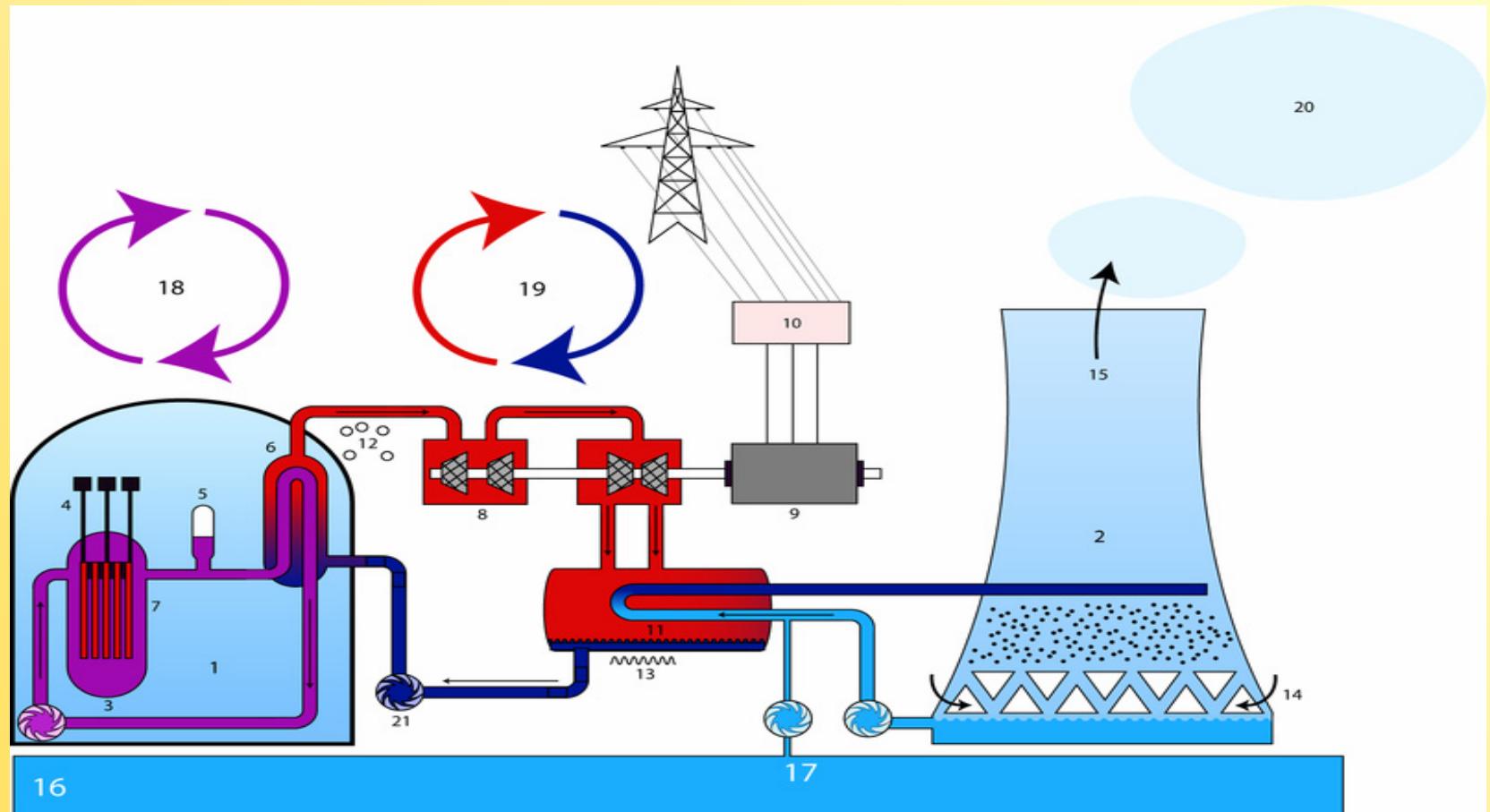
Zpracování vyhořelých článků

- Meziskladování v bazénech s vodou (min. 1 rok)
- Ocelové kontejnery CASTOR s vzdušným chlazením
- Přepracování (=oddělení U, Pu od štěpných produktů postupem PUREX pomocí extrakce tributylfosfátem)
- Další zpracování roztoků obsahujících uran a plutonium
- Štěpné produkty se vitrifikují (zalijí do skleněných bloků)
- Problém konečného dlouhodobého bezpečného uložení odpadů dosud nevyřešen (hlubinná úložiště)

SCHÉMA PALIVOVÉHO CYKLU



Jaderná elektrárna – celkové schéma



Mezinárodní stupnice jaderných událostí INES (The International Nuclear Event Scale)



Na jaderných elektrárnách ve světě dochází každoročně k jedné až dvěma událostem hodnoceným stupněm 1, 2

Přehled větších havárií JE:

- Černobyl 1986 (stupeň 7 INES)
- Fukušima, Japonsko 2011 6 (?)
- Windscale, Anglie 1957 5
- Three Mile Island, USA, 1979 5
- Saint Laurent – Francie, 1980 4
- Jaslovské Bohunice, 1977 4
- Buenos Aires – Argentina 1983 4
- Tokaimura, Japonsko 1999 4
- Vandellos – Španělsko 1989 3
- Davis Besse – USA, 2002 3
- Paks - Maďarsko, 2002 3

HAVÁRIE ČERNOBYL 26.4.1986



- Po celý den havárie ponechaly úřady ve městě běžet vše normálním životem a neinformovaly o tom, že městu hrozí radioaktivní zamoření (!)
- Evakuace lidí proběhla až druhý den po havárii, tj. v neděli 27. dubna, ve 14.00 hodin.
- Teprve 2. května bylo rozhodnuto evakuovat obyvatelstvo žijící v okruhu 30 km od reaktoru (tedy v tzv. zakázané zóně).

Havárie jaderné elektrárny Černobyl nějakým způsobem zasáhla zhruba 600 tisíc osob.

Bezprostředně zahynulo 31 lidí, z toho 28 na následky ozáření a 3 na následky zranění při výbuchu.

V průběhu let 1992 až 2000 bylo v Rusku, Bělorusku a Ukrajině diagnostikováno přibližně 4000 případů rakoviny štítné žlázy u dětí a mládeže

ČERNOBYL

- 1/ Šlo o **klasický, nikoli jaderný** výbuch !!
- 2/ Příčina: selhání obsluhy i techniky, „experiment“ – před odstávkou reaktoru se zkoušelo, zda je elektrický generátor při setrvačném doběhu schopen napájet čerpadla nouzového chlazení (!)
- 3/ Výbuch v důsledku nekontrolovatelného nárůstu teploty (tlak vodní páry odmrštíl víko poklopku o váze 1000 tun !)
- 4/ Další výbuch v důsledku reakce vodní páry s rozžhaveným grafitem
$$(C + H_2O \rightarrow CO + H_2)$$
- 5/ Důsledek: uvolnění cca **900 tun vysoce radioaktivního** odpadu
zamoření obrovského území
- 6/ Evakuace přilehlého města Pripjat' (50 tis. obyvatel) během 24 hodin
Dnes: 1. zóna okruh 10 km zákaz pobytu,
 2. zóna 30 km omezený pohyb lidí, kontrolované pásmo
- 7/ Provoz ostatních bloků zastaven; dodnes je na Ukrajině dalších 5 JE podobného typu
- 8/ Sanace: vytvořen betonový „sarkofág“ – provizorní, již dnes vychýlen (viz foto)
- 9/ Definitivní řešení - nový sarkofág (cena cca 100 mld Kč) za přispění EU
- 10/ Území bude neobyvatelné tisíce let (dlouhé poločasy rozpadu Cs, Sr)

Pomník hasičům



Město Pripjat'









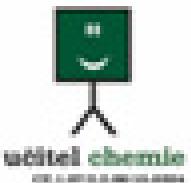
FUKUŠIMA, 11.3.2011



ZÁVĚR: Klady a zápory jaderné energetiky

- Úspora fosilních paliv (1 kg uranu - 20 GWh energie)
 - Šetrnost k životnímu prostředí (odpadá odsiřování)
 - Relativní dostatek surovin
 - Ekonomické důvody
-
- Problém s uložením/zpracováním jaderného odpadu
 - Riziko havárie (zemětřesení, terorismus, válečný stav)
 - Veřejné mínění (politikum)

Vše by vyřešila úspěšná řízená termojaderná fúze.
(neřízená již realizována – vodíková bomba)



Konec

JU BAGELAJOZDOVACI INVESTICE DO KULTURY

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.