

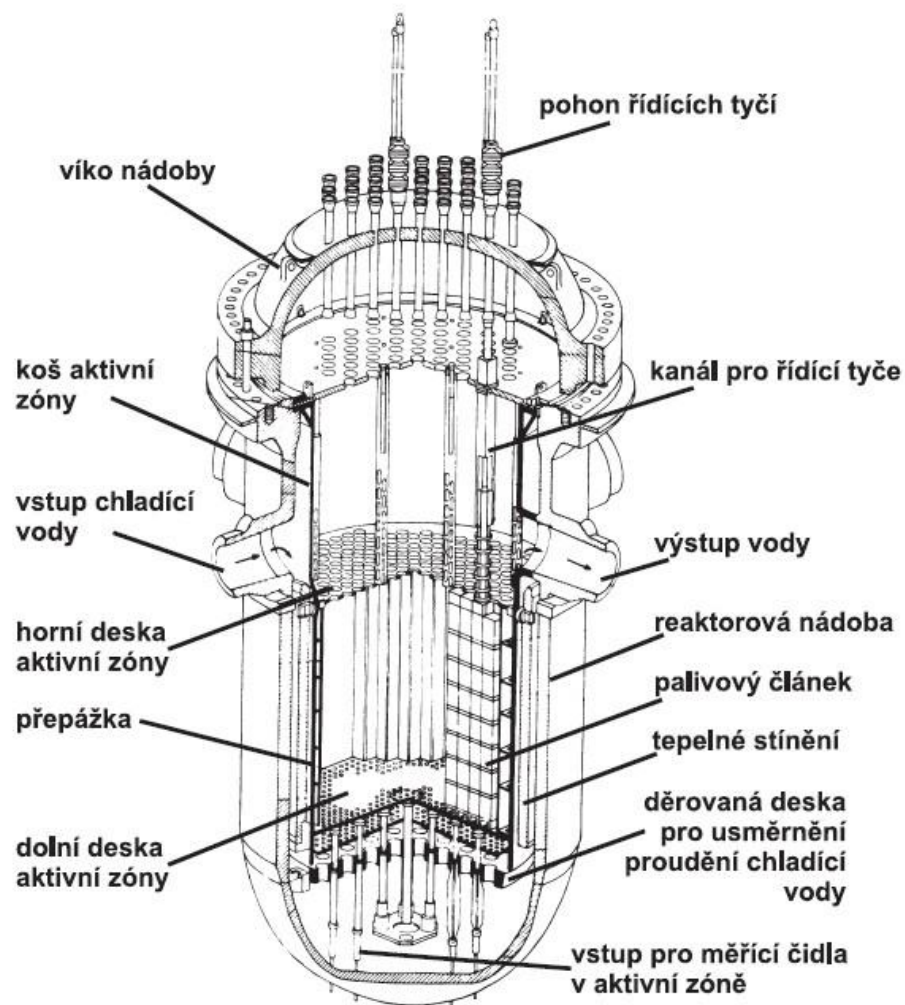
Jaderné reaktory a elektrárny

Mgr. Ondřej Jašek, Ph.D., 22.10.2015

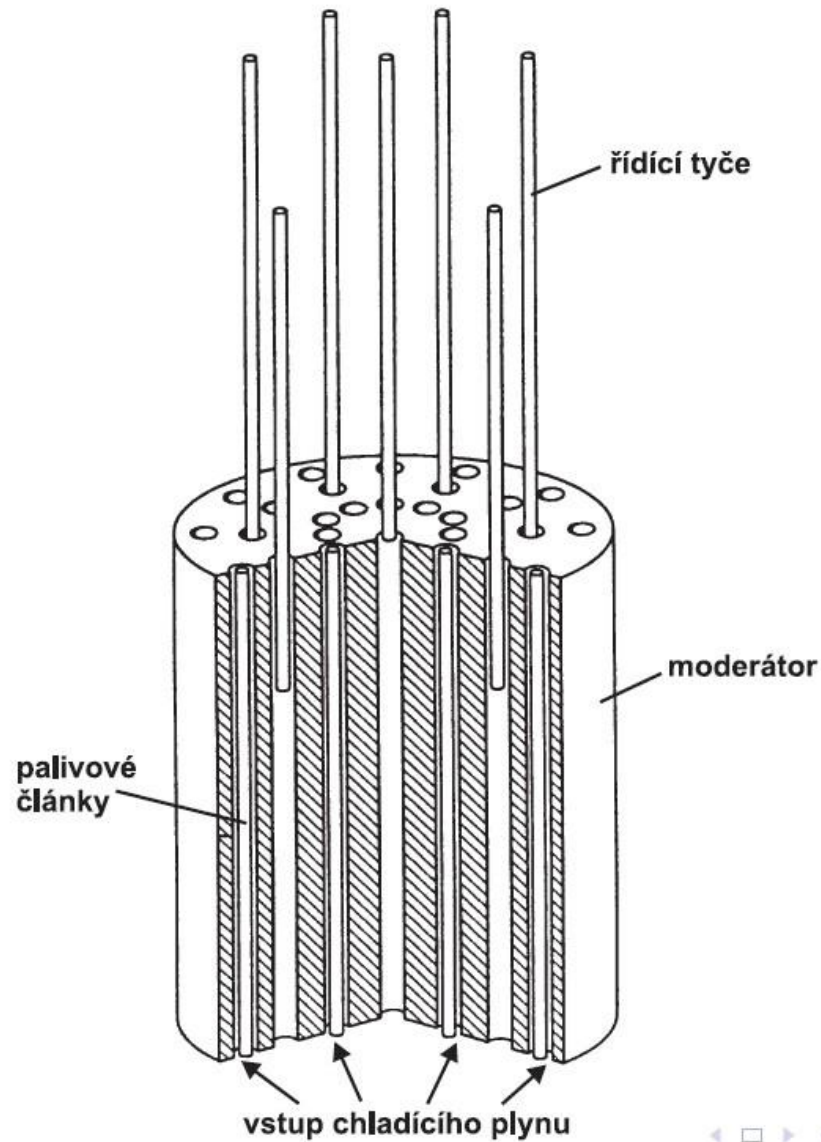
Literatura

- <http://physics.muni.cz/~blazkova/dp/Reaktor1.htm>
- <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/krticka/lectures/aplik.html>
Doc. Mgr. Milan Krtička, Ph.D. , Ústav částicové a jaderné fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova
- http://katedra-reaktoru.cz/?page_id=392, Fyzika jaderných reaktorů, J. Frýbort, L. Heraltová, Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze,

Reaktor moderovaný a chlazený lehkou vodou (VVER, PWR)



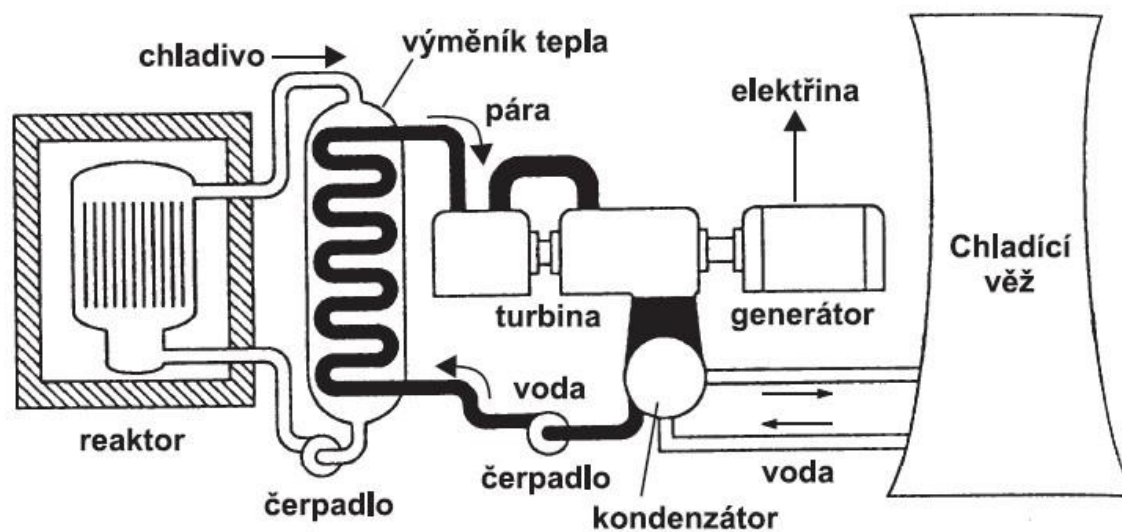
Reaktor moderovaný grafitem a chlazený plynem



Základních části standardního reaktoru

- **palivo**
 - dochází v něm ke štěpení a uvolňuje se energie
- **moderátor**
 - pomocí srážek neutronů s jádry atomů snižuje kinetickou energii neutronů
- **chladio**
 - tekutina odvádějící vznikající tepelnou energii ven z reaktoru
- **stavební materiály**
 - tvoří ochranný obal paliva a moderátoru a dále vnitřní vestavby reaktoru
- **reflektor**
 - část reaktoru přiléhající k aktivní zóně a sloužící k odražení co největšího počtu unikajících neutronů zpět do aktivní zóny
- **regulační a ovládací zařízení**
 - absorpcí neutronů umožňují udržovat výkon reaktoru na žádané hodnotě
- **ochranný kryt**
 - chrání obsluhu reaktoru před zářením vznikajícím v rektoru

Jaderná elektrárna



Jaderné reaktory a elektrárny – Vliv teploty na reaktivitu, materiály jaderných reaktorů

Kontejment

- primární okruh a další bezpečnostní a pomocná zařízení - jsou uzavřeny v ochranné obálce nazývané kontejment
 - jsou vybaveny ventilem s radiačními filtry - po havárii lze přetlakovanou páru vypouštět kontrolovaně do ovzduší s tím, že naprostá většina RA látek bude zachycena na filtrech

Primární okruh

- soubor zařízení, jejichž úkolem je řídit štěpnou řetězovou reakci a odvádět teplo při ní vznikající; hlavní částí primárního okruhu je reaktor

Sekundární okruh

- soubor zařízení, která přeměňují pohybovou energii páry na energii elektrickou; nejsou zde jaderná zařízení a nevyskytují se zde ani RA látky

Chladicí okruh

Dieselgenerátorová stanice

- Pro případ ztráty hlavního i rezervního elektrického napájení vlastní spotřeby je elektrárna vybavena nouzovými zdroji elektrické energie

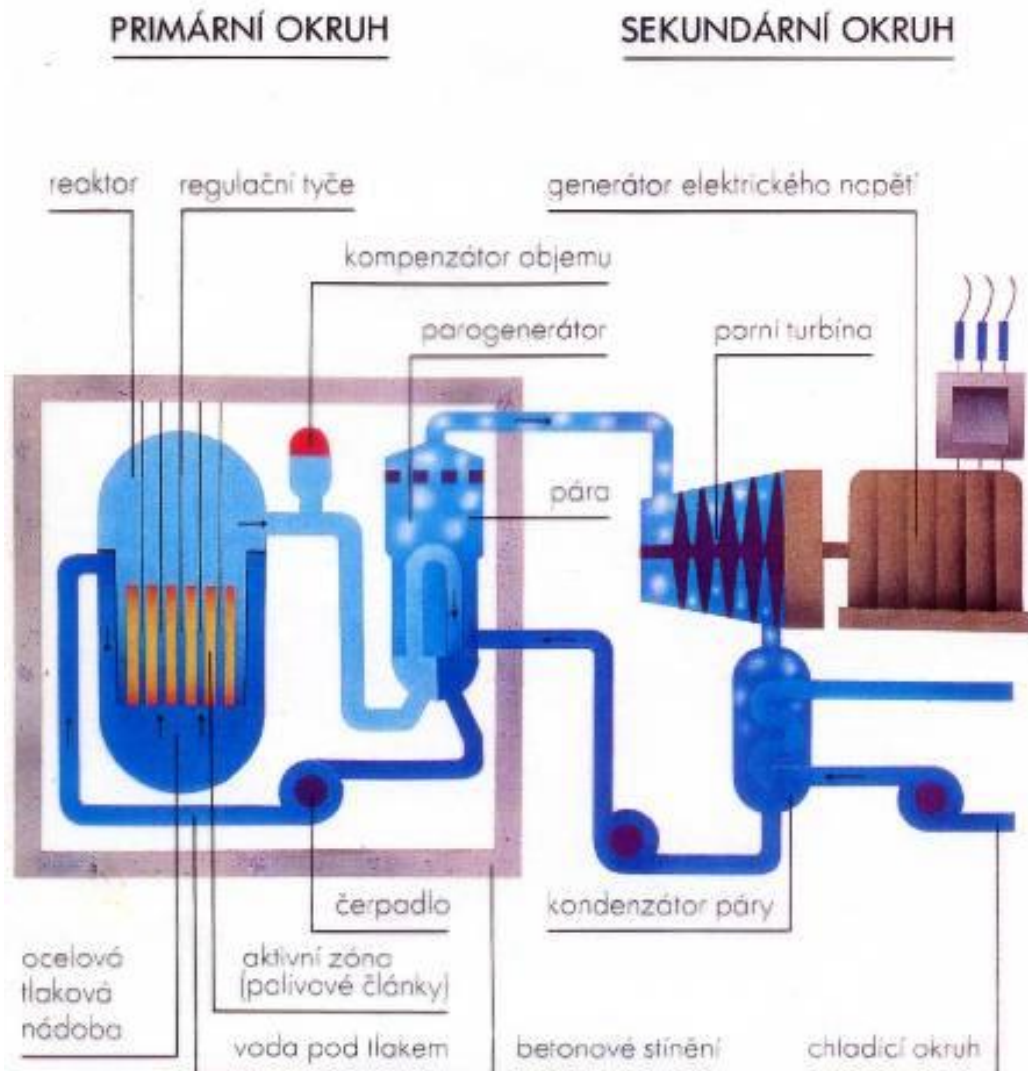
Označování reaktorů

Označení typu	Plný význam anglicky český pojem
PWR	Pressurized Light Water Moderated and Cooled Reactor tlakovodní lehkou vodou chlazený a moderovaný reaktor
BWR	Boiling Light Water Cooled and Moderated Reactor, varný, lehkou vodou chlazený a moderovaný reaktor
PHWR	Pressurized Heavy Water Moderated and Cooled Reactor tlakovodní těžkou vodou chlazený a moderovaný reaktor
GCR	Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor plynem chlazený, grafitem moderovaný reaktor
LWGR	Light Water Cooled, Graphite Moderated Reactor lehkou vodou chlazený, grafitem moderovaný reaktor
AGR	Advanced Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor pokročilý plynem chlazený, grafitem moderovaný reaktor
FBR	Fast Breeder Reactor rychlý množivý reaktor

Procentuelní zastoupení jednotlivých typů

Označení typu	Podíly dle počtu	Podíly dle výkonu (GW)
PWR	246 (57%)	216,5 (63,6%)
BWR	93 (21,6%)	76,2 (22,4%)
PHWR	33 (7,6%)	18,6 (5,5%)
GCR	21 (4,9%)	3,5 (1,0%)
LWGR	20 (4,6%)	14,9 (4,4%)
AGR	14 (3,2%)	8,4 (2,5%)
FBR	4 (0,9%)	2,0 (0,58%)

Schéma PWR



Typické parametry reaktoru

VVER-1000:

- obohacení U izotopem ^{235}U : 3.1% až 4.4%
- rozměry aktivní zóny: 3 m průměr a 3,5 m výška
- tlak vody: 15,7 MPa
- teplota vody na výstupu reaktoru: 324°C
- účinnost elektrárny: 32,7%
- množství paliva v reaktoru: 60 až 80 tun UO_2

Jaderné reaktory a elektrárny - Materiály jaderných reaktorů

Požadavky na materiály v konstrukci a provozu jaderných reaktorů –

Odolnost při provozu za vysokých teplot

Zachování pevnosti a tvaru

Chemická stálost a malá chemická reaktivita

Odolnost vůči korozi

Dobrá tepelná vodivost

S hlediska interakce s neutrony -

Málo absorbující materiály – málo vhodné klasické nerez oceli díky přítomnosti příměsí absorbující neutrony, nutnost používat super čistý uhlík opět kvůli přítomnosti bóru v klasických uhlíkových materiálech

Radiační stabilita materiálů – díky interakci jaderného záření s materiály vznikají krystalografické chyby, které mohou značně ovlivnit materiály –
Radiální růst, creep, objemový růst, akumulace skryté energie –
Wiegnerův efekt – hromadění defektů v uhlíku - přežíhání

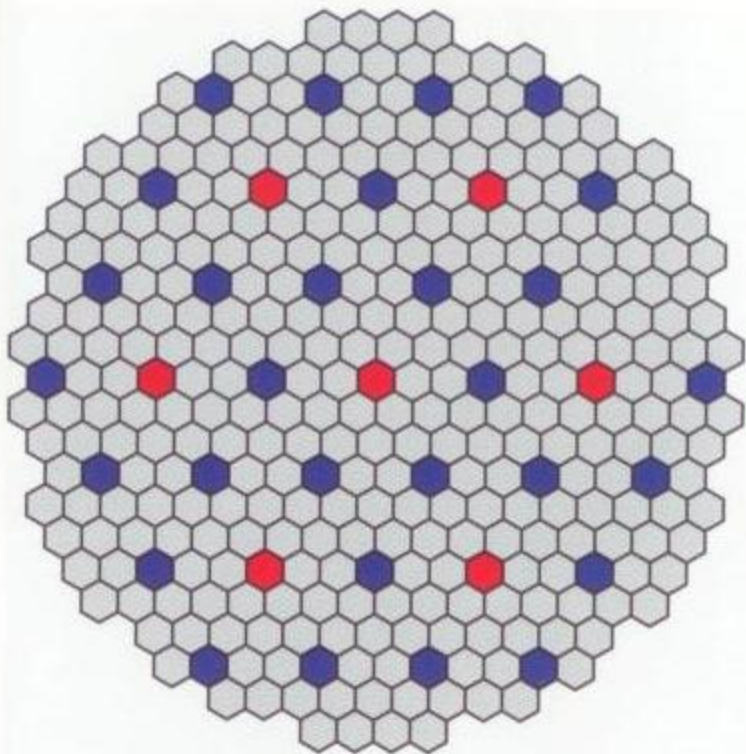
Jaderné reaktory a elektrárny - Materiály jaderných reaktorů

Příklady typů materiálů používaných v jaderném reaktoru -

Hliníkové (jen pro nižší teploty pod **200-300 °C** ve vodě) a **hořčíkové** materiály (plynem chlazené reaktory)

Zirkonium a jeho slitiny – pokrytí palivové tablety a článků – nízký účinný průřez, pevnost, dobrá odolnost vůči korozi. Použití do **500 °C**. Alternativa keramiky na bázi SiC – TRISO tristructural isotropic

Austenitické (Austenit je tuhý roztok uhlíku v železe. Je to nemagnetická fáze slitiny uhlík–železo), oceli a slitiny na bázi **niklu** – HASTELLOY®N – Ni 71, Cr 7, Mo 16, Fe 5 – velmi dobrá odolnost až do **700 °C**



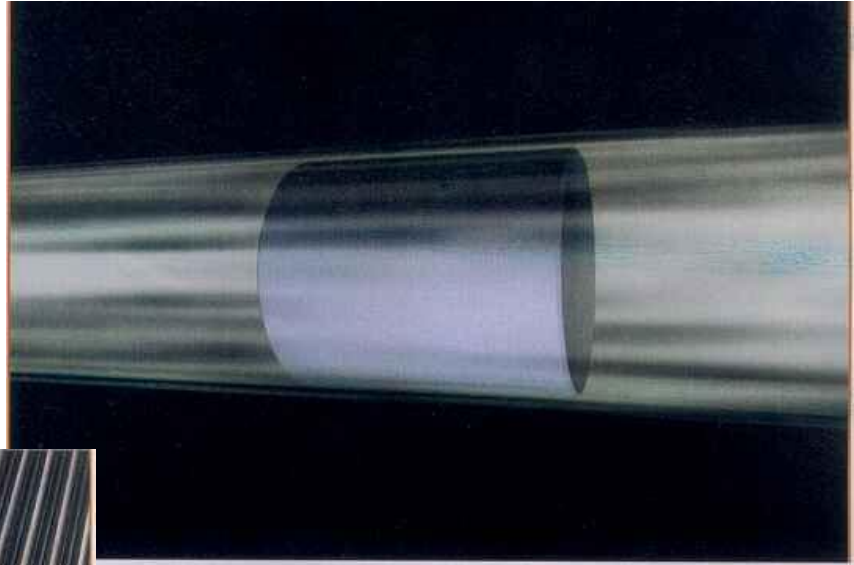
Pracovní kazeta
 Bezpečnostní kazeta
 Regulační kazeta

■ Rozmístění regulačních kazet



■ Transportní zásobník paliva ve skladu čerstvého paliva

Palivový článek



Palivové proutky naplněné peletami jsou poskládány do palivových článků

