

Jaderné reaktory

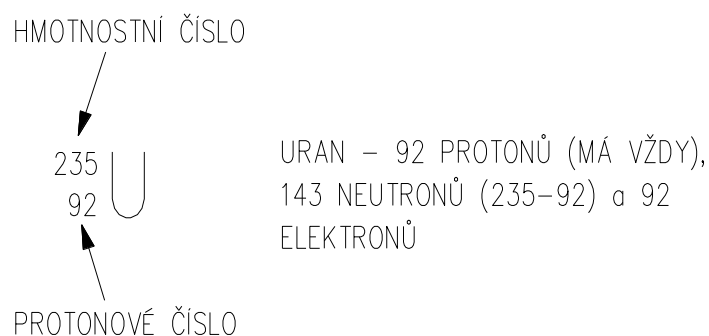
Fungují jako zdroj tepla a vyrábějí páru pro pohon parní turbíny, která pak pohání generátor elektrického proudu. Teplo v jaderném reaktoru vzniká štěpením jader těžkých kovů, především uranu nebo plutonia. Toto teplo se vyrábí bez spalování, nevnikají tedy žádné plynné zplodiny z hoření. Navíc platí, že spotřebou 1 kg uranu vznikne tolik tepla, že pro jeho výrobu v uhelné elektrárně by bylo zapotřebí spálit asi 3000 tun uhlí.

Nevýhodou jaderné energetiky je velká potenciální nebezpečnost při případné havárii reaktoru a také je tu problém s ukládáním vyhořelého jaderného paliva.

Jaderná reakce

Atom každého prvku se skládá z jádra obsahujícího protony a neutrony, kolem kterého je obal tvořený elektrony. Protony v jádře nesou kladný náboj, elektrony v obalu záporný náboj a neutrony nemají náboj žádný. Zatímco hmotnost protonů a neutronů je přibližně stejná, elektrony jsou asi 2000x lehčí. Hmotnost atomu je tedy soustředěna do jeho jádra.

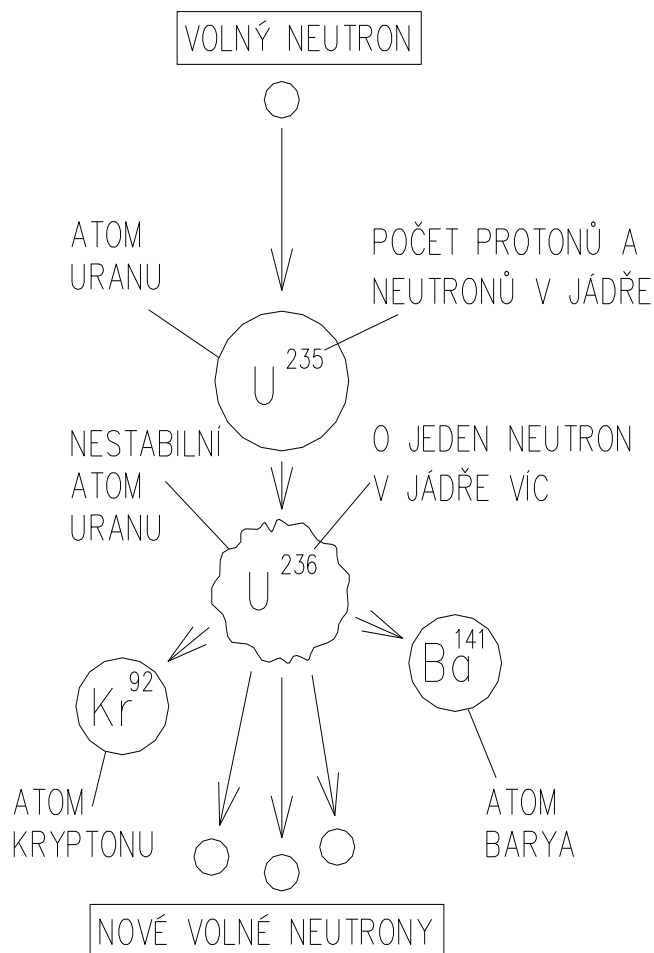
Počet protonů v jádře je konstantní a určuje nám, o jaký prvek se jedná. Počet neutronů naproti tomu může být i odlišný od počtu protonů, potom hovoříme o izotopech prvku. Izotopy mají sice stejné chemické vlastnosti jako samotné prvky, jejich fyzikální vlastnosti (hustota, hmotnost, bod varu) se ale liší. Počet elektronů v obalu atomu je pak shodný s počtem protonů v jádře atomu.



Všechny prvky, které mají protonové číslo větší než 82, jsou radioaktivní – jejich atomová jádra mají schopnost se samovolně rozpadat tedy štěpit. (Některé ovšem mají velmi dlouhý poločas rozpadu – jejich jádra se štěpí velmi pomalu.) Výsledkem pak jsou nové prvky s menším protonovým číslem.

Pozn.: Prvky s protonovým číslem větším než 92 (tzv. transurany) se v přírodě nevyskytují a byly vytvořeny uměle.

Vlastní jaderná reakce probíhá tak, že volný neutron vnikne do jádra atomu prvku nejlépe s lichým hmotnostním číslem. V praxi to dnes nejčastěji bývá uran U235 nebo plutonium Pu239. Napadené jádro má najednou o jeden neutron navíc a stane se nestabilním. Rozpadne se na rozličné odpadní prvky (krypton Kr, bariem Ba a další). Při jeho rozpadu se uvolní několik dalších neutronů, které vniknou do dalších jader uranu v okolí. Celý proces se opakuje nanovo, a pokud jej neregulujeme, jedná se pak o **neřízenou jadernou reakci** (atomová bomba). V jaderných reaktorech dochází pouze k **řízené jaderné reakci**. Rozpad jader je pak doprovázen vývinem značného množství energie v podobě tepla a radiace.



Jak již bylo zmíněno, pro jadernou reakci se nejlépe hodí prvky s lichým hmotnostním číslem jako uran U^{235} a plutonium Pu^{239} . Protože uranu U^{235} je v přírodních uranových rudách jen asi 0,7% a většinu tvoří nevhodný uran U^{238} , je třeba rudu nejprve upravit. Říká se tomu obohacování paliva a jeho výsledkem je, aby obsah U^{235} byl v rudě alespoň 5%. Takto obohacené jaderné palivo se pak používá v pomalých tzv. teplovodních reaktorech, kde jako moderátor slouží běžná voda.

Druhy jaderných reaktorů

- z hlediska jejich použití:

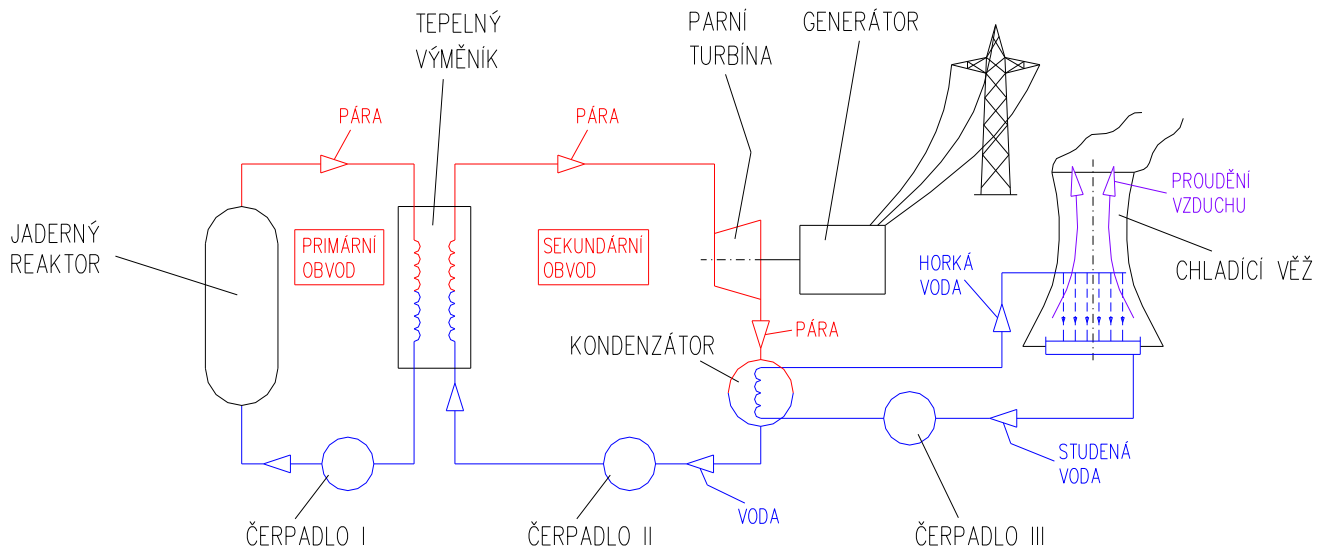
- energetické – výroba páry za účelem výroby elektřiny
- dopravní – pohon lodí a ponorek
- pro výrobu radioizotopů (např. pro lékařské účely)
- produkční – pro výrobu Pu^{239} , U^{233} jako paliva pro jaderné reaktory
- výzkumné

- podle jejich principu:

- pomalé (teplovodní)
- rychlé (množivé)

Teplovodní (pomalý) jaderný reaktor

Schéma uspořádání jaderné elektrárny



Jaderný reaktor je uzavřená nádoba, ve které probíhá štěpná reakce, jež uvolňuje obrovské množství tepelné energie. Ta je pak odváděna chladivem do tepelného výměníku. V něm se vyrábí z vody pára, která putuje do klasické parní turbíny s kondenzátorem. Zbytek procesu výroby elektřiny je pak stejný jako v běžné uhelné elektrárně.

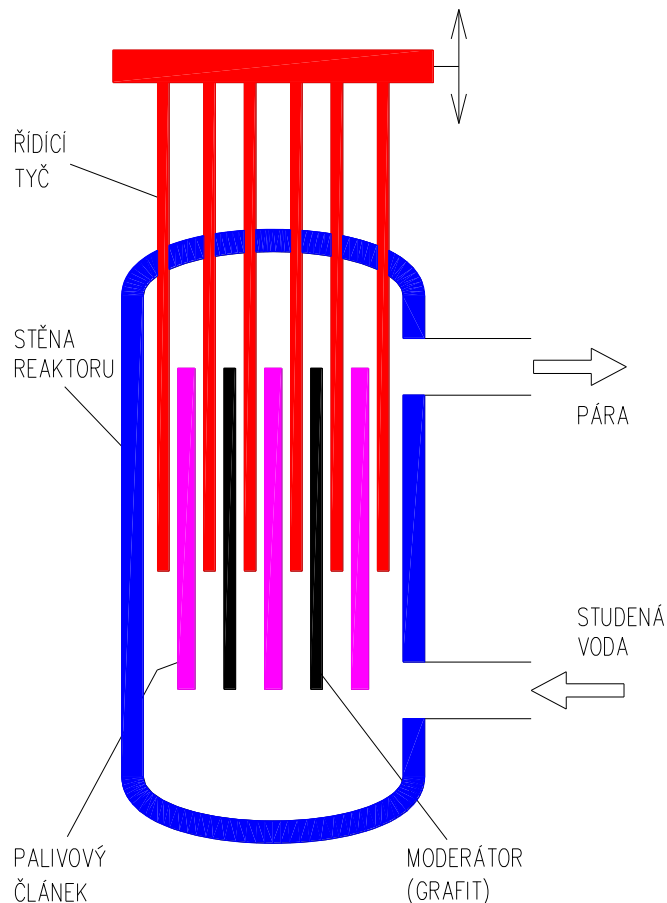
Teplovodní jaderné reaktory se v současné energetice používají nejčastěji. Pro spuštění jaderné reakce potřebují izotop s lichým hmotnostním číslem, tedy uran U235 nebo plutonium Pu239.

pozn.- Přírodní uranové rudy obsahují jen asi 0,7% uranu U235. Zbytek je U238. Proto se přírodní uran často přepracovává na vyšší podíl U235 pomocí tzv. obohacování.

Aby jaderná reakce uvnitř teplovodního jaderného reaktoru probíhala optimálně, pracuje tento druh reaktoru s tzv. pomalými neutrony. Zpomaluje je pomocí **moderátoru**, což bývá běžná voda H₂O (Dukovany, Temelín), nebo tzv. těžká voda *deuterium* D₂O, anebo to mohou být i grafitové tyče.

Volné neutrony vzniklé při štěpení pak narážejí do atomů moderátoru, čímž se zpomalí. Pomalé neutrony jsou pak zčásti pohlceny obalem reaktoru a zčásti napadají další jádra uranu U235. Pro optimální výrobu elektřiny je nezbytné, aby byl v reaktoru v reálném čase rozbíjen stále stejný počet jader. Jadernou reakci je tedy nutné řídit pomocí zasouvání tzv. regulačních tyčí do reaktoru. Regulační tyče pohltí část volných neutronů, čím více jsou zasunuty tím více jich pohltí.

V případě havárie se do reaktoru rychle zasunou i tzv. havarijní tyče, které pohltí velkou většinu neutronů a jaderná reakce se tím utlumí.



Jaderné palivo se do reaktoru vkládá v podobě palivových tyčí – **palivových článků**. Běžně palivové články vydrží až 4 roky, přičemž jsou vyměňovány jednou za rok po čtvrtinách.

Do jaderných reaktorů, kde je moderátorem běžná voda (ta je zároveň i chladivem), se musí jaderné palivo obohacovat tak, aby obsah uranu U235 byl alespoň 5%. Do těžkovodních nebo grafitových reaktorů se palivo neobohacuje.

Protože vývin tepla uvnitř jaderného reaktoru je enormně obrovský, musí být jeho vnitřek chlazen velmi intenzivně.

Systém oběhu chladiva je v jaderné elektrárně z bezpečnostních důvodů rozdělen na primární a sekundární okruh. Protože médium obíhající v primárním okruhu je radioaktivní (je často i moderátorem), nemůže být vpuštěno přímo do parní turbíny. Jak napovídá název, u teplovodních reaktorů je chladivem v primárním okruhu voda.

Obal reaktoru má zevnitř tzv. *reflektor* tedy vrstvu, která vrací volné neutrony zpět do aktivní zóny. Zvenku pak je *stínící vrstva*, která chrání obsluhu před radiací.

Množivý (rychlý) jaderný reaktor

Využití potenciálu jaderného paliva v pomalých reaktorech je velmi malé – jen asi 2%. Proto se ve světě občas používají tzv. rychlé reaktory.

Rychlý reaktor **nemá moderátor** – pracuje tedy s nezpomalenými neutrony. Je schopen získat z jaderného paliva podstatně více tepelné energie, toto palivo však musí být vysoce obohaceno (20 až 50% U235 nebo Pu239).

Jaderná reakce je v množivém reaktoru mnohem intenzivnější – probíhá podstatně více jednotlivých reakcí za jednotku času. Vývin tepla uvnitř reaktoru je pak tak obrovský, že žádný plyn ani kapalina není schopna teplo odvádět – není schopna reaktor uchladit. Jako chladivo se tedy používá roztavený sodík Na.

Výhodou rychlých jaderných reaktorů je, že jako odpad v něm vznikají lehce štěpitelné izotopy, které jsou použitelné jako palivo do pomalých jaderných reaktorů.

Netradiční zdroje energie

V podmínkách ČR se tyto zdroje dají využít jen velmi omezeně. Patří sem:

- sluneční energie – fotovoltaika, solární články,
- energie větru,
- spalování biomasy,
- energie mořských vln nebo přílivu a odlivu,
- geotermální energie.